

# НАУКА

– образованию,  
производству,  
ЭКОНОМИКЕ



*Материалы Третьей  
международной  
научно-технической  
конференции*

1



**Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**НАУКА –  
ОБРАЗОВАНИЮ,  
ПРОИЗВОДСТВУ,  
ЭКОНОМИКЕ**

**Материалы Третьей международной  
научно-технической конференции  
В 2 томах**

**Том 1**

**Минск  
2006**

В сборнике представлены материалы Третьей международной научно-технической конференции «Наука – образованию, производству, экономике», тематика которых посвящена актуальным проблемам современной науки.

Редакционная коллегия:

Б.М. Хрусталеv – д-р техн. наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси, Ф.А. Романюк – д-р техн. наук, профессор, А.С. Калиниченко, д-р техн. наук

#### Рецензенты:

канд. техн. наук, доц. Шамкалович В.И., канд. техн. наук, доц. Зайцева Е.Г., канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. Денисов И.А., канд. техн. наук Нисс В.С., вед. науч. сотр., профессор Усенко В.С., канд. геолог.-мин. наук Гречко А.М., д-р техн. наук, проф. Джилавдари И.З., д-р физ.-мат. наук, гл. науч. сотр. Гончаренко И.А., канд. физ.-мат. наук, доц. Гусев О.К., канд. техн. наук, проф. Воронин А.Г., д-р техн. наук, проф. Климков В.Т., д-р техн. наук, доц. Орда А.Н., канд. техн. наук, доц. Русакевич Д.А., канд. физ.-мат. наук, доц. Трофименко Е.Е., канд. техн. наук, доц. Каштальян И.А., канд. техн. наук, доц. Шардыко П.П., канд. техн. наук, проф. Кишкевич П.Н., канд. техн. наук, доц. Флерко И.М., канд. техн. наук, проф. Петренко Ю.Н., канд. техн. наук, проф. Савич Е.Л., канд. техн. наук Глазков Л.А., канд. техн. наук, доц. Сай А.С., канд. техн. наук, доц. Петрученко А.Н., канд. техн. наук, доц. Русецкий И.К., канд. техн. наук, проф. Бренч М.П., д-р техн. наук, проф. Ковалевский В.Н., д-р техн. наук, проф. Исаевич Л.А., директор КРУП «Научное приборостроение» Яковлев В.П., д-р техн. наук, проф. Кислов Н.В., канд. техн. наук, доц. Статкевич А.М., канд. техн. наук, доц. Рахлей А.И., канд. техн. наук, доц. Страх В.Н., канд. техн. наук, доц. Таяновский Г.А., д-р техн. наук, проф. Сычик В.А., канд. техн. наук, доц. Новаш И.В., канд. техн. наук, доц. Можар В.И., канд. техн. наук, доц. Полюянов М.И., канд. техн. наук, доц. Калентионюк Е.В., канд. техн. наук, доц. Цыганков В.М., канд. техн. наук, доц. Прокопенко В.Г., канд. техн. наук, доц. Шиманская Т.А., доц. Бобко Н.Н., канд. техн. наук, доц. Козловская В.Б., канд. техн. наук, доц. Булат В.А., д-р техн. наук, доц. Соколов Ю.В., д-р техн. наук, проф. Карницкий Н.Б., д-р техн. наук, проф. Есьман Р.И., канд. техн. наук, доц. Седнин А.В., д-р техн. наук, проф. Кулаков Г.Т., д-р техн. наук, проф. Жихар Г.И., канд. техн. наук, доц. Кравченко Е.В., канд. физ.-мат. наук, доц. Рекс А.Г., канд. техн. наук, доц. Стасюлевич В.А., канд. техн. наук, доц. Лакин В.И., канд. техн. наук, доц. Калина А.А., канд. техн. наук, доц. Пащенко А.В., д-р техн. наук, доц. Качанов И.Г., канд. техн. наук, доц. Юхновец В.Н., канд. пед. наук, доц. Олекс О.А., канд. техн. наук, доц. Недбальский В.К., канд. техн. наук, доц. Давидович Л.М., канд. техн. наук, доц. Мойсейчик Е.А., канд. техн. наук, доц. Никитенко М.И., д-р техн. наук, проф. Дячек П.И., канд. техн. наук, доц. Станецкая И.И., канд. техн. наук, доц. Нестеров Л.В., канд. техн. наук, проф. Нестеренок М.С., канд. техн. наук, доц. Матиек С.И., д-р техн. наук, проф. Лысов В.П., д-р техн. наук, проф. Бусел А.В., д-р техн. наук, проф. Яромко В.Н., д-р техн. наук, проф. Леонович И.И., канд. техн. наук, доц. Горонский А.Р., канд. техн. наук, доц. Кашевская Е.В., канд. техн. наук, доц. Капский Д.В., д-р техн. наук, проф. Пастушков Г.П., д-р техн. наук, проф. Пецольд Т.М., канд. техн. наук, доц. Кузьмицкий В.А., канд. пед. наук, доц. Сыманович П.Г.

**Технические и прикладные  
науки**

**Электроэнергетика**



## **О современном состоянии проблемы качества и регулировании напряжения**

Волков А.А.

Белорусский национальный технический университет

Электрическая энергия является продукцией энергетической системы и товаром для потребителей. Под качеством продукции понимается совокупность свойств и мера полезности продукции, обуславливающие ее способность удовлетворять определенные общественные и личные потребности.

Так как электрическая энергия используется электроприемниками для преобразования в другие виды энергии, то она может считаться качественным товаром в том случае, если электроприемник работает в нормальном режиме и выполняет свои функции, удовлетворяя тем самым потребностям потребителя.

Право потребителя на качественную электроэнергию закреплено Гражданским Кодексом Республики Беларусь в статье 513, согласно которой качество подаваемой энергоснабжающей организацией энергии должно соответствовать требованиям, установленным государственными стандартами и иными актами республиканских органов государственного управления или предусмотренным договором энергоснабжения.

Основным документом, определяющим требования к качеству электрической энергии, является Межгосударственный стандарт ГОСТ 13109-97 “Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения”.

В Республике Беларусь в отличие от России электрическая энергия не относится к товарам подлежащим сертификации. В Российском перечне товаров подлежащих обязательной сертификации электрическая энергия значится в разделе Хозяйственные товары.

Сертификация электрической энергии в распределительных электрических сетях проводится органами по сертификации электрической энергии и испытательными лабораториями по

заявкам энергоснабжающих организаций и при положительных результатах сертификации заявителю выдается сертификат соответствия на электрическую энергию, поставляемую потребителям из электрических сетей, присоединенных к центрам питания. Однако сертификация проходит только по двум показателям: по отклонению напряжения и отклонению частоты.

Вместе с тем, ГОСТ 13109-97 устанавливает расширенный перечень показателей качества напряжения.

Среди этих показателей выделяют показатели, характеризующие отклонение напряжения, колебание напряжения, несимметрию напряжений в трехфазной системе и несинусоидальность формы кривой напряжения [1].

По мнению автора, основными проблемами, связанными с качеством напряжения, в настоящее время являются:

- недостаточная информация для оценки и анализа показателей качества напряжения в распределительных сетях по интегральным показателям;
- влияние самих электроприемников на режим электрической сети и работу других потребителей электрической энергии;
- внедрение новых видов электроприемников.

Наличие таких электроприемников как дуговые сталеплавильные печи, электросварочные машины, однофазные электротермические установки и других однофазных, двухфазных и несимметричных трёхфазных потребителей электроэнергии, в том числе и бытовых, приводит к необходимости оценки несимметрии напряжений. А с внедрением электроприёмников с нелинейной вольтамперной характеристикой связано появление показателей, характеризующих искажение синусоидальной формы кривой напряжения.

В настоящее время происходит увеличение числа нелинейных потребителей (ЭВМ, мониторы, принтеры, газоразрядные лампы). Электроприёмники с нелинейной вольтамперной характеристикой потребляют ток, форма кривой которого отличается от синусоидальной. Это связано с тем, что встроенные импульсные источники питания этих потребителей представляют собой нелинейные нагрузки, сопротивление

которых изменяется с течением времени. При приближении кривой питающего напряжения к максимальному значению электронные вентиля диодного моста скачкообразно меняют свое сопротивление от бесконечности до определенного малого значения. Такой характер изменения сопротивления вентиля равносителен включению или отключению им нагрузки. Таким образом, периодическое включение и отключение приводит к появлению коротких импульсов потребляемого тока. Эти токи представляют собой несинусоидальный периодический сигнал, третья гармоника которого может составлять до 80% от величины основной гармоники частотой 50 Гц [2]. Протекание такого тока по элементам электрической сети создаёт на них падение напряжения, отличное от синусоидального, что и является причиной искажения синусоидальной формы кривой напряжения.

При превышении мощности нелинейных электропотребителей 10-15% от общей потребляемой мощности могут возникнуть следующие проблемы: воздействие на изоляцию кабельных линий, которое проявляется в учащении однофазных коротких замыканий на землю; ухудшение условий работы конденсаторов; перегрев нулевых рабочих проводников; дополнительные потери в трансформаторах и их перегрев; старение изоляции электрооборудования; значительное увеличение тепловых потерь в элементах импульсного источника питания.

Представляются возможными следующие пути повышения качества напряжения:

- совершенствование математического аппарата расчета режимов распределительных электрических сетей;
- изучение характеристик нового оборудования и электромагнитной совместимости электроустановок;
- разработка и совершенствование технических средств для снижения помех в электрических сетях.

### **Литература**

1. Суднова, В.В. Качество электрической энергии. — М.: Энергосервис, 2000.
2. [www.terralab.ru](http://www.terralab.ru). Григорьев, О.П. Компьютерные помехи. От 5.12.2002.

## Оценка уровней дуговых перенапряжений в кабельной электрической сети 6-10 кВ

Кабаков А.Л.

Белорусский национальный технический университет

На рис. 1 представлена схема замещения электрической сети с основными параметрами, определяющими характер протекания переходных процессов при однофазном замыкании на землю (ОЗЗ).

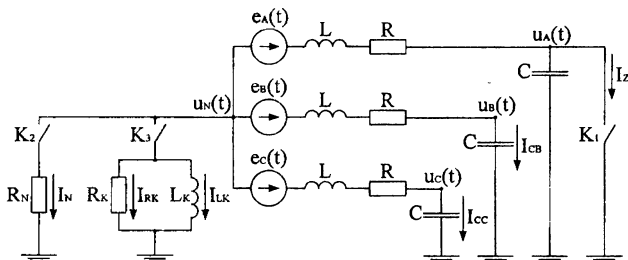


Рис. 1. Упрощённая схема электрической сети для оценки  
уровня дуговых перенапряжений

При включённом ключе  $K_1$  (моделирующим замыкание фаза «А» на землю) и в случае изолированной нейтрали (ключи  $K_2$  и  $K_3$  разомкнуты) процессы, протекающие в данной электрической цепи, могут быть описаны системой интергодифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned}
 & -2 \int u_N(t) dt - \frac{3}{2\delta_1} u_N(t) + \int u_B(t) dt + \left( \frac{2\delta_1}{3\omega_1^2} + \frac{1}{2\delta_1} \right) u_B(t) + \frac{1}{3\omega_1^2} \frac{du_B(t)}{dt} + \\
 & + \int u_C(t) dt + \left( \frac{2\delta_1}{3\omega_1^2} + \frac{1}{2\delta_1} \right) u_C(t) + \frac{1}{3\omega_1^2} \frac{du_C(t)}{dt} = - \int e_A(t) dt \\
 & \int u_N(t) dt - \int u_B(t) dt - \frac{2\delta_1}{3\omega_1^2} u_B(t) - \frac{1}{3\omega_1^2} \frac{du_B(t)}{dt} = - \int e_B(t) dt \\
 & \int u_N(t) dt - \int u_C(t) dt - \frac{2\delta_1}{3\omega_1^2} u_C(t) - \frac{1}{3\omega_1^2} \frac{du_C(t)}{dt} = - \int e_C(t) dt
 \end{aligned} \tag{1}$$

где  $\omega_1 = 1/\sqrt{3LC}$  - круговая частота собственных колебаний сети во время горения заземляющей дуги;  $\delta_1 = R/2L$  - показатель затухания свободных колебаний.

Характеристическое уравнение системы (1):

$$(p^2 + 2\delta_1 p + \omega_1^2) \times (p^2 + 2\delta_1 p + 3\omega_1^2) = 0. \quad (2)$$

Корни данного уравнения умеют вид:

$$p_{1,2} = -\delta_1 \pm \sqrt{\delta_1^2 - \omega_1^2}, \quad p_{3,4} = -\delta_1 \pm \sqrt{\delta_1^2 - 3\omega_1^2}. \quad (3)$$

В большинстве случаев выполняются условия, при которых изменение свободной составляющей колебаний происходит по периодическому закону:

$$\delta_1 < \omega_1, \text{ или } R < 2\sqrt{\frac{L}{3C}} \text{ и } \delta_1 < \sqrt{3}\omega_1, \text{ или } R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (4)$$

Таким образом, решение системы (1) можно записать в виде:

$$u_i(t) = u_{\omega i}(t) + A_{1i} e^{-\delta_1 t} \cdot \sin(\sqrt{\omega_1^2 - \delta_1^2} \cdot t + \varphi_{1i}) + A_{2i} e^{-\delta_1 t} \cdot \sin(\sqrt{3\omega_1^2 - \delta_1^2} \cdot t + \varphi_{2i}), \quad (5)$$

где  $u_{\omega i}(t) = k_{\text{наиб.р}} \sqrt{2/3} U_{\text{ном}} \sin(\omega t + \varphi_i)$  - вынужденная составляющая колебаний, определяемая из расчёта установившегося режима;  $k_{\text{наиб.р}} = 1.15$  - коэффициент, учитывающий допустимое превышение напряжения электрической сети относительно своего номинального значения;  $i = A, B, C$  и  $N$  соответственно для каждой из фаз и нейтрали.

Постоянные интегрирования  $A_{1i}, \varphi_{1i}, A_{2i}, \varphi_{2i}$  определяются на основании законов коммутации из начальных условий, т.е. зависят от характера горения заземляющей дуги.

На основании накопленного опыта асциллографирования сетей отмечено, что теория горения дуги Петерсена справедлива для малых токов замыкания на землю (до 5 А). Установленная Беляковым величина пика гашения, равная  $0,4U_{\phi}$ , была получена им экспериментально для сети 6 кВ. Распространение данного значения на сеть 10 кВ требует дополнительной экспериментальной проверки. Поскольку для кабельной электрической сети характерны значительные ёмкостные токи (десятки и сотни ампер), наиболее достоверной представляется теория Петерса и Слепяна.

Расчёты переходных процессов в цепи рис. 1 позволяют определить предельные значения перенапряжений, однако в реальных электрических сетях максимальные кратности будут меньшими. Факторы, ограничивающие перенапряжения, снижают амплитуду свободных колебаний, увеличивая их затухания; образуют пути стекания свободных зарядов в землю

при гашениях заземляющих дуг, снижая их начальное значение при повторных зажиганиям; уменьшают амплитуду квазиустановившейся составляющей. На рис. 2, 3 и 4 показано изменение напряжения фаз и нейтрали сети 10 кВ с различными способами рабочего заземления при ОЗЗ.

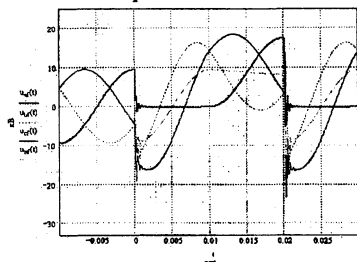


Рис. 2. Дуговые перенапряжения в сети с изолированной нейтралью (ключи  $K_2$  и  $K_3$  разомкнуты)

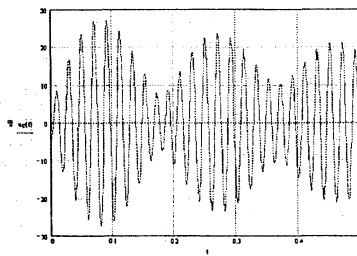


Рис. 3. Процесс биений в сети с компенсацией ёмкостных токов (ключ  $K_3$  замкнут)

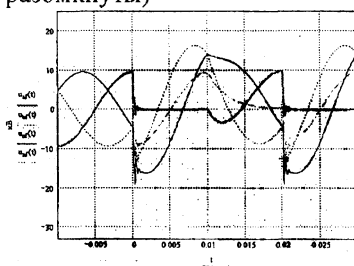


Рис. 4. Дуговые перенапряжения в сети с нейтралью, заземлённой через высокоомный резистор (ключ  $K_2$  замкнут)

Как показали расчёты в реальных электрических сетях, комплексный учёт всех ограничивающих факторов приводит к снижению перенапряжений относительно их предельных значений на 20-30%. Перенапряжения в сети с изолированной нейтралью составили  $2,5-2,7U_{\text{ФМ}}$ ; в сети с резистивным заземлением  $1,9-2,1U_{\text{ФМ}}$ . Уровень дуговых перенапряжений в сети с компенсацией ёмкостных токов зависит от настройки дугогасящей катушки и может превышать кратности, полученные для сети с изолированной нейтралью, достигая величины  $3,0-3,2U_{\text{ФМ}}$ .

**К проблеме транспорта электроэнергии**

Колончук М.В.

Белорусский национальный технический университет

Состояние вопроса. В связи с непрерывным увеличением производства электроэнергии, развитием энергосистем, ростом мощности объединяемых в системы электрических станций, созданием объединенных и единых энергетических систем повышается дальность, мощность и напряжение электропередач. При значительных расстояниях электропередачи (более 2500 км) высокой пропускной способностью по условиям устойчивости обладает полуволновая система электропередачи. Сложность создания полуволновых линий состоит в рациональном выборе длины линии, не требующей настраивающих или компенсирующих устройств.

Цель работы. Снижение капитальных и эксплуатационных затрат полуволновых линий электропередачи.

Задача. Уточнение рациональной длины линии электропередачи в режиме полуволны.

Результаты исследования.

Для полуволновых линий компенсация параметров линии осуществляется приближением ее волновой длины  $\lambda = \alpha \cdot l$  к полуволне ( $\lambda = \pi$ ):

$$\alpha = \omega \cdot \sqrt{L_0 \cdot C_0} = \frac{\pi}{l}.$$

С другой стороны,

$$z_g = \frac{U_n^2}{P_n} = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}}.$$

Из этих уравнений:

$$\begin{cases} L_0 \cdot C_0 = \left( \frac{\pi}{\omega \cdot l} \right)^2 \\ \frac{L_0}{C_0} = \left( \frac{U_n^2}{P_n} \right)^2 \end{cases}.$$

Полученная система позволяет определить удельную емкостную проводимость линии и удельное индуктивное сопротивление линии:

$$b_0 = C_0 \cdot \omega = \frac{P_n \cdot \pi}{l \cdot U_n^2};$$

$$X_0 = L_0 \cdot \omega = \frac{U_n^2 \cdot \pi}{l \cdot P_n}.$$

Величина  $X_0$  воздушной линии с расщепленной фазой выражается формулой

$$X_0 = 0,14451g \frac{D_{cp}}{R} + \frac{0,0157}{N},$$

где  $N$  – число проводов в расщепленной фазе, а удельная емкостная проводимость:

$$b_0 = \frac{7,58}{lg \frac{D_{cp}}{R}} \cdot 10^{-6}.$$

Приравнявая полученные для  $X_0$  и  $b_0$  выражения, получаем систему двух уравнений, позволяющую определить отношение среднегеометрического расстояния между проводами к радиусу провода:

$$\frac{D_{cp}}{R} = 10^{\frac{0,0157}{N} \cdot 7,58 \cdot 10^{-6} \cdot l^2 - 0,1445 \cdot 7,58 \cdot 10^{-6} \cdot l^2}.$$

По результатам расчета  $\frac{D_{cp}}{R}$  для линий с различным числом проводов в расщепленной фазе и изменении длины линии от 2875 до 3025 км построены зависимости, представленные на рисунке 1.



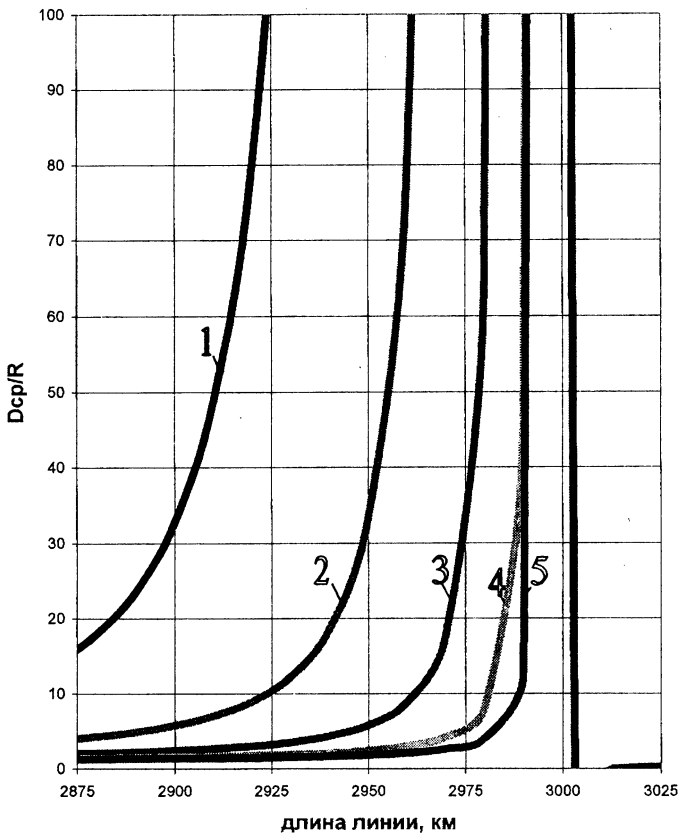


Рисунок 1 – Зависимость отношения  $D_{cp} / R$  от длины линии при различном числе проводов в расщепленной фазе: 1)  $N = 1$ ; 2)  $N = 2$ ; 3)  $N = 4$ ; 4)  $N = 8$ ; 5)  $N = 12$

Вывод.

Режим полуволны без настройки линии с использованием конечных устройств и дополнительных емкостей (индуктивностей) возможен лишь в узком диапазоне, ограниченном для всех случаев максимумом в 3002,18 км.

## **Резистивное заземление нейтрали воздушной электрической сети напряжением 10-35 кВ**

Охременко А.Ю.  
РУП «Брестэнерго»

Основными критериями эффективности режима нейтрали распределительной сети являются электробезопасность, надежность и экономичность. От режима заземления нейтрали зависят кратности внутренних перенапряжений, напряжения шага и прикосновения, допустимые токи прикосновения к токоведущим частям, параметры устройств релейной защиты от однофазных замыканий.

Правила устройства электроустановок (ПУЭ) устанавливает два варианта состояния нейтрали распределительных сетей 10-35 кВ: изолированная или заземленной через дугогасящую катушку (ДГК).

ПУЭ допускают и другие варианты состояния изолированной нейтрали, предполагая возможность ее присоединения к земле через «устройства, имеющие большое сопротивление». К таким устройствам могут быть отнесена резистивно-заземленная нейтраль. Сопротивление резистора выбирается из условия равенства с емкостным сопротивлением сети, и выбранное сопротивление проверяется по величине кратности перенапряжений, условию электробезопасности и работы релейной защиты. Дополнительный активный ток, создаваемый включением в нейтраль резистора, выбранного по указанному условию, не приводит к изменению коэффициента замыкания на землю, который остается близким к 1,73.

Накопленный многолетний опыт эксплуатации электрических сетей, указывает на необходимость критического подхода к некоторым вопросам выполнения режимов нейтрали.

Одним из наиболее эффективных способов снижения уровня дуговых перенапряжений, подавления феррорезонансных перенапряжений, построение простой и селективной защиты от однофазных замыканий, построенной на принципе появления активного тока в поврежденном фидере является включение в нейтраль сети резистора.

Существующая воздушная распределительная сеть 10-35 кВ характеризуется весьма широким диапазоном емкостных токов однофазных замыканий, преимущественно от 1 до 10 А, и работает с изолированной нейтралью. Смешанные (воздушно-кабельные) распределительные сети 10 кВ с емкостным током замыкания на землю не превышающим 20 А работают с компенсированной нейтралью.

Существующие временные указания и директивные материалы не указывают конкретно, какая схема должна применяться для воздушных и смешанных сетей, а также не указывают длительность эксплуатации резистора в режиме однофазного замыкания на землю.

При низкоомном заземлении нейтрали (ограниченное время работы резистора при замыкании) величина сопротивления резистора выбирается по условию создания активного тока, достаточного для селективного отключения поврежденного элемента сети. Резистор рассчитывается на прохождение кратковременного тока замыкания на землю, ограниченного временем работы релейной защиты. Такое заземление нейтрали исключает возможность появления перемежающихся дуг и как следствие опасных перенапряжений.

При высокоомном заземлении нейтрали (длительное время работы резистора при замыкании) величина сопротивления резистора выбирается исходя из условия полного разряда емкости фаз, чтобы активная составляющая тока замыкания на землю была равна или больше емкостного тока сети. Энергетическая характеристика резистора определяется временем работы в режиме замыкания на землю. В таком режиме резистор эксплуатируется до тех пор, пока обслуживающий персонал не определит поврежденный элемент или соберет временную схему электроснабжения потребителей. Преимущества высокоомного заземления нейтрали заключаются в полном подавлении феррорезонансных процессов, ограничении уровня дуговых замыканий, возможности селективного определения поврежденного элемента сети и по возможности его исключения.

Подключение высокоомного резистора, параллельного ДГК, комбинированное заземление нейтрали, позволяет устранить биения напряжения при неточной настройке реактора,

ограничить перенапряжения, исключить феррорезонансные процессы, ограничить перенапряжения в нормальном режиме при несимметрии напряжения на нейтрали, выполнить селективную защиту. Величина сопротивления резистора выбирается исходя значения тока расстройки компенсирующего реактора.

Применительно к воздушной сети напряжением 10-35 кВ при наличии резервирования элементов электрической сети оснащение ее средствами автоматики наиболее приемлемо с точки зрения ограничения перенапряжений, повышения уровня электробезопасности и селективного отключения поврежденного элемента сети является низкоомное заземление нейтрали. В противном случае при высокоомном заземлении нейтрали ток однофазного замыкания на землю повышается на 40% и при длительной работе сети с неотключенным резистором (до 6 часов) приводит к снижению электробезопасности сети в сравнении с режимом изолированной нейтрали. Рассматривая возможность заземления нейтрали в смешанной сети предпочтение можно отдать также низкоомному заземлению нейтрали.

На мой взгляд, применение высокоомного резистора с параллельно подключенной катушкой в воздушно-кабельной сети с преобладающим количеством воздушных линий неприемлемо. Основным аргументом, послужившим к принятию такого решения, можно считать неоправданные вложения денежных средств на создание режима заземления нейтрали. Подключение резистора параллельно ДГК исключит только один существенный недостаток – ограничение напряжений, возникающих в нормальном режиме за счет несимметрии сети. Однако при перекомпенсации катушки направленные токовые защиты не могут обеспечить надежное выявление поврежденного присоединении при относительно малых токах заземляющего резистора.

#### Выводы

Необходимо издание утвержденного нормативного документа, определяющего области применения низкоомного или высокоомного заземления нейтрали в воздушной сети 10-35 кВ.

**Оценка надежности систем электроснабжения  
промышленных предприятий при неполной исходной  
информации**

Старжинский А.Л.

Белорусский национальный технический университет

Оценка надежности электроснабжения с помощью средних параметров потоков отказов, коэффициентов готовности, ущерба и других известных показателей имеет недостатки, затрудняющих их практическое применение.

Для параметрической оценки надежности основными недостатками является отсутствие объективной количественной оценки показателей надежности элементов системы. В связи с этим применение особо точных, а тем более сложных параметрических методов расчета, не требуется, так как достигаемая при этом точность расчета не оправдывается точностью исходных показателей.

При простейших схемах с последовательным и параллельным включением элементов возможен расчет надежности (частота отказов  $\lambda$  и вероятная продолжительность простоя  $\nu$ ) на основе аналитического метода. Для сложных схем с высокой степенью резервирования расчет надежности при количестве источников питания три и более и использовании данного метода, дает неопределенные результаты ( $\lambda \rightarrow 0$  и  $\nu \rightarrow 0$ ). При условии невысокой достоверности исходных данных различить варианты схемы становится сложно. Для различения данных схем может использоваться критерий дисконтированных затрат, но если величина надежности является определяющей для выбора варианта, то тогда пользуются методами непараметрической оценки (НО) надежности [1]. Высокая степень неопределенности в оценках надежности элементов оправдывает допущение об их равной надежности. Для каждой рассматриваемой схемы сети можно вычислить значения безразмерной величины в зависимости от конфигурации и количества элементов. Чем надежнее схема сети, тем больше значение НО.

Известное нам предприятие пищевой промышленности с непрерывным технологическим процессом получает питание от

энергосистемы по трем линиям – двум воздушным и одной кабельной (резервная линия). В котельной данного предприятия не в полной мере используется потенциал вырабатываемого пара высокого давления и температуры, указанные параметры понижают в редуционно-охладительных устройствах (РОУ) исходя из требований технологического процесса. Для повышения коэффициента использования топлива в котельной, вместо РОУ предполагается установить противодавленческую турбину, работающую через редуктор на генератор мощностью (1,5 МВт). Отношение максимальной выдаваемой мощности одним турбогенератором к мощности нагрузки одной секции находится в пределах 0,6-0,75.

Воспользуемся непараметрической оценкой надежности схемы [1], где не требуется знать точных значений  $\lambda_k$  и  $\nu_k$ . Выполним расчет характеристик НО надежности для нормального режима работы сети относительно шин 0,38 кВ в случае присоединения генератора к шинам различного номинального напряжения 0,38; 6; 10 кВ схемы электроснабжения промышленного предприятия. Результаты расчета значений непараметрической оценки надежности представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты расчета характеристик надежности схемы электроснабжения предприятия

Количество питающих шин	Параметры оценки надежности	Генератор включен на секции шин напряжением, кВ											
		10				6				0,38			
		P <sub>г</sub> /P <sub>с</sub> , о.е.				P <sub>г</sub> /P <sub>с</sub> , о.е.				P <sub>г</sub> /P <sub>с</sub> , о.е.			
		0	0,6	0,75	1	0	0,6	0,75	1	0	0,6	0,75	1
1	НО, о.е.	0,045	0,078	0,079	0,081	0,045	0,125	0,128	0,133	0,045	0,318	0,346	0,379
2	НО, о.е.	0,048	0,079	0,08	0,081	0,048	0,125	0,129	0,133	0,048	0,321	0,348	0,382

Примечание: P<sub>г</sub>, P<sub>с</sub> – номинальная мощность генератора и мощность нагрузки секции шин с присоединенным генератором;

Как видно из таблицы 1 наибольшую надежность имеет схема электроснабжения в случае присоединении генератора к шинам напряжением 0,38 кВ, т.к. значение НО здесь максимально. Графики зависимости величины

непараметрической оценки от отношения  $P_g/P_c$  представлены на рисунке 1.

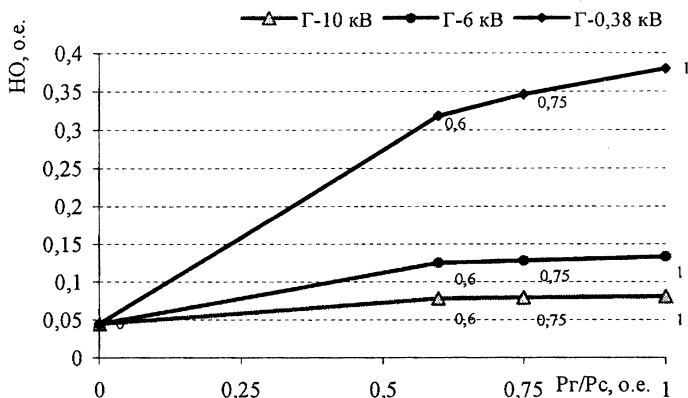


Рисунок 1. Характеристики НО надежности схемы электроснабжения

### Выводы

Расчет надежности системы электроснабжения с помощью непараметрической оценки позволяет различить высоконадежные схемы при неопределенных исходных данных и наличии собственных генерирующих источников на предприятии.

Присоединение генератора электростанции к системе внутреннего электроснабжения и полном покрытии мощности нагрузки предприятия повышает надежность схемы в 2 и более раз; большее увеличение надежности обеспечивается при работе генератора на шины более низких напряжений, а именно 0,38 или 6 кВ.

### Литература

1. Гук, Ю.Б. Теория надежности в электроэнергетике: Учебное пособие для вузов. – Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1990. – 208 с.: ил.

## Учет неопределенности исходной информации при проектировании систем электроснабжения

Анищенко В.А., Кирспу А.Ю.

Белорусский национальный технический университет

Проектирование систем электроснабжения осуществляется на основе известной методики технико-экономических расчетов и энергетике. Основным критерием выбора того или иного варианта служит минимум приведенных затрат. Решающим фактором являются стоимостные показатели сравниваемых вариантов, учитывающие единовременные капитальные вложения и расчетные ежегодные издержки производства. При этом сравниваемые варианты должны быть взаимозаменяемы по надежности и качеству электроснабжения промышленных предприятий.

Обследование действующих систем электроснабжения показывает, что во многих случаях их отдельные элементы и схемы в целом недогружены по сравнению с проектными данными. Встречаются и перегруженные системы, особенно в электроснабжении городов. Число последних будет увеличиваться с подъемом уровня промышленного производства и ростом потребления электроэнергии в коммунально-бытовом секторе. Причиной такого несоответствия является недостоверность расчетных коэффициентов, удельных расходов электроэнергии и других необходимых для расчета нагрузок показателей. Это влечет неоправданное завышение капиталовложений или снижение надежности электроснабжения с соответствующим ему ущербом и недоотпуском продукции.

В связи с этим актуальна разработка методики проектирования систем электроснабжения, учитывающей неопределенность исходных данных, используемых при проектировании, и позволяющей найти разумный компромисс между капитальными затратами на строительство систем электроснабжения и уровнем их надежности. Предлагаем в основу такой методики положить переход от используемых сейчас точечных оценок расчетных электрических нагрузок  $S_p$



к интегральным оценкам  $S_p \pm \Delta S_p$ , характеризующим степень недоверности прогноза нагрузок.

Рассмотрим задачу выбора мощности однотрансформаторной цеховой подстанции, питающей потребителей III категории и не связанной взаимным резервированием на вторичном напряжении с другими подстанциями. В этом случае загрузка трансформатора  $\beta_T$  может быть принята равной 0,95. Выбор производим на основе сравнения суммарных приведенных затрат двух смежных по стандартной шкале мощностей трансформаторов вариантов

$$Z_i = E_H K_i + C_i, \quad (1)$$

$$Z_{i-1} = E_H K_{i-1} + C_{i-1} + Y, \quad (2)$$

где  $Z_i$  и  $Z_{i-1}$  - затраты по вариантам с трансформаторами соответственно большей и меньшей мощности;  $K_i$  и  $K_{i-1}$  - единовременные капитальные затраты;  $C_i$  и  $C_{i-1}$  - постоянные ежегодные эксплуатационные расходы по тем же вариантам;  $E_H$  - нормативный коэффициент экономической эффективности;  $Y$  - ущерб, вызванный ожидаемым вынужденным отключением части потребителей из-за длительного превышения фактической нагрузки номинальной мощности трансформатора  $S_H$ .

Величину ущерба предлагается определять по формуле

$$Y = y_0 \Delta W_{отк}, \quad (3)$$

где  $y_0$  - удельный ущерб, обусловленный предполагаемым вынужденным отключением части потребителей, руб/кВт·ч;  $\Delta W_{отк}$  - ожидаемая величина годового недоотпуска электроэнергии, кВт·ч.

Поскольку ожидаемая величина недоотпуска электроэнергии связана с превышением текущей нагрузки расчетной активной мощности трансформатора  $P_p$ , кВт, то для ее расчета используем следующую формулу

$$\Delta W_{отк} = P_p T_{отк}, \quad (4)$$

где  $T_{отк}$  - ожидаемая средняя величина времени отключения трансформатора в году, зависящая от числа часов его работы в

году  $I_n$ , ч, и от вероятности  $q$  превышения текущей нагрузки значения расчетной мощности.

Расчет вероятности превышения нагрузки расчетного значения будем производить на основании нормального закона распределения нагрузки.

Полная расчетная нагрузка с учетом загрузки трансформатора  $\beta_T$  определяется по формуле

$$S_p = S_H \beta_T. \quad (5)$$

Расчетная активная нагрузка рассчитывается по формуле

$$P_p = S_p \cos \varphi. \quad (6)$$

Принимая расчетное значение  $P_p$  равным максимальной активной нагрузке  $P_{\max}$ , определяем среднегодовое потребление электроэнергии  $W_c$ , кВт·ч,

$$W_c = P_{\max} T_{\max}, \quad (7)$$

где  $T_{\max}$  - время использования максимальной нагрузки, ч.

Тогда среднегодовая потребляемая мощность  $P_c$ , кВт,

$$P_c = \frac{W_c}{8760}, \quad (8)$$

где 8760 – число часов в году, ч.

Среднеквадратическое отклонение от среднего значения мощности  $\sigma$ , кВт, находим по формуле

$$\sigma = P_c \sqrt{k_f^2 - 1}, \quad (9)$$

где  $k_f$  - коэффициент формы графика нагрузки, изменяющийся в пределах 1,05-1,2.

Верхнюю границу среднегодовой мощности  $P_{CB}$ , кВт, определяем по формуле

$$P_{CB} = P_c + \beta \sigma, \quad (10)$$

где  $\beta = 3$  - принятая согласно правилу "трех сигм" кратность меры рассеяния фактической нагрузки относительно среднегодовой мощности.

Тогда вероятность нахождения фактической нагрузки в диапазоне от максимального расчетного значения  $P_p$  до

верхней границы среднегодовой мощности  $P_{CB}$  определяется соотношением

$$q(P_P < P < P_{CB}) = \int_{P_c}^{P_{CB}} f(p) dP - \int_{P_c}^{P_p} f(p) dP. \quad (11)$$

Время вынужденного отключения трансформатора в году рассчитаем по формуле

$$T_{OTK} = T_B q(P_P < P < P_{CB}). \quad (12)$$

Далее по формулам (4) и (3) определяем величину годового ущерба и рассчитываем согласно (1) и (2) приведенные затраты для смежных мощностей трансформаторов. На основании полученных приведенных затрат принимаем в качестве расчетной нагрузки верхнее значение ее интегральной оценки  $S_p + \Delta S_p$  и в зависимости от величины  $\Delta S_p$  формируем шкалу коэффициентов загрузки трансформаторов. В таблице приведены результаты расчетов для следующих исходных данных:  $T_{max} = 4500$  ч,  $T_B = 4500$  ч,  $k_f = 1,05$ ,  $y_0 = 1,3$  руб/кВт·ч,  $\cos \varphi = 0,7$ .

**Таблица**

$S_H$ , кВА	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000	6300
Предлагаемая шкала коэффициентов загрузки трансформаторов $\beta_T$										
Вариация, $\Delta S_p$ , %	0	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94
	10	0,86	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,84
	20	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,75
	30	0,67	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66
	40	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,56
	50	0,48	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47
	60	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
	70	0,29	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
	80	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19

Таким образом, переход от используемой в настоящее время при проектировании точечной оценки расчетной мощности к ее интегральной оценке приводит к увеличению мощностей выбираемых трансформаторов.

## Электрические нагрузки кабельных линий напряжением 6-10кВ

Романов Р.В., Радкевич В.Н.

Белорусский национальный технический университет

Для оценки степени использования пропускной способности элементов электрических сетей используется максимальная получасовая токовая нагрузка, которая принимается в качестве расчётного тока  $I_p$

$$I_p = I_c + \beta \cdot \sigma(I), \quad (1)$$

где  $I_c$  и  $\sigma(I)$  – соответственно среднее значение получасового тока нагрузки и среднее квадратическое отклонение;

$\beta$  – коэффициент, зависящий от заданной доверительной вероятности.

Если за определённый период произведено количество измерений  $m$ , то среднее арифметическое значение тока нагрузки

$$I_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m I_i, \quad (2)$$

а среднее квадратическое отклонение, характеризующее рассеяние результатов измерений, определяется по формуле

$$\sigma(I) = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (I_i - I_c)^2}, \quad (3)$$

где  $I_i$  – ток нагрузки при  $i$ -м измерении.

В тех случаях, когда известны лишь максимальное ( $I_{max}$ ) и минимальное ( $I_{min}$ ) значения тока, при симметричном законе распределения нагрузок оценка рассеяния результатов измерения может основываться на предположении, что интервал в шесть среднее квадратических отклонений обычно включает 99,7% всех наблюдаемых значений. Тогда среднее квадратическое отклонение можно определить по выражению

$$\sigma(I) = R_\sigma / 6, \quad (4)$$

где  $R_\sigma$  – вариационный размах тока нагрузки,

$$R_\sigma = I_{max} - I_{min}. \quad (5)$$

При этом средний ток оценивается приближённо по формуле

$$I_c = (I_{max} + I_{min})/2. \quad (6)$$

Определение  $\sigma(I)$  и  $I_c$  по выражениям (4) и (6) позволяет произвести довольно грубую оценку расчётного тока линии, так как  $R_g$  практически не зависит от изменения токов, а крайние значения токов  $I_{max}$  и  $I_{min}$  могут иметь невысокую статистическую надёжность.

Изменение режима электропотребления в обобщённом виде можно охарактеризовать коэффициентом вариации тока нагрузки, который определяется как

$$\gamma = \sigma(I) / I_c. \quad (7)$$

С учётом (7) выражение (1) можно представить в виде

$$I_p = I_c (I + \beta \cdot \gamma). \quad (8)$$

От коэффициента  $\beta$  существенно зависит величина  $I_p$ . Особенно это влияние сказывается при значительных вариациях тока нагрузки. Коэффициент  $\beta$  выбирают таким, чтобы ошибка при оценке расчётного тока была минимальной. При определении расчётных нагрузок  $\beta$  принимают равным от 1,65 до 2,5. При этом целесообразно учитывать характер нагрузки потребителей, питающихся по рассматриваемой линии. При оценке максимума нагрузки жилых домов значение  $\beta$  принимают равным 2, что соответствует доверительной вероятности 0,95, а общественных зданий, характеризующихся более однородными условиями работы, равным 1,65 при доверительной вероятности 0,9. Расчёт нагрузок промышленных предприятий производится при значении  $\beta$  равном 2,5 (доверительная вероятность 0,99).

При оценке расчётного тока следует определить минимальное количество измерений, которое необходимо выполнить для получения достоверных результатов. С этой целью можно использовать следующее выражение:

$$m = (\beta \cdot \gamma \cdot 100 / \Delta)^2, \quad (9)$$

где  $\Delta$  – допустимая ошибка расчёта,  $\Delta=5-10\%$ .

Если количество измерений известно, то соответствующая ему ошибка расчёта определяется по формуле

$$\Delta = \beta \cdot \gamma \cdot 100 / \sqrt{m}. \quad (10)$$

Для иллюстрации в таблице даны результаты расчёта  $I_p$ ,  $I_c$  и  $\sigma(I)$  произведенного по формулам (1), (2) и (3) на основе измерений получасовых токов в течение суток для двух линий городской сети напряжением 10 кВ. Одна линия выполнена трёхжильным кабелем марки ААБ 3х240-10, а вторая – тремя одножильными кабелями марки АПвП2г-1х300/50-10 с изоляцией из сшитого полиэтилена.

Таблица

Токи нагрузки кабельных линий напряжением 10 кВ

Фаза линии	Значение тока, $A$			$\sigma(I)$ , $A$	$I_p$ , $A$ , при $\beta$		
	max	min	средн.		1,65	2	2,5
Трёхжильный кабель с бумажной изоляцией							
1.1	151,0	50,0	91,44	26,64	135,4	144,72	158,04
1.2	155,0	51,0	90,83	26,72	134,92	144,27	157,63
1.3	149,0	50,0	87,94	25,7	130,35	139,34	152,19
Одножильный кабель с пластмассовой изоляцией							
1.1	27,71	0	13,57	7,64	26,2	28,85	32,67
1.2	29,94	11,31	17,97	5,86	27,64	29,69	32,62
1.3	27,71	0	16,31	5,68	25,68	27,67	30,51

Анализ данных таблицы показывает, что обе линии имеют неравномерную нагрузку фаз. Это объясняется тем, что в городских сетях на формирование нагрузки существенное влияние оказывают однофазные электроприемники. Причём максимальное различие наблюдается для средних нагрузок линии, выполненной одножильными кабелями (32%). Добавление к среднему току величины  $\beta \cdot \sigma(I)$  несколько сглаживает неравномерность (до 4-7%), но не устраняет её. Следовательно, при неравномерной нагрузке выявление в электрической сети кабельных линий, работающих с нагрузкой, близкой к предельно допустимой, необходимо производить по максимальному току наиболее загруженной фазы. Отметим также крайне низкую нагрузку одножильных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена.

**Совершенствование эксплуатации силовых трансформаторов в системах электроснабжения промышленных предприятий**

Трушников А.Л., Радкевич В.Н.

Белорусский национальный технический университет

С целью правильной эксплуатации силовых трансформаторов необходимо осуществлять систематический контроль значений тока нагрузки на высшем и низшем напряжении  $I_1$  и  $I_2$ , тока секционного выключателя  $I_{QВ}$ , симметрии нагрузок, уровня  $\delta$  и температуры  $\Theta_M$  масла или другого жидкого диэлектрика трансформатора, соответствия температуры и нагрузки путем расчета  $\Theta_M=f(I_2)$ , значений напряжения первичной и вторичной стороны  $U_1$  и  $U_2$ , наличия высших гармоник тока  $I_v$ , положения коммутационных аппаратов в цепи трансформаторов  $f_Q$ ,  $f_{QF}$  и между секциями подстанции  $f_{QВ}$ ,  $f_{QF3}$ , число включений трансформатора  $m_T$  со стороны источника питания в течение определенного периода и т.п. При этом параметры  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $\delta$ ,  $\Theta_M$  и  $m_T$  должны находиться в допустимых пределах.

Трансформаторы промышленных объектов, как правило, эксплуатируются без постоянного обслуживающего персонала. Вследствие этого, при отсутствии устройств дистанционного контроля, замеры нагрузок и температуры производятся эпизодически со значительными погрешностями. Это не позволяет отслеживать процесс теплового и вибрационного износа изоляции, а также эффективно осуществлять эксплуатацию силовых трансформаторов. В тоже время относительно компактное расположение цеховых трансформаторных подстанций и стабильность схем распределения электроэнергии на промышленных предприятиях создает предпосылки для внедрения в системах электроснабжения телемеханических автоматизированных систем с функциями измерения, управления и сигнализации.

Для оптимизации эксплуатации силовых трансформаторов промышленных подстанций необходимо два инструмента: теоретический аппарат оптимизации и программно-аппаратный

управляющий комплекс. В данной работе рассматриваются вопросы практического применения теоретических принципов оптимизации, изложенных в [1].

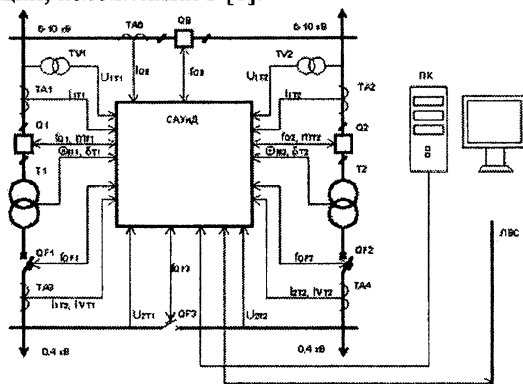


Рис. 1. Структурная схема программно-аппаратного комплекса

На рис.1 представлена схема двухтрансформаторной подстанции и программно-аппаратного комплекса для оптимизации работы силовых трансформаторов Т1 и Т2 понижающей подстанции. Как видно из рисунка, система автоматизированного управления и диагностики (САУД) получает необходимую информацию о работе силовых трансформаторов от измерительных трансформаторов (ИТ) тока  $I_A$  и напряжения  $T_V$ , термодатчиков и вспомогательных контактов выключателей. По заданному критерию определяется алгоритм включений и отключений трансформаторов и подаются соответствующие сигналы на приводы коммутационных аппаратов. Данные о нагрузках, напряжениях, температуре трансформаторов и положении коммутационных аппаратов используются для отображения в реальном времени параметров эксплуатации, принятия решения об отключении одного из трансформаторов и переводе его нагрузки на соседний трансформатор, и занесения в базу данных с целью накопления статистической информации. На основе этих данных можно принимать решения о необходимости проведения ремонтов трансформатора или его замене. Также данные позволяют строить графики нагрузок для анализа электропотребления и прогнозирования нагрузок с целью



оптимизации эксплуатации силовых трансформаторов подстанции и дают возможность в некоторой мере оценить ресурс работы силового оборудования подстанции. Обозначенная на рис.1 одним блоком САУД, содержит в своем составе следующие компоненты: измерительные аналого-цифровые преобразователи (АЦП) с активным входом, сигнальный процессор, управляющий микроконтроллер, буферные каскады, дополнительные входы и выходы, средства коммуникации и источник питания. Также предусмотрен человеко-машинный интерфейс, например, в виде жидкокристаллического индикатора (ЖКИ), на который могут выводиться основные параметры эксплуатации, положение коммутационных аппаратов и др. АЦП предназначен для принятия аналогового сигнала от ИТ и преобразование его в цифровой вид. Применение активного входа снижает нагрузку ИТ. Это обуславливает более широкий динамический диапазон системы измерения и линейную работу ИТ. Сигнальный процессор производит необходимые вычисления на основе полученных от ИТ и преобразованных АЦП данных. Управляющий микроконтроллер осуществляет функции выработки управляющих сигналов, коммуникационные функции, обработку внешних дискретных сигналов, работу с человеко-машинным интерфейсом и др. Присоединение САУД к локальной вычислительной сети (ЛВС) необходимо для записи параметров эксплуатации в базы данных эксплуатации энергетического оборудования.

Разработка и реализации рассмотренного программно-аппаратного комплекса будет способствовать более рациональному использованию энергоресурсов и установленной мощности трансформаторов на промышленных объектах.

### **Литература**

1. А.Л.Трушников, В.Н.Радкевич. Техничко-экономические характеристики силовых трансформаторов промышленных предприятий. Тезисы докладов научно-технической конференции студентов и аспирантов (апрель 2003 года). «Актуальные проблемы электроэнергетики», Минск.: Белорусский национальный технический университет, 2003, - с.58.

**Определение информационных параметров входных сигналов в микропроцессорных токовых защитах**

Ковалевский А.В.  
РУП «Минскэнерго»

Входными сигналами микропроцессорных токовых защит (МПТЗ) являются вторичные токи защищаемого объекта, которые в МПТЗ могут быть представлены амплитудой и фазой или эквивалентными ортогональными составляющими (ОС). К информационным параметрам входных сигналов относятся амплитуды, фазовые сдвиги и частота.

Определение амплитуд входных токов сводится к нахождению амплитудных значений сигналов основной частоты.

Для получения ОС основной частоты предпочтительно использование частотно-независимых формирователей ОС (ФОС) предложенных в [1]. Суть данного метода заключается в том, что для  $U_{вх}$  формируются два дополнительных гармонических сигнала (рис.1), оперируя амплитудами которых, по двум отсчетам мгновенных значений получают значения ОС входного синусоидального сигнала. Такие ФОС обеспечивают стабильность амплитуды сигнала при любой частоте, т.к. в конечную формулу для получения ОС информация о частоте входит в неявном виде.

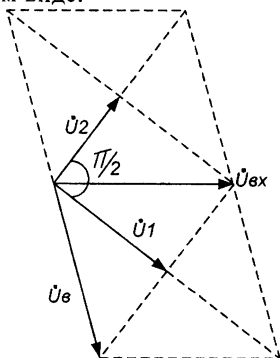


Рис. 1. Векторная диаграмма формируемых сигналов

Амплитуду сигнала основной частоты по двум отсчетам можно вычислить без формирования ОС. В этом случае входной сигнал проходит предварительную аналоговую фильтрацию с помощью фильтра низких частот (ФНЧ). Далее при помощи цифрового фильтра выделяется составляющая основной частоты. Однако, при таком методе характерно возникновение дополнительной погрешности при отклонении промышленной частоты. С учетом частотных свойств фильтров результирующая погрешность может существенно превышать соответствующие значения при вычислении амплитуд по ОС.

В МПТЗ контролируруемыми могут являться интегральные (средние) значения полученных синусоидальных сигналов. Определение сигнала по среднему значению отличается высокой надежностью. В цифровых защитах для реализации данного метода используется соотношение:

$$U_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |u_i|, \quad (1)$$

где  $n$  – количество отсчетов мгновенных значений сигнала на интервале усреднения;

$u_i$  – отсчеты мгновенных значений сигнала, зафиксированные с шагом  $\Delta t$ .

Для получения минимальных погрешностей определения  $U_{\text{ср}}$  шаг должен согласовываться с расчетной частотой входного сигнала. При постоянном  $\Delta t$  отклонение частоты от расчетной величины обуславливает увеличение указанных погрешностей. Добиться их минимизации можно применив алгоритм, имеющий минимальную чувствительность к изменениям промышленной частоты [2]. Для этого в формуле (1) необходимо снизить удельный вес отсчетов с наибольшими отклонениями моментов измерения от расчетных, и одновременно с этим увеличить удельный вес отсчетов с минимальными отклонениями моментов измерения от расчетных, приняв во внимание то, что вычисленное по выражению (1) среднее значение сигнала относится к моменту измерения отсчета  $u_j$ , соответствующего половине интервала наблюдения рис.2. При данном условии значение  $u_j$  всегда соответствует расчетному моменту измерения независимо от частоты.

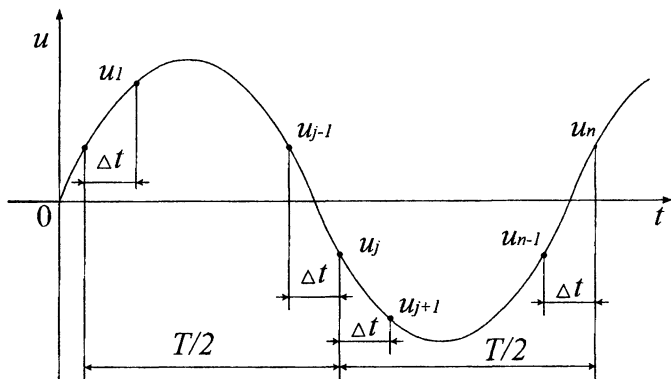


Рис. 2. Порядок фиксации мгновенных значений синусоидального сигнала

В случае при  $n = 10$  меньшие значения дополнительной погрешности при отклонении частоты от 50 Гц обеспечивает выражение (2). В диапазоне отклонения частоты 48-50 Гц по (2) можно получить действующее значение синусоидального сигнала с коэффициентом пульсаций, не превышающим 1 – 17% в диапазоне изменения частоты 48- 50 Гц.

$$U_{\text{ср}} = \frac{1}{30} [ |u_1| + |u_2| + |u_8| + |u_9| + |u_{10}| + 5(|u_3| + |u_4| + |u_5| + |u_6| + |u_7|) ] \quad (2)$$

Такой метод эффективен при количестве отсчетов мгновенных значений сигнала на интервале усреднения не более 12.

### Литература

1. Романюк, Ф.А. Информационное обеспечение микропроцессорных защит электроустановок. – Мн.: УП "Технопринт", 2001. – 133 с.
2. Романюк, Ф.А., Ковалевский, А.В. Получение средних значений входных сигналов в микропроцессорных защитах электроустановок // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и инт. объединений СНГ). – 2005. - №1- С.5-8.

## Цифровая фильтрация входных сигналов в микропроцессорных защитах электроустановок

Гурьянчик О. А.

Белорусский национальный технический университет

В микропроцессорных защитах источником полезной информации, как правило, являются сигналы основной частоты. Эти сигналы с целью выделения основных гармоник проходят цифровую фильтрацию [1]. В основу цифровых фильтров положен метод, базирующийся на модели входного сигнала, содержащего помимо основной гармоники апериодическую составляющую, затухающую по экспоненте, и высшие гармоники:

$$u_{\text{вх}}(t) = U_a e^{-\frac{t}{\tau}} + \sum_{m=1}^M U_m \sin(m\omega_0 t + \varphi_m), \quad (1)$$

где  $U_a$  – амплитуда апериодической составляющей;  $\tau$  – постоянная времени затухания апериодической составляющей;  $M$  – порядок наивысшей гармоники, содержащейся во входном сигнале;  $U_m$  – амплитуда  $m$ -й гармоники;  $\omega_0$  – основная угловая частота;  $\varphi_m$  – начальная фаза  $m$ -й гармоники.

Предварительно данный сигнал подвергается обработке посредством аналогового фильтра нижних частот (ФНЧ). При этом ослабляются высшие гармоники, а сигнал основной частоты и апериодическая составляющая пропускаются. С учетом факта конечного времени наблюдения защитой за сигналами, которое составляет около одного периода промышленной частоты, можно считать, что даже при наличии апериодической составляющей входной сигнал является периодическим.

Фиксированные на интервале наблюдения  $n$  мгновенных значений сигнала  $u(t)$  через шаг  $\Delta t$  связаны между собой системой уравнений [2], решением которой является выражение:

$$u_n = \sum_{i=1}^n (a_i \cup b_i) u_i, \quad (2)$$

где  $a_i, b_i$  – постоянные коэффициенты;  $u_i$  –  $i$ -й отсчет сигнала.

Выражение (2) представляет собой цифровые фильтры, выделяющие основную гармонику из сигнала  $u(t)$  с граничной

частотой спектра  $f_{гр}$ . Частота  $f_{гр}$  спектра сигнала, который может быть однозначно обработан этими фильтрами, определяется количеством мгновенных отсчетов значений  $n$  на интервале наблюдения.

Постоянные  $a_i$ ,  $b_i$ , называемые коэффициентами цифровых фильтров, зависят от  $\omega_0$ . Их числовые значения для  $\omega_0 = 100\pi$  при различных  $n$  и  $\Delta t$  представлены в табл. 1.

Таблица 1

Кол-во отсчетов $n$		10				12			
Шаг дискретизации $\Delta t$ , с		0,00222		0,0025		0,00181		0,002	
Кoeffициент		$a_i$	$b_i$	$a_i$	$b_i$	$a_i$	$b_i$	$a_i$	$b_i$
Номер отсчета $i$	1	0,111	0,305	0,125	0,125	0,091	0,310	0,100	0,238
	2	0,170	-0,143	0,177	0,0	0,153	-0,098	0,162	-0,048
	3	0,039	-0,217	0,0	-0,250	0,076	-0,165	0,062	-0,190
	4	-0,111	-0,193	-0,177	-0,177	-0,026	-0,180	-0,062	-0,190
	5	-0,209	-0,076	-0,025	0,0	-0,119	-0,137	-0,162	-0,118
	6	-0,209	0,076	-0,177	0,177	-0,175	-0,051	-0,200	0,0
	7	-0,111	0,193	0,0	0,250	-0,175	0,051	-0,162	0,118
	8	0,038	0,219	0,177	0,177	-0,119	0,137	-0,062	0,190
	9	0,170	0,143	0,125	-0,125	-0,026	0,180	0,062	0,190
	10	0,111	-0,305	0,0	-0,177	0,076	0,165	0,162	0,118
	11					0,153	0,098	0,100	-0,238
	12					0,091	-0,310	0,0	-0,069

Цифровые фильтры (2) с этими коэффициентами на конец интервала наблюдения приводят к алгоритму Фурье и подавляют постоянную составляющую и все гармоники с частотами, не превышающими  $f_{гр}$ . Гармоники с более высокими частотами подавляются аналоговым ФНЧ.

Говоря о цифровой фильтрации и цифровых фильтрах нельзя не сказать об основных показателях цифровых фильтров для микропроцессорных защит электроустановок. Таковыми являются частотные и динамические свойства фильтров. Они определяются частотой среза  $f_{ср}$  ФНЧ, а также  $n$  и  $\Delta t$ , с которыми выполняются цифровые фильтры. Выбор данных параметров осуществляется на основе компромисса между

частотными свойствами и быстродействием при помощи метода последовательных уступок.

Для этого методом вычислительного эксперимента получают амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) цифровых фильтров. Для выбора оптимальных параметров фильтров рассчитываются зависимости коэффициента передачи  $H$  и времени установления выходного сигнала  $t_y$  от частоты среза  $f_{cp}$  ФНЧ. Первая зависимость позволяет оценить степень подавления определенной помехи. Вторая зависимость характеризует быстродействие.

Динамические свойства фильтров оцениваются по переходным характеристикам. Следует отметить, что переходный процесс состоит из двух стадий. Вначале устанавливаются процессы в ФНЧ. Длительность этого процесса зависит от  $f_{cp}$  ФНЧ. При уменьшении  $f_{cp}$  инерционность ФНЧ возрастает. На второй стадии устанавливаются процессы в цифровом фильтре. При увеличении  $n$  время установления этого процесса увеличивается, также увеличивается избирательность фильтра, но снижается длительность первой стадии за счет увеличения  $f_{cp}$  ФНЧ. В конечном итоге с увеличением  $n$  быстродействие возрастает. Также необходимо добавить, что приемлемый характер переходного процесса обеспечивается в том случае, если все коэффициенты цифрового фильтра по модулю меньше единицы.

Из всего выше сказанного следует, что выбор параметров  $f_{cp}$  ФНЧ, а также  $n$  и  $\Delta t$ , с которыми выполняется цифровой фильтр, оказывают существенное влияние на такие основные показатели цифровых фильтров микропроцессорных защит электроустановок, как частотные и динамические свойства.

### Литература

1. Романюк, Ф. А. Информационное обеспечение микропроцессорных защит электроустановок: Учеб. пособие. – Мн.: УП «Технопринт», 2001. – 133 с.
2. Романюк, Ф. А., Рождественский, А. В. Адаптивные формирователи ортогональных составляющих сигналов для микропроцессорных защит // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2004. – № 5. – С. 5-15.

**Систематизация и анализ данных по состоянию высоковольтного оборудования, полученных экспериментальным путем с использованием компьютерного термографа**

Свистуленко А.В., Степанчук К.Ф.

Белорусский национальный технический университет

Белых Е.

СЭО РУП «Минскэнерго»

Тепловизионный контроль и тепловизионная диагностика основана на том, что наличие некоторых видов дефектов высоковольтного оборудования вызывает изменение температуры участков поверхности дефектных элементов и, как следствие, изменение интенсивности собственного инфракрасного (ИК) излучения, которое может быть зарегистрировано тепловизионными приборами [1].

С 2000 г. по 2004 г. произведен термографический контроль измерительных трансформаторов тока напряжением 330 кВ и 110 кВ, вводов 330 кВ силовых автотрансформаторов, измерительных трансформаторов напряжения 330 кВ и их контактных соединений и участков ошиновки на подстанциях Белорусской энергосистемы. Методом компьютерной термографии проведена оценка технического состояния электротехнического оборудования подстанций, выявлен ряд дефектов, возможные причины неисправностей. При обследовании работающего под напряжением маслонаполненного высоковольтного оборудования получена информация об его тепловом состоянии, распределении тепловых полей и их соответствии [2].

Проведение термографического контроля проводилось портативным компьютерным термографом ИРТИС-200 – сканирующим инфракрасным прибором для визуализации и измерения тепловых полей.

При обследовании 129-ти фаз ТТ-330 кВ и 30-ти фаз ТТ-110 кВ выявлены следующие дефекты и аномальные нагревы фарфоровых покрышек:

а) превышение температуры оголовков фазы 2В2 на 3°С и фазы «С» на 9,6° С по отношению к оголовку фазы «А» ТТ-110



кВ на присоединении ВЛ-110 кВ "ЗСПВ-2". Причина: повышенный нагрев первичной обмотки ТТ из-за роста переходных сопротивлений;

б) превышение температуры аппаратного зажима ТТ-330 кВ фазы «С» ВЛ-440 по отношению к фарфору на  $3,1^{\circ}\text{C}$ . Причина: повышение переходного сопротивления аппаратного зажима ТТ-330 кВ;

в) превышение температуры аппаратного зажима ТТ-330 кВ фазы «С» ВЛ-433 по отношению к соседней фазе этого присоединения на  $2,7^{\circ}\text{C}$ . Причина: повышение переходного сопротивления аппаратного зажима ТТ-330 кВ.

При обследовании 60-ти фаз ТН-330 кВ выявлены следующие дефекты и аномальные нагревы фарфоровых покрышек:

а) превышение температуры нагрева нижнего каскада ТН-330 кВ присоединения ВЛ-430 фазы «С» относительно среднего и верхнего каскада на  $2,9^{\circ}\text{C}$ . Причина не выяснена, рекомендовано взять пробу масла из нижнего каскада;

б) превышение температуры нагрева среднего каскада ТН-330 кВ присоединения ВЛ-342 фазы «С» относительно верхнего каскада на  $2,6^{\circ}\text{C}$ . Причина не выяснена, рекомендовано взять пробу масла из нижнего каскада;

в) превышение температуры нагрева нижнего каскада ТН-330 кВ присоединения ВЛ-342 фазы «В» относительно верхнего каскада на  $4,2^{\circ}\text{C}$ . Причина не выяснена, рекомендовано взять пробу масла из нижнего каскада;

г) превышение температуры нагрева нижнего каскада ТН-330 кВ присоединения ВЛ-342 фазы «А» относительно среднего каскада на  $2,6^{\circ}\text{C}$ . Причина не выяснена, рекомендовано взять пробу масла из нижнего каскада.

При обследовании 16-ти фаз вводов 330 кВ силовых автотрансформаторов выявлено превышение температуры оголовника ввода АТ-2 ПС-330 «Борисов» 330 кВ фазы "А" по отношению к фазе «В» на  $2,8^{\circ}\text{C}$ . Причина: некачественная пайка шпилек фазы «А».

Причинами изменения переходного сопротивления контакта являются усилие нажатия, температура, состояние контактной поверхности, материал контакта.

## Заключение

1. При ИК-контроле трансформаторов тока 110-330 кВ [2] рекомендуют браковать ТТ, отличающиеся между собой на  $0,3^{\circ}\text{C}$ . Наличие такой разницы может указывать на начальную стадию развития распределенного дефекта или на сильно развитый местный дефект. А может указывать лишь на наличие остаточной намагниченности магнитопровода ТТ после отключения тока КЗ. Все эти обстоятельства необходимо немедленно выяснить на основе дополнительного обследования в объеме:

- ГХ-анализ газов, растворенных в масле;
- осциллографирование формы рабочего тока;
- снятие вольтамперной характеристики (ВАХ);
- измерение  $\text{tg}(\delta)$  основной изоляции под рабочим напряжением, по результатам которого принять окончательное решение [1].

2. Повышенные перегревы ТН могут быть обусловлены следующими причинами:

- дополнительными потерями в стали магнитопровода;
- увлажнением и загрязнением масла;
- конструктивными или технологическими факторами;
- витковыми замыканиями в обмотках.

3. На вводах силовых автотрансформаторов тепловизионный контроль является вспомогательным и позволяет выявить только грубые дефекты, например, образование короткозамкнутых контуров в расширителе ввода или наличие дефектных контактных соединений. Выявляется также снижение уровня масла во вводе или, например, наличие препятствий для нормальной конвекции масла между изоляционным остовом ввода и его фарфоровой крышкой [4].

4. В целом при проведении ИК-контроля описанного выше высоковольтного оборудования выявлена причина повышенного нагрева – переходные сопротивления в зонах контактов. Учитывая, что в период измерения величины нагрузок по линиям 110-330 кВ были в пределах от 10 до 25% от номинальных и сильное возрастание степени нагрева от токов нагрузки, повторное обследование нужно провести при нагрузке, близкой к номинальной.

Поэтому, с учетом загрузки оборудования, сроков эксплуатации этого оборудования (более 20 лет) и трудностей при проведении ИК-контроля на практике (различные побочные явления: окружающая среда и атмосфера, неравномерное распределение загрязнения фарфора, разный цвет фарфоровых рубашек, погодные условия и др.), возможно, следует пересмотреть существующие нормы испытаний и методику проведения ИК-диагностики, а именно; упростить и повысить критерии браковки применительно к условиям Республики Беларусь.

### **Литература**

1. Сборник материалов семинара «Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования». Выпуск 17: «Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования, зданий и сооружений на основе приема излучений в инфракрасном спектре». / Поляков В.С., Белоусов Ю.И., Осотов В.Н., Таджибаев А.И., Гасс А.А. / Издание Петербургского энергетического института повышения квалификации руководящих работников и специалистов. Минэнерго РФ. – СПб., 2002. – 127 С.
2. Нормы и объем испытаний электрооборудования Белорусской энергосистемы / Под общей редакцией комиссии: Кордуба В.Г., Сивца Л.М., Бабочкина В.Т. и др. / Концерн «БЕЛЭНЕРГО», НИГП «БелТЭИ». – Минск, 1999 г. - 242 С.
3. Бажанов С.А. Инфракрасная диагностика электрооборудования распределительных устройств. М. НТФ «Энергопрогресс», «Энергетик», 2000. – 76 С.
4. Поляков В.С. Технологии тепловизионной диагностики электрооборудования и опыт их использования (Сборник материалов семинара «Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования». Выпуск 13: «Современные проблемы инфракрасной термографии»). – Петербургский энергетический институт повышения квалификации, СПб, 2001.

## **Программа механического расчета гибких токопроводов электроустановок энергосистем**

Бладыко Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Цель механического расчета - определение возникающих в проводах и определение возникающих в опорных конструкциях напряжений и обеспечение в любой точке пролета требующихся по ПУЭ минимальных расстояний до различных объектов при всех возможных видах нагрузок, принятых при проектировании.

В отличие от проводов ВЛ гибкая ошиновка РУ подвержена воздействию не только распределенных, но и сосредоточенных нагрузок, обусловленных действием проводов отпаяк к электрическим аппаратам, шлейфов, зажимов, а также тяжёлых гирлянд изоляторов. Точный расчет механических напряжений возможен при представлении проводов гибкой упругой нитью, что позволяет кардинальным образом решить задачу учета упругих и температурных удлинений провода в различных режимах климатических воздействий. Поэтому в основу векторно-параметрического метода механического расчета гибкой ошиновки РУ и проводов ВЛ положена расчетная модель проводов в виде гибкой упругой нити [1, 2].

Дифференциальные уравнения второго порядка, описывающие статику гибкой упругой нити [1], являются нелинейными. Их численное решение производится разностным методом с помощью ЭВМ [2]. Система конечно-разностных уравнений решается на основе вложенных друг в друга итераций: относительно координат, тяжения или длины провода. При наличии ответвлений к электрическим аппаратам и подвесных гирлянд изоляторов добавляются еще итерации по координатам точек их крепления.

Расчет климатических нагрузок автоматизирован и производится с использованием карт районирования территории по ветру и гололеду. При этом учитываются микроклиматические особенности, а также физико-механические параметры и геометрические размеры ОРУ. При вычислении нагрузок от ветра и гололеда в соответствии с требованиями новой редакции ПУЭ учитываются не только

влияние длины пролета, неравномерность скоростного напора ветра по пролету, высота подвеса провода, но и тип местности, региональные коэффициенты по ветру и гололеду, коэффициенты надежности и условий работы.

Пакет компьютерных программ MR21, работающий в одной интегрированной среде, позволяет ввести исходные данные, выполнить расчет, просмотреть и распечатать его результаты. Основными программы пакета являются MR1 и MR2.

MR1 представляет собой программу механического расчета гибкой ошиновки распределительных устройств в различных климатических режимах, основанную на модели проводов и гирлянд изоляторов в виде гибкой упругой нити.

MR2 - модифицированная программа расчета, в которой для ускорения вычислений в уравнениях в качестве тяжения провода принимается его горизонтальная составляющая. MR2 используется для пролетов с малыми стрелами провеса.

Программы позволяют определить тяжение и положение гибкой ошиновки РУ и проводов ВЛ под действием гололедных и ветровых нагрузок. Учитывается разность высот подвеса, натяжные гирлянды изоляторов, распорки, а также отпайки (до трех) к электрическим аппаратам с учетом их реального расположения в РУ. Они пригодны для расчета монтажных режимов при способе монтажа с одной гирляндой в пролете и различных вариантах монтажа отпаяк, а также позволяют решить обратную задачу: по известной стреле провеса определить тяжение провода.

Расчет проводов может выполняться в 12-ти климатических режимах. Число исходных режимов может быть равным 1 или 2. При двух исходных режимах программа выбирает более тяжелый режим климатических нагрузок, при котором усилие от ошиновки на опорные конструкции максимальны. Указанный режим принимается за исходный. В этом режиме по заданному тяжению или стреле провеса производится расчет длины гибкой ошиновки до растяжения, которая является основой для расчета остальных режимов.

Монтажные режимы можно рассчитывать как при наличии свободно висящих отпаяк, не закрепленных к электрическим аппаратам, так и при их отсутствии во время монтажа.

Результаты расчета представляют собой: таблицы исходных данных и расчетных параметров: тяжений, отклонений и стрел провеса проводов, усилий на опоры, нагрузок на провода и гирлянды изоляторов. Определяются максимальные стрелы провеса и горизонтальные отклонения, а также стрелы провеса в заданных точках в проекциях на горизонтальную и вертикальную оси. Усилия от проводов на опоры, от отпаек на ошиновку выводятся в проекциях на оси координат.

Работу с программами упрощают встроенная помощь, диагностика исходных данных проектировщика, наличие каталогов проводов и гирлянд изоляторов, а также возможность их корректировки и обновления. Программы позволяют построить горизонтальную и вертикальную проекции пролета для каждого климатического режима.

Последняя версия пакета программ MR21 № 2.19 от 12.07.2004 имеет одну интегрирующую среду, подключающую программы MR1 и MR2, файлы исходных данных, каталоги проводов и гирлянд изоляторов, файлы графической обработки информации и вывода на печать. Кроме того, в пакете введены контрольные примеры расчета, дубли файлов каталогов и исходных данных. Введена диагностика исходных данных на их принадлежность диапазону допустимых значений. Увеличено число данных по гирляндам изоляторов, вариантам их расположения. Расчет климатических нагрузок производится в соответствии с требованиями новой редакции ПУЭ.

### **Литература**

1. Стрелюк, М.И., Сергей, И.И., Бладыко, Ю.В. Численный метод расчета статики гибкой ошиновки ОРУ в различных режимах климатических воздействий // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений).- 1983.- № 8.- С. 8-14.
2. Стрелюк, М.И., Сергей, И.И., Бладыко, Ю.В. Программа механического расчета гибкой ошиновки РУ в различных режимах климатических воздействий // Инв.Н ГосФАП - 11007594, инв.№ РФАП БССР - 00143.- Минск: 1984.- 12 с.

**Экономичное размагничивающее устройство**

Михальцевич Г.А.

Белорусский национальный технический университет

Размагничивающие устройства (РУ) находят самое широкое применение на производстве и в быту. Они могут применяться в виде отдельных устройств, например, соленоидов, через обмотку которых протекает ток промышленной частоты. Через них пропускают стальные и чугунные изделия с целью их размагничивания на заводах. Производятся малогабаритные устройства, для размагничивания магнитных головок в видео и звукозаписывающей аппаратуре. РУ применяются практически в каждом современном телевизоре и мониторе с электроннолучевой трубкой с целью её размагничивания. Размагничивающее устройство (РУ) включается после поступления питания на прибор. Широкое применение РУ получили во многих приборах неразрушающего контроля ферромагнитных изделий, например ФИТАН-3М, ФИТАН-4, ФИТАН-5И, разработанных в 70-90г.г. в АН БССР и других.

Существует несколько способов размагничивания изделий. Среди них способ, заключающийся в размагничивании изделия переменным магнитным полем, амплитуда которого плавно уменьшается от некоторого максимального значения до нуля или некоторого минимального значения, например, в телевизорах, когда размагничивающая катушка подключена через позистор, который при нагревании его увеличивает свое сопротивление. Спустя 15-20 секунд ток через катушку становится незначительным и он не вызывает существенного искажения изображения на экране. Это устройство имеет один существенный недостаток-это длительный цикл подготовки к очередному циклу размагничивания, из-за длительного (несколько минут) остывания позистора.

На предприятиях размагничивание контролируемых изделий осуществляется путем плавного уменьшения тока в соленоиде или путем удаления детали из центральной части соленоида на расстояние, на котором напряженность поля приближается к нулю. Эти устройства имеют большие размеры и потребляют большую мощность от источника питания. Кроме того,

регулируемый автотрансформатор, используемый чаще всего для регулировки тока, имеет низкую надежность.

В приборах неразрушающего контроля для оценки твердости ферромагнитных изделий применяются РУ, основанные на разряде конденсатора через размагничивающую катушку или заряде двух конденсаторов через два диода и размагничивающую катушку. Во втором случае диоды включены противоположными полюсами с одной стороны, последовательно с ними соединены конденсаторы, соединенные вместе с другой стороны, и последовательно соединенной с ними катушкой размагничивания. Эти методы используют экспоненциальный разряд (заряд) конденсатора (конденсаторов) через размагничивающую катушку и при необходимости токоограничивающий резистор, включенный последовательно с ними. Может также использоваться транзисторный регулятор напряжения или тока для изменения магнитного поля в размагничивающей катушке. Эти устройства имеют низкий КПД. Так методам, использующим экспоненциальный закон заряда или разряда конденсатора необходим цикл подготовки, включающийся в заряде или разряде конденсатора (конденсаторов). При использовании транзисторного регулятора в линейном режиме на нем рассеивается большая мощность. При этом транзисторы устанавливаются на охлаждающие радиаторы. Импульсным транзисторным или тиристорным регулятором напряжения трудно обеспечить качественное размагничивание из-за бросков тока в катушке размагничивания. Кроме того, они создают широкий спектр радиопомех.

Лучшими параметрами по эффективности или экономичности и производительности обладает разработанное РУ. На рис.1 представлена его функциональная схема. РУ содержит, источник 1 переменного напряжения, токоограничивающий резистор R1, первый и второй тиристорные ключи 2 и 3, первый и второй размагничивающие катушка L1 и L2, первый и второй конденсаторы C1 и C2, третий ключ 4, нуль орган 5, блок четности 6, блок запуска 7, преобразующий блок 8.

РУ работает следующим образом. С выхода источника 1 переменное напряжение поступает на вход нуль органа 5, на выходе которого при входном напряжении близком к нулю,



появляется короткий импульс, поступающий на вход блока четности 6 и блока запуска 7. Блок запуска выполнен в виде ключа пропускающего короткий импульс по команде оператора с нуля органа 5 на вход времязадающего блока 8.

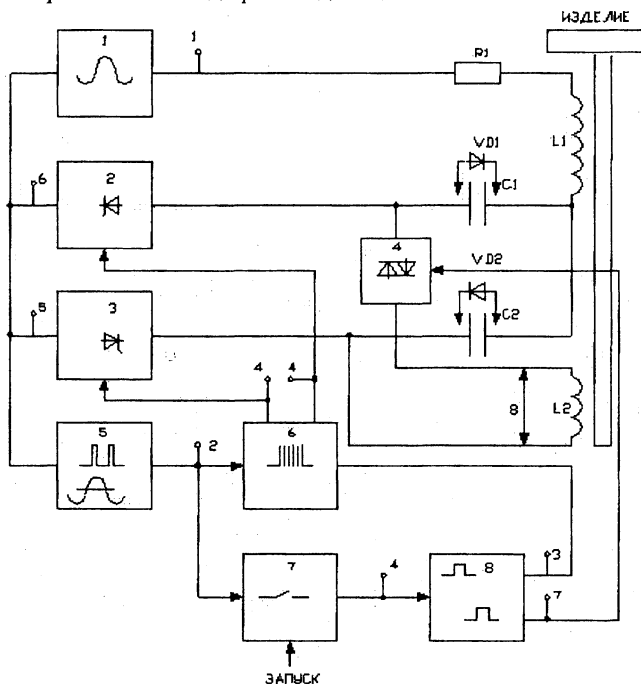


Рис.1. Функциональная схема экономичного РУ

Времязадающий блок формирует управляющие сигналы для управления ключами 2 и 3 или ключом 4 с задержкой между ними. Он выполнен на микросхемах-таймерах типа КР1006ВИ1. Первый управляющий сигнал разрешает работу блока четности 8, который вырабатывает управляющие импульсы на открывание первого и второго тиристорных ключей 2 и 3. Причем ключи 2 и 3 поддерживаются в открытом состоянии на время прохождения через каждый из них своей полуволны переменного напряжения. Таким образом, переменное напряжение от источника 1 через ключи 2 и 3,

токоограничивающий резистор R1 и конденсаторы C1 и C2 поступает на первый размагничивающий контур L1, по которому начинает течь переменный электрический ток.

Так как ключи 2 и 3 открываются в момент времени, когда переменное напряжение близко к нулю (около 2В), броски электрического тока в размагничивающем контуре L1 отсутствуют. По мере прохождения по контуру L1 электрического тока конденсаторы C1 и C2 заряжаются, так что амплитуда переменного размагничивающего тока уменьшается, стремясь к нулю.

Задержка включения второго управляющего сигнала блока 6 необходима для того, чтобы успели закрыться ключи 2 и 3 после окончания первого управляющего сигнала блока 6.

Второй управляющий сигнал по второй команде с блока 7 включает ключ 4, выполненный на симметричном тиристоре типа КУ208Г. При этом заряженные конденсаторы C1 и C2 начинают разряжаться через ключ 4 и второй размагничивающий контур L2, в результате чего возникает затухающий колебательный процесс и через второй размагничивающий контур L2 течет убывающий по амплитуде переменный электрический ток.

Управляющие сигналы блока 8 охвачены блокировочными связями предотвращающими одновременное их срабатывание. После окончания второго управляющего сигнала устройство приводится в исходное состояние.

Если потребуется более качественное размагничивание, полный цикл работы устройства для размагничивания изделий может состоять из двух циклов размагничивания. При этом имеется в виду заряд и разряд конденсаторов C1 и C2, каждый из циклов является одновременно подготовительным для последующего цикла размагничивания.

Диоды VD1 и VD2 устанавливаются в схеме РУ, когда C1 и C2 являются электролитическими конденсаторами.

Данное устройство имеет более высокую производительность, так как в нем отсутствуют затраты времени на подготовительные циклы и более высокий КПД, так как затраты на одно размагниченное изделие уменьшаются за счет сокращения затрат электроэнергии на работу устройства в подготовительном цикле.

**Исследование возможностей моделей трансформаторов в системе динамического моделирования MatLab**

Новаш И.В.

Белорусский национальный технический университет

Вычислительная система MatLab [1] предназначена для выполнения сложных научно-технических расчетов практически в любой области науки и техники. Система содержит большое количество блоков выполнения математических операций (так называемые *т.файлы*). В библиотеках проблемно-ориентированных пакетов (Toolboxes) имеется большое количество виртуальных блоков, в которых реализованы модели элементов электротехнических и радиотехнических устройств. Важнейшей особенностью системы MatLab является возможность создания пользователем своих *т.файлов*, библиотечных блоков, включения их в соответствующие библиотеки и использования в своих разработках наравне с основными блоками.

Наибольший интерес представляет использование системы MatLab в режиме динамического моделирования. Для этого используется пакет Simulink [2]. При использовании этого пакета для исследования электрических режимов не требуется разработка полного математического описания исследуемой системы. Модель системы составляется на основе структурной схемы из функциональных блоков, имеющих в соответствующих библиотеках системы Simulink - MatLab.

Для моделирования электроэнергетических систем и устройств, в том числе и трехфазного исполнения, предназначен пакет системы Simulink Power System Blockset [2]. В состав этого пакета входят библиотеки источников электрической энергии и сигналов, линейные и нелинейные компоненты электротехнических и электронных устройств, устройства энергетической электроники, электрические машины и трансформаторы, измерительные, коммутационные и контрольные устройства. Используя виртуальные блоки, можно создавать модели самых разных по сложности энергетических систем и устройств, исследовать их рабочие и аварийные режимы. Точность и достоверность результатов исследования

при этом будет в значительной степени зависеть от того, насколько полно и глубоко отражаются физические процессы в отдельных моделях соответствующих виртуальных блоков.

В данной работе проведен анализ моделей трансформаторов, имеющихся в библиотеке пакета Power System Blockset. При моделировании таких электроэнергетических объектов, как электрические подстанции, блоки генератор-трансформатор электростанций, силовые трехфазные трансформаторы являются основными объектами моделирования, достоверность моделей которых в большей степени определяет достоверность всех результатов вычислительного эксперимента. Для достоверности моделирования релейных защит и автоматики большое значение имеет достоверность представления физических процессов в однофазных трансформаторах (измерительных трансформаторах тока и напряжения).

В пакете Power System Blockset имеются модели линейных и нелинейных двух и трех обмоточных однофазных и трехфазных трансформаторов. Схема модели линейного однофазного трансформатора соответствует уравнениям T-образной схемы замещения. Исходными данными являются индуктивность  $L_m$  и сопротивление потерь в сердечнике  $R_m$ , а также омические сопротивления  $R_i$  и индуктивности рассеяния  $L_i$  отдельных обмоток ( $i=1, 2, 3$ ). Схема модели нелинейного однофазного трансформатора отличается от схемы линейного трансформатора тем, что индуктивность  $L_m$  заменена на нелинейную индуктивность  $L_{sat}$ . Нелинейность трансформатора учитывается характеристикой намагничивания магнитопровода. Допускается два вида этой зависимости, отличающиеся числом опорных точек и поведением зависимости индукции в области малых значений напряженности магнитного поля.

Трехфазные трансформаторы с различными схемами соединения обмоток представляются соответствующими схемами включения трех однофазных трансформаторов.

Для сравнительной оценки результатов моделирования в системе SIMULINK была составлена модель понизительной трансформаторной подстанции [3], состоящая из библиотечных блоков трехфазной питающей системы, линии электропередачи, системы шин 10,5 кВ с присоединенной трехфазной нагрузкой, трехфазного силового трансформатора, системы шин 0,4 кВ с

присоединенными потребителями. На стороне 0,4 кВ были сформированы модели трех нагрузочных трехфазных линий: линии с нагрузкой, в которой возникает КЗ, линии с нагрузкой, в которой производится оценка влияния КЗ, возникшего на соседней линии, и линии с суммарной нагрузкой оставшихся нагрузок трансформаторной подстанции. Режим включения трансформатора, КЗ и различные виды замыканий имитировались однофазными выключателями в структурной схеме модели, у которых можно задавать момент замыкания или размыкания контактов. Результаты аварийных режимов при различных видах КЗ сравнивались с расчетами, получаемыми по программе, написанной на языке Фортран на основе уточненной модели трехфазного трансформатора с учетом геометрии и неодинаковости магнитных потоков магнитопровода [3], предназначенной для исследования аварийных режимов понизительной подстанции методом вычислительного эксперимента на ЭВМ.

Исследования показали, что расчеты переходных процессов при КЗ получаются в среде MatLab только при достаточно больших значениях индуктивностей элементов электрической цепи, в том числе и индуктивностей рассеяния обмоток трансформатора.

Для получения достоверных результатов моделирования электроэнергетических объектов с трехфазными трансформаторами в системе динамического моделирования Simulink - MatLab необходимо разработать и использовать виртуальные пользовательские блоки трансформаторов с более точным представлением физических процессов и возможностью использования паспортных значений трансформатора в качестве исходных данных модели.

## **Литература**

1. Ануфриев, И.Е. Самоучитель MatLab 5.3/6.x. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003, - 736 с.: ил.
2. Дьяконов, В. Simulink 4. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2002, - 528 с.: ил.
3. Новаш, И.В. Математические модели для исследования коммутационных режимов силовых трансформаторов. Вестник БНТУ, 2002, №6, с. 73-78.

# **Теплоэнергетика**

## Оценка работы ТЭС

Шичко С.Н.

Белорусский национальный технический университет

Эффективность функционирования тепловых электрических станций определяется рядом факторов: экономичностью, надежностью, безопасностью и экологичностью. Все приведенные показатели характеризуют уровень качества электростанций [1]. Влияние промышленности и в частности энергетики на окружающую среду имеет возрастающую тенденцию и ограничение негативного экологического воздействия остается одной из приоритетных задач. В [2] дается оценка ущерба от воздействия ЭС на окружающую среду с учетом затрат на "здравоохранение". При этом показано, что учет всех затрат может повышать себестоимость отпускаемой от ЭС продукции на 15-30 %. На наш взгляд следует избегать детерминированного подхода в связке "экология—деньги", т.к. методы оценки экологического ущерба могут значительно варьироваться, а в некоторых случаях ценностный фактор может быть выше финансовой прибыли (например, угрозы здоровью или жизни).

В работе [3] представлено решение задачи синтеза двух показателей: надежности и экономичности с помощью обобщенной функции полезности. В этой работе критерий представлен в мультипликативной форме, аналогичного подхода будем придерживаться и мы при расчете функции полезности.

$$g_i = x_1 + x_2 y_i, \quad (1)$$

где  $g_i$  – значение параметра оптимизации по безразмерной шкале;  $x_i$  – коэффициенты.

$$d_i = \exp[-\exp(-g_i)]. \quad (2)$$

При построении шкалы полезности, устанавливающей соотношение между значением отклика  $y_i$  и соответствующим ему значением частной функции полезности  $d_i$ , итоговая функция представляет собой среднее геометрическое между функцией надежности и функцией экономичности:

$$D_{н+э} = \sqrt{d_n \cdot d_э}. \quad (3)$$

Обобщенная функция полезности применяется при сравнении разнородных характеристик, при этом характеристики при-

водят к безразмерному и нормированному виду. Нормированная функция полезности устанавливает соответствие различных по смыслу и шкалам измерения характеристик со шкалой полезности. Следует отметить, что при установлении соответствия определенного значения по шкале желательности к отдельным откликам важную роль играют экспертные оценки, т.е. показатели наилучших и неприемлемых значений исследуемого параметра могут значительно варьироваться.

Введем в рассматриваемую функцию полезности дополнительный параметр, характеризующий воздействие энергетического объекта (в данном случае энергоблока, а в общем электростанции и котельной) на окружающую среду. Частную функцию этого параметра назовем функцией экологичности Э. Из всего многообразия воздействий ТЭС на окружающую среду включающего электромагнитное, тепловое, шумовое воздействия, выпаривания водного и воздушного бассейнов выделим выбросы в атмосферу, как основные. Согласно данным Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь доля электростанций концерна "Белэнерго" в суммарных выбросах диоксида серы на территории Беларуси составляет 30,4%, в выбросах оксидов азота – 23,0%. Значительна также доля энергетики в выбросах диоксида углерода – около 1/3 общего объема эмиссий. Лукомльская ГРЭС занимает второе место по объему выбросов загрязняющих веществ в атмосферу среди предприятий. [4].

Из приведенных в табл.1 выбросов ТЭС для формирования частной функции экологичности примем к рассмотрению только оксиды серы и азота, т.к. оксид углерода характеризует, как правило, режимы горения, а диоксид углерода – объемы вырабатываемой энергии и к.п.д. энергоустановок. При работе на газообразном топливе, соответственно, будем учитывать только выбросы оксидов азота.

Учитывая структуру топливного баланса Республики Беларусь, рассмотрим в качестве исследуемого параметра функции экологичности выбросы оксидов азота. Выбор оптимального соотношения затруднен из-за имеющейся тенденции к ужесточению норм на выбросы вредных веществ. Так в Российской Федерации норма выбросов  $\text{NO}_x$  для природного газа равна 150



мг/м<sup>3</sup>, для жидкого топлива 200 мг/м<sup>3</sup>, а для стран ЕС соответственно 100 мг/м<sup>3</sup> и 200 мг/м<sup>3</sup>.

Таблица 1. Расход топлива, выработка электрической и тепловой энергии и величины выбросов в атмосферу от предприятий концерна "Белэнерго" в 1996–2000 гг. [4]

Год	Расход топлива, млн. т у.т.	Выбросы в атмосферу, тыс. т у.т.				Производство	
		SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	электроэнергии, млрд. кВт.ч	тепла, млн. Гкал.
1996	12,9	104,2	34,3	5,3	22900	23,7	37,0
1997	12,8	59,4	34,3	4,9	23070	26,0	36,2
1998	11,8	57,9	31,9	4,3	21320	23,5	35,5
1999	12,3	49,8	32,6	4,9	21920	26,5	32,5
2000	11,8	25,4	30,6	4,6	20100	25,6	31,2

Объективное сравнение различных генерирующих источников по степени их влияния на окружающую среду, можно произвести при применении показателей удельного загрязнения по отношению к используемой мощности или выработанной тепловой и электрической энергии. С учетом экологического фактора, получим итоговую табл. 2, где в качестве оптимального показателя экологичности взят номинальный показатель выбросов оксида азота на котлоагрегате ТГМП-354—лучшего по экологическим характеристикам среди однотипных агрегатов работающих на электростанциях белорусской энергосистемы.

Таблица 2. Показатели эффективности энергоблока

Отметки на шкале полезности	b <sub>3</sub>	Э (NO <sub>x</sub> )	K <sub>r</sub>
0,999	318	125	0,9999
0,2	357,6	400	0,9760

Обобщенная функция полезности с учетом экологического фактора примет вид:

$$D = \exp \left\{ -\frac{1}{3} \left[ \exp(64,048 - 0,186 \cdot b_j) + \exp(-301,7 + 308,6 \cdot K_z) \right] \right\} \left[ + \exp(40,4 - 0,268 \cdot NO_x) \right] \quad (8)$$

### Литература

1. Борушко, А.П. Управление качеством в энергосистеме. – Мн.: Выш. шк., 1981. – 98 с.
2. Щинников, П.А. Перспективы энергоблоков ТЭЦ в условиях экологических ограничений Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2000. – №3. – с.59-65.
3. Карницкий, Н.Б. Решение задач синтеза надежности с помощью мультипликативных критериев оптимальности // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2001 – № 3. – с. 115-119.
4. <http://president.gov.by/Minpriroda/rus/publ/nd2000>

УДК 621.311.22

### Влияние отложений в проточной части на надежность и экономичность работы турбины

Карницкий Н.Б., Чиж В.А., Нерезько А.В.

Белорусский национальный технический университет

В последние годы энергетика Беларуси и большинства развитых стран мира испытывает определенные трудности в связи со снижением надежности и экономичности работы проточных частей паровых турбин. Белорусская энергосистема имеет в своем составе турбоагрегаты различных параметров:

- турбины среднего давления АПР-6, АР-6, Р-6, ВПТ -25 (Барановичская, Брестская и Пинская ТЭЦ);
- высокого и сверхвысокого давления К-160, Т100, Р50, ПТ-60, Р-130 (Березовская ГРЭС, Минская ТЭЦ-4, Мозырьская ТЭЦ, Гродненская ТЭЦ-2, Новополоцкая ТЭЦ);
- сверхкритического давления Т-250, К-300 (Минская ТЭЦ-4, Лукомольская ГРЭС).

Одной из основных проблем при эксплуатации приведенных турбин является загрязнение их проточных частей отложениями. Это связано со сложностью физико-химических процессов протекающих в теплоносителе, недостаточно оперативным химическим контролем за параметрами теплоносителя, а иногда неправильно выбранным водно-химическим режимом. Наличие отложений приводит к уменьшению проходных сечений, увеличению сопротивления по тракту за счет роста как скоростей пара, так и шероховатости поверхностей элементов турбины. Это приводит к снижению внутреннего относительного КПД турбины и вырабатываемой ею мощности. Химический состав отложений однозначно указывает на то, что источником их появления являются примеси содержащиеся в паре. В результате исследований была выявлена зависимость распределения отложений по ступеням турбины и обнаружено наличие свыше 150 химических соединений, имеющие характерные связи между составом отложений и типом котла.

Турбины среднего давления работают с парогенераторами барабанного типа. В питательной воде таких парогенераторов всегда присутствуют хлориды, сульфаты и бикарбонаты или карбонаты натрия, кремниевая кислота, органические вещества, а также продукты коррозии. Отложения в проточной части турбин среднего давления находятся в связи с начальными параметрами пара, преимущественно состоят из солей натрия, такие, как  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  и  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . В общем количестве отложений содержание солей натрия составляет 90-95%. Другие компоненты, а именно окислы железа, свободная кремнекислота ( $\text{SiO}_2$ ), соединения кальция и магния, находятся в незначительном количестве.

С ростом рабочих параметров, в частности давления, возрастают требования в чистоте теплоносителя, поэтому для паровых турбин высокого и сверхвысокого давления компонентами растворенных примесей питательной воды являются хлориды, сульфаты и фосфаты натрия, а также свободная кремнекислота. В отложениях, образующихся в проточной части паровых турбин высокого давления, встречаются все примеси, содержащиеся в перегретом паре. В их расположении по длине проточной части турбин наблюдается определенная закономерность, согласующаяся с имеющимися данными о растворимости индивиду-

ливых веществ в перегретом паре. В цилиндре высокого давления (ЦВД) в отложениях обычно преобладают соли натрия (20 – 70%), окислы железа и меди (40 – 70%). В цилиндре низкого давления (ЦНД) преобладают свободная кремниевая кислота (40 – 80%) и окислы железа (10 – 12%). Содержание соединений кальция и магния в отложениях менее 5%. Количество отложений по отдельным ступеням турбины распределяется очень неравномерно. Как правило, на самых первых по ходу пара ступенях турбин высокого и среднего давления абсолютное количество отложений хоть и мало, однако влияние их на экономические характеристики исключительно велико. На последующих ступенях количество отложений возрастает, достигает максимума и снова снижается. Ступени влажного пара обычно бывают чистыми в связи с появлением жидкой фазы, которая способствует переходу примеси из парового раствора в водный, предотвращая выпадение ее в виде твердой фазы. Область расположения максимума отложений у разных турбин различна, которая связано с составом примесей пара, их концентрацией, с конструктивными особенностями турбины и режимом эксплуатации. Распределение отложений по поверхности отдельных ступеней турбины также характеризуется большой неравномерностью. Толщина отложений бывает больше на выпуклой части и у выходных кромок лопаток, а также вблизи мест крепления лопаток, в местах стыков бандажей.

Турбины сверхкритического давления (СКД) работают на паре, вырабатываемом прямоточными парогенераторами. Специфика данных парогенераторов требует исключительно высокое качество теплоносителя. Использование 3-х ступенчатой схемы обессоливания исходной воды и БОУ, позволяет практически полностью исключить щелочноземельные отложения. Наиболее опасными являются отложения из окислов меди и окислов железа, которые появляются в теплоносителе в результате коррозионно-эрозионных процессов по пароводяному тракту и отлагаются на ступенях ЦВД. По поверхностям лопаток отложения распределяются довольно равномерно. При длительной работе в интервале давлений от 190 до 90 ата процент их содержания в отложениях достигает 90 – 95%, а в зоне более низких (100 – 55 ата) давлений снижается до 60 – 80%. Содержание окислов железа колеблется в пределах 5 – 20%, содержа-

ние кремнекислоты, оксидов цинка и никеля менее 1%. Как показывают наблюдения за качеством пара СКД в условиях стационарной работы блока, концентрации окислов железа и меди в паре, поступающем в турбину, близки к значениям их растворимостей, т. е. перегретый пар начальных параметров является насыщенным паровым раствором по отношению к этим веществам. При расширении пара в турбине с уменьшением давления и температуры растворимость примесей в паре уменьшается. Изменение растворимостей  $Fe_3O_4$ ,  $CuO$ ,  $NaCl$  и  $SiO_2$  по ступеням турбины К-300-240 показано на рис. 1. Для окислов железа и меди, которые в паре начальных параметров находились в состоянии насыщенного раствора, состояние пересыщения наступает уже на первых ступенях турбины, и здесь начинаться их выделение в твердую фазу.

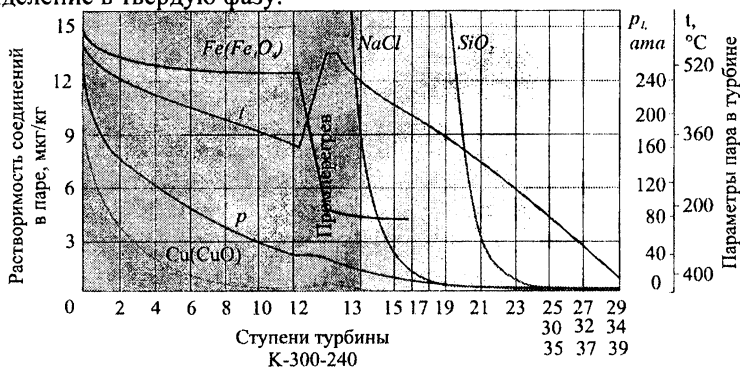


Рис. 1. Изменение параметров пара и растворимости различных соединений по ступеням турбины К-300-240

Так как растворимость окислов меди снижается быстрее, чем окислов железа, то область выделения окислов меди распространяться на меньшее число ступеней, чем для окислов железа. В ЦНД и ЦНД качественный состав отложений такой же, как и у турбин высокого давления.

Для удаления отложений в проточной части турбины сегодня используют механический и химический способ. Недостатком первого способа является то, что очистку турбины можно производить в период капитального ремонта и наряду с удалением окислов меди и железа с рабочих лопаток снимается слой металла. В результате поверхность лопаток и сопел становится

шероховатой, что приводит к снижению экономичности турбины, сокращению сроков службы лопаток и способствует ускоренному заносу проточной части. Наиболее эффективным методом удаления отложения является химический способ, позволяющий существенно сократить трудозатраты на механическую очистку. Промывку можно производить как на ходу, так и во время капитального ремонта.

УДК 621.311.22

**Повышение эффективности использования топлива и экологических показателей газовых котлов при использовании теплоты уходящих газов**

Жихар Г.И., Закревский В.А.

Белорусский национальный технический университет

Актуальность повышения эффективности использования газа в народном хозяйстве растет. Это связано с увеличением его удельного веса в топливном балансе страны и с ростом его стоимости.

В связи с отсутствием при сжигании природного газа потерь теплоты в результате механической неполноты сгорания, близостью к нулю потерь с химической неполнотой сгорания и небольшой потерей теплоты в окружающую среду единственной потерей теплоты в котлах, о дальнейшем снижении которой, может идти речь, является потеря с уходящими газами, которая равна 5-6 % по отношению к низшей теплоте сгорания топлива.

Следовательно, в котельных установках, работающих на природном газе, единственным путем существенного улучшения использования топлива является глубокое охлаждение продуктов сгорания до такой температуры, при которой удастся сконденсировать максимально возможную часть водяных паров, содержащихся в газах и использовать выделяющуюся при конденсации скрытую теплоту. Кроме этого глубокое охлаждение газов позволяет более полно использовать и так называемую явную (физическую) теплоту газов.

Для использования теплоты уходящих газов на котле ГМ-50-14 Жодинской ТЭЦ установлен контактный экономайзер ЭМ-6, предназначенный для подогрева воды, используемой на ХВО

теплосети или для других нужд. Принцип действия контактного экономайзера заключается в подогреве воды горячими продуктами сгорания путем их непосредственного соприкосновения, при отсутствии разделительных стенок поверхности нагрева между теплоносителями и при подаче воды в поток дымовых газов. Поверхностью нагрева в контактном экономайзере является поверхность пленки, капель и струек воды, через которую и происходит теплообмен между газами и водой. Одновременно происходит и массообмен между теплоносителями.

Наиболее целесообразно применение контактного нагрева воды при сжигании природного газа, в составе которого отсутствует сера, а продукты сгорания не содержат ни оксидов серы, ни твердых частиц. Это позволяет обеспечить прямое использование воды.

Исследования проводились при работе котла ГМ-50-14 на газообразном топливе с теплотой сгорания  $Q_n^p = 7973$  ккал/нм<sup>3</sup>. Во время исследований сопротивление слоя насадки из керамических колец контактной камеры измерялось при помощи дополнительно установленного U-образного жидкостного манометра. Температура воды на входе и выходе из контактного экономайзера измерялась ртутными термометрами. Расход воды на контактный экономайзер определялся стандартной камерной диафрагмой дополнительно установленной на мерном участке трубопровода на входе в контактный экономайзер. Состав продуктов сгорания определялся с помощью переносного хроматографа "TESTO-350".

Дополнительно был установлен в газоходе датчик для измерения температуры уходящих из контактного экономайзера продуктов сгорания по "сухому" и "мокрому" термометрам. Показания температуры выведены на вторичный самопишущий прибор. Температура холодного дутьевого воздуха по "сухому" и "мокрому" термометрам определялась с помощью психрометра. Во время испытаний котла нагрузка изменялась от 25 до 50 т/ч, при этом расчетный расход природного газа на котел увеличивался с 2011 до 3996 нм<sup>3</sup>/ч при работе котла с отключенным контактным экономайзером и с 1964 до 3891 нм<sup>3</sup>/ч при работе котла с включенным контактным экономайзером. Максимальное значение КПД котла при работе с отключенным контактным экономайзером имеет место при нагрузке порядка 40 т/ч и со-

ставляет 93,6 %, а при работе котла с включенным контактным экономайзером максимальное значение КПД равно 96,25 %.

Во время испытаний котла определялась концентрация оксидов азота в продуктах сгорания до контактного экономайзера и после контактного экономайзера. Исследования показали, что содержание оксидов азота в газах до контактного экономайзера при нагрузке котла 50 т/ч составляла  $181 \text{ мг/м}^3$ , а после контактного экономайзера соответственно  $109 \text{ мг/м}^3$ .

Установлено, что с увеличением скорости газов при прохождении через слой насадки аэродинамическое сопротивление контактной камеры резко возрастает. Это увеличивает аэродинамическое сопротивление газового тракта котла и установленный дымосос при номинальной нагрузке котла не обеспечивает необходимого разрежения в топке равного 2-3 мм в.ст., что вынуждено заставляет пропускать часть уходящих газов после котла помимо контактного экономайзера. Это снижает эффективность использования теплоты уходящих газов в контактном экономайзере. Для устранения указанного недостатка необходимо установленный электродвигатель дымососа с  $n = 735$  об/мин заменить на более мощный с числом оборотов  $n = 980$  об/мин, который сможет при номинальной производительности котла и пропуске всех уходящих газов через контактный экономайзер обеспечить разрежение в топке 2-3 мм в.ст. Во время испытаний котла с контактным экономайзером отбирались пробы сырой воды и воды после контактного экономайзера. Анализы воды показали, что содержание нитритов  $\text{NO}_2^-$  в воде после контактного экономайзера увеличивается по сравнению с содержанием в сырой воде с 0,13 мг/л для сырой воды до 0,32 мг/л для воды после контактного экономайзера. Аналогично изменяется и содержание нитратов  $\text{NO}_3^-$  в воде. Содержание нитратов в сырой воде составляло 5,6 мг/л, а в воде после контактного экономайзера оно равно 7,8 мг/л. Это указывает на то, что оксиды азота  $\text{NO}_x$  растворяются в воде контактного экономайзера, что приводит к существенному снижению  $\text{NO}_x$  в продуктах сгорания после контактного экономайзера.

Поэтому контактный экономайзер можно рассматривать как шумофункциональный агрегат, т.е. для использования теплоты



уходящих газов котлов и как установку для очистки газов от оксидов азота.

УДК 621.165

## **Успешное диагностирование паровых турбин – залог их эффективной работы**

Пасюк М.А.

ОАО "Белэнергоремналадка"

Основной задачей технической диагностики является раннее выявление неисправностей (дефектов), возникающих в результате износа и повреждений, которые препятствуют или делают нецелесообразным продолжение эксплуатации как по критериям эксплуатационной надежности, безопасности и ресурса (утрата работоспособности), так и по технико-экономическим критериям (несоответствие рабочих и предельных характеристик требуемым).

Одной из важнейших функций системы технической диагностики является также сохранение в течение длительного времени наиболее важной и ценной информации о функционировании объекта в нормальных и аварийных режимах, что создает хорошие предпосылки для дальнейшего совершенствования, как самого оборудования, так и методов его эксплуатации и диагностики.

Обязательными элементами организации обслуживания паротурбинных установок должно быть использование методов и средств технической диагностики как системы оценки и прогнозирования состояния оборудования, и индивидуальный подход к каждой единице оборудования с отступлением от общепринятых нормативов в сторону, как ужесточения, так и послабления требований. Индивидуальный подход дает возможность избежать быстрого износа узлов оборудования, повысить надежность и ограничить "небезопасные" режимы работы. Решение этих вопросов развивается наладочными подразделениями и производится экспертным путем на основе данных штатных систем заводского, эксплуатационного и ремонтного контроля с привлечением специальных видов локальных и комплексных исследований.

Современный опыт создания и использования систем технической диагностики показал, что в основе выявления и идентификации нештатных ситуаций на ранней стадии развития дефекта лежит специальная обработка и анализ не только и не столько отдельных параметров, а главным образом их взаимосвязь в определенных функциональных границах технологических и физико-математических критериев. При этом решающее значение имеют не количественные массивы исходных данных и "совершенные" математические модели, а строго персонифицированные, фактические зависимости отдельных параметров друг от друга в реальном времени.

В этой связи техническая диагностика турбоагрегатов, в силу их безусловных индивидуальных особенностей, представляет собой особо сложную задачу, которую невозможно решить сразу, раз и навсегда. Именно по этим причинам потерпели фиаско все попытки создать универсальные автоматические системы технической диагностики турбоагрегатов, какими бы совершенными средствами измерений и обработки данных они не оснащались. Тем не менее, не взирая ни на какие сложности, необходимость технической диагностики турбоагрегатов диктуется временем и техническим прогрессом.

На первом этапе на основе системы расширенного мониторинга и контроля ЛМЗ-97 разработан комплекс программных средств для оперативного анализа процесса эксплуатации турбоагрегата на базе блока параметрических зависимостей, используемых в практике специализированных исследований и испытаний турбоагрегатов.

В настоящее время система обеспечивает выполнение следующих функций:

Непрерывный мониторинг вибрационных параметров вала и опор подшипников, механических величин на всех режимах эксплуатации (валооборот, набор оборотов, холостой ход, работа под нагрузкой, выбег);

Контроль текущих параметров по допусковым уставкам согласно требованиям ГОСТ и ПТЭ и сигнализация при их превышении;

- виброскорость подшипниковых опор;
- вибросмещение шеек валопровода;
- искривление роторов;

- частота вращения;
- осевой сдвиг валопровода;
- относительное расширение роторов;
- расширение цилиндров;
- положение исполнительных механизмов;
- угловые перемещения корпусов подшипников, закручивание ригелей.

Передача измеренных данных в локальную сеть для их обработки компьютерами верхнего уровня;

Формирование базы данных и анализ архивных данных;

Запись всех дополнительно заданных параметров (сохраняется возможность завести практически любой сигнал) в базу данных;

Построение амплитудо-фазочастотных характеристик и временных трендов измеряемых параметров;

Возможность в режиме реального времени обеспечивать функции нижнего и верхнего уровня;

Просмотрщик архивов.

На **втором** этапе создания системы эксплуатационной диагностики, который начался по мере определения и накопления индивидуальных критериев и диагностических признаков на базе параметрических зависимостей (по результатам реализации задач первого этапа), создаются программы идентификации и локализация этих критериев и признаков, их систематизация (стандартизация) во всем массиве данных, поступающих в систему от турбоагрегата.

На сегодняшний день на Гомельской ТЭЦ-2 стационарными системами сбора информации на основе базы данных ЛМЗ-97 оснащены все три турбоагрегата. На основе данных этих систем модернизированы поверхности скольжения корпусов подшипников (установлены на композитные пары трения или фторопластовую ленту), что позволило снизить деформационную нагрузку на цилиндры. Установлены распоры в зоне ЦСД-ЦНД. Установлены сильфонные компенсаторы на ресиверах ЦНД. Также находятся на стадии тестирования комплекс программных средств для оперативного анализа процесса эксплуатации турбоагрегата на базе блока параметрических зависимостей, используемых в практике специализированных исследований и

испытаний турбоагрегатов позволяющие без специалистов базовые испытания систем и узлов.

Данные работы уже позволили не только увеличить надежность турбоагрегата но и повысить экономичность за счет таких параметров, как сокращения время пуска, использование наиболее экономичных режимов, своевременное планирование поставок запчастей и выполнение текущих ремонтов и предотвращение аварийных ситуаций.

На **третьем** (заключительном) этапе на базе полученных в результате второго этапа реальных образцовых характеристик и зависимостей будут разработаны программы, позволяющие методом сравнительного анализа оценивать, прогнозировать и архивировать информацию о наиболее вероятных проблемах эксплуатации, включая как долговременные явления, так и оперативные текущие проблемы, возникающие в процессе эксплуатации турбоагрегата в реальном времени с подсказками по необходимым мерам для обеспечения надежности и безопасности турбоагрегата.

УДК 62.50:681.142.33

**Методика идентификации динамики объектов  
регулирования с запаздыванием по экспериментальным  
импульсным характеристикам**

Кулаков Г.Т., Быковский Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Для эффективного решения задач управления требуется иметь адекватные технологическим процессам математические модели объектов регулирования, например, в виде соответствующих передаточных функций.

Принципиальные трудности решения данной задачи заключаются в четкой математической формулировке задачи. Эти трудности лежат на более высоком уровне, чем аналитические и численные трудности: как пройти "узкой тропинкой, ведущей между трясинной сложности и пропастями упрощений"?

Вопросам идентификации динамики объектов регулирования по экспериментальным данным уделяется в настоящее время достаточное внимание.

Вместе с тем широкое распространение микропроцессорных средств регулирования с алгоритмами адаптации и самонастройки требуют дальнейшей разработки более точных новых методов идентификации динамики объектов, рассчитанных на использование вычислительной техники с загрузкой минимального объема памяти.

Разработан комбинированный метод идентификации, основанный на использовании метода "площадей" и вычисления коэффициентов передаточных функций объектов по экспериментальным импульсным характеристикам.

Вначале по экспериментальной переходной характеристике определяют обобщенную сумму запаздывания ( $\tau_y$ ) и постоянных времени при первых производных передаточной функции объектов ( $T_k$ ):  $\tau_y + T_k = S_1$ . Здесь  $S_1$  – площадь над кривой переходной характеристики и горизонталью, проведенной над переходной характеристикой на уровне коэффициента усиления объекта  $K_{об}$ , численное значение которого рассчитывают по формуле:

$$K_{об} = \frac{\Delta y(\infty)}{\Delta x_p}$$

Здесь  $\Delta y(\infty)$  – численное значение приращения регулируемой величины в момент времени  $t = \infty$ ;  $\Delta x_p$  – приращение скачка регулирующего воздействия.

Далее по экспериментальной импульсной характеристике объекта находят площадь входного импульса  $S_2$  и его длительность  $\Delta t_{имп}$ , а также выходную площадь  $S_3$  импульсной характеристики, максимальное значение которой составляет  $\Delta_{ум}$ . Затем рассчитывают время разгона  $T_a$  переходной характеристики по формуле:

$$T_a = \frac{S_3}{\Delta_{ум}}$$

Затем определяют время  $\tau_1$ , которому соответствует равенство площадей  $S_1$  и  $S_2$ , образованных вертикалью, отсекающей на импульсной характеристике равные площади от ее начала до максимального значения  $\Delta_{ум}$ .

Время условного запаздывания переходной характеристики объекта рассчитывают с учетом по формуле:

$$\tau_y = \tau_1 - \frac{\Delta t_{умп}}{2} - 0,104 \frac{S_3}{\Delta_{ум}}$$

Затем определяют численное значение большей постоянной времени передаточной функции объекта  $T_k = S_1 - \tau_y$ . В результате математическая модель динамики объекта регулирования описывают передаточной функцией вида:

$$W_{об}(p) = \frac{\kappa_{об} \cdot \exp(-\tau_y p)}{T_k p + 1},$$

где  $p$  – оператор Лапласа;  $\kappa_{об} = S_3 / S_2$ .

Численные значения коэффициентов передаточной функции используют для расчета параметров оптимальной динамической настройки регуляторов в самонастраивающихся и адаптивных САР.

УДК 621.365

### **Возможность работы ТЭЦ при количественно-качественном регулировании отпуска теплоты**

Седнин А.В., Марченко П.Ю.

Белорусский национальный технический университет

С момента своего зарождения, теплофикация является одним из основных способов эффективного использования топливно-энергетических ресурсов республики. С учетом того, что Беларусь энергозависимая страна, важнейшей проблемой энергетической отрасли является снижение себестоимости производимой электрической и тепловой энергии. Одно из возможных решений этой проблемы может быть получено путем более полного использования экономических преимуществ теплофикации.

В последнее время существенно изменились режимы работы оборудования систем централизованного теплоснабжения:

- изменилась структура тепловых нагрузок;
- модернизируется оборудование абонентских вводов;
- внедряются системы автоматики у потребителей и т.д.

Это стало причиной роста неравномерности суточных графиков потребляемой теплоты и усложнило работу оборудования ТЭЦ, особенно в межотопительный период.

Для обеспечения надежной работы основного оборудования ТЭЦ необходимо рассмотреть возможность реализации количе-

ственно-качественного режима отпуска теплоты от источника теплоты (ИТ), которая, в свою очередь, позволит устранить недостатки существующего режима регулирования:

- "перетопы" потребителей;
- большие тепловые потери через изоляцию из-за высокой температуры прямой сетевой воды;
- большой расход электроэнергии на привод насосов сетевой воды.

Рассмотрим данную проблему, применительно к МТЭЦ-4.

Большое количество присоединенных абонентов (проектная нагрузка: теплоснабжение 540 тысяч человек и 188 промышленных предприятий) диктует необходимость обеспечения надежности теплоснабжения. Изменение структуры теплопотребления стало причиной возникновения нерасчетных режимов на МТЭЦ-4. В соответствии с проектными решениями структура нагрузки составляла: 51% – промышленные потребители и 49% – потребители жилищно-коммунального сектора; на момент выхода на проектную тепловую мощность – 45% и 55%. В настоящее время на долю бытовых потребителей приходится порядка 80% отпускаемой теплоты (табл. 1). При этом 40 % от данной нагрузки составляет нагрузка горячего водоснабжения (ГВС), которая имеет резко выраженную неравномерность в течение суток: от 10 % в ночные часы до 100 % в утреннее и вечернее время.

Необходимо также учесть уровень автоматизации абонентских вводов. Согласно данным МТС автоматизация нагрузки ГВС на ЦТП составляет 100%, а нагрузка отопления выйдет к этому уровню до конца года. В данных мероприятиях заложен значительный энергосберегающий потенциал, но ИТ зачастую оказываются неподготовленными для работы в таких режимах.

Реализация количественно-качественного режима работы возможна тремя путями:

- установкой насосов с различными характеристиками;
- изменением числа параллельно работающих насосов;
- изменения числа оборотов насосов.

Реализация первого варианта возможна к применению только в результате реконструкции сетевого оборудования теплофикационной части ТЭС. Последующие два варианта в некоторой степени реализовываются на станциях, но оптимизация экс-

пультационных режимов, для работы в таких условиях не проводилась.

Предпосылками для перехода на более экономичный режим отпуска теплоты являются:

- отказ от независимого подключения абонентов;
- отказ от элеваторных схем смешения с нерегулируемым соплом, как от наиболее ненадежных при переходных гидравлических режимах;
- автоматизация ЦТП по нагрузке ГВС и отопления.

Актуальной на данный момент является выбор режима регулирования нагрузки на источники, так как он определяет изменение располагаемых напоров абонентов и, соответственно, циркуляцию теплоносителя через отопительные установки. Используются 3 варианта регулирования нагрузки:

- поддержание постоянного давления в коллекторе ТИ;
- поддержание располагаемого напора самого удаленного абонента;
- поддержание располагаемого напора среднего абонента.

Энергию, потребляемую сетевыми насосами за сутки, можно определить по формуле:

$$E_n = \int_0^{24} \frac{Gv\Delta p}{\eta_n} dt,$$

где  $\Delta p$  – перепад давлений на группе насосов, Па,  $v$  – удельный объем м<sup>3</sup>/кг,  $G$  – расход сетевой воды, кг/с,  $\eta_n$  – КПД насоса.

Экономия электрической энергии за счет применения алгоритма по "плавающему" перепаду давления на выходе из котельной за период времени  $\tau_1$  можно определить как:

$$\Delta E_n = \Delta p_c \int_0^{\tau_1} \frac{Gv}{\eta_n} dt - \int_0^{\tau_1} \frac{Gv\Delta p_v}{\eta_n} dt,$$

где  $\Delta p_c$  – постоянный перепад давления на группе насосов, Па,  $\Delta p_v$  – переменный перепад давления, Па.

Таким образом, реализация регулирования нагрузки по располагаемому напору на самом удаленном ЦТП позволяет получить дополнительную экономию электроэнергии в размере 3 % (рис. 1).



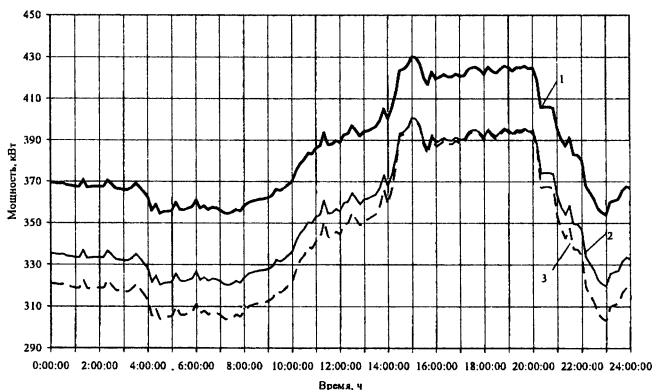


Рис.1. Расход э/э на перекачку теплоносителя при различных режимах регулирования нагрузки

Реализация ККР на объектах энергосистемы позволит упростить использование аккумуляторов теплоты (АТ), применение которых позволит не только выровнять суточный график отпуска теплоты на ТЭС, но и облегчит прохождение пика электрической нагрузки.

УДК 666.94.041

### Энерготехнологический комплекс на базе производства полиэфирных нитей

Романюк В.Н., Бычковский А.В.

Белорусский национальный технический университет

Тенденция независимого децентрализованного энергоснабжения энергоёмких производств, получившее достаточно широкое распространение на западе в результате принятия Киотского договора и других регулятивных документов, способствует развитию комбинированной выработки тепла и электроэнергии, получает своё развитие и в нашей стране. Необходимость в этом назрела уже давно и не только в контексте охраны окружающей среды. Большинство предприятий уже исчерпали все ресурсы снижения себестоимости продукции и, тем самым, улучшения своего экономического положения. Последнее можно осуществлять разными путями: изменением сырьевой базы, введением

новых технологических линий и целый ряд энергосберегающих мероприятий, направленных на снижение энергетической составляющей себестоимости продукции.

Изменение сырьевой базы возможно в крайне редких случаях, и лишь когда источник альтернативного сырья располагается внутри страны. Введение новых технологических линий зачастую хоть и улучшает ситуацию, но характеризуется большими инвестициями и сроком окупаемости. Мероприятия традиционного подхода к энергосбережению сопровождаются определенным экономическим эффектом, однако его величина, как правило, незначительно снижает энергетическую составляющую себестоимости. В этой ситуации вполне оправданным и чуть ли не единственным путём изменения экономического положения является снижение энергетической составляющей себестоимости продукции за счет перехода к интегрированной выработке энергоресурсов на базе теплотехнологического потребления энергии. Комбинированные энергоисточники на базе тепловых двигателей внутреннего сгорания получают всё большее распространение, чему способствует существующая "политика завышенных энергетических тарифов". Успех подобной модернизации зависит от выбора производства, куда предполагается интегрировать энерготехнологический комплекс, и от сопрягаемой энергогенерирующей установки. Важен дифференцированный подход с учётом индивидуальных характеристик производства и технических характеристик различных тепловых двигателей.

В теплоэнергетической системе промышленного производства (ТЭСПП) полиэфирных нитей участвуют теплоносители, использование которых ведёт к перерасходу топлива в стране и завышенному значению энергетической составляющей себестоимости продукции ( $\approx 27,1\%$ ). Используемые в производстве энергоносители: насыщенный пар 44 ата, ВОТ – высокотемпературный органический теплоноситель (динил) с рабочей температурой  $350^{\circ}\text{C}$ , генерируются в результате прямого сжигания топлива; горячая вода, идущая на нужды отопления, вентиляции и ГВС; электроэнергия, используемая, в том числе, на привод компрессионных холодильных машин системы технологического кондиционирования, поступают от энергосистемы.

Для увеличения системной эффективности ТЭСПП производства необходимо выделение качественных параметров и

проведение их оптимизации. В случае оптимизации энерготехнологической когенерационной установки таковыми показателями могут быть – совокупность энергетического и эксергетического КПД, удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении, приводящие к снижению энергетической составляющей себестоимости продукции.

При выборе схемы выработки и снабжения теплотехнологии требуемыми энергоресурсами необходимо учитывать графики их потребления в различные периоды времени. Пар 44 ат и ВОТ используются технологическими потребителями и графики их потребления можно считать квазипостоянными. Что же касается холода систем кондиционирования, то ее вклад составляет  $\approx 5\%$  от общей энергетической нагрузки. Основная часть холода для кондиционирования приходится на период апрель – октябрь, что, при должном выборе холодильных машин, заполняет провал потребления горячей воды на нужды отопления и ГВС в зимний период.

Когенерационные модули, при использовании их в качестве энергоисточника характеризуются высокоэффективной выработкой электроэнергии. В части утилизации их теплового потока эффективность использования зависит от схемы утилизации тепла. При нескольких видах энергоносителей с различными температурными уровнями их генерация может быть организована как параллельно на ряде независимых друг от друга модулей, так и последовательно, когда генерируется один теплоноситель, затем другой на всех модулях. В варианте ТЭСИП полиэфирных нитей возможно использование когенерационных модулей по первой схеме, когда энергия дымовых газов используется в наборе одних установок на выработку пара в ребойлере и отдельно в других установках на нагрев ВОТ в теплообменнике высокотемпературного органического теплоносителя (ТВОТ) – параллельная схема. Возможна другая (последовательная) схема, когда дымовые газы от когенерационной установки направляются сначала в ТВОТ, а затем в ребойлер для выработки пара. В обеих схемах для доохлаждения дымовых газов до 100 – 120 °С используются газо-водяные теплообменники (ГВТО). Сравнение этих двух схем выявило следующее:

1. Количество когенерационных модулей необходимых для обеспечения производства технологическими теплоносителями

в случае параллельной схемы возрастает на 15 – 25%, что приводит к росту инвестиций, увеличению вытеснения нагрузки паротурбинной ТЭЦ за счет роста потока горячей воды от большего числа модулей. Увеличение площади поверхности теплообмена ребойлера, вызванное снижением температурного напора теплопередачи, оказывает несоизмеримо меньшее увеличение стоимости оборудования в сравнении с влиянием на инвестиции числа тепловых двигателей. К тому же, в последовательной схеме снижается выработка тепловой энергии с горячей водой: при использовании параллельной схемы порядка 75% тепла дымовых газов идёт на выработку горячей воды – наименее эффективное использование тепла дымовых газов, при последовательной схеме этот показатель равен 65%.

2. Эффективность использования энергоресурсов в обеих схемах отражает изменение эксергетического КПД: при параллельной схеме он равен 37%, последовательной – 43%.

3. Последовательная схема имеет большую технологическую гибкость. В случае изменения в потреблении либо полного отказа от тепла одного из технологических теплоносителей нет необходимости в остановке модуля, — выработка данного теплоносителя прекращается путём байпасирования дымовыми газами соответствующего теплообменника.

Следующим этапом при разработке энерготехнологического комплекса идёт выбор типа (ГТУ или ГПА) и типоразмера теплового двигателя. Коэффициент использования топлива в обоих типах двигателях примерно одинаков, их отличают удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении до 1100 кВт·ч/Гкал у ГПА и  $\approx 700$  кВт·ч/Гкал у ГТУ. Число часов работы в году равно 8000-8500 у ГПА, 7000 – у ГТУ. Гамма мощностей — до 9 МВт у ГПА с искровым зажиганием и от  $\approx 2$  МВт и выше у ГТУ. Определяющим фактором при выборе мощности энерготехнологического комплекса является тепловое потребление в сочетании с надёжностью энергообеспечения. В данном случае тепловая мощность технологического потребления характеризуется величиной  $\approx 8$  МВт. И по комплексу вышеперечисленных энергетических критериев, и по требованию системной надёжности наиболее подходят для энерготехнологического комплекса газо–поршневые двигатели внутреннего сгорания.

Непосредственный выбор ГПА из линеек предлагаемых производителями для ТЭСПП полиэфирных нитей необходимо производить совокупно по следующим критериям:

- единичная мощность
- электрический КПД;
- число часов работы в году;
- температура дымовых газов на выходе из ГПА.

Причём единичная мощность должна обеспечивать гибкость комплекса – вывод из работы одного модуля не должен оказывать существенного влияния суммарную мощность комплекса, а температура дымовых газов должна быть как можно большей для обеспечения нагрева ВОТ до температуры 350 °С.

Для снижения электропотребления, обеспечения практически неизменного режима работы комплекса в различное время года, снижения вытеснения нагрузки паротурбинной ТЭЦ необходимо осуществить тригенерационную комбинированную установку путем замены парокомпрессионных холодильных (ХМ) машин на абсорбционные бромистолитиевые холодильные машины (АХМ). АХМ не только замещают существующие компрессионные ХМ, использующие электроэнергию для привода компрессора, но и выравнивают годовой график потребления горячей воды, которая в период с апреля по октябрь используется в АХМ для генерации холода. Таким образом, основная тепловая нагрузка по ВОТ и пару остаётся постоянной, нагрузка же по сетевой воде просто перераспределяется в зависимости от периода года. В отопительный период она распределяется между вентиляцией, отоплением и ГВС, а в неотапливаемый — на кондиционирование и ГВС.

Таким образом, можно констатировать:

1. При использовании современных подходов к энергообеспечению существующих теплотехнологий требуется реструктуризация ТЭСПП.

2. Наиболее целесообразным и энергетически, и экономически в системе производства полиэфирных нитей является на создание базе его теплотехнологии тригенерационного комплекса с использованием газо-поршневых ДВС и абсорбционных холодильных машин.

3. Тригенерационный комплекс способен обеспечить потребность предприятия в тепловой энергии в виде ВОТ, пара 44

от, в технологическом холоде и частично в горячей воды. Предварительные технико-экономические расчёты указывают на снижение энергетической составляющей себестоимости до 20%, а на 7%. Окупается комплекс за 3-4 года, при сроке строительства до 2-х лет. Системное годовое снижение потребления первичных энергоресурсов составляет  $\approx 30$  тысяч тонн условного топлива, прибыль предприятия возрастает, при прочих неизменных условиях, на 4,5 миллионов долларов. Прогнозируемые изменения на рынке энергоресурсов улучшают показатели, что говорит об устойчивости проекта.

УДК 666.94.041

### **Энерготехнологическая реструктуризация теплоэнергетической системы ОАО "Доломит"**

Романюк В.Н., Томкунас Е.В.

Белорусский национальный технический университет  
Белорусский теплоэнергетический институт

ОАО "Доломит" на территории Беларуси является единственным производителем доломитовой муки, что определяет исключительную значимость ОАО "Доломит" для страны. На ОАО "Доломит" структура, технологический процесс, оборудование ориентировано на массовое производство, при этом, завод проектировался и строился с учетом обеспечения минимальных капиталовложений. Все перечисленное достигнуто за счет перерасхода энергоресурсов.

Вместе с тем, эксергетические потери, определяющие энергетическое совершенство системы, на 40% определяются на стадии эскизной проработки, еще 40% приходится на стадию проектирования и оставшиеся 20% связаны с эксплуатацией системы. Очевидно, что первые две этапа, относящиеся к созданию промышленного объекта, определяют структуру теплоэнергетической системы конкретной технологии. Все это в полной мере относится и к ОАО "Доломит", где ситуация с расточительным энергоиспользованием, заложенным на стадии проектирования, усугубляется изношенностью оборудования.

Прошедшие изменения экономической ситуации в стране привели к тому, что продукция ОАО "Доломит" оказалась не-

востребованной. Основная причина связана с высокой себестоимостью продукции, в которой доминирует энергетическая составляющая, превышающая 50%. В результате, для удовлетворения нужд Республики Беларусь (РБ) в продукции ОАО "Доломит", правительство страны предоставило предприятию льготы на оплату потребляемых энергоресурсов.

Энергоемкость продукции ОАО "Доломит" находится на уровне  $7 \cdot 10^2$  мегаджоулей на килограмм, а структура энергобаланса близка к средней по промышленности, в которой преобладает топливная компонента ( $6 - 7 \cdot 10^1$  %). В балансе выплат ОАО "Доломит" за энергоресурсы доминирует электроэнергия (ее вес превышает 85%), что связано с ее высокой ценой. Изложенной позволяет сделать вывод, что требуется изменение ситуации с электрической составляющей.

Производство ОАО "Доломит" состоит из 11 параллельно работающих технологических линий. Производительность каждой линии равна  $6 \cdot 10^1$  тонн готовой продукции. Технология базируется на механическом дроблении и одном тепловом процессе — сушке, совмещенной с размолом и сепарацией материала. Основное потребление электроэнергии технологической линии связано с приводом мельниц и использованием пневмотранспорта. Осуществляемый на предприятии переход на новую, менее энергоемкую технологию транспорта продукта, связанный с заменой пневмотранспорта на трубопроводный транспорт со скребковым побудителем перемещения дисперсного материала, снижает соответствующее потребление электроэнергии более чем на порядок. Дальнейшее снижение энергетической составляющей требует комплексного подхода к проблеме энергообеспечения всей технологической цепи, с отказом от дискретного рассмотрения той или иной операции.

В процессе сушки полуфабриката доломитовой муки в качестве сушильного агента используются продукты сгорания, полученные в ходе прямого сжигания природного газа в топке технологической линии и разбавленные затем воздухом до температуры смеси  $\approx 200^\circ\text{C}$ . Расход СА на одну технологическую линию, приведенный к нормальным условиям, имеет величину порядка  $1 \cdot 10^5$  кубических метров в час. Эксергетический КПД подобной генерации сушильного агента (СА) оценивается величиной  $\approx 4 \cdot 10^1$  %, что сегодня недостаточно. Необходима замена

существующего способа генерации СА на основе прямого сжигания природного газа на любой иной на базе эксергетически менее ценного энергоресурса.

В существующих компоновочных решениях технологических линий основного производства ОАО "Доломит" наиболее просто реализуется вариант интеграции в существующую теплоэнергетическую систему тепловых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и, тем самым, создания когенерационного энерготехнологического комплекса, вырабатывающего электроэнергию и СА. Эксергетический КПД процесса генерации СА в этом случае возрастает до  $\approx 9 \cdot 10^1$  %, поскольку выхлопные газы ДВС имеют эксергию близкую к ее значению у СА.

Энергетическая эффективность когенерационного энерготехнологического комплекса может быть проведена на основе совокупности трех показателей: эксергетического КПД, энергетического КПД или коэффициента использования топлива и удельной выработки электроэнергии на единицу отпущенной тепловой энергии.

Перечисленные показатели комбинированной выработки энергопотоков, предлагаемой для теплотехнологии ОАО "Доломит", равны соответственно 81%, 96% и 940 киловатт-часов для когенерационного варианта на базе ГПА и 68%, 98% и 544 киловатт-часов — в варианте с ГТУ.

Для сравнительной оценки существующей раздельной и предлагаемой комбинированной выработки энергопотоков для ОАО "Доломит" необходимы показатели генерации электроэнергии конденсационной электростанции, в зоне обеспечения которой находится ОАО "Доломит": удельный расход условного топлива на выработку и доставку киловатт-часа электроэнергии — 336 грамм, эксергетический КПД —  $3 \cdot 10^1$  %.

Следует вывод о целесообразности энерготехнологической реструктуризации теплоэнергетической системы ОАО "Доломит". При этом энергетически более эффективным является вариант создания когенерационного комплекса на базе поршневых ДВС. С одной стороны, это объясняется более высокой эффективностью ГПА как тепловых двигателей. С другой — полным использованием указанного преимущества ГПА в составе когенерационного комплекса, благодаря имеющейся на ОАО "Доломит" возможности создания объединенной системы тепло-



снабжении самого предприятия и прилегающего жилого поселка.

В результате реализации предлагаемого проекта снижение годовой потребности в импорте природного газа в РБ составит от 5 до 14 тысяч тонн условного топлива для каждой технологической линии ОАО "Доломит" при использовании когенерационных комплексов соответственно на базе ГТУ и ГПА.

В связи с неполной загрузкой производства, для увеличения числа часов использования ДВС целесообразно создание когенерационных модулей, в которых с одним комплектом энергогенерирующего оборудования сопряжено не менее 2-х технологических линий. Реализация потенциала комбинированной выработки электроэнергии на базе объемов производства, определяемых существующим стабильным спросом на рынке сбыта продукции ОАО "Доломит", позволяет в течение всего года вырабатывать поток электроэнергии мощностью  $\approx 3 \cdot 10^1$  МВт. Удельный расход условного топлива на киловатт-час электроэнергии оказывается ниже 150 грамм. Снижение потребности импорта природного газа в РБ, в этом случае, имеет величину порядка 50 тысяч тонн условного топлива в год.

ОАО "Доломит" может полностью обеспечить свои потребности в электроэнергии. При цене природного газа до 70\$ за тысячу кубических метров, себестоимость мегаватт-часа не превысит 20\$, что может кардинально изменить финансовое положение предприятия. Снижение себестоимости доломитовой муки, — основной продукции предприятия, — в результате реализации рассмотренного проекта не вызывает сомнений.

УДК 536.2

### **Решение краевой задачи тепломассообмена в движущихся расплавах**

Есьман Р.И.

Белорусский национальный технический университет

В ряде специальных теплотехнологий объектом изучения являются потоки расплавов, обладающие свойствами реологических сред. Эффекты тепломассопереноса в движущихся расплавах исследуются при течении и затвердевании жидких ме-

печей и сплавов в специальных технологиях литья (жидкая штамповка, литье выжиманием, центробежное и непрерывное литье, и т.д.), в физико-химических технологиях двойного назначения при лазерной и плазменной обработке изделий, при движении вулканической лавы и других процессах.

В процессе движения расплава в полости формы происходят охлаждение жидкого металла и затвердевание за счет теплоотвода в стенку металлической формы (матрицы) и в неметаллическую форму. Вследствие этого вязкость металла непрерывно изменяется по времени, что определяет нестационарный характер течения. Другой особенностью рассматриваемой задачи является наличие фазового перехода в жидком металле (затвердевания). Благодаря теплоотдаче в форму температура расплава непрерывно уменьшается, а вязкость возрастает. При дальнейшем охлаждении на поверхностях формы образуется твердая корочка затвердевшего металла и происходит перемещение фронта кристаллизации в глубину отливки.

В качестве объекта исследования рассмотрим наиболее характерное сечение сложной осесимметричной отливки. Расчетная область представляет собой полость переменного сечения с внутренним выступом, в которой происходит движение и затвердевание расплава при несимметричных условиях охлаждения: на внутренней поверхности металл затвердевает за счет теплоотвода в песчаный стержень, на наружной поверхности — за счет теплоотвода в металлическую форму.

При расчете затвердевания металла теплоту кристаллизации введем в теплоемкость в точках, занятых областью фазового превращения. При этом предполагаем, что заполнение формы осуществляется сплошным ламинарным потоком: в начальный момент времени вязкость, плотность, температура расплава имеют постоянные значения по всему объему, а между потоком и поверхностью формы имеется плотный контакт. По мере охлаждения металла вязкость будем рассматривать как переменную величину во всей области течения  $\mu = \mu(T)$ . С этой целью воспользуемся зависимостью эффективной вязкости от температуры для высокопрочного алюминиевого сплава ВАЛ10, полученной экспериментально.

При конечно-разностной аппроксимации уравнений переноса (движения) воспользуемся методом контрольного объема

(рис.1), широко применяемым при решении задач течения и конвективного переноса. Разбивка расчетной области на контрольные объемы производится следующим образом. Вначале наносится нерегулярная сетка с узлами на пересечении координатных линий. Затем каждый узел связывают с контрольным объемом, грани которого проходят посередине между двумя смежными узлами. Исходная система дифференциальных уравнений интегрируется по каждому объему при замене подынтегральных выражений соответствующими интерполяционными многочленами, которые описывают изменение параметров между узловыми точками. В результате для данной системы находят дискретный аналог, который связывает значение параметра в данной узловой точке с его значениями в соседних узлах. Точность конечно-разностной схемы в значительной степени зависит от вида интерполяционного полинома.

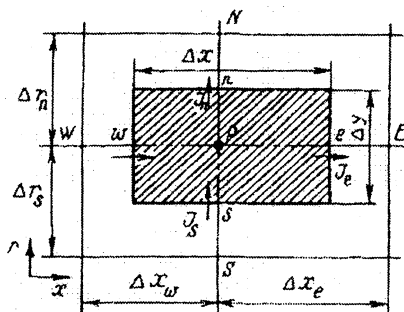


Рис. 1. Схема контрольного объема

Отметим также, что точность, с которой рассчитываются гидродинамические параметры потока при разностном решении уравнений переноса, зависит не только от метода разностной аппроксимации, но и от того, какие переменные в уравнениях выбраны в качестве искомых функций. Для двумерных уравнений движения в качестве зависимых параметров могут быть выбраны физические переменные (составляющие скорости  $u$ ,  $v$ , давление  $p$ , функция тока  $\psi$  и т.д.).

Запишем уравнения, определяющие течение жидкого металла и теплообмен во всей расчетной области. Уравнение энергии в цилиндрических координатах имеет вид

$$\mu \left[ \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{1}{r} \left( \frac{\partial v_x T}{\partial x} + \frac{\partial v_r T}{\partial r} \right) \right] = \frac{1}{r} \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( r \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left( r \lambda \frac{\partial T}{\partial r} \right) \right] \quad (1)$$

В левой части члены, стоящие в круглых скобках, определяют конвективный теплоперенос. Эти члены следует учитывать только в области, занятой каналом с движущимся жидким металлом. Во всей остальной расчетной области для металлической формы, стержня и затвердевшего металла следует положить  $\partial v_x T / \partial x + \partial v_r T / \partial r = 0$ .

Если бы течение происходило при постоянных теплофизических свойствах жидкости, то для его описания следовало бы воспользоваться уравнениями Навье – Стокса. Изменение вязкости от температуры можно учесть, применяя форму уравнений количества движения в направлениях. С учетом сказанного в цилиндрической системе координат уравнения движения запишем следующим образом:

уравнение неразрывности

$$\frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{\partial v_x}{\partial x} = 0, \quad (2)$$

уравнение изменения количества движения в проекции на ось  $z$

$$\frac{\partial v_r}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + v_x \frac{\partial v_r}{\partial x} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} r \tau_{rr} + \frac{\partial}{\partial x} \tau_{rx} = \frac{\tau_{\varphi\varphi}}{r}, \quad (3)$$

уравнение изменения количества движения в проекции на ось  $x$

$$\frac{\partial v_x}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_x}{\partial r} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} r \tau_{rx} + \frac{\partial}{\partial x} \tau_{xx}. \quad (4)$$

Для ламинарного режима течения напряжения, входящие в уравнения (3), (4), выражаются таким образом:

$$\tau_{rx} = \mu \left( \frac{\partial v_r}{\partial x} + \frac{\partial v_x}{\partial r} \right), \quad \tau_{rr} = 2\mu \frac{\partial v_r}{\partial r}, \quad (5)$$

$$\tau_{xx} = 2\mu \frac{\partial v_x}{\partial x}, \quad \tau_{\varphi\varphi} = 2\mu \frac{v_r}{r}.$$

С учетом переменной вязкости  $\mu$  в выражениях (5) перепишем уравнения неразрывности и количества движения в виде

$$\frac{\partial ru}{\partial x} + \frac{\partial rv}{\partial r} = 0, \quad (6)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{r} \left( \frac{\partial ruv}{\partial x} + \frac{\partial rv^2}{\partial r} \right) = \frac{1}{r} \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( r\mu \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left( r\mu \frac{\partial v}{\partial r} \right) \right] + Q_v, \quad (7)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{r} \left( \frac{\partial ru^2}{\partial x} + \frac{\partial ruv}{\partial r} \right) = \frac{1}{r} \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( r\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left( r\mu \frac{\partial u}{\partial r} \right) \right] + Q_u, \quad (8)$$

где источниковые члены  $Q_v$  и  $Q_u$  соответственно равны

$$Q_v = -\frac{\partial p}{\partial r} + \frac{\partial u}{\partial r} \frac{\partial v}{\partial r} + \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial r}, \quad (9)$$

$$Q_u = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial r} \frac{\partial v}{\partial x}.$$

При записи выражений (5) – (9) использованы безразмерные переменные

$$(\bar{x}, \bar{r}) = (x, r)/R, \quad u = v_x/u_0, \quad v = v_r/u_0, \quad (10)$$

$$\bar{t} = t u_0/R_1, \quad \bar{\mu} = \mu/(\rho_f u_0 R_1), \quad \bar{p} = p/(\rho_f u_0^2),$$

черточки над которыми в уравнениях (6) – (10) и в дальнейшем опущены.

Введем также безразмерную температуру  $\Theta = (T - T_\infty)/T_\infty$ , где  $T$  – температура окружающей среды, и перепишем выражение (1) в виде

$$\rho u_0 R_1 c \left[ \frac{\partial \Theta}{\partial t} + \frac{1}{r} \left( \frac{\partial r u \Theta}{\partial r} \right) \right] = \frac{1}{r} \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( r \lambda \frac{\nabla \Theta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left( r \lambda \frac{\partial \Theta}{\partial r} \right) \right]. \quad (11)$$

Начальные условия по скорости получаются из решения стационарных уравнений движения в канале при изотермическом процессе  $T = T_{01}$ . Для этого стационарные уравнения количества движения, которые получаются из выражений (7), (8) при приравнивании нулю локальных производных по времени  $\partial u / \partial t = 0$ , решаются при постоянных физических свойствах жидкости, соответствующих начальной температуре  $T - T_{01}$  и полученные поля скорости и давления принимаются за начальные условия. Формулировка граничных условий для давления будет дана при рассмотрении численного метода.

УДК 536.7+66.047

### **Экспериментальные исследования процессов сушки теплозащитных композиционных материалов и покрытий**

Есьман Р.И., Шевцов В.Ф.

Белорусский национальный технический университет

В рамках ГППИ "Сушка" был разработан экспериментальный универсальный стенд и проведены исследования процессов сушки и термообработки композиционных материалов и покрытий, обладающих теплозащитными свойствами.

Рабочая камера экспериментального стенда для исследования процессов сушки композиционных материалов и покрытий позволяет подвергать исследуемые образцы воздействию терморadiационного потока при использовании источника излучения мощностью до 500 Вт. С целью исследования пространственного распределения потока излучения исследуемых обогревателей выполнены калориметрические измерения среднего интегрального потока теплового излучения и облученности нормальной к оси поверхности с использованием калориметра излучения ИМО-2. Калориметр излучения ИМО-2 имеет диапазон чувствительности в области длин волн 0,33-10,6 мкм, позво-

ляет детектировать среднюю мощность излучения в интервале  $3 \cdot 10^{-4} - 100 \text{ Вт/см}^2$  и обеспечивает погрешность 3%. Его преимуществами являются широкий диапазон чувствительности и встроенный источник калибровки. Измерения показывают, что средняя мощность потока излучения составляет  $0,2 \text{ Вт/см}^2$ , ее значение регулируется изменением расстояния образца до источника излучения, а спектральный диапазон источника — регулятором электрической мощности.

В условиях теплоотдачи излучением на нагреваемой облучателем пластине при наступлении стационарного режима, тепловой поток передаваемый поверхностью во внешнюю среду излучением равен:

$$P = \tau \varepsilon \sigma T^4 S. \quad (1)$$

где:  $\tau$  - коэффициент ИК-пропускания среды;  $\varepsilon$  - интегральный коэффициент излучения нагретой поверхности;  $T$  - температура поверхности;  $S$  - площадь поверхности. Величина данного потока определяется мощностью излучения, получаемой поверхностью от облучателя и теплопотерями в окружающую среду. Тогда энергетический баланс системы определяется из:

$$P = \alpha (T - T_0) S_0, \quad (2)$$

где:  $\alpha$  - коэффициент теплопередачи в окружающую среду;  $T_0$  - температура окружающей среды;  $S_0$  - площадь теплопередающей поверхности.

Удельный тепловой поток с поверхности пластины в воздушную среду при учете конвекции и излучения составляет:

$$P = \varepsilon \sigma (T^4 - T_0^4) + \alpha (T - T_0). \quad (3)$$

Определим характерные значения констант и безразмерных комплексов. При условии  $T_0 = 300\text{К}$ ;  $T = 343\text{К}$ ; получаем:  $\beta = 1/324$ ;

$\nu = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2 \text{ с}^{-1}$ ;  $\lambda_g = 2,83 \cdot 10^{-2} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \text{ К}^{-1}$ ;  $Pr = 0,698$ ;  $Gr = 4,7 \cdot 10^6$ ;  $Ra = 3,22 \cdot 10^6$ .

Для нахождения коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  воспользуемся обобщенной зависимостью:

$$Nu^{\frac{1}{2}} = 0,825 + 0,387 \cdot Ra^{\frac{1}{6}} \left[ 1 + (0,437 / Pr)^{\frac{9}{16}} \right]^{-\frac{8}{27}}. \quad (4)$$

Чтобы рассчитать перепад температуры в воздушном зазоре между образцом и стенкой, определим значения констант и безразмерных комплексов:  $\lambda_g = 2,83 \cdot 10^{-2} \text{Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}$ ;  $\beta = 1/324$ ;  $\nu = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ ;  $\text{Pr} = 0,698$ ;  $\text{Gr} = 1,8 \cdot 10^6$ ;  $\text{Ra} = 1,26 \cdot 10^6$ . Для нахождения  $\alpha_g$  воспользуемся обобщенной зависимостью:

$$Nu = 0,42 \cdot \text{Pr}^{0,012} (H/h)^{-0,3} \text{Ra}^{0,25}, \quad (1.11)$$

из которой получаем:  $Nu = 4,82$ ;  $\alpha_g = Nu \cdot \lambda_g/h = 48$ .

Тогда расчетное значение температурного перепада в воздушном зазоре составит:  $\Delta T = \Delta P/\alpha_g = 30\text{К}$ , что соответствует условиям эксперимента.

Результаты измерений температуры поверхности модельного образца (текстолит) в процессе лучистого нагрева представлены на рис.1. Данные показывают, что температура отслеживает динамику лучистого нагрева образца с достаточной точностью и позволяет оценить тепловую инерцию образца, связанную с изменением  $\lambda_r$  и  $C_p$ .

Для контроля кинетики обработки сложных полимерных композиций в процессе их получения применение контактных методов может сопровождаться исследованием потока ИК-излучения. Результаты измерений, выполненные с помощью калориметра излучения ИМО-2 показывают согласование кривой потока излучения и термограммы при условии отсутствия фазовых превращений в образце, связанного с отверждением полимерных композиций. С целью исследования процессов отверждения возможно использование дополнительного оборудования, включающего приемники излучения для оптического контроля полимеризации. Такие измерения можно использовать при исследовании кинетики отверждения полимерных смол, оптимизации свойств изделий, расчетах тепловых эффектов.

Выполненные измерения и испытания рабочих параметров экспериментального стенда для исследования процессов сушки композиционных материалов и покрытий показывают, что их значения соответствуют расчетным, а предложенные аппаратные средства и методики измерений обеспечивают возможность исследования кинетики процессов сушки композиционных материалов и покрытий.



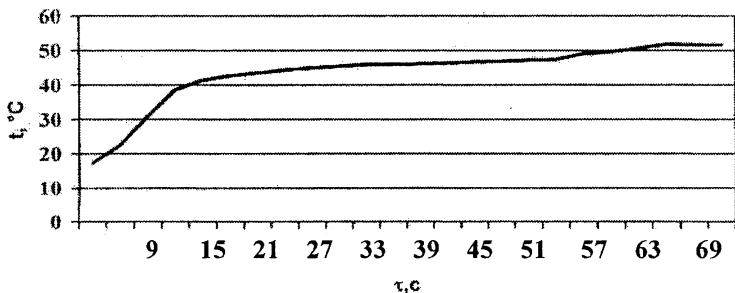


Рис. 1. Зависимость температуры поверхности модельного образца от времени в условиях лучистого нагрева в камере обработки полимерных композиций

УДК 697.32

### Проблемы создания отечественных инфракрасных излучателей

Седнин В.А., Кичаев М.В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время поиск решения проблем экономии топливно-энергетических ресурсов занимает ведущее место не только в нашей стране, но во всем мире. Для Республики Беларусь эта проблема стоит особенно остро, так как наша страна не обладает достаточным количеством топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) необходимых для независимой жизнедеятельности предприятий и населения.

Одним из направлений развития национальной программы энергосбережения является децентрализация отопительных систем и поиск современных технологий отопления производственных помещений, основанных на более эффективном использовании тепловой энергии. На сегодняшний день одним из вариантов решения проблемы отопления производственных помещений является использование инфракрасных излучателей. Опыт создания подобных систем отопления в Республике уже существует, практике их применения доказала свою эффективность.

Выбор инфракрасных излучателей для целей отопления эффективен и оправдан в тех случаях, когда объектом использова-

ния выступает любое промышленное или складское помещение, где требуется выдержать заданный локальный температурный режим и свести к минимуму потери энергии. Главной особенностью этого способа обогрева является передача теплоты организму человека или нагреваемым предметам инфракрасным излучением (ИК-излучением) от генерирующих излучателей, а не за счет передачи теплоты конвекцией от нагретого воздуха. Это принципиальное отличие систем лучистого газового отопления (СЛГО) от традиционных систем конвективного отопления позволяет достигать наиболее полных комфортных условий для работников без нагрева всего помещения.

Лучистый обогрев осуществляется ИК-излучателями (электрическими или газовыми), лучистый поток которых направляется непосредственно на обогреваемые объекты. При этом часть потока попадает на окружающие поверхности (пол, стены, участки рабочих мест и т.д.), вызывает их нагрев и вследствие этого повышение температуры соприкасающегося с этими поверхностями воздуха.

Опыт использования лучистого обогрева дает основания утверждать, что в установках с электрическими ИК-излучателями рентабельно использование только высокотемпературных и средне-температурных излучателей. Кроме решения чисто технических задач (создания необходимых энергетических освещенностей, обеспечения равномерности облучения), эти нагревательные приборы должны удовлетворять требованиям технической эстетики: в помещениях общественного назначения (конференц-залах, террасах ресторанов и т. п.) оформление приборов должно гармонировать с архитектурным интерьером помещений.

В промышленных помещениях требования архитектурного характера отступают на задний план и широкое применение находят высокотемпературные и среднетемпературные "светлые" металлические трубчатые излучатели), сгруппированные по три-четыре в общем отражателе софитного типа, длиной до 2 м. Нагревательные приборы подобного рода, помимо большой интенсивности потока света, обладают еще одним преимуществом: включая и выключая отдельные излучающие трубки, можно регулировать мощность прибора и соответственно изменять энергетическую освещенность облучаемых участков.

В современных "светлых" газовых ИК-излучателях в подавляющем большинстве случаев используется беспламенное сжигание газа в специальных горелках: оно достигается посредством предварительного образования газозвушной смеси и ее подогрева до температуры воспламенения. Непосредственным источником ИК-излучения в беспламенных горелках является раскаленная поверхность огнеупорного керамического элемента (насадки), вблизи которого происходит горение газозвушной смеси. Температура на поверхности доходит до 1200 °С. В некоторых конструкциях горелок в качестве излучающего элемента используют жаростойкую металлическую сетку. Иногда в горелках с керамическими насадками для повышения КПД лучистого потока над керамическим элементом располагают металлическую сетку.

Современные "темные" ИК-излучатели состоят из теплоизлучающей трубы (прямой или U-образной) d 75-100 мм. С одной стороны, которой устанавливается газогорелочный блок, а с другой – дымосос, который создает необходимое разрежение в камере сгорания горелки. Над трубами крепится отражатель, изготовленный из нержавеющей отполированной стали.

Принцип работы "темного" газового ИК-излучателя основан на том, что высокотемпературные (150-650 °С) продукты сгорания газа, проходящие внутри теплоизлучающих труб, нагревая их, отдают тепло излучением. В качестве теплоизлучающих используются стальные трубы, обработанные специальным термостойким покрытием с высокой степенью черноты, которое позволяет смещать спектр излучения в сторону инфракрасного.

"Темные" газовые ИК-излучатели обычного исполнения передают 50-60% теплоты инфракрасным излучением в рабочую зону помещения, обогревая людей, нагревая поверхность пола, стен и оборудование.

Эффективность инфракрасных излучателей в Республике Беларусь доказана не только теоретически, но и уже получены многочисленные практические подтверждения для многих отраслей промышленности. Поэтому для многих предприятий уже остро стоит вопрос не простого внедрения систем инфракрасного отопления в целях снижения затрат, а поиск и применение передовых технологий и нововведений, в сравнении с уже существующими на данный момент, на рынке систем отопления.

# **Энергетическое строительство**

## Подсекция «Водохозяйственное строительство»

УДК 628.35

### Оценка работоспособности АСУ процессом подачи и распределения воздуха на аэротенки МОС

Аврутин О.А.

Белорусский национальный технический университет

Очистные сооружения городских сточных вод с проведением биологической очистки в аэротенках построены в Республике Беларусь в 70-х годах прошлого столетия. На них реализована классическая схема очистки, при которой основная задача биологической очистки – удаление органических загрязняющих веществ.

Процессы биологической очистки сточных вод по длине аэротенка до сих пор оставались практически неизученными. На всех очистных станциях отсутствует должный постоянный аналитический контроль за работой очистных сооружений. В первую очередь следовало бы четко контролировать приток сточных вод по часам суток, как по количественным показателям, так и по качественным. Кроме этого, важно знать степень очистки на отдельных сооружениях.

Отсутствием информации о ходе биологической очистки по секциям аэротенков обусловлено то, что подача воздуха в аэротенки осуществлялась равномерно в течение суток и на протяжении длительного периода времени. Это приводит к завышенным затратам на электроэнергию и, зачастую, нерациональному использованию воздуха.

На Минской очистной станции (МОС), в рамках государственной научно-технической программы "Энергосбережение" было решено создать автоматическую систему управления технологическим процессом (АСУ ТП) подачи и распределения воздуха в секции аэротенков. Схема подачи воздуха в аэротенки №№ 1 – 4 МОС представлена на рисунке 1.

В основу работы АСУ ТП положена зависимость изменения концентрации растворенного кислорода на водосливе аэротенка от концентрации загрязнений в очищенных сточных вод. Для постоянного наблюдения за процессом биологической очистки

на водосливах секций были установлены кислородомеры. По результатам, полученным от кислородомеров компьютер

## АЭРОТЕНКИ

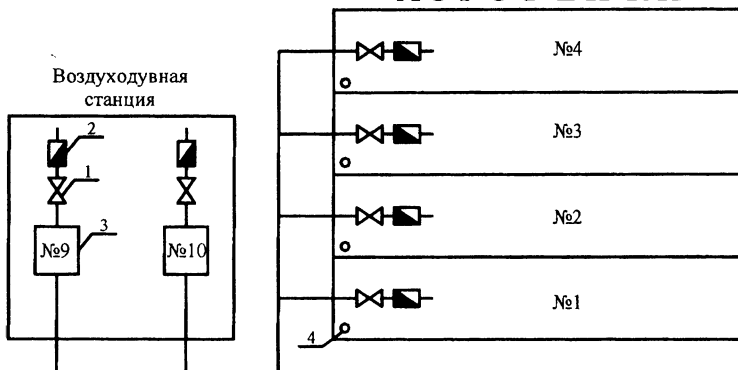


Рисунок 1. Схема подачи воздуха в аэротенки  
№№ 1 – 4 на МОС

*1 – поворотный затвор с ДПЗА; 2 – расходомер воздуха;  
3 – воздуходувка; 4 – кислородомер*

принимает решение о достаточности степени очистки. В случае, если суммарная подача воздуха в четыре секции достаточна, но в какой-то отдельной секции низкая степень очистки – происходит перераспределение подаваемого в секции воздуха путем закрытия/открытия поворотных затворов установленных на магистральных водоводах секций В случае, когда общая подача воздуха от воздуходувок недостаточна либо явно завышена происходит изменение общей подачи воздуходувной станции за счет изменения положения поворотных затворов на всасывающих трубопроводах нагнетателей. Для этого все поворотные затворы оборудованы датчиками положения (ДПЗА).

Таким образом, описанная АСУ ТП включает следующие основные элементы:

- **кислородомеры** «Danfoss», установленные на водосливах секций аэротенков;
- **поворотные затворы;**

- *ДПЗА*, установленные на поворотных затворах на всасывающих трубопроводах воздуходушных агрегатов;
- *ДПЗА*, установленные на поворотных затворах на магистральных воздуховодах каждой секции азротенков;
- *расходомеры* воздуха «Фотон», предназначенные для измерения количества воздуха, подаваемого нагнетателями, и поступающего в каждую отдельную секцию азротенков;
- *линии связи*, для передачи информации от первичных приборов ко вторичным и от последних – на компьютер.
- *управляющий* компьютер, на который поступают данные от всех измерительных приборов.

Очевидно, что от работоспособности каждого из элементов системы зависит качество регулирования и в целом эффективность работы АСУ ТП.

Первоначально были проверены на достоверность результаты измерений расходомеры воздуха. Для этого была временно прекращена подача воздуха на перемешивание сточной воды и активного ила в каналах. Таким образом, весь воздух, подаваемый воздуходушками, должен был поступать в систему азрации азротенков. Погрешность колебалась в пределах 7 %. Данная величина была обусловлена как погрешностью расходомеров, так и неточностью выбора коэффициента сжатия воздуха, используемого в расчетах. Для устранения данной неточности было рекомендовано перенести первичные приборы расходомеров на напорные трубопроводы воздуходувок. Затем расходомеры воздуха были проверены на адекватность изменения их показаний при изменении подачи воздуха. При этом, на одном из расходомеров была обнаружена плохая работоспособность при значениях измеряемой величины менее 4000 м<sup>3</sup>. Однако, в целом на работоспособность АСУ этот недостаток повлиять не может, так как рабочий диапазон подач воздуха в азротенки находится в пределах 8 – 15 тыс. м<sup>3</sup>/ч.

Далее проверке были подвергнуты кислородомеры. Для этого были проведены измерения концентрации растворенного кислорода в каждой секции азротенка №№ 1 – 4 стационарным кислородомером "Danfoss", переносными кислородомерами "WTW" (Германия) и "OXI" (США) при различных режимах подачи воздуха в секцию. Для этого, полностью открывались все поворотные затворы на магистральных трубопроводах

подачи воздуха в секции азротенков. Первые пробы результаты фиксировались именно в этом режиме. Затем закрывались задвижки на опусках к азраторам перед водосливами. По мере снижения концентрации растворенного кислорода также производились снятия показаний.

Для осуществления замеров на одну штангу были закреплены датчики переносных кислородомеров "WTW" (Германия) и "OXI" (США), которые были предварительно прокалиброваны в лаборатории. Показания с кислородомеров снимались одновременно. В результате был сделан вывод, что показания только одного кислородомера соответствуют действительности. Его погрешность находилась в пределах 10%. Остальные кислородомеры были подвергнуты очистке датчиков и калибровке. После выполнения данных мероприятий погрешность всех кислородомеров не превышала 10 %.

Работоспособность поворотных дисковых затворов и ДПЗА проводилась одновременно. При этом фиксировалось соответствие изменения показаний ДПЗА изменению положения затвора. Положение поворотного затвора на всасывающем воздуховоде определялось с помощью измерительной рейки непосредственно в трубе ( $d=800$  мм), а на магистральных воздуховодах – по количеству витков на шпинделе привода и по рискам на торце привода. В результате, для корректной работы системы, несколько раз приходилось заново согласовывать граничные положения поворотного затвора и ДПЗА (0 и 99 %), установленных на магистральных воздуховодах. Кроме этого, ДПЗА несколько раз «зависали», что выражалось в отсутствии реакции на возмущающее действие через системы управления. Фирме-производителю несколько раз пришлось вносить коррективы в конструкцию ДПЗА. Следует отметить, что для данной АСУ датчики положения затвора были спроектированы специально, так как они работают в специфических условиях окружающей среды (большая влажность, удаленность первичного прибора от вторичного).

Недостатки управляющей программы, выявленные в ходе опытной эксплуатации АСУ ТП, были устранены специалистами. В целом, АСУ ТП работоспособна. Экономия электроэнергии составляет 3 – 7 %



**Особенности удаления биогенных элементов из сточных вод  
малых населенных пунктов**

Седлухо Ю. П., Куприянчик Т. С.

Белорусский национальный технический университет

Современный уровень требований к охране природных ресурсов изменил приоритеты и цели техники и технологии очистки сточных вод. Интенсивно развивающиеся процессы эвтрофикации водоемов выдвинули на первый план проблему удаления из сточных вод биогенных элементов (азота и фосфора). В соответствии с действующими нормами проектирования сооружений для очистки бытовых сточных вод эффективность их работы рассчитывается по двум основным показателям – БПК и взвешенным веществам, с учетом содержания в стоках соединений азота и фосфора не как загрязнителей, а как биогенных элементов, необходимых для технологического режима биологической очистки [1]. Применяемая классическая схема сооружений “полной” биологической очистки сточных вод не может обеспечить выполнение справедливо ужесточающихся требований по сбросу в водоемы этих элементов. Таким образом, налицо явное противоречие между действующими нормами на проектирование и строительство очистных сооружений и требованиями природоохранных органов. Поэтому необходимость исследований и разработки нормативной базы для проектирования, строительства и эксплуатации очистных сооружений, с учетом удаления из сточных вод биогенных элементов, является задачей актуальной и сложной.

При этом необходимо отметить, что, несмотря на то, что процессы биологической и химической денитрификации и дефосфатирования известны давно, широкомасштабная технологическая и конструктивная их реализация началась совсем недавно, 20 – 25 лет тому назад, преимущественно в скандинавских странах [2]. В России, Беларуси и других странах СНГ, эти методы находятся в стадии опытно-производственного освоения и изучения, в первую очередь на крупных очистных сооружениях путем реконструкции существующих коридорных аэротенков [3]. Сегодня предложено множество технологических

схем их работы. Однако недостаточный опыт их эксплуатации и объем исследований сдерживают разработку нормативной базы для проектирования и строительства таких сооружений. Прямой перенос существующих в зарубежной практике методик расчета затруднителен в связи с различиями в технологических показателях и методиках их определения, принятых для проектирования сооружений биологической очистки сточных вод в странах СНГ и за рубежом [3,4].

В Беларуси более 60 % населения проживает в небольших городах, поселках городского типа и селах, которые можно отнести к малым населенным пунктам. Отличительной особенностью процессов очистки сточных вод от таких поселений является весьма значительный коэффициент неравномерности расхода и концентраций сточных вод. При конструктивном оформлении технологической схемы очистки необходимо учитывать возможный уровень эксплуатации очистных сооружений, который не может быть сравним с уровнем оснащения и квалификацией персонала, обслуживающие крупные очистные сооружения. Эти и ряд других обстоятельств, накладывают особые ограничения и определяют концепцию очистных сооружений, предназначенных для очистки сточных вод малых населенных пунктов [5]. Такая концепция начала реализовываться в СССР и за рубежом в 60 – 70-х годах прошлого века путем разработки и изготовления компактных очистных сооружений полной заводской готовности с минимальным уровнем обслуживания. Они, как правило, представляли собой аэротенки отстойники, работающие в режиме продленной аэрации и аэробной стабилизации [6]. В них обеспечивался достаточно высокий эффект удаления органических загрязнений и взвешенных веществ. Удаление биогенных элементов не предусматривалось.

В последние годы, в связи с ужесточением нормативных требований к качеству очищенных сточных вод, сформулированы новые подходы к разработке технологических и конструктивных схем малых очистных сооружений. В их основу положены следующие основные стадии:

- ✓ усреднение расхода и состава сточных вод;
- ✓ механическая очистка (решетки, песколовки и первичные отстойники чаще всего отсутствуют);

✓ глубокая анаэробно-аэробная биологическая очистка с нитрификацией и денитрификацией (преимущественно с применением иммобилизованных микроорганизмов);

✓ удаление фосфатов биологическим и (или) реагентным методом;

✓ одно- или многоступенчатая доочистка с применением механических или физико-химических методов;

✓ обеззараживание (предпочтительно без применения хлорсодержащих реагентов);

✓ обработка образующихся осадков.

Реализация указанных технологических процессов в условиях высокой неравномерности состава и расхода сточных вод вызывает необходимость корректировки функций канализационной насосной станции, приемный резервуар которой во многих случаях может служить усреднителем, а часто, и одним из элементов анаэробной стадии технологического процесса. Но основная сложность в достижении высокой эффективности удаления биогенных элементов заключается в оптимизации процессов нитри- и денитрификации и удаления фосфатов. Для этого применяются многостадийные процессы с рециркуляцией активного ила и внутренними рециклами иловой смеси, которые достаточно просто вписываются в конструкции коридорных аэротенков, широко применяемых на крупных очистных станциях [3,4].

Требования компактности и унификации установок заводского изготовления predeterminedелили их конструктивное блочно-модульное оформление с максимальной интенсификацией протекающих процессов. Поэтому в зонах нитри- и денитрификации широко используются процессы с прикрепленной микрофлорой, а в зонах отстаивания – тонкослойные модули.

Для очистки сточных вод малых населенных пунктов за рубежом определенное распространение получили реакторы последовательно-периодического действия (РППД) [7]. Процесс РППД подразумевает возможность использования одного резервуара, в котором последовательно протекают процессы нитри- и денитрификации в условиях из периодического действия. рабочий цикл состоит из операций различной продолжительности в аэробных и анаэробных условиях

(заполнение, аэрация, отстаивание, опорожнение, холостой ход-простой). Современные контроллеры и системы управления позволяют изменять и корректировать режим работы РППД в соответствии с конкретной ситуацией и полностью автоматизировать все технологические операции.

Альтернативой РППД являются реакторы карусельного типа в которых имеются два проточных резервуара периодического действия и отдельно расположенный вторичный отстойник. Сточная вода попеременно поступает в первый или второй резервуары, работающие в режимах нитри- и денитрификации с внутренней рециркуляцией. Рабочий цикл обычно состоит из 4 – 6 фаз, продолжительностью 2 – 4 часа каждая, в течение которых направление сточных вод внутреннего рецикла и режим работы резервуаров (аэробный – анаэробный) регулируются автоматически.

### Литература

1. СНиП 2.04.03 – 85. Канализация. Наружные сети и сооружения. – М.: ЦИТП, 1986. – 72с.
2. Хенце, М. и др. Очистка сточных вод: Пер. с англ. – М.: Мир, 2004. – 480с.
3. Мишуков, Б. Г., Соловьева, Е. А. Удаление азота и фосфора на очистных сооружениях городской канализации // приложение к ж. «Вода и экология. Проблемы и решения», СПб, 2004. – 72с.
4. Щетинин, А. И. Сопоставительная оценка известных конфигураций аэротенков для удаления азота и фосфора // ЕТЕВК – 2003. Сб. докл., – 2003. С.332 – 336.
5. Ненашева, М. Н., Добрынина, Л. Ф., Шарипова, Т. Ф.. Научная концепция создания очистных сооружений «нового типа» для очистки сточных вод в малых населенных пунктах. // Вестник ОГУ, 2002, №3.
6. Разумовский, Э. С., Мендриш, Г. Л., Казарян, В. А. Очистка и обеззараживание сточных вод малых населенных пунктов. М.: Стойиздат, 1986. – 176с.
7. Щетинин, А. И., Тырин, Е. И, Агафонкин, В. В.. Реакторы последовательно-периодического действия для очистки малых количеств сточных вод // ЕТЕВК – 2003. Сб. докл., – 2003. С.336 – 339.

**Анализ существующих методов очистки жиросодержащих сточных вод и пути их совершенствования**

Михневич Э.И., Воронин А.Г., Калинович А.А.

Белорусский национальный технический университет

Предприятия мясной промышленности Республики Беларусь являются достаточно крупными потребителями воды, которая используется для нагревания и охлаждения продуктов, для мойки сырья и технологического оборудования, приготовления различных растворов, необходимых для выработки продукции и для других целей.

Объемы водопотребления и водоотведения на этих предприятиях зависят от вида перерабатываемого сырья, характера технологических операций, выпускаемой продукции, мощности предприятия, его технической оснащенности, системы водоотведения и других местных условий.

Общей особенностью сточных вод мясокомбинатов является высокая концентрация жировых загрязнений, значительная часть которых (до 300 – 500 мг/л) содержится в виде чрезвычайно стабильных эмульсий и коллоидных растворов. Кроме того, сточные воды этих предприятий являются основным источником фосфора, в значительной степени способствуют эвтрофикации водоемов. При сбросе жиросодержащих сточных вод в городскую канализацию очистка сточных вод должна удовлетворять требованиям санитарных органов по концентрации жиров в пределах 25 – 50 мг/л, по взвешенным веществам не более 500 мг/л, по БПК<sub>20</sub> не более 500 мг/л.

Для удовлетворения требований санитарных органов по указанным показателям сточной воды необходимо проектировать локальные очистные сооружения на предприятиях мясной промышленности.

К методам локальной очистки жиросодержащих сточных вод относятся: механические, химические, физико-химические и электрохимические. В состав сооружений механической очистки сточных вод входят: решетки с прозором 10 – 16 мм, песколовки, жиroleвки и отстойники.

**Механический метод очистки** основан на отстаивании сточных вод. Отстаивание является наиболее простым методом выделения грубодисперсных примесей. Этим методом выделяются как всплывающие, так и осаждающиеся примеси.

Для выделения жира из сточных вод используются горизонтальные жироловки. Эффект задержания жиров в указанных жироловках в пределах 30 – 40% при продолжительности отстаивания 30 минут. Недостатком отстойных жироловок горизонтального типа является трудоемкость сбора жиромассы и осадка. Эффективность жироловок повышает продувка через сточные воды воздуха, который подается в нижнюю часть жироловки.

Для интенсификации процессов очистки жиросодержащих сточных вод используют метод реагентной обработки с использованием коагулянтов с последующим отстаиванием.

В качестве коагулянта используется сернокислый алюминий, сернокислое и хлорное железо. В качестве присадки применяется известь. При применении сернокислого алюминия дозой 100-150 мг/л эффект очистки по жирам составляет 80% – 90%.

Реагентная обработка жиросодержащих сточных вод значительно повышает эффект очистки от жира, однако большие дозы сернокислого алюминия и низкое содержание основного вещества ( $Al_2O_3$  – 10-15%) в нем, ограничивают его применение;

В последнее время все более широкое распространение получили **физико-химические методы очистки**, такие как экстракция, сорбция, флотация и другие.

Наиболее полно изучен флотационный способ очистки сточных вод, содержащих жир, масло, нефть, нефтепродукты. Метод флотации основан на извлечении указанных частиц из жидкости в результате их прилипания к пузырькам воздуха.

В зависимости от способа насыщения сточной жидкости различают следующие виды флотации: импеллерную, напорную и электрофлотацию.

Способ импеллерной флотации осуществляют с помощью импеллерного типа машин, которые представляют собой квадратный резервуар, в нижней части которого расположена

турбинка – импеллер, соединенная приводом с электродвигателем, находящимся над флотационной машиной.

Несмотря на хорошую аэрацию, возможности импеллерной флотации ограничены, так как размер основной массы пузырьков газа, получаемых в машинах, относительно велик: 0,5 – 1,2 мм. Кроме того, они энергоемки – на 1 м<sup>3</sup> очищаемой сточной воды затрачивается до 2,6 кВт/ч электроэнергии. Эффект очистки жиросодержащих сточных вод этим методом составляет 68 – 77%.

*Метод напорной флотации* заключается в насыщении сточной воды газом (воздухом) под избыточным давлением, с последующим снижением давления до атмосферного. При этом происходит интенсивная десорбция газа и выделение большого количества мельчайших пузырьков. Пузырьки с прилипшими к ним частичками жира и взвеси всплывают, что позволяет значительно ускорить процесс выделения жировых веществ из сточных вод. Однако, как показал опыт промышленной эксплуатации таких установок, эффект очистки жиросодержащих сточных вод не превышает 50 – 60%.

К основным конструктивным недостаткам этого метода относятся использование напорного резервуара барботажного типа, не обеспечивающего достаточного насыщения сточных вод воздухом.

Процесс выделения из жидкости жиров путем их флотации газовыми пузырьками, получаемыми при электролизе воды, называют электрофлотацией. В процессе электролиза выделяются газы: водород, кислород, хлор. Основная часть газов – водород. Преимущество электрофлотации заключается в том, что обеспечивается генерация газовых пузырьков весьма тонкой дисперсности – от 10 до 200 мкм, причем на долю пузырьков от 25 до 40 мкм приходится более 50%. Поверхность пузырьков малого размера обладает большой свободной поверхностной энергией, создает более благоприятный гидрологический режим в зоне флотации, что увеличивает эффект очистки, которая составляет 90%, однако этот метод может применяться для небольшой расходом сточных вод.

*Известен метод электрокоагуляции* для очистки промышленных сточных вод, основанных на электролизе с использованием металлических (стальных или алюминиевых)

анодов, подвергающихся электролитическому растворению. Вследствие растворения анодов вода обогащается соответствующими ионами, образующими затем в нейтральной или слабощелочной среде гидроксид алюминия или гидроксид железа, который под воздействием растворенного в воде кислорода переходит в гидроксид железа. В результате осуществляется процесс коагуляции аналогичный обработке воды соответствующими солями алюминия или железа. Эффект очистки сточных вод от жиров составляет 95 – 96%, однако этот метод может применяться также для небольших расходов сточных вод.

**Комбинированный метод**, включающий электрокоагуляцию и электрофлотацию (электрофлотокоагуляция) отличается высоким эффектом выделения из сточной воды жиров и других загрязнений, более экономичен по расходу электроэнергии и металлических электродов по сравнению с электрокоагуляцией. При использовании электрофлотокоагуляционной установки отпадает необходимость введения реагентов в очищаемую жидкость. Эффект очистки в электрофлотокоагуляционных аппаратах составляет по жирам 96 – 97%.

Недостатками этого метода являются относительно высокий расход материалов – листового алюминия или железа, пассивирование электродов, а также исключение возможности утилизации отходов, выделенных на этапе реагентной обработки стоков.

Из рассмотренных методов очистки жиродержащих сточных вод наиболее целесообразным является реагентный метод, который можно применять для различных расходов сточных вод. При замене коагулянта серноокислого алюминия на оксихлоридосульфат алюминия, дозы которого составляют 10 – 12 мг/л и с последующей доочисткой на фильтрах из нетканых материалов содержание жиров в очищенной воде может составлять в пределах 10 – 20 мг/л.



## Моделирование водозаборного канала-ковша на р. Днепр для завода газетной бумаги в г. Шклове

Круглов Г.Г., Кунцевич Н.М., Линкевич Н.Н.

Белорусский национальный технический университет

Для обеспечения технической водой завода газетной бумаги в г. Шклове предполагается строительство ковшового водозабора. Однако отсутствие надежных рекомендаций по проектированию таких сооружений, необходимость детального изучения особенностей гидродинамического взаимодействия водоприемного канала-ковша с русловым потоком и разработки конструкции водозабора требуют проведения гидравлических исследований. В основу гидравлических исследований водозаборного канала-ковша положен метод физического моделирования [1], целью которого является воспроизведение в уменьшенном масштабе изучаемых явлений и обеспечения подобия натуральных и модельных явлений.

Для правильного воспроизведения одинаковой физической природы явлений должно обеспечиваться механическое подобие изучаемых явлений, т.е. их кинетическое и динамическое подобие, которое выражается в геометрическом подобии сопоставимых явлений и траекторий движения сходственных частиц жидкости, в сохранении одинаковой ориентации в пространстве границ потока, пропорциональности действующих в сходственных точках жидкости сил, постоянстве отношений плотности по всему полю течения. Это выражается в сохранении геометрического подобия форм, распределения скоростей, давлений и других физических констант. Геометрическое подобие реализуется легко, так как необходимо сделать только модель, подобную натуре. Значительно сложнее осуществить во всех частях модели подобие одноименных физических параметров, для которых требуется равенство своего критерия подобия.

В общем случае для моделей рассматриваемого типа необходимо удовлетворение следующим критериям:

$$\text{Sh} = \frac{Vt}{l} \text{ (Струхала)}, \text{Fr} = \frac{V^2}{gl} \text{ (Фруда)}, E = \frac{\rho V^2}{\rho} \text{ (Эйлера)},$$

$Re = \frac{IV}{\nu}$  (Рейнольдса). Здесь  $l$  – линейные размеры,  $V$  –

скорость течения воды,  $t$  – время,  $p$  – давление,  $g$  – ускорение свободного падения,  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости жидкости. Указанные критерии и условия подобия являются правилами моделирования, т.е. требованиями, которые необходимо выполнять при преобразовании гидродинамических процессов природы в процессы модели, чтобы получить линейное соответствие между их величинами. Для квазистационарных безнапорных течений, к которым относится исследование взаимодействия водозаборов с потоками, критерии Струхалея и Эйлера не являются определяющими и ими можно пренебречь [1]. Критерий Рейнольдса используется в качестве основного при моделировании движения потоков в напорных системах, когда преобладающими являются силы сопротивления.

При моделировании безнапорных потоков, характеризующихся наличием свободной поверхности воды, где движение происходит с преобладанием сил тяжести над силами сопротивления, определяющим является равенство критериев Фруда для модели и природы, т.е.

$$Fr = \frac{V_M^2}{g l_M} = \frac{V_N^2}{g l_N} = idem, \quad (1)$$

где  $V_M$  и  $V_N$  – средние скорости для сходственных живых сечений модели и природы;  $l_M$  и  $l_N$  – линейные размеры модели и природы.

При моделировании на основе гравитационного подобия необходимо также соблюдение условия автомодельности. Это выполняется для того, чтобы модель работала в квадратичной области сопротивления, где коэффициенты гидравлического трения не зависят от числа Рейнольдса.

$$Re = \frac{V_M l_M}{\nu} = \frac{V_N l_N}{\nu}, \quad (2)$$

где  $\nu = \nu_M = \nu_N$  – кинематический коэффициент вязкости жидкостей на модели и в природе, которые принимаются одинаковыми, так как на модели и в природе используется одна жидкость.

При этом число Рейнольдса на модели сравнивается с критическим числом Рейнольдса  $Re_{кр}$ .

Для открытых потоков при равномерном движении

$$Re = \frac{VR}{\nu}, \quad (3)$$

где  $R$  – гидравлический радиус, равный  $R = \frac{\omega}{\chi}$ ;  $\omega$  – площадь живого сечения потока;  $\chi$  – смоченный периметр.

Критическое значение числа Рейнольдса для открытых русел считается равным 800...900 и если выполняется условие

$$Re > Re_{кр}, \quad (4)$$

то условие автомодельности удовлетворяется.

Пересчет параметров с модели на натуру в этом случае будет вестись по зависимостям: линейных размеров  $l_n = l_m \lambda$ , площади  $\omega_n = \omega_m \lambda^2$ , уклонов  $i_n = i_m$ , скоростей  $V_n = V_m \lambda^{0,5}$ , расходов  $Q_n = Q_m \lambda^{2,5}$ , где  $\lambda$  – масштаб моделирования.

Кинематический коэффициент вязкости воды при средней ее температуре в лабораторных условиях 12°C равен  $\nu = 0,0124$  см<sup>2</sup>/с. Масштаб моделирования  $\lambda$  выбирается максимально возможным, исходя из натуральных условий и возможностей лаборатории (плановых и высотных размеров русловой площадки, максимальной величины расхода лабораторной насосной установки и др.).

Для воспроизведения картины работы водозабора замоделирован участок реки Днепр и водозаборный канал-ковш с плановыми размерами 260x205 м. Глубина воды в реке изменяется в пределах 2,65...10,5 м, а расходы, проходящие по реке, – от 32 до 1580 м<sup>3</sup>/с. Размеры моделируемого участка р. Днепр и водозаборного канала-ковша, минимальные и максимальные глубины воды и расходы обусловили изготовление опытной установки на русловой площадке в масштабе 1:62.

С учетом масштаба моделирования минимальный и максимальный расходы на модели будут равны

$$Q_m^{\min} = \frac{32,0}{62^{2,5}} = 1,057 \text{ л/с}; \quad Q_m^{\max} = \frac{1580}{62^{2,5}} = 52,2 \text{ л/с.}$$

Глубины потока в реке на модели будут равны 2,58 см и 17,1 см.

Скорости  $V_{\min}=4,55$  см/с,  $V_{\max}=18,9$  см/с.

Тогда числа Рейнольдса на модели будут

$$Re^{\min} = \frac{4,55 \cdot 2,58}{0,0124} = 947; \quad Re^{\max} = \frac{18,9 \cdot 17,1}{0,0124} = 26064.$$

Следовательно, условие (4) соблюдается и удовлетворяется условие автомодельности.

При подборе материала для изготовления модели исходили из коэффициента шероховатости русла реки  $n_n = 0,025 \dots 0,035$ . Для геометрически подобной модели, которая в  $\lambda$  раз меньше натуре, коэффициент шероховатости модели  $n_m$  должен быть меньше в  $\delta_m$  раз коэффициента шероховатости натуре.

$$n_m = \frac{n_n}{\delta_m}, \quad (5)$$

где  $\delta_m = \delta^y$  – масштабный множитель коэффициента шероховатости;  $\delta = \lambda$  – линейный масштабный множитель;  $y$  – показатель степени в формуле Н.Н. Павловского, который приблизительно можно определять по формуле

$$y = 1,3 \sqrt{n_n}. \quad (6)$$

Масштабный множитель  $\delta = \lambda = 62$ . Определение коэффициента шероховатости модели приведено в таблице 1.

Таблица 1

Определение коэффициента шероховатости модели

$n_n$	$y$	$\delta_m = \delta^y$	$n_m$
0,025	0,206	2,34	0,0107
0,035	0,187	2,16	0,0162

Таким образом, руслу реки на модели соответствует поверхность с коэффициентом шероховатости  $n_m = 0,0107 \dots 0,0162$ . Согласно [1] такая поверхность может быть изготовлена из хорошо заглаженного цементно-песчаного раствора. Конструкция модели водозаборного канала-ковша и верховой струенаправляющей дамбы выполнена в соответствии с представленными разработками Белкоммунпроекта. Схема водозаборного ковша приведена в работе [2]. Исследования проводились на пространственной модели участка р.Днепр, прилегающей территории с водозаборным ковшем, выполненной на русловой площадке Белорусского

национального технического университета при различных уровнях и расходах воды в реке.

На основании проведенных гидравлических исследований можно заключить, что запроектированные Белкоммунпроектом параметры ковшового водозабора: ширина по дну канала-ковша 10 м, заложение его откосов 1 : 2, отметка дна канала 141,2 м не требуют корректировки. В канале-ковше рекомендуется устройство шпунтовой стенки с отметкой гребня 148,0 м. Принятое в проекте местоположение шпунтовой стенки на расстоянии 21 м от подошвы торцевого откоса канала-ковша не требует изменения. Возможно смещение местоположения шпунтовой стенки относительно ее проектного положения влево или вправо на расстояние 2...3 м, что не оказывает существенного влияния на характер течений в канале-ковше.

Устройство струнаправляющей дамбы вызывает отклонение речного потока, а вместе с ним шуги и донных наносов, от входного сечения канала-ковша. Откосу дамбы желательно придать повышенную шероховатость устройством его крепления крупным камнем.

Малые скорости течения воды в канале-ковше будут неизбежно вызывать осаждение взвешенных наносов, что потребует периодических промывок (очистки) канала-ковша, а также способствуют раннему образованию в нем ледяного покрова, поэтому предполагается, что шуга, занесенная в канал-ковш из реки, будет всплывать и смерзаться с поверхностным льдом, что улучшит работу входных отверстий водозабора.

При прохождении в р. Днепр паводковых расходов более 600 м<sup>3</sup>/с отложившиеся на дне канала-ковша наносы от его входного сечения до шпунтовой стенки захватываются потоком и выносятся в русло реки, что подтверждает способность водозабора самопромываться.

### **Литература**

1. Ляхтер, В.М., Прудовский, А.М. Гидравлическое моделирование. – М.: Энергоиздат, 1984. – 39 с.
2. Гидравлические исследования водозабора из р. Днепр для завода газетной бумаги в Шклове / Г.Г.Круглов, Н.М.Кунцевич, Н.Н.Линкевич //Вестник БНТУ. – 2005. - № 3 , с. 5...11.

**Методика определения эффективности применения регулируемых приводов насосных агрегатов**

Еловик В.Л.

Белорусский национальный технический университет

Преобразователи частоты тока в системах автоматизированного управления насосных станций водоснабжения и канализации в нашей стране широкое применение получили совсем недавно. Высокие требования к экономии электроэнергии идею применения такой системы автоматизированного управления (САУ) для регулирования работы насосного оборудования делают весьма привлекательной и актуальной. Отсюда весьма важным является определение целесообразности и эффективности использования САУ на основе преобразователя частоты на насосных станциях и системах водоснабжения и канализации в целом. Основными параметрами, позволяющими нам говорить о эффективности работы частотно регулируемого привода насосов являются: подача, развиваемый напор, потребляемая мощность, коэффициент полезного действия. На основании обработки и сравнения этих параметров для различных вариантов систем можно сделать заключение об их эффективности.

Существующие на сегодняшний день традиционные графические методы определения основных рабочих параметров насосного оборудования весьма трудоемки и неудобны для всестороннего анализа и технико-экономического расчета систем водоснабжения и канализации, а главное при их помощи затруднительно ориентировать расчеты на график суточного потребления воды или суточного стока.

Разрабатываемая методика расчета основана на аналитической обработке основных характеристик совместной работы насосного оборудования и системы трубопроводов с использованием современной вычислительной техники. Наиболее рационально данную методику использовать при вариантном проектировании, когда прорабатываются все конкурентно способные варианты, после чего из них выбирается наиболее эффективный.

В преддверии проведения расчетов необходимо произвести четкий анализ возможных режимов работы системы. Для этого необходимо определить:

✓ сколько и какие насосы будут обеспечивать расчетную подачу,

✓ какой либо какие насосные агрегаты будут оборудованы регулируемым приводом,

✓ какова будет последовательность включения насосного оборудования,

✓ как будет обеспечиваться автоматика включения /выключения насосного оборудования.

✓ По какому критерию будет осуществляться регулирование. Разумеется, при использовании данной методики все графические зависимости, характеризующие каждый элемент системы, необходимо заменить аналитическими выражениями.

Зависимость напора от подачи насоса при номинальной частоте вращения рабочего колеса описывается квадратным трехчленом вида:

$$H = a_0 + a_1 \cdot Q + a_2 \cdot Q^2. \quad (1)$$

Параметры  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  имеют физический смысл, поэтому формулу (1) нельзя считать эмпирической. Эти параметры можно получить путем обработки по методу наименьших квадратов графических зависимостей взятых из каталогов или паспортов насосов, либо полученные путем аппроксимации результатов съемки с реального объекта

Зависимость КПД насоса от его подачи хорошо описывается уравнением (2):

$$\eta = b_0 + b_1 \cdot Q + b_2 \cdot Q^2, \quad (2)$$

которое является эмпирическим.

Принято считать, что при подобных режимах работы регулируемого насоса КПД остается неизменным, и в этом случае его можно определить по формуле (3):

$$\eta_p = b_0 + b_1 \cdot Q(n/n_p) + b_2 \cdot Q^2(n/n_p)^2, \quad (3)$$

где  $n$  – номинальная частота вращения рабочего колеса,  $n_p$  – рабочая частота вращения рабочего колеса насоса.

Мощность, потребляемая регулируемым насосом находится по формуле (4):

$$N = Q \cdot H / 102 \cdot \eta_p. \quad (4)$$

Таким образом, можно определить потребляемую мощность для любого значения подачи  $Q$  из рабочего диапазона от  $Q_{\min}$  до  $Q_{\max}$ .

Систему трубопроводов в аналитическом виде можно задать при помощи того же квадратного трехчлена вида:

$$H = c_0 + c_1 \cdot Q + c_2 \cdot Q^2, \quad (5)$$

где:  $c_0$ ,  $c_1$ ,  $c_2$  параметры для системы водовода полученные путем аппроксимации результатов съемки с реального объекта, либо при помощи формулы (6):

$$H = H_z + S \cdot Q^2, \quad (6)$$

где:  $S$  – гидравлическое сопротивление трубопровода.

При определении суточного потребления энергии, в качестве исходных данных задаются значения расхода для каждого часа суток, полученные фактическими замерами на существующем или однотипном объекте либо, если фактические данные получить невозможно, при помощи таблиц распределения суточного расхода по часам суток.

Подводя итог ко всему вышесказанному, следует отметить, что предлагаемая методика, основываясь на аналитической обработке основных характеристик системы, позволяет следующее:

- ✓ получать результат с любым шагом и любой необходимой точностью в пределах рабочей зоны насосного оборудования.
- ✓ учитывать динамическую составляющую системы водоснабжения или канализации
- ✓ определять внутрисуточное (при необходимости и внутрисуточное) распределение потребления электроэнергии насосным оборудованием
- ✓ значительно упростить процесс расчетов, снизить вероятность возникновения ошибок.

## Литература

1. Лезнов, Б.С., Энергосбережение и регулируемый привод в насосных установках. – М.: ИК «Ягорба» – «Биоинформсервис», 1998.
2. Седлухо, С.П. Нужен ли ПЧ центробежному насосу? Если да, то какой? // Энергия и менеджмент. – 2004. – №2 (17)
3. Клевцов, А.В. Средства оптимизации потребления электроэнергии. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 240 с.: ил. – (серия «Библиотека инженера»)



## **Подсекция «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна»**

УДК 536.7+66.047

### **Методики оценки чувствительности формовочных масс к сушке**

Калиниченко Е.С.

Белорусский национальный технический университет

Качество кирпича зависит от многих факторов, но определяется с самого начала технологического процесса, начиная от состава, термомеханической обработки формовочной массы и режима сушки.

Учитывая, что на сушку кирпича-сырца приходится около половины всех затрат энергии на производство готовых изделий и при этом закладываются основные предпосылки высокого качества продукция, предварительная лабораторная оценка ожидаемых результатов сушки имеет важное значение.

Проведенные исследования и, в первую очередь работы А.В. Лыкова [1] и его учеников, а также П.В. Лебедева [2] и других ученых позволили в значительной мере объяснить и аналитически описать сложнейшие процессы превращения глины в керамические изделия. Однако до сих пор для разработки технологии сушки и обжига изделий следует использовать лабораторные методики определения основных сушильных свойств глины и формовочных смесей. Последнее особенно необходимо вследствие использования в качестве формовочных смесей не чистых глин, а с соответствующими отощителями (песок, шлак, шамот и отсевы других пород).

Правильный выбор методики лабораторного определения сушильных свойств формовочных масс имеет большое практическое значение. При этом важным элементом является физическое и даже аналитическое обоснование применяемой методики, а также её простота и информативность, что создает необходимые предпосылки использования такой методики а заводских лабораториях. Чувствительность глины к сушке влияет на продолжительность и режим сушки: чем выше чувствительность глины, тем больше нужно затратить времени на сушку и тем

"мягче" должен быть температурно-влажностный режим сушки, особенно в начальном периоде, что достаточно трудно обеспечить. Только при достижении необходимого режима сушки можно получить изделие без трещин и высокого качества.

Исторически одной из первых была создана методика оценки трещиностойкости глины при сушке З.А. Носовой [3]. В соответствии с этой методикой показателем чувствительности к сушке является величина  $K_n$  (отношение усадки единицы объема образца, высушенного до воздушно-сухого состояния к объему пор, отнесенных к единице объема образца в таком же состоянии). По степени чувствительности к сушке глины первоначально разделялись на следующие классы: малой чувствительности при  $K_n < 1$ , средней –  $K_n = 1 \dots 1,5$  и высокой –  $K > 1,5$ . Однако кроме этой методики за последующие годы было предложено еще более двух десятков различных методик. Однако из всех этих методик наиболее широкое практическое распространение нашла методика А.Ф. Чижского [4].

Согласно этой методике степень чувствительности глины (формовочной массы) к сушке определяется по продолжительности нагрева образца мощным лучистым потоком до появления первой поверхностной трещины, коробления или заметного изменения образца. Таким образом при использовании методики А.Ф. Чижского фактически производится как бы физическое моделирование трещинообразования с ускорением процессов за счет высокой интенсивности нагрева.

Первый метод А.Ф. Чижского определения основан на том, что в качестве критерия трещинообразования, принят был максимально допустимый перепад влажности между средней (интегральной) влажностью тела  $\Delta U_{cp}$  и влажностью на поверхности.

$$\Delta U_{cp,кр} = (U_{cp} - U_n)_{кр}.$$

Так как техника определения влажности тонких поверхностных и внутренних слоев изделия является достаточно сложной задачей, то данный метод, который в принципе аналогичен методу З.А. Смоляковой, не нашел практического применения.

Второй метод А.Ф. Чижского основан на определении относительного безразмерного показателя

$$K_{ч.2} = \frac{U_o - U_y}{U_y}.$$

В соответствии с рекомендацией А.ф. Чижского градация чувствительности глин к сушке следующая: малочувствительные -  $K_{ч.2} < 1,2$ ; среднечувствительные -  $K_{ч.2} = 1,2 \dots 1,8$ ; высокочувствительные  $K_{ч.2} > 1,8$ .

Процесс такого определения чувствительности глин к сушке достаточно прост, удобен и не требует специального оборудования. Однако анализ данных показывает, что многие данные отличаются от данных А.Ф. Чижского, что свидетельствует о недостаточной надежности исследований.

Достаточно подробно и научно-обоснованного анализа известных по научно-технической литературе (около 20-ти) определения чувствительности к сушке керамических масс пластического формования не отмечено. Поэтому необходим комплексный анализ и научная интерпретация известных методик лабораторной оценки чувствительности всех видов глин к сушке.

Так как самым важным требованием при сушке является отсутствие в изделии трещин и явной деформации, то для создания методики оценки чувствительности формовочной массы к сушке в лабораторных условиях без использования самого процесса сушки и определения критериев подобия необходимо выбрать сочетание основных характеристик материалов, определяющее возможность появления трещин.

### **Литература**

1. Лыков, А.В. Явления переноса в капиллярно-пористых телах. – М. Госизд техн. теор. лит, 1954. – 296 с.
2. Лебедев, П.Д. Сушка инфракрасными лучами. – Л.: Гос энергоатомиздат, 1955. – 232 с.
3. Носова, З.А. Чувствительность глин к сушке. – М.: Гидрометеоздат, 1945. – 46 с.
4. Чижский, А.Ф. Сушка керамических материалов и изделий. – М.: Стройиздат, 1971. – 177 с.

**Исследования вентиляционных систем верхних этажей  
зданий с «теплыми» чердаками**

Протасевич А.М., Якимович Д.Д.,

Короткий В.Н., Борухова Л.В., Черванева Е.А.

Белорусский национальный технический университет

Проблема обеспечения качественной воздушной среды в жилых помещениях в настоящий момент стоит достаточно остро. В то же время массовое применение в жилищном строительстве окон повышенной герметичности (в одинарных пластиковых или деревянных переплетах) резко обострило давно существующую проблему обеспечения нормативного воздухообмена системами естественной вентиляции, ранее проявлявшуюся преимущественно, на верхних этажах зданий. При этом наибольшее количество нареканий поступает от жителей тех домов, где воздухоудаление осуществляется посредством «теплого» чердака.

Наиболее простым решением для нормализации воздухообмена в зданиях с «теплым» чердаком, на сегодняшний день, считается перевод «теплого» чердака в «холодный». Осуществляется перевод путем дополнительного утепления перекрытия верхнего этажа и самостоятельного вывода каждого вентиляционного стояка на кровлю здания. Данный способ решения проблемы нормализации воздухообмена верхних этажей жилых зданий является дорогостоящим, требующим материальных и человеческих ресурсов. Кроме того, отказ использования «теплых» чердаков вносит коренные изменения в конструкции зданий крупнопанельного домостроения, широко применяемые в нашей республике, и лишает здания отдельных преимуществ, в том числе и экономии теплоты.

Обследования зданий с «холодными» чердаками показало, что при установке в жилых домах окон повышенной герметичности в одинарных переплетах увеличение воздухообмена в помещениях квартир возможно только при разгерметизации окон или установке приточных воздушных клапанов. Некоторое повышение воздухообмена в квартирах верхних этажей отмечается далеко не во всех случаях. Вместе с тем следует указать на чрезмерное увеличение воздухообмена в квартирах нижних

этажей здания. При установке герметичных окон и сложной аэродинамической форме кровли здания, в квартирах, имеющих две вытяжные вентиляционные системы, зачастую отмечается опрокидывание циркуляции воздуха в одной из систем.

Результаты многочисленных обследований зданий с «теплыми» чердаками показали, что причинами неудовлетворительной работы систем естественной вытяжной вентиляции являются ошибки, как в проектировании этих систем, так и в ходе строительства и эксплуатации. Проведенные натурные экспериментальные исследования на эксплуатируемых и вводимых в эксплуатацию домах, а также стендовые исследования на модели «теплого» чердака здания серии 464-У1 позволили определить некоторые из них.

Неправильный подбор поперечного сечения, высоты сборных вытяжных шахт, формы и сечения выбросных отверстий, значительно снижает располагаемое давление в системе естественной вытяжной вентиляции. Чрезмерная интенсификация воздухоудаления из квартир нижних этажей создает условия для формирования областей повышенного давления над стояками вытяжных систем вентиляции, что ухудшает удаление воздуха из квартир верхних этажей и, часто влечёт за собой задувание воздуха из «теплого» чердака в квартиры верхних этажей здания. Не решены вопросы герметизации помещений «теплого» чердака, из-за чего наблюдаются поступления холодного наружного воздуха, влекущие нарушения его тепловлажностного и аэродинамического режимов и сокращающие полезную производительность вытяжной шахты. При проектировании сборных вытяжных шахт в большинстве случаев не учитывается аэродинамика формы кровли здания и аэродинамика самого здания, что приводит к «опрокидыванию» вентиляции и поступлению холодного воздуха в квартиры. Строительные дефекты чердака связаны, главным образом, с высокой воздухопроницаемостью ограждающих конструкций, что в одинаковой мере присуще как панельным, так и кирпичным зданиям. В процессе эксплуатации не обеспечивается герметизация открывающихся проемов «теплого» чердака.

С целью исследования путей нормализации воздухообмена в квартирах верхних этажей проведен ряд экспериментов на зданиях с «теплыми» чердаками. В результате которых установ-

лено, что, при выполнении мероприятий по герметизации «теплого» чердака и предотвращению чрезмерного воздухоудаления из квартир нижних этажей, объем воздухоудаления из квартир верхних этажей зданий можно довести до 40 – 50% от нормируемого. При проведении экспериментов не был задействован значительный резерв – изменение размеров и формы сборной вытяжной шахты, а также не проводились мероприятия по предотвращению задувания в сборную шахту наружного воздуха.

По результатам исследований сделаны следующие выводы.

1. В жилых зданиях с «теплым» чердаком и естественной вентиляцией для обеспечения притока воздуха следует применять к установке окна в раздельных переплетах и оборудованных форточками и воздушными клапанами.

При использовании герметичных окон (в одинарных переплетах) с сопротивлением воздухопроницанию  $1 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} / \text{кг}$  при разности давлений  $\Delta P = 10 \text{ Па}$ , в оконных рамах должны быть предусмотрены приточные воздушные клапана.

2. Для повышения располагаемого давления и предотвращения опрокидывания циркуляции потока воздуха в системе естественной вентиляции над вытяжными шахтами чердака следует устанавливать дефлектора.

3. Преобразование «теплых» чердаков уже существующих зданий в «холодные», для увеличения и нормализации воздухообмена в квартирах верхних этажей, как правило, нецелесообразно, так как удовлетворительных результатов можно добиться с небольшими материальными затратами и при существующей схеме воздухоудаления посредством использования «теплых» чердаков.

4. Организация системы естественной вытяжной вентиляции жилых зданий с использованием «теплых» чердаков целесообразна, особенно в секционных зданиях переменной этажности, при наличии в квартирах двух и более вытяжных вентиляционных систем и при сложной аэродинамической форме кровли здания.

5. При проектировании зданий новых серий необходимо проводить аэродинамические исследования моделей этих зданий с целью прогнозирования результатов ветрового воздействия на работу системы естественной вытяжной вентиляции и на теплопотери здания.

УДК 697.1.003.1

**Результаты натуральных обследований микроклимата  
помещений жилых зданий**

Протасевич А.М., Коротченя М.А.,  
Шульман М.З., Черванева Е.А.

Белорусский национальный технический университет

Основная задача проектирования и эксплуатации жилых зданий, их систем отопления, вентиляции и кондиционирования – обеспечение комфортных условий пребывания людей при экономичном расходовании энергоресурсов.

Выполнение указанной задачи осуществляется на основании требований нормативных документов, к которым в частности относятся СНБ 3.02.04-03 «Жилые здания» и ГОСТ 30494-96 «Здания жилые и общественные (параметры микроклимата в помещениях)».

Но кроме указанных документов существуют принятые позднее Государственные программы, определяющие политику Республики Беларусь в вопросах экономного использования энергии, в том числе и в коммунальном секторе.

Экономия тепловой энергии достигается за счет сбережения топлива, сжигаемого на ТЭЦ и в котельных, что достигается путем срезки графика центрального качественного регулирования при отпуске тепла энергопотребителям. Таким образом, официально определен недотоп зданий.

В настоящее время в жилищно-эксплуатационные организации поступает очень большое количество жалоб на микроклимат помещений жилых зданий. С целью проверки параметров микроклимата и выявления причин, влияющих на его ухудшение, проводились комплексные обследования помещений жилых зданий с целью принятия решений и выдачи рекомендаций проектным и эксплуатирующим организациям по исправлению обнаруженных недостатков.

Нами обследовано большое количество жилых зданий в различных регионах страны. Накоплена база данных по микроклимату помещений в жилых зданиях всевозможной конструкции и разнообразных материалов - из кирпичной кладки, а также различных серий крупнопанельных, разной этажности и времени постройки. При обследовании использовались стандартные

ГОСТовские методики и широкая гамма серийных унифицированных приборов и оборудования /1,2/.

Жилые здания различных серий неодинаково реагируют на недополучение теплоты. Исследования показали, что они имеют ряд схожих нарушений параметров микроклимата.

На основании проведенных обследований выяснилась процентная доля различных дефектов, характерных для жилых зданий при нарушении температурно-влажностного режима в помещениях квартир. Примерное соотношение факторов, влияющих на ухудшение параметров микроклимата и состояние конструктивных элементов помещений квартир, составляет:

- низкая температура внутреннего воздуха в зимний и осенне-весенний периоды года – 80 %;

- повышенная влажность внутреннего воздуха – 60 %;

- увлажнение поверхностей углов, стен, потолков – 60 %;

- плохо работающая вентиляция квартир – 50 %;

- плесень, грибок на поверхности ограждений – 50 %;

- опрокидывание вентиляции – 40 %;

- увлажнение откосов оконных проемов – 30 %;

- холодный пол – 30 %.

В наиболее неблагоприятном отношении находятся квартиры, примыкающие к торцевым стенам, а также квартиры, расположенные на первых и верхних этажах зданий.

Причинами нарушения параметров микроклимата чаще всего являются следующие факторы:

- неудачные проектные решения (например, размещение санитарных узлов у наружных стен, применение «теплых» чердаков на 5-этажных зданиях);

- проектные и строительные дефекты. (Например, жилой дом в г. Жодино из блок-комнат с приставными панелями. В результате того, что строители не заделали шов между блок-комнатой и панелью, в конструкции наружных ограждений образовался зазор (вентилируемая прослойка) по которому циркулирует наружный воздух. Из-за этого понизилась ниже нормируемой температура на внутренней поверхности угла, образованного внутренней перегородкой и наружной торцевой стеной. Часто встречающееся нарушение герметичности панельных стыков приводит к попаданию атмосферной влаги во внутренний слой



панели, что повышает его теплопроводность и соответственно ухудшает теплозащитные качества);

- нарушения, допущенные жильцами при эксплуатации зданий (например, часто встречается несанкционированная замена отдельными квартиросъёмщиками нагревательных приборов или установка дополнительных секций на существующие, в результате чего происходит нарушение расчётного температурного и гидравлического режима работы отопительной системы здания; замена деревянных оконных коробок на современные герметичные пластиковые окна со стеклопакетами, что ухудшает воздухообмен в помещениях; разрушение вентблока с целью расширения площади кухни за счёт образовавшейся ниши, из-за чего нижерасположенные квартиры лишаются предусмотренной проектом вытяжки);

- нарушение режима работы «тёплых» чердаков (разгерметизация из-за открытия крышек входных люков, устройство продухов и т.п.);

- нарушения теплового и воздушного режима вентилируемых совмещенных покрытий.

Для устранения причин вызывающих нарушения микроклимата рекомендуется выполнить следующие мероприятия:

- наладка работы тепловых узлов (регулировка элеваторов, установка или замена циркуляционных насосов) и гидравлического режима работы системы отопления (подбор диаметров отверстий диафрагм, устанавливаемых на стояках) и т.п.;

- дополнительная наружная теплоизоляция здания (в отдельных случаях только торцевых стен, перекрытий);

- приведение вытяжной вентиляции в рабочее состояние;

- ремонт межпанельных стыков, гидрофобизация панелей.

## Литература

1. Протасевич, А.М., Калинина, Л.С. Некоторые результаты натурного обследования жилых зданий с теплоизолированными фасадами. Сб. «Проблемы строительной теплофизики систем обеспечения микроклимата и энергосбережения в зданиях». РААСН, НИИСФ, М., 2000.

2. Сизов, В.Д., Шульман, М.З., Якимович Д.Д., Короткий, В.Н. Тепловизор и надёжный контроль тепловлажностного режима зданий. Архитектура и строительство, №4, 2001, с.46-49.

**Теплотехнические характеристики стен зданий после выполнения дополнительной наружной теплоизоляции**

Протасевич А.М., Крутилин А.Б., Якимович Д.Д.,  
Лешкевич В.В.

Белорусский национальный технический университет

Теплотехнические характеристики наружных стен зданий существенно зависят от влажностного состояния материалов. Поэтому в процессе проектирования ограждающих конструкций одной из важных задач является прогнозирование их влажностного состояния.

В публикациях последних лет обсуждается проблема неблагоприятного влажностного режима конструкций с наружным слоем теплоизоляции и защитным штукатурным слоем. Особенно остро эти суждения высказываются при использовании в качестве утеплителя плит пенополистирольных.

Научно-исследовательской лабораторией строительной теплофизики выполнены экспериментальные исследования по распределению массовой влажности в слоях стен зданий, с наружной дополнительной теплоизоляцией. Среди обследованных зданий были следующие объекты.

1. Здание, по адресу ул. Гамарника, 9 к.1. Наружные стены — из глиняного кирпича толщиной слоя  $\delta = 510$  мм с внутренней штукатуркой и наружной облицовкой плиткой кабанчик. В 2004 г. выполнена наружная теплоизоляция стен плитами минераловатными "Рагос" марки "RAL4" (толщина  $\delta = 60$  мм) с укрытием ее полимерцементной штукатуркой.

Вскрытие ограждения выполнено в середине марта 2005. Максимальная влажность утеплителя зафиксирована на границе со слоем полимерцементной штукатурки и составила  $W = 0,65$  % по массе. Эта величина меньше максимальной сорбционной влажности, каменной ваты при  $\phi = 97$  %, которая равна  $W = 0,71$  %.

Результаты вскрытий показали, что после годичной эксплуатации все материалы слоев имели влажность не превышающую максимальную сорбционную.

2. Здание по адресу ул. Жудро, 23. Наружные стены выполнены из однослойных аглопоритобетонных панелей. В 1976 го-

ду на торцах зданий выполнено дополнительное наружное утепление. В качестве утеплителя использован пенополистирол плотностью  $65 \text{ кг/м}^3$  толщиной 55 мм. Штукатурный слой – цементно-песчаный раствор, армированный металлической сеткой-решеткой и стальной арматурой диаметром 8 мм. Толщина штукатурного слоя 60 мм.

Вскрытие дополнительной теплоизоляции и отбор проб были выполнены с целью проведения лабораторных исследований полистирольного пенопласта находившегося в эксплуатации 28 лет.

Анализ полученных результатов показывает, что полистирольный пенопласт, находившийся под слоем цементно-песчаного раствора толщиной 60 мм, своих механических и теплофизических характеристик не ухудшил. Пенополистирол по визуальной оценке не претерпел никаких видимых изменений. Массовая влажность материалов системы дополнительной теплоизоляции удовлетворяет требованиям СНБ 2.04.01-97 "Строительная теплотехника". Так послойная массовая влажность полистирольного пенопласта равна: в слое 0 – 15 мм от края утеплителя – 0,8 %; в слое 15 – 30 мм – 0,15 % и в слое 30 – 50 мм – 0,18 % по массе.

3. Административное двухэтажное здание, расположенное в п. Новинки. Наружная стена, ориентированная на юг, выполнена из газосиликатных блоков ( $\delta = 380 \text{ мм}$ ) с наружной теплоизоляцией пенополистирольными плитами, плотностью  $\rho = 35 \text{ кг/м}^3$  и укрыта легкой штукатурной системой.

Наружные стены, ориентированные на север и восток, выполнены из газосиликатных блоков ( $\delta = 380 \text{ мм}$ ) с наружной теплоизоляцией минеральной ватой из базальтового волокна, плотностью  $\rho = 130 \text{ кг/м}^3$  и укрыты легкой штукатурной системой.

Результаты вскрытий показали, что слой пенополистирола имел массовую влажность, в среднем близкую к нормированной для условий "Б" и значительно превышающую расчетное массовое отношение по СНБ 2.04.01 для условий эксплуатации "А". А 40 мм слой газосиликата, расположенный за слоем пенополистирола, имел влажность, превышающую расчетное массовое отношение для условий "А" более чем в 3 раза.

Минеральная вата в наружных стенах ориентированных на север и восток имела влажность выше сорбционной влажности, равной  $w_c = 0,71\%$ , принятой по изотерме сорбции при  $\phi = 97\%$ . Влажность газосиликата и полимерцементной штукатурки также несколько выше нормативных значений.

Анализ результатов вскрытий показывает, что теплоизоляционные слои материалов, выполненные по стене из газосиликатных блоков имеют повышенную влажность. Это объясняется следующим. Кладка из газосиликатных блоков в начальный период эксплуатации имеет повышенную массовую влажность (технологическая влага), которая может достигать до 30 % по массе. В дальнейший период эксплуатации такие конструкции подвергаются интенсивной сушке, снижая влажность до расчетных массовых отношений, указанных в СНБ. Однако в нашем случае по кладке из газосиликатных блоков был выполнен слой теплоизоляции различными материалами. Очевидно, что дополнительная теплоизоляция из плит пенополистирольных, обладающих достаточным сопротивлением паропрооницанию, будет препятствовать сушке кладки, что и объясняется максимальными влажностями как слоя газосиликата у слоя пенополистирола, так и слоя ПСБ–С у газосиликата.

Дополнительная теплоизоляция минераловатными плитами из базальтового волокна обладает меньшим сопротивлением паропрооницаемости, и при сушке кладки интенсивный поток водяного пара будет проходить через слой ваты, конденсируясь на границе раздела вата/полимерцементная штукатурка.

Конструкции наружных стен с дополнительной наружной теплоизоляцией, рассмотренные выше, выбраны специально, из большего количества экспериментальных объектов с целью иллюстрации, насколько разнообразен влажностный режим ограждений, имеющих один или несколько слоев из теплоизоляционных материалов. Видно, что конструкции с наружной теплоизоляцией из плит пенополистирольных и из минераловатных утеплителей на основе базальтового волокна могут иметь как благоприятный, так и неблагоприятный влажностный режим, т.е. могут быть пригодны для наружной теплоизоляции при правильном конструктивном исполнении и обязательной проверке тепло- влажностного режима для нестационарных условий эксплуатации.

## Особенности проектирования систем квартирного отопления многоэтажных зданий

Покотилов В.В., Ларин А.В.

Белорусский национальный технический университет

В существующих системах отопления жилых домов не имеет смысла проводить реальный поквартирный учет расхода теплоты на отопление в основном из-за отсутствия индивидуальных регуляторов–термостатов на отопительных приборах. Поэтому поквартирный расчет за использованную тепловую энергию ведется в долевом соотношении, пропорциональном отапливаемой площади каждой квартиры, на основании показаний счетчика коммерческого учета в тепловом пункте.

Возможность регулирования обеспечивает тепловой комфорт, который формируется комплексным влиянием температуры воздуха и средней радиационной температуры поверхностей помещения. Поэтому для человека наиболее комфортными являются помещения, внутренние поверхности которых выполнены в виде отопительных низкотемпературных панелей или из материалов с низким коэффициентом тепловой активности. К таким материалам относится дерево, пенобетон, специальные отделочные материалы. Пенобетон широко применяется в последнее время при строительстве жилья с использованием технологии безригельного каркаса. Поэтому для анализа квартирных систем отопления и возможных проблем, связанных с их проектированием и эксплуатацией, нами выбран один из таких домов, показанных на рис.1. Принятый к анализу вариант жилого дома интересен тем, что каждая из 5-ти квартир значительно отличается друг от друга, например, по значениям удельной площади наружных ограждений  $f_H$ , по значениям удельной площади внутренних ограждений  $f_B$  между квартирами (относительно  $1\text{ м}^2$  отапливаемой площади квартиры) и по другим параметрам. Например, квартиры «1» и «3» имеют значение  $f_H$  почти в три раза больше, чем квартира «2», а квартиры «4» и «5» непосредственно примыкают к «неотапливаемому» объему лестничной клетки, который собственно именно эти квартиры и отапливают.

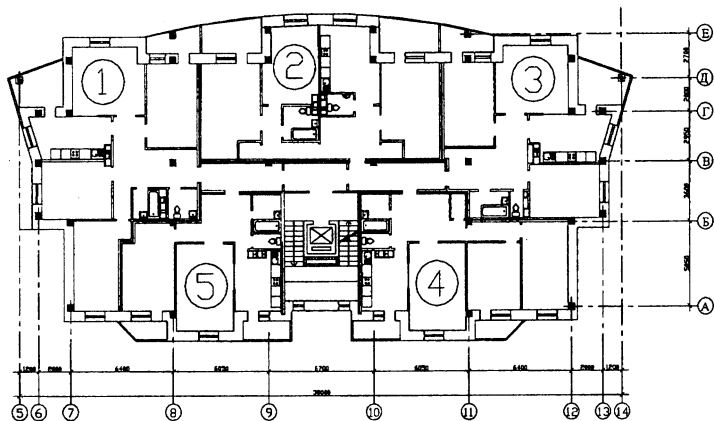


Рис. 1. План типового этажа многоквартирного жилого дома

Квартирная система отопления здания, в отличие от существующих систем отопления (в основном вертикальных однотрубных), обеспечивает самостоятельный ввод теплоносителя в каждую квартиру. Это позволяет устанавливать квартирные тепловые счетчики, а также индивидуально для каждой квартиры определяться с техническими решениями по системе отопления и ее автоматизации.

Квартирная система отопления имеет многие положительные качества:

- повышает уровень комфорта в помещениях;
- обеспечивает поквартирный коммерческий учет тепловой энергии;
- обеспечивает простоту реконструкции системы отопления;
- удовлетворяет запросы заказчика по дизайну и планировке квартиры.

Однако квартирные системы требуют достаточно высокого уровня сервисного обслуживания в силу присущих им недостатков:

- поквартирная наладка по заданному расходу – для однотрубной системы, или по задаваемому перепаду давления – для

двухтрубной системы с помощью регуляторов расхода или регуляторов перепада давления;

- выпуск воздуха из каждого отопительного прибора;
- ежегодное профилактическое обследование;
- необходимость присоединения системы отопления здания к тепловым сетям по независимой схеме для предотвращения опорожнения системы отопления и исключения влияния гидравлических ударов на работоспособность ее элементов.

Кроме указанных недостатков следует дать анализ взаимовлиянию квартирных систем отопления между собой. На примере указанного на рис.1 жилого дома мы выполнили варианты расчетов теплового баланса для каждой квартиры и для здания в целом с учетом степени автоматизации квартирных систем и теплового пункта здания. При этом рассмотрели варианты как проектного решения, т.е. идентичности параметров во всех квартирах, так и варианты индивидуального пользовательского характера, когда в соседствующих квартирах пользователями задаются различные температуры воздуха, вплоть до полного отключения отдельных квартир, например, на период отсутствия жильцов.

Из полученных результатов расчетов следует, что для современных «больших» квартир энергоэкономичного дома с высокой степенью наружной теплозащиты существует проблема взаимовлияния на параметры комфорта и на величину квартирного расхода теплоты. В выгодном положении оказываются квартиры с более низкими задаваемыми параметрами температуры воздуха по сравнению со смежными с ними квартирами (по высоте и по этажу).

Тепловой баланс квартир «4» и «5» показал, что до 16% используемой на отопление теплоты расходуется, по сути, на отопление объема лестничной клетки и примыкающих коридоров.

В качестве наиболее показательного приводим результат расчета теплового баланса квартиры «2» для варианта отключенного в ней квартирного отопления, например, при временном отсутствии жильцов. Основные исходные данные: сопротивление теплопередаче наружных стен  $R=3,25 \text{ м}^2\text{C}/\text{Вт}$ , окон  $R=0,53 \text{ м}^2\text{C}/\text{Вт}$ , перегородок межквартирных  $R=1,39 \text{ м}^2\text{C}/\text{Вт}$ , перекрытия  $R=0,62 \text{ м}^2\text{C}/\text{Вт}$ ; задаваемая температура в смежных отапливаемых квартирах принята  $18^\circ\text{C}$ . На рис.2 результаты

расчета тепловых балансов приведены в виде графической зависимости температуры воздуха  $t_X$  в «неотапливаемой» квартире «2» в зависимости от температуры наружного воздуха  $t_H$ .

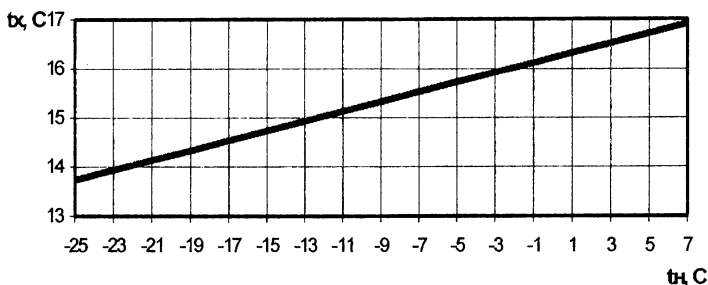


Рис.2. Расчетная зависимость температуры воздуха  $t_X$  в «неотапливаемой» квартире «2» от температуры наружного воздуха  $t_H$

Из представленного графика видно, что даже при крайней ситуации отключения квартирного отопления температура воздуха в квартире «2» имеет высокое значение  $t_X = 13,7^{\circ}\text{C}$  при  $t_H = -25^{\circ}\text{C}$ . Основное участие в отоплении этой квартиры принимают на себя ее соседи по верхнему и нижнему этажам. Такая ситуация тем более является реалистичной при проектировании по условиям заказчика запаса поверхностей нагрева отопительных приборов.

Выводы:

1. На стадии формирования задания на проектирование квартирных систем отопления в многоэтажных зданиях необходимо проводить предварительные расчеты теплового баланса с целью выбора и обоснования требуемого сопротивления теплопередаче внутренних ограждений.

2. При проектировании квартирных систем отопления в многоэтажных зданиях необходимо учитывать требуемый для них уровень сервисного обслуживания и другие особенности эксплуатации этих систем.



# **Энергоэффективные технологии**

## Генерация ЭДС в газожидкостных системах на основе магнитной жидкости

Ковалев М.В.

Белорусский национальный технический университет

Одним из интереснейших и перспективных применений магнитной жидкости в технике является принципиальная возможность создания на ее основе немеханического электрогенератора, использующего для работы любые ВЭР давления, столь широко распространенные на промышленных предприятиях Республики Беларусь. Эта статья посвящена рассмотрению принципа действия устройства, а также обсуждению ряда результатов, полученных в процессе первичного изучения проблемы.

### Введение

Теоретическая возможность создания рассматриваемой электрогенерирующей машины основана на явлении возникновения ЭДС в катушке индуктивности при изменении пронизывающего катушку магнитного потока. Действительно, если в центре катушки размещен объем магнитной жидкости и эта система помещена во внешнее магнитное поле, значительно усиливающее намагниченность жидкости, то при прохождении немагнитного объекта (газового пузыря в частности) через этот объем магнитный поток, пронизывающий витки катушки, изменяется, что приводит к возникновению на выходе катушки разности потенциалов. При скоростях движения пузыря порядка сотен миллиметров в секунду изменение разности потенциалов носит скачкообразный характер и на графике, построенном по показаниям прибора, выглядит как период синусоиды. Таким образом барботируя воздух через магнитную жидкость можно получить электрическую энергию. Естественно, характер, величина, периодичность и другие существенные параметры генерируемого сигнала зависят как от типа используемой жидкости, направления и вида прилагаемых полей, так и от параметров пузырькового потока, в частности, от величины, скорости и траектории движения пузырей.

## Экспериментальная установка

Ключевым элементом экспериментальной установки является цилиндрический стеклянный сосуд, заполненный магнитной жидкостью МК-72 или МК-44, с закрепленной на нем в горизонтальной плоскости катушкой индуктивности. Катушка в 1500 витков радиусом 43 мм намотана из медного провода сечением 0,125 мм. Сопротивление катушки 300 Ом. В сосуде размещается аппарат для генерации одиночных пузырей на основе поворачивающейся чашки или трубка, соединенная с компрессором для изучения влияния цепочки пузырей. Система помещается во внешнее магнитное поле, генерируемое катушками Гельмгольца для однородного поля или системой постоянных магнитов для неоднородного поля. Фиксация сигнала производится посредством специального компьютерного комплекса, включающего программируемый аналогово-цифровой преобразователь National Instruments, разработанное автором программное обеспечение и управляющий компьютер, позволяющий получать в цифровом формате функцию зависимости разности потенциалов на выходе катушки индуктивности от времени.

## Обсуждение результатов

При проведении эксперимента установлено, что электрический сигнал, возникающий в катушке индуктивности, при прохождении через нее пузыря объемом  $300 \text{ мм}^3$  в горизонтальном однородном поле в исследуемом диапазоне напряженности поля 0-20 кА/м мал и неотличим от помех при использовании описанного выше оборудования, что связано, видимо, с малой скоростью движения пузыря в этом поле из-за его деформации в горизонтальной плоскости.

В вертикальном поле пузырь вытягивается вдоль линий индукции и приобретает весьма выгодную с точки зрения гидродинамического сопротивления движению форму, что позволяет ему развивать скорость до 0,8 м/с при напряженности поля 20 кА/м. Поэтому при увеличении поля разность потенциалов на выходе катушки возрастает (см. рис.1). Также это возрастание объясняется естественно и увеличением

намагниченности поля. Отрицательным фактором, уменьшающим амплитуду сигнала, является уменьшение миделева сечения пузыря при его вытягивании вдоль поля.

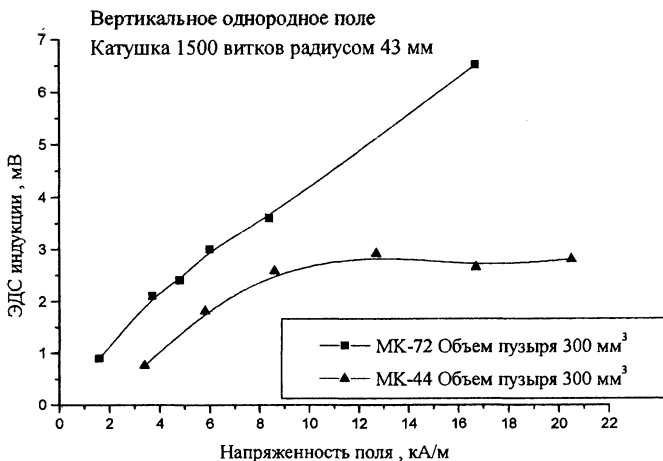


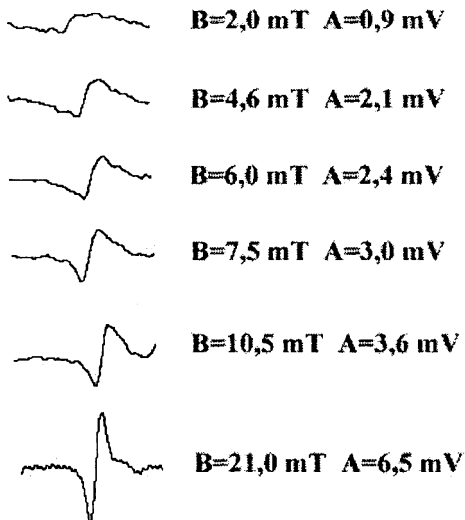
Рис. 1. Зависимость ЭДС от напряженности поля

Кроме представленных на рис.1 величин амплитуд электрического сигнала немалый интерес представляет также форма сигнала, представленная на рис.2. Видно, что в области полей с магнитной индукцией 2-7 мТл синусоида имеет несимметричный характер, что связано с деформацией лобовой части пузыря при движении из-за гидродинамического сопротивления. В области сильных полей гидродинамическое влияние на форму пузыря уменьшается и сигнал приобретает более симметричную форму.

В дальнейшем планируется изучить особенности генерации ЭДС при прохождении цепочки пузырей в сильно неоднородных полях.

Работа выполнена при поддержке Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь.

**Однородное вертикальное поле  
Объем пузыря 300 мм куб.**



**Катушка - медь, 1500 вит., радиус 43 мм**

рис.2. Форма электрического сигнала

**Литература**

1. Bashtovoi, V. Reks, A. Electromagnetic Induction Phenomenon for Nonmagnetic Non-Electroconduction Solids Moving in a Magnetic Fluid // J. Magnetism and Magnetic Materials. - 1995. - V.149. - P. 84-86.
2. Баштовой, В.Г., Рекс, А.Г., Баштовой, А.В. Генерация электродвижущей силы при движении немагнитных тел в магнитной жидкости // Магнитная гидродинамика. - 1993. - №1. - С. 31-36.

## Скорость одиночной капли в щели в магнитной жидкости

Баштовой В.Г., Ковалев М.В., Рекс А.Г.

Белорусский национальный технический университет

Эксперимент направлен на выяснение характера влияния магнитного поля на скорость всплывающих капель жидкости (дистиллированной воды) в щели. В экспериментальной установке задействована щель, образованная двумя стеклянными пластинами с зазором 1,3 мм, в дне которой установлены штуцеры из немагнитного материала для подачи немагнитной среды. В щель залита магнитная жидкость МК-44 (высота заливки составляет 125 мм), в качестве системы подачи воды или воздуха использована композиция микрометра и шприца, позволяющая точно (с погрешностью до 1%) измерять объем порции среды.

Процесс всплывания капель и пузырей фиксируется подсоединенной к компьютеру видеокамерой, поэтому для улучшения условий видимости используется подсветка при помощи источников света. В эксперименте в продольном поле (линии магнитной индукции параллельны плоскости щели) задействована система зеркал. В качестве источника однородного магнитного поля используются катушки Гельмгольца. Для измерения магнитной индукции – тесламетр универсальный 43205

Для поперечного горизонтального поля, линии магнитной индукции которого перпендикулярны плоскости щели, эксперимент показывает стабильное линейное уменьшение скорости капли в процессе повышения напряженности поля. При этом капля меньшего объема движется медленнее, но сохраняя тенденцию к уменьшению скорости при возрастании поля. Графически эти рассуждения проиллюстрированы на рис. 2. Объяснить такое поведение капли можно, воспользовавшись теорией неустойчивости капли, сформулированной Цеберсом. Она описывает явление деформации капли в условиях рассматриваемого эксперимента. В магнитном поле капля приобретает форму горизонтального эллипса, отношение малой

и большой осей которого уменьшается с ростом напряженности поля. В случае движения тела подобной формы в направлении, параллельном малой оси эллипса, за кормой капли возникает турбулентность, создающая разрежение. Поэтому коэффициент лобового сопротивления капли возрастает и ее скорость падает. Примечателен тот факт, что за верхним пределом приведенной на рис.2 зависимости (в полях свыше 13 кА/м) возникает особый вид неустойчивости капли. В результате спонтанного, неравномерного перераспределения среды между правой и левой частями эллипса в некоторой точке пути (чем выше поле, тем раньше) капля принимает форму «головастика», переворачивается «головкой» вверх и продолжает всплытие по широкой криволинейной траектории со значительным увеличением скорости.

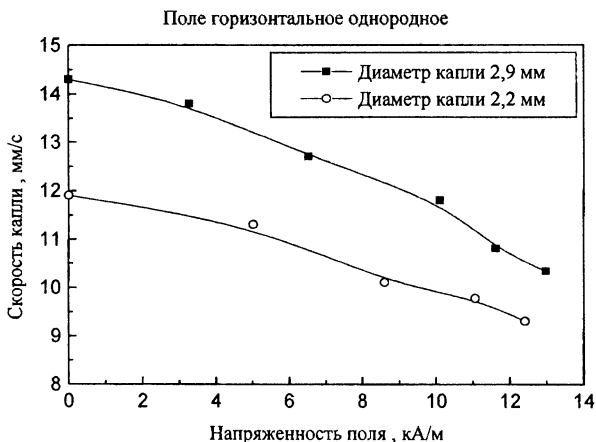


Рис.2. Зависимость скорости капли от напряженности однородного горизонтального поля

Данные эксперимента по выяснению влияния продольного однородного горизонтального поля (линии магнитной индукции параллельны плоскости щели) приведены на рис.3. Мы видим, что скорость водяной капли при повышении напряженности поля также снижается, но характер ее снижения

экспоненциальный. Уровень влияния поля на начальном участке (0-10 кА/м) намного выше и далее при определенном значении зависимость выходит на насыщение, где скорость всплытия практически не зависит от напряженности поля. Объяснить столь кардинальное отличие результатов от вышеописанных для поперечного поля можно различием в механизме формообразования капли в этих условиях. В продольном поле капля вытягивается вдоль линий поля, что приводит к значительно более существенной деформации под действием магнитного поля. То есть отношение малой и большой осей получаемого при этом горизонтального эллипса меньше аналогичного в случае неустойчивости Цеберса. Механизм снижения скорости из-за повышения коэффициента лобового сопротивления аналогичен описанному выше. Кроме указанных различий необходимо отметить отсутствие неустойчивости траектории движения в области сильных полей, что объясняется невозможностью неравномерного распределения среды в сформированном полем эллипсе.

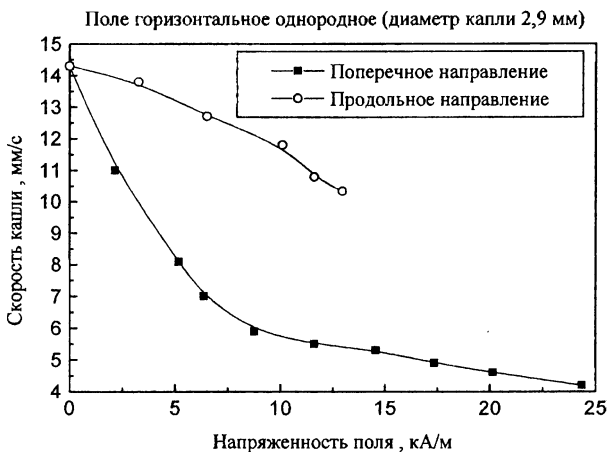


Рис.3. Сравнение влияния поперечного и продольного поля на скорость процесса всплытия



При исследовании скорости всплывания капли в щели в условиях приложения однородного вертикального поля получена зависимость, отражающая линейное увеличение скорости при повышении напряженности поля. Эта зависимость представлена на рис. 4. В случае вертикального поля капля вытягивается вдоль линий поля, принимая форму вертикального эллипса, что с ростом соотношения размеров осей приводит к уменьшению коэффициента лобового сопротивления. В исследуемом диапазоне полей 0-12 кА/м зависимость не выходит на насыщение, но дальнейшее увеличение поля приводит к уменьшению малой оси эллипса и невозможности визуальной фиксации процесса.

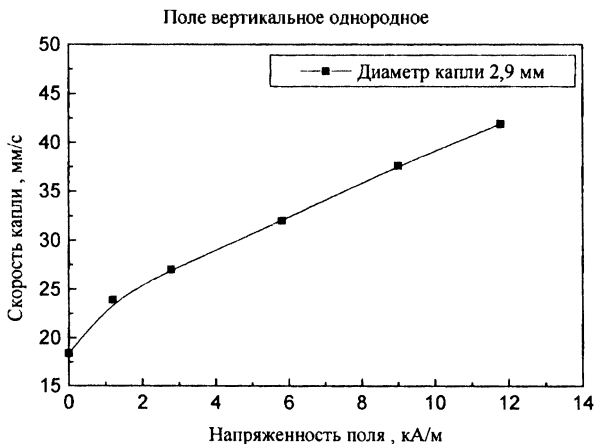


Рис. 4. Зависимость скорости капли от напряженности вертикального однородного поля

Работа выполнена при поддержке Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь.

## Статическое равновесие упругого магнитожидкостного элемента с магнитным ядром

Баштовой В. Г., Рекс А.Г., Рекс П.А.

Белорусский национальный технический университет

Капля магнитной жидкости с размещенным внутри постоянным магнитом представляет собой интерес не только как объект чисто научного исследования, но и как новый перспективный чувствительный элемент датчиков силы, обладающих рядом неоспоримых преимуществ по сравнению с традиционными, в том числе и жидкостными. Этот магнитожидкостный элемент интересен также возможностью создания новых вибропоглощающих устройств.

Магнит удерживается внутри объема жидкости без касания окружающих немагнитных стенок благодаря эффекту плавления магнитных тел в магнитной жидкости, основанному на перераспределении давления в магнитной жидкости в неоднородном магнитном поле [1]. Из-за перераспределения магнитного поля между магнитом и стенкой возникает область повышенного давления, которое создает упругую силу, отталкивающую магнит от стенки. Эта сила тем больше, чем ближе магнит приближается к стенке. Если под действием силы тяжести магнит в магнитной жидкости тонет, то на некотором расстоянии от дна сосуда эта сила уравнивает силу тяжести и магнит плавает над дном сосуда.

Совокупность ограниченного объема магнитной жидкости с размещенным внутри постоянным магнитом ведет себя как единое целое, как одна капля, способная перемещаться в любом направлении и существовать самостоятельно без внешнего корпуса. Жидкость вокруг магнита удерживается его магнитным полем, и форма поверхности объема жидкости определяется этим полем. Сам же магнит занимает вполне определенное положение относительно объема жидкости.

Поскольку капля магнитной жидкости с ядром как чувствительный элемент может находиться внутри каналов различной конфигурации, то ее равновесное положение определяется силовым взаимодействием магнита со стенками каналов. В связи с этим представляет интерес изучение

статических силовых характеристик системы «магнит-стенка». Такие характеристики определяются как физическими свойствами магнитной жидкости и магнита, их геометрией, так и величиной зазора между стенкой и поверхностью магнита.

Сила, действующая на магнит в капле магнитной жидкости, определяется распределением давления в жидкости /1/

$$p = p_0 - \rho g(z - z_0) + \mu_0 \int_{H_0}^H M(H) dH,$$

где  $p_0$  - давление в точке  $(x_0, y_0, z_0)$ ,  $H_0$  - напряженность магнитного поля в этой же точке, ось  $z$  направлена вертикально вверх. Увеличение магнитного поля в какой-либо области объема магнитной жидкости приводит к увеличению давления в этой области и появлению упругой магнитной силы, действующей на магнит.

Аналитическое описание распределения давления в капле магнитной жидкости наталкивается на трудности задания магнитного поля постоянного магнита, связанные с его формой и формы капли.

Статические характеристики силового взаимодействия постоянного магнита, покрытого слоем магнитной жидкости, с плоской пластиной исследованы экспериментально.

Для исследований выбран постоянный самарий-кобальтовый магнит размером 30x20x10 мм со средней величиной магнитной индукции на плоской поверхности, равной 220 мТ. С целью исключения боковых перемещений магнит закреплен на плоском горизонтальном основании. Над магнитом установлена горизонтально подвижная немагнитная пластина. В центре верхней поверхности пластины закреплен шток, который по направляющим может перемещаться в вертикальном направлении. На другом конце штока укреплена площадка для установки калиброванных грузов. Магнит покрывается слоем магнитной жидкости. Возникающая магнитная сила действует на подвижную пластину, выталкивает ее и перемещает вверх. Равновесие наступает при равенстве магнитной силы и силы тяжести пластины с грузом. Величина вертикального перемещения подвижной пластины определяется катетометром.

Для экспериментов использована магнитная жидкость на основе керосина МК-45 с намагниченностью насыщения  $47 \text{ кА/м}$ .

Влияние силы, действующей на пластину, от величины зазора между пластиной и магнитом представлено на рис. 1. Сила выталкивания определена для различных объемов капли магнитной жидкости, и в качестве параметра выбрано отношение объема магнитной жидкости к собственному объему постоянного магнита, который она покрывает ( $\Delta = V_{\text{мж}} / V_{\text{магн}}$ ). При приближении пластины к магниту сила увеличивается, причем более резкое увеличение силы наблюдается при малых зазорах  $\delta$ . Максимального значения сила достигает при касании пластины и поверхности магнита. Для всех объемов капли максимальная сила оказалась равной  $8,3 \text{ Н}$ .

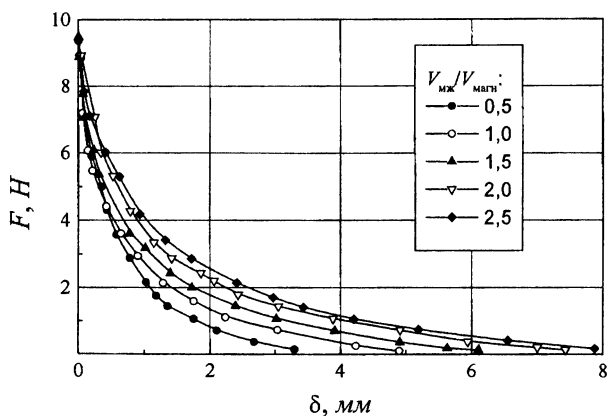


Рис. 1. Статические силовые характеристики капли с магнитом при различных отношениях объема магнитной жидкости к объему магнита

Максимальную силу отталкивания пластины от магнита в магнитной жидкости можно приближенно оценить исходя из простых соображений. Если объем магнитной жидкости достаточно велик, то на его поверхности напряженность магнитного поля близка к нулю. В этом случае выталкивающая

сила пропорциональна магнитостатическому давлению  $\mu_0 M_S H$  и площади сечения магнита, перпендикулярного направлению выталкивающей силы  $F = \mu_0 M_S H$ .

С учетом того, что напряженность магнитного поля на поверхности магнита  $H = 175 \text{ кА/м}$ , а намагниченность насыщения магнитной жидкости  $M_S = 45 \text{ кА/м}$ , получается предельное значение силы  $F = 6 H$ , что хорошо соответствует экспериментальным значениям. Удельная нагрузка на единицу площади магнита равна  $10^4 \text{ Н/м}^2$ .

Объем капли магнитной жидкости влияет на жесткость системы «магнит-пластина». Анализ силовых характеристик показал, что их можно достаточно хорошо аппроксимировать экспоненциальной зависимостью  $F = F_0 \exp(-\alpha x)$ . Показатель экспоненты  $\alpha$ , характеризующий жесткость системы, изменяется от  $\alpha = 1470 \text{ м}^{-1}$  для соотношения объемов жидкости и магнита  $\Delta = V_{\text{мж}}/V_{\text{магн}} = 0,5$  до значения  $620 \text{ м}^{-1}$  (при  $\Delta = 2,5$ ).

С увеличением соотношения объемов до  $\Delta = 3$  жесткость системы значительно уменьшается. С увеличением объема капли начальное положение пластины относительно магнита изменяется незначительно, если объем капли велик. Кроме того, дальнейшее увеличение объема магнитной жидкости, покрывающей постоянный магнит, может привести к потере устойчивости магнитожидкостной капли как единого целого. Эти факты связаны с уменьшением напряженности магнитного поля по мере удаления от поверхности магнита. Находящиеся на большом расстоянии от магнита элементы объема магнитной жидкости слабо взаимодействуют с магнитом и не вносят свой вклад в создание выталкивающей силы. Удаленные от магнита слои магнитной жидкости плохо удерживаются полем магнита, и жидкость может растекаться. Для капли с магнитным ядром существует предельный объем, который определяется свойствами магнита и магнитной жидкости.

Работа выполнена при поддержке Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь.

## Литература

1. Баштовой, В.Г., Берковский, Б.М., Вислович, А.Н. Введение в термомеханику магнитных жидкостей. – М.:ИВТАН СССР, 1985. – 188с.

## Особенности магнитожидкостных уплотнений вращающихся валов

Альгадал А. М., Баштовой В. Г.

Белорусский национальный технический университет

Герметизация вращающегося вала в месте его выхода из корпуса является одним из важнейших условий нормального функционирования современных машин и аппаратов, работающих на разнообразных рабочих средах. В вакуумной технике и технологии часто возникает необходимость герметизации всего механизма или отдельных его частей. Настоящая работа посвящена изучению особенностей магнитожидкостных уплотнений вращающихся валов и определению области применения разработанных магнитожидкостных уплотнений (МЖУ).

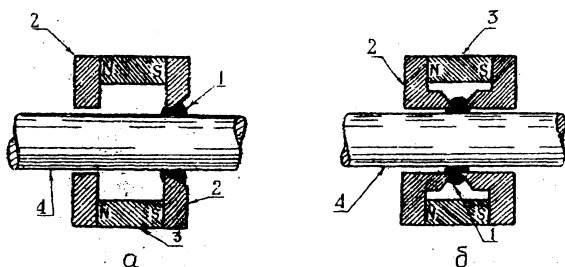
### Введение

Необходимость создания уплотнений для новой техники, требующих минимального обслуживания в эксплуатации и обладающих высокой герметичностью и износостойкостью, привела к разработке и исследованию нового типа жидкостного уплотнения с магнитной жидкостью в качестве уплотняющей среды - магнитожидкостного уплотнения.

Основными преимуществами магнитожидкостных уплотнений являются малое трение и высокие уплотняющие свойства. Как известно, узел МЖУ способен удерживать перепад давления свыше одной атмосферы при абсолютной герметичности уплотнения, что создает благоприятные условия для использования МЖУ в различных устройствах [6].

На рис.1 представлены принципиальные схемы двух наиболее распространенных конструкций магнитожидкостных уплотнений [1]. Уплотнение зазора осуществляется здесь жидкой пробкой 1, удерживаемой между валом 4 и корпусом с помощью неоднородного магнитного поля, которое создается системой из постоянного магнита 3 и полюсных наконечников 2. В схеме 1а вал изготовлен из магнитного материала и является неотъемлемым элементом магнитной цепи, в схеме 1б

вал не обладает магнитными свойствами и поэтому не входит в состав магнитного контура.



**Рис.1.** Принципиальные схемы двух наиболее распространенных конструкций МЖУ [1] (*а*- для магнитного вала, *б*- для немагнитного вала):  
1- магнитная жидкость, 2-полюсные наконечники, 3- постоянный магнит, 4- вал

Однако до настоящего времени остается открытым вопрос о том, до каких скоростей вращения вала МЖУ на основе традиционной схемы остается работоспособным, т. е. обеспечивает требуемые перепад давления, герметичность и ресурс. Постановка этого вопроса связана с тем, что с увеличением скорости вращения вала уплотняющие свойства МЖУ падают из-за ряда осложняющих факторов, основными из которых являются выбрасывание магнитной жидкости из рабочей зоны уплотнения центробежными силами и диссипативный разогрев жидкости, приводящий к ее испарению.

Обратим внимание на влияние другого фактора, ограничивающего область применения традиционной схемы МЖУ. Вязкое трение в жидкости несомненно существенно ниже сухого твердых тел, что является одним из преимуществ МЖУ. Однако при высоких скоростях сдвига диссипативные потери становятся достаточно большими, что приводит к интенсивному испарению жидкости.

## **Задачи исследования**

При увеличении окружных скоростей вращения вала на технические характеристики МЖУ влияет ряд факторов. Во-первых, при скоростях сдвига в кольцевом слое жидкости порядка  $10^4 \text{с}^{-1}$  исключается возможность образования коагуляционных структур, которые, как показали эксперименты [4], определяют критический перепад давления при небольших линейных скоростях вала. Во-вторых, вследствие перераспределения давления из-за центробежных эффектов, изменяется напряженное состояние внутри жидкостной пробки, что может привести к искривлению свободной поверхности слоя и уменьшению рабочего перепада давления [2]. В-третьих, наблюдается разогрев, вызванный вязкой диссипацией.

Последний фактор может ограничить область применения МЖУ [3] по следующим причинам:

- с увеличением температуры интенсифицируется испарение магнитной жидкости, что снижает срок надежной работы МЖУ;
- увеличение диссипативного тепловыделения свидетельствует о росте момента трения с увеличением скорости вращения вала [5], что, в конечном счете, снижает эффективность передачи момента.

Перечисленные факторы свидетельствуют, что для расширения области применения МЖУ необходимо исследование тепловых режимов МЖУ, которое включает в себя, во-первых, определение абсолютных величин тепловыделения в объеме магнитной жидкости в зазоре МЖУ и, во-вторых, разработку способов отвода тепла из рабочей зоны.

## **Заключение**

Таким образом, исследование МЖУ показывает цель дальнейших работ по оптимизации МЖУ в следующих основных направлениях;

- Учет зависимости теплофизических характеристик от температуры и постановка сопряженных задач при расчете теплового режима МЖУ;
- Дополнительная конструкторская проработка высокоскоростных МЖУ для обеспечения отвода значительного



диссипативного тепловыделения и комбинирование МЖУ с динамическими уплотнениями;

- Подбор оптимальной магнитной жидкости с учетом специфики ее применения в условиях эксплуатации МЖУ. В частности, увеличение магнитных свойств магнитной жидкости связано с ростом концентрации магнитного материала, что приводит к увеличению вязкости и, в свою очередь, момента сопротивления вращению вала.

Работа выполнена при поддержке Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь.

### **Литература**

1. Орлов, Л. П., Фертман, В. Е. Магнитожидкостные уплотнения вращающихся валов. Препринт № 8. – Мн.: ИТМО АН СССР, 1979. – 29с.
2. Орлов, Л. П., Полевиков, В. К., Фертман, В. Е., К расчету критического перепада давления в динамическом режиме работы магнитожидкостного уплотнения //9-е Рижское совещ. по магнитной гидродинамике (Рига): Тез. докл. конф. – Рига, 1978. – №.3. – С.145.
3. Краков, М. С., Самойлов, В. Б., Рахуба, В. К., Чернобай, В.А., Исследование теплового режима магнитожидкостных уплотнений //Инженерно-физический журнал. – 1981. – Т. XLI, № 1. – С.99-104.
4. Орлов, Д. В., Разоренова, И.Е., Сизов, А. П., Исследование движения ферромагнитной жидкости в кольцевом зазоре при наличии радиального магнитного поля //VI Таллинское совещание по электромагнитным расходомерам и электромеханике жидких проводников: Материалы совещания.– Таллин, 1973. – С.79-85.
5. Baily, R. L., Hands, B.A., Vokins, I.M. A rotating shaft seal using magnetic fluid – some experiences. – In: Proc. 7<sup>th</sup> Int. Conf. Fluid Seal, Nottingham, 1975, Cranfield, 1976, A5/85 – A5/94.
6. Бондарчук, В.У., Рахуба, В.К., Рекс, А.Г., Самойлов, В.Б. Исследование перепада давлений, удерживаемых магнитожидкостными уплотнениями //Сб. Проблемы механики магнитных жидкостей. – Минск, ИТМО АН БССР, 1981. – С.86.

# **Разработка месторождений полезных ископаемых**

**Определение методом игр числа одновременно работающих отвалообразователей**

**Богатов Б.А.**, Шемет С.Ф.

Белорусский национальный технический университет

За 40 лет эксплуатации Старобинского месторождения калийных солей на поверхности земли в Солигорском горнопромышленном районе накопилось свыше 600 млн. тонн отходов обогащения. Устройство солеотвалов – это дорогостоящий процесс. Технология производства калийных удобрений предусматривает после основной флотации с перечисткой полученного концентрата его обезвоживание и своевременное удаление с территории фабрики на солеотвал галитовых отходов в полном объеме. В противном случае процесс прерывается и обогатительная фабрика просто останавливается. При подсыхании галитовых отходов из порового рассола выкристаллизовывается вторичная соль (NaCl), которая цементирует отходы, превращая достаточно быстро их в полускальную техногенную породу, транспортировать которую сложно.

В настоящее время на солеотвале 1 РУ смонтировано три отвалообразователя ОШ-1900-110/150 стоимостью каждого около 7,5 млн. у.е. с расчетной производительностью по массе транспортируемых галитовых отходов 2700 т/ч. По сложившейся практике на солеотвале одновременно преимущественно работают два отвалообразователя с фронтом развития работ на участках с подготовленным ложем. Все три отвалообразователя работают попеременно с КИРВом соответственно 0,8; 0,7; 0,3 (с учетом остановки на технологическое обслуживание, текущий ремонт и демонтаж при перемещении). При условии монтажа и работы на солеотвале только одного отвалообразователя с развитием фронта работ в одну сторону стоимость размещения 1 т. галитовых отходов составляет 0,805 у.е. При одновременной работе двух отвалообразователей стоимость размещения на солеотвале 1 т. галитовых отходов составляет 1,305 у.е., а при одновременной работе трех ОШ – 2,525 у.е.

Эксплуатация отвалообразователей ОШ-1900-110/150 по обустройству солеотвалов характеризуется высокой стоимостью работ и высокой неопределенностью ситуации по обоснованию числа необходимых машин. Как известно, наилучшим способом обоснования решений в условиях неопределенности является метод игр. В качестве стратегии (выбор двух ( $A_1$ ) или трех ( $A_2$ ) отвалообразователей) принимаем число ОШ. Причем, вариант одного отвалообразователя не рассматривается из-за риска остановки обогатительной фабрики с недопустимыми вытекающими последствиями размещения отходов на территории промплощадки. В качестве отклика (результата) действия стратегии А принимаем стратегию В ( $B_1$  – стоимость работ по отвалообразованию двумя ОШ – 1,3 у.е. за 1 т. и то же тремя ОШ – 2,5 у.е. за 1 т.), приведенную к долям единицы. Таким образом,  $a_{11} = 0,52$ ,  $a_{21} = 1,0$ . В качестве  $B_2$  принимаем коэффициент использования рабочего времени (КИРВ) при  $A_1$  –  $a_{12} = 0,7$  и при  $A_2$  –  $a_{22} = 0,3$ . Таким образом, матрица игры принимает вид:

Таблица

		В		$\alpha$
		$B_1$	$B_2$	
А	$A_1$	0,52	0,7	0,52
	$A_2$	1,0	0,3	0,3
$\beta$		1,0	0,7	

В матрице игры по обоснованию необходимого числа отвалообразователей использованы фактические данные эксплуатации ОШ на 1 РУ РУП «ПО «Беларуськалий». Анализируем матрицу методом минимакса и максимина. Нижняя цена игры (табл.)

$$\alpha = \max_i \min_j a_{ij} = 0,52.$$

Верхняя цена игры:

$$\beta = \min_j \max_i a_{ij} = 0,7.$$

Так как  $\alpha \neq \beta$ , то имеем смешанную игру, ориентируясь на средний результат  $\alpha \leq \gamma \leq \beta$ :  $A^\circ \left\{ \begin{matrix} \hat{A}_1, \hat{A}_2 \\ \delta_1, \delta_2 \end{matrix} \right\}$ ,  $B^\circ \left\{ \begin{matrix} \hat{A}_1, \hat{B}_2 \\ q_1, q_2 \end{matrix} \right\}$ ,

$$p_1 + p_2 = 1 \quad q_1 + q_2 = 1$$

Выше обозначено  $p_1, p_2, q_1, q_2$  – долевое (меньше 1) участие стратегий  $A_i$  и  $B_j$  в обосновании решения. Для определения оптимальных значений  $A^\circ, B^\circ$  составляем систему уравнений:

$$\begin{cases} 0,52 \delta_1 + \delta_2 \geq \gamma \\ 0,7 \delta_1 + 0,3 \delta_2 \geq \gamma \\ \delta_1 + \delta_2 = 1. \end{cases} \quad \text{è} \quad \begin{cases} 0,52 q_1 + 0,7 q_2 \leq \gamma \\ q_1 + 0,3 q_2 \leq \gamma \\ q_1 + q_2 = 1. \end{cases}$$

Обозначим  $\frac{\delta_1}{\gamma} = \tilde{\alpha}_1$ ,  $\frac{\delta_2}{\gamma} = \tilde{\alpha}_2$ ,  $\frac{q_1}{\gamma} = \tilde{\alpha}'_1$ ,  $\frac{q_2}{\gamma} = \tilde{\alpha}'_2$ . В результате вышеуказанные системы уравнений можно представить двойственной задачей линейного программирования:

$$\tilde{\alpha}_1 + \tilde{\alpha}_2 = \frac{1}{\gamma} \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$0,52 \tilde{\alpha}_1 + \tilde{\alpha}_2 \geq 1,$$

$$0,7 \tilde{\alpha}_1 + 0,3 \tilde{\alpha}_2 \geq 1,$$

$$\tilde{\alpha}'_1 + \tilde{\alpha}'_2 = \frac{1}{\gamma} \rightarrow \max, \quad (2)$$

$$0,52 \tilde{\alpha}'_1 + 0,7 \tilde{\alpha}'_2 \leq 1,$$

$$\tilde{\alpha}'_1 + 0,3 \tilde{\alpha}'_2 \leq 1.$$

Таким образом, для первой задачи (на  $\max$ ) находим  $x_1 = 1,29$ ,  $x_2 = 0,33$ ,  $\gamma = 0,62$ . Откуда получаем  $p_1 = 0,8$  и  $p_2 = 0,2$ . Для второй задачи линейного программирования находим  $y_1 = 0,77$ ,  $y_2 = 0,89$  и  $\gamma = 0,62$ . Следовательно,  $q_1 = 0,48$  и  $q_2 = 0,52$ . Полученный результат анализа матрицы игры можно трактовать следующим образом. При условии примерного равенства «вклада» в решение вышеуказанной задачи стоимости работ по отвалообразованию ( $B_1$ ) и использования рабочего времени ( $B_2$ ) наилучший результат (эффект) будет достигнут, если 80% объема галитовых отходов будет размещаться в солеотвале при одновременной работе двух ОШ, а остальные 20% объема отходов при одновременно работающих трех ОШ.

## Влияние подземной системы отработки калийных месторождений на процесс оседания земной поверхности

Шемет С. Ф., Богатов И.Б.

Белорусский национальный технический университет

Одним из негативных факторов для окружающей природной среды в Солигорском промышленном районе является влияние подземных горных работ на рельеф и ландшафтную обстановку вследствие оседания и деформации земной поверхности.

В настоящее время подземная добыча сильвинитовой руды на Старобинском месторождении ведется механизированным способом на Втором и Третьем (частично на Первом) промышленных горизонтах на глубинах 400 – 500 метров и 600 – 800 метров соответственно. В результате горных работ повсеместно на территории четырех шахтных полей действующих рудоуправлений наблюдается деформация покрывающей толщи пород и оседание земной поверхности над отработанными горными выработками. На рисунке представлены основные стадии сдвижения.

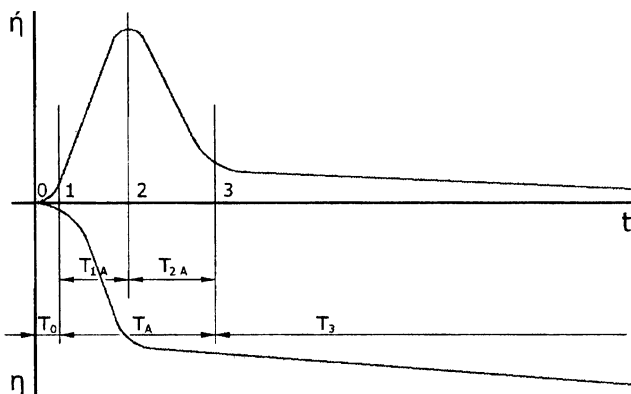


Рис. Кинематика сдвижения породной толщи

$\eta$  - оседание поверхности (толщи пород);  $\dot{\eta}$  - скорость оседания;  $T_0$  - начальный период сдвижения;  $T_A$  - активная стадия сдвижения;  $T_{1A}$  и  $T_{2A}$  - фазы ускоренного сдвижения и активного замедления;  $T_3$  - период затухания.

Фаза  $T_3$  - период затухания, характеризуется малым и постоянным значением ускорения, а также большой продолжительностью во времени.

По характеру рельефа территория Старобинского месторождения находится в переходной зоне к Припятскому Полесью и на большей своей части характеризуется низкой гипсометрией поверхности с абсолютными отметками, не превышающими 145 – 150м и с уровнем грунтовых вод на глубине от 0 до 2 – 4м от поверхности земли. Наиболее низкие участки приурочены к прибрежной зоне Солигорского водохранилища, долине рек Рутки и Сивельги, а также южной половины шахтного поля 4 РУ, где абсолютные отметки снижаются до 143 – 145м. Оседание земной поверхности может привести к затоплению и заболачиванию отдельных участков шахтных полей.

Геолого-литологическое строение зоны аэрации всей территории месторождения характеризуется весьма сложным строением, что обусловлено частой фациальной изменчивостью слагающих ее рыхлых отложений, различными их свойствами.

Всю площадь оседания можно разбить на четыре зоны:

Первая зона, зона затопления, образуется на наиболее пониженных в рельефе участках, сложенных водонепроницаемыми отложениями и характеризующимися глубиной залегания грунтовых вод, равной амплитуде оседания земной поверхности, либо меньше ее. В процессе оседания эта зона испытывает отрицательное максимальное воздействие горных разработок и в случае не принятия мер защиты может быть полностью затоплена (залита) грунтовыми и поверхностными водами.

Ко второй зоне, зоне заболачивания, относится часть обрабатываемой территории с переходными формами рельефа, сложенная водонепроницаемыми отложениями и характеризующаяся глубиной залегания грунтовых вод, превышающей амплитуду оседания на 0,1 – 0,2м. По сравнению с первой вредное влияние горных разработок здесь проявляется

в меньшей степени и заключается только в заболачивании местности.

Зона затопления (третья зона), охватывает более возвышенные участки в мульде сдвижения, в пределах которых глубина залегания уровня грунтовых вод колеблется от 1,0 до 2,0м выше амплитуды оседания. Негативное влияние горных разработок в ней проявляется еще в меньшей степени и заключается лишь в подтоплении фундаментов и подвальных зданий и сооружений.

К зоне незначительного воздействия (четвертая зона), относится остальная площадь надрабатываемой территории с глубиной залегания грунтовых вод, превышающей 5,0м. Подтопление, заболачивание и затопление земель грунтовыми водами в ней отсутствует, но может проявляться за счет скопления поверхностных вод.

К 01.01.2004г в результате освоения Старобинского месторождения калийных солей более 20 тысяч га земельных угодий Солигорского, Любанского и Слуцкого районов подвергалось оседанию земной поверхности. В свою очередь это привело к изменению уровня грунтовых вод на этих территориях и на площади около 6,5 тыс. га требовалось проведение мероприятий по инженерной защите территории от затопления, заболачивания и подтопления. Для ликвидации последствий негативного влияния оседания земной поверхности РУП ПО «Беларуськалий» уже провел необходимые мероприятия на площади 5385га. Из 20 тыс. га земельных угодий, подвергшихся оседанию, на площади 13,5 га не нарушены нормы осушения сельхозугодий и мероприятия по инженерной защите на этой территории проводить нет необходимости. Вопрос снижения влияния отработки калийной руды подземным способом на земную поверхность можно решить гидро- либо пневмозакладкой выработанных пространств отходами калийного производства.

Проблема гидрозакладки подземного отработанного пространства галитовыми отходами рассматривалась еще на стадии проектирования 1 Солигорского калийного комбината в 1960-1962 гг. Для получения исходных данных и реализации этой идеи на 1 РУ в 1971 г. была построена опытно-промышленная установка. Солевые отходы непосредственно с



обогащительной фабрики 1-РУ ленточными транспортерами подавались в смесительный бак, где разбавлялись рассолами. Пульпа по вертикальному трубопроводу длиной около 600 м и горизонтальному длиной до 3200 м за счет естественного напора поступала на участок гидрозакладки в выработанное пространство, представляющее собой систему камер длиной 200 м и объемом от 1,5 до 4,0 тыс. м<sup>3</sup> каждая. Устья камер изолировались перемычками, твердая фаза в камере выпадала в осадок, а жидкая (рассол) через сливные трубы (выпуски) в перемычке периодически выпускалась, перекачивалась в рассолосборник и подавалась по обратному трубопроводу в шахтном стволе на поверхность в смесительные баки.

Для проведения исследований возможности подземного размещения глинисто-солевых шламов для условий РУП ПО «Беларуськалий» был выбран опытный участок на 1-ой и 2-ой южной панели горизонта - 445 м на 2-РУ и разработана технологическая схема реализации эксперимента.

Исследованиями Борзаковского Б.А. и Кудрявцева В.Ф. по транспортабельности шламовой пульпы установлено, что статистическое напряжение сдвига нелинейно зависит от плотности пульпы. Так, например, при содержании нерастворимого остатка (н.о.) 19 % в пульпе с увеличением ее плотности от 1,30 до 1,52 г/см<sup>3</sup> напряжение сдвига нарастает медленно – с 0,5 до 0,85 МПа, а при дальнейшем увеличении плотности сопротивление сдвигу резко возрастает.

Анализ отечественного и зарубежного опыта показал, что в условиях более совершенной выемки полезного ископаемого длинными очистными забоями наиболее приемлем пневматический метод закладки. Этот метод требует влажности подаваемого в рудник закладочного материала, не превышающей 6 %. Технологическая схема пневмозакладки выработок галитовыми отходами для РУП ПО «Беларуськалий» может состоять из следующих операций: обезвоживание солеотходов на центрифугах и их подача конвейерными установками к околоствольному приемному бункеру шахт; затем, по металлическому трубопроводу самотеком к бункерам эксплуатационных горизонтов и от них к месту закладки ленточными конвейерами до пневмозакладочных машин, которые забрасывают отходы в забой.

**Исследование параметров уравнения  
потерь органического вещества  
в торфяной залежи**

Казаченко Г.В., Слыш В.В.

Белорусский национальный технический университет

В процессе эволюции торфяной залежи ее состояние непрерывно изменяется вследствие ежегодного естественного прироста биомассы, ее биохимического разложения и потерь органического вещества, обусловленных минерализацией и действием ряда других факторов. Так как оторфовывание растительных остатков осуществляется особенно эффективно в поверхностных слоях залежи, то интенсивность биохимических преобразований, а также достаточная аэрация создаёт благоприятный микроклимат для жизнедеятельности различных видов грибов и бактерий. В ряде исследований было выявлено, что при понижении УГВ (уровня грунтовых вод) вследствие проведения различных мелиоративных мероприятий в торфе происходят значительные изменения в содержании зольных элементов и органического вещества. При анализе органической части торфа и рассмотрении его элементарного состава мы видим, что углерод (С) составляет от 48 до 65.1% и является основным показателем, характеризующим действительную степень биохимического распада растений-торфообразователей.

Установлено, что минимальной величине степени разложения соответствует наиболее низкое содержание углерода, а максимальное значение содержания углерода соответствует наибольшей величине степени разложения.

Эволюция торфяной залежи находит отражение в изменении ее характеристик, которые определяют общетехнические, физические и химические свойства торфа слагающего залежь. Различные характеристики наиболее полно описаны в известных монографиях Тюремнова С.И. [1], Лиштвана И.И. и Короля Н.Т. [2] и ряда других исследований, где показано, что свойства торфа весьма разнообразны и зависят от типа залежи, ботанического состава растений-торфообразователей, условий залегания, степени разложения и ряда других менее существенных факторов. В процессе моделирования свойств

торфяной залежи в зависимости от степени разложения [4] была получена формула для определения потерь органического вещества из торфа:

$$Q_n = Q_{nm} \cdot \left( 1 - e^{-k_1 \cdot R + \frac{1}{2}(k_1 - k_2) \cdot R^2} \right), (1)$$

где  $Q_{pm}$ -максимальное количество потери органического вещества;  $R$ -степень разложения торфа;  $k_1$  и  $k_2$ -коэффициенты учитывающие потери неорганического вещества из разложившейся и неразложившейся частей торфа

В исходной формуле коэффициенты  $k_1, k_2$  и показатель  $Q_{pm}$  определились решением методом Ньютона системы из трёх уравнений. (см алгоритм решения системы нелинейных уравнений).

$$Q_{ni} = Q_{nmi} \cdot \left( 1 - e^{-k_{1i} \cdot R_i + \frac{1}{2}(k_{1i} - k_{2i}) \cdot R_i^2} \right), (2)$$

где  $i=1-3$ ,  $Q_{pi}$  и  $R_i$  –соответствующие значения из (1). После определения  $k_{1i}$ ,  $k_{2i}$  и  $Q_{pmi}$  в четырёх сериях были вычислены их средние значения по данным из [2]:  $k_1=9.456$ ;  $k_2=9.881$ ;  $Q_{pm}=0.781$ ( сосново-пушицевый верховой торф). Был сделан вывод, что коэффициенты  $k_1$  и  $k_2$  незначительно различны численно. Учитывая малость величины  $\frac{1}{2}(k_1 - k_2)R^2$  по сравнению с  $k_1R$  можно без большой погрешности записать :

$$Q_n = Q_{nm} \cdot \left( 1 - e^{k \cdot R} \right), (3)$$

Коэффициент  $k$  и величина  $Q_{pm}$  при использовании формулы (3) определялись этим же способом. В результате вычислений были получены следующие значения:  $k=9,661$ ;  $Q_{pm}=0,798$ .

Вернувшись теперь к исходному балансовому соотношению и используя определение  $R$ , получаем также формулы для определения количества неразложившейся и разложившейся частей торфа:

$$Q_{1-R} = (1 - R) \cdot \left[ 1 - Q_{nm} \cdot (1 - e^{k \cdot R}) \right], (4)$$

$$Q_R = \left[ 1 - Q_{nm} \cdot (1 - e^{k \cdot R}) \right], (5)$$

а также для определения количества органического вещества:

$$Q_0 = 1 - Q_{nm} \cdot (1 - e^{k \cdot R}), (6)$$

### Литература

1. Тюремнов, С. Н. Торфяные месторождения. – М.: Недра, 1976.– 488 с.
2. Лиштван, И. И., Король, Н.Т. Основные свойства торфа и методы их определения - Мн.: Наука и техника, 1975.– 320 с.
3. Ракович, В. А. Количественная оценка вкладов лесов и болот в формирование источников и стоков парниковых газов: тезисы докладов международного симпозиума. – Мн.: ОДО “ТОНПИК”, 2002.– 242 с.
4. Казаченко, Г.В. Моделирование состояния торфяной залежи в зависимости от степени разложения. Современные проблемы механики торфа в процессах добычи и переработки: Сб. трудов научно-технической конференции. Мн.: УП “Технопринт”, 2002.– 142-146 с.

# **Горные машины**

**Разработка комплекса колесных тракторных агрегатов  
для торфяных работ**

Таяновский Г.А.

Белорусский национальный технический университет

Переворужение торфяной отрасли Беларуси в части торфодобычи осуществляется путем использования отечественных колесных тракторов и создания торфяных машин для работы с ними. Ключевые научно-технические аспекты такого перехода состоят в определении концепции, разработке конструкций и решении проблем механики новых торфяных агрегатов.

Выполненные автором научно-исследовательские и проектные изыскания по обоснованию тракторных агрегатов для разработки торфяных месторождений на основе колесных тракторов МТЗ были направлены на разработку эффективного комплекса машин для торфодобычи, технических предложений, методов и средств расчетов агрегатирования и тяговой динамики тракторов «Беларус» в составе торфяных агрегатов с основными машинами и оборудованием, обеспечивающими подготовку торфяной залежи, осушителей, операции добычи кускового и фрезерного торфа на основе различных уборочных машин и операции погрузки и перевозки добытого торфа. [1, 2].

Разработаны конструктивно-технологические концепции новых торфяных агрегатов, реализующих новые и традиционные технологии торфодобычи [1, 3].

Проработаны на уровне конструкторской документации варианты структурно-компоновочных схем создаваемых торфяных агрегатов со следующими машинами и оборудованием: роторным корчевателем типа РКГ; фрезеромовочным навесным оборудованием типа НТК; оборудованием для прочистки трубчатых мостов-переездов типа ПТМ; оборудования для ремонта картовых каналов типа РК0; прицепной колесной скреперно-бункерной уборочной машиной и погрузчиками торфа различных схем; торфяными прицепами для перевозки кускового и фрезерного торфа. Показана целесообразность использования традиционных и разработанных автором новых конструктивных принципов и технологических концепций, предложен новый метод тягового расчета объединенного многомостового движите-

ля, рассчитана технико-экономическая эффективность предложенных технических решений торфяных агрегатов, составляющих основу добывающего комплекса [1, 2, 3].

Тенденция к широкому применению многооперационных торфяных тракторных агрегатов, создаваемых путем эшелонированной навески на тракторное шасси, обострила проблемы обеспечения необходимой проходимости и экологического воздействия таких агрегатов на торфяную залежь, прочности несущей системы трактора и условий труда водителя. Поэтому оказались актуальными и востребованными работы по решению наиболее острых задач указанных проблем.

Автором разработан ряд нетрадиционных компоновок самоходных тракторных шасси, созданных на основе базовых тракторов семейства «Беларус» и предназначенных для использования в качестве мобильных энергетических средств в составе навесных и прицепных торфяных тракторных агрегатов [1, 3].

Методика разработки комплекса торфяных колесных тракторных агрегатов включала ряд этапов. Один из определяющих дальнейшие результаты этап включал создание новых структурно-компоновочных схем горных тракторных агрегатов путем использования разработанного автором специализированного банка эвристических приемов. Далее следовал этап проектного обоснования структуры и выбора проектных параметров тракторного шасси и торфяного агрегата. Он осуществлялся по разработанному автором алгоритму, который развивает и реализует известный в области создания внедорожных автомобилей принцип максимального использования свойств поверхности движения. Суть реализованного подхода состоит в достижении наибольшего потенциала тяговой эффективности, опорной проходимости, при допустимом повреждающем воздействии на грунт в каждой опоре ходового аппарата агрегата, допустимой динамической нагруженности несущей системы и обеспечении плавности хода, путем выбора рационального сочетания структур звеньев, схемы агрегатирования, массо-геометрических и режимных параметров создаваемого тракторного агрегата. При этом в качестве инструментов оценки результатов многовариантного анализа использовались нагрузки на опоры агрегата, повреждающее воздействие элементов ходовой системы на залежь, плотность и влажность залежи, глубина колеи, норма мел-

кой и пылевой фракций торфа в колее, величина буксования элементов движителя, среднеквадратические ускорения в заданных точках тракторного агрегата, то есть те измерители, которые легко определить экспериментально. На основе этих измерителей строились оценочные критерии, функции цели или компромисса, которые дополнялись накладываемыми условиями-ограничениями [ 3 ] , и , далее, выполнялась параметрическая оптимизация.

Состав необходимого комплекса тракторных агрегатов определяется номенклатурой добываемого на данном предприятии торфяного сырья и устанавливается на основе экономико-математических моделей, в которых используются только главные параметры тракторных агрегатов комплекса.

Выполненные с участием автора проектные изыскания, разработка, моделирование и опытная проверка некоторых из ранее перечисленных новых торфяных тракторных агрегатов показали их эффективность. Давно назрела необходимость создания и скорейшей реализации Государственной программы торфяного машиностроения, что особенно актуально в контексте поставленной правительством задачи по производству в республике четверти всей потребляемой энергии за счет местных источников сырья.

## **Литература**

1. Таяновский, Г.А. Перспективы применения и принципы агрегатирования тракторов “Беларус” с торфяными машинами. Сб. трудов научн.-техн. конференции «Современные проблемы механики торфа в процессах добычи и переработки». – Мн.: УП «Технопринт», 2002. – 142 с.
2. Таяновский, Г.А. Концепция технологии и мобильно-стационарного агрегата (МСА) для получения кускового топлива на основе торфа. Сб. трудов научн.-техн. конференции «Современные проблемы механики торфа в процессах добычи и переработки». – Мн.: УП «Технопринт», 2002. – 142 с.
3. Таяновский, Г.А. Оценка распределения тяговых сил по колесам многомостового тягового средства. В сб. трудов комиссии моторизации и энергетики сельского хозяйства Польской академии наук, т. 6, 2004. – 320 с., с.235-240.



## Оптимизация геометрии формирующего инструмента для экструзионных погонажных изделий

Квятинский А.Г.

Белорусский национальный технический университет

Мировой рынок древесно-полимерных композитов (ДПК) и изделий из них, начиная с 1998 года, рынок растет на 25% в год, а прогнозный рост до 2010 года составит 15-20% в год. Благодаря своим эксплуатационным свойствам ДПК все чаще заменяют дерево и пластик в строительстве, промышленности и быту.

Для экспериментальных исследований возможности производства было использовано следующее оборудование:

1. Двухемкостная смесительная установка MARIS с возможностью сушки материала.

2. Экструзионная линия на базе двухшнекового цилиндрического экструдера Weber DS65, диаметр шнеков 65мм, отношение длины шнека к диаметру – 20.

Табл. 1.

Смесь №1				
Материал	Мар-ка	Изготовитель	Кол-во, частей	Содер-жание, %
ПВХ	K58	ОАО Каустик	100	58
Опилки			70	40
Модификатор перерабатываемости	K175	Rohm & Haas	1	0.5
Смазка	Stalo L715	Cognis GmbH	0.4	0.2
Стабилизатор	SBKS 1082	Cognis GmbH	2	0.1
Смесь №2				
Отходы ПВХ			100	67
Опилки			50	33

Для исследований использовались отходы лесопильного производства хвойных пород (в основном сосна). В первом варианте (см. табл. 1) полимерным связующим являлся суспензионный поливинилхлорид К-58 в чистом виде. Во избежание термодеструкции расплава и повышения его реологических свойств были добавлены свинцовый стабилизатор, модификатор перерабатываемости и смазка.

Во втором варианте использовались измельченные отходы обрезков оконных профилей из ПВХ, уже содержащие вышеуказанные добавки.

Опилки были просеяны через сито с размером ячеек 1,6мм и высушены до содержания влаги 1-2%. Готовая смесь охлаждалась в смесителе с водяной рубашкой в течении 10-15 минут до температуры 40-50°C. Затем на экструзионной линии были получены образцы профильных изделий.

В экспериментах установлены необходимые особенности геометрии формирующего инструмента для ДПК, в отличии от традиционного для производства изделий из жесткого ПВХ:

1. Вследствие низкой термостабильности для ДПК необходимы более низкие температуры переработки и меньшее время резиденции. Поэтому необходимо выполнять канал еще более плавным, избегая застойных зон.

2. Из-за низкой текучести расплава наблюдается тенденция к застою материала в наружных углах профиля, т.к. здесь значение напряжения сдвига  $\tau$  может быть меньше предела текучести  $\tau_0$ . Острые углы в канале недопустимы.

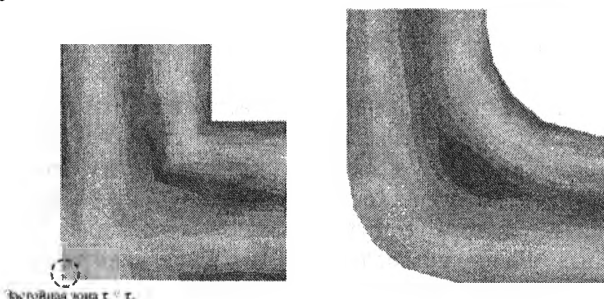


Рис. 1. Поле касательных напряжений расплава для профиля с острыми углами и для профиля со скругленными углами

3. Низкая прочность экструдата требует специальной конструкции калибратора с наличием элементов, обеспечивающих плавность скольжения профиля.

4. Также из-за низкой прочности экструдата невозможно использовать обычные для ПВХ коэффициенты вытяжки 3-10%. Разница размеров отверстия фильеры и калибратора должна быть в пределах 1-3%.

5. Так как вязкость расплава ДПК существенно выше чем у ПВХ, то обычное соотношение потери давления на выходной (параллельной) плите фильеры и остальной части канала как 5:1 неприемлемо из-за высокого давления в адаптере экструдера >300 атм. Рекомендуемое соотношение 3:1.

6. Для лучшей пластикации материала рекомендуется на входе в фильеру устанавливать решетку с размером отверстий 3мм.

Капиталовложения в оборудование для организации производства распределяются следующим образом (см. табл. 2):

Табл. 2.

Подготовка сырья	500000\$
Смесительный комплекс	150000\$
Экструзионное оборудование	240000\$
Формующий инструмент	20000-200000\$
Оборудование для финишной обработки	20000\$

Анализ возможности внедрения данной технологии показал, что высокая стоимость подготовки сырья связана с необходимостью получения однородного по фракционному составу сырья низкой влажности, а также из-за высокой пожарной опасности производства.

Для решения этой задачи предлагается использовать существующую базу торфобрикетных заводов, где уже выработаны месторождения торфа, а доставка сырья из других мест нецелесообразна. Технологическое оборудование (бункера, конвейеры, сушилки, сепараторы) могут быть использованы для подготовки древесных опилок, позволяя сократить вдвое капиталовложения в организацию производства, задействовать высвобождающиеся оборудование, здания и людские ресурсы.

**Стратегия и программный комплекс расчета движения  
газового потока в шнековом осадителе**

Кричко К.А.

Белорусский национальный технический университет

Наиболее распространенным подходом к изучению аспирации пыли в циклоне является эмпирическое исследование процесса. Однако среднестатистический характер полученных результатов не позволяет судить о процессах, происходящих в локальных зонах конструкции.

Достаточно полным методом анализа факторов, влияющих на эффективность работы аппаратов пылеулавливания, является математическое моделирование. В основе современных методов вычислительной газовой динамики (ВГД) лежит численное решение уравнений Навье-Стокса. Однако, решение полных уравнений Навье-Стокса является трудоемкой задачей. Поэтому в зависимости от характера рассматриваемой задачи, численное моделирование течений проводится в различных математических постановках и приближениях.

Моделирование движения газа в исследуемом аппарате проводилось с помощью программы вычисления движения жидкости и газа (ВГД) на основе конечно-объемного метода (КОМ) решения уравнений гидродинамики, использующей прямоугольную адаптивную сетку с локальным измельчением. Для аппроксимации криволинейной геометрии с повышенной точностью использовалась технология подсеточного разрешения геометрии, которая позволяет импортировать ее из систем САПР.

С помощью программы САПР создавалась геометрическая твердотельная модель шнекового осадителя, которая импортировалась в программу расчета, где определялась расчетная область.

Получение распределений скорости, давления и других физических параметров газа является целью моделирования его движения в расчетной области. Для расчета всех этих параметров задаются физические законы их изменения, совокупность которых составляет основу математической модели.

Для расчета движения газа в шнековом осадителе лучше всего подходит  $k-\varepsilon$  модель турбулентного течения газа, которая предназначена для случая движения газа при больших числах Рейнольдса и малых изменениях плотности. Она основана на стандартной  $k-\varepsilon$  модели турбулентности, в которой турбулентная вязкость  $\mu_t$  выражается через величины  $k-\varepsilon$  следующим образом:

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon}, \quad (1)$$

где  $\mu_t$  – турбулентная вязкость, кг/(м·с);  $C_\mu = 0,09$  – параметр  $k-\varepsilon$  модели;  $\rho$  – плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;  $k$  – турбулентная энергия, м<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>;  $\varepsilon$  – скорость диссипации турбулентной энергии, м<sup>2</sup>/с<sup>3</sup>;

Модель состоит из уравнения Навье-Стокса, уравнения для энтальпии, уравнения для концентрации, уравнения для  $k$  и  $\varepsilon$ .

В расчетной области задавались граничные условия (ГУ). В модели шнекового осадителя границами расчетной области являются внутренние стенки осадителя, поверхность шнека, а также сечения входного патрубка и выхлопной трубы, на которых задавались скорость входа потока и давление на выходе из осадителя.

Картина потоков, возникающих внутри циклонных аппаратов, носит сложный характер. Этим объясняется отсутствие единого подхода к математическому описанию движения пылегазовой смеси в циклонах. Расчет, проведенный с помощью КОМ, позволил получить пространственные поля давлений и скоростей газа в исследуемом аппарате.

Осадитель работает следующим образом: воздух поступает в аппарат через тангенциальный патрубок со скоростью  $v = 25$  м/с подаётся в цилиндрическо-конический корпус осадителя под первый виток винтовой поверхности. Поверхностью поток закручивается, благодаря чему возникают центробежные силы, оттесняющие поток в радиальном направлении до соприкосновения с боковой поверхностью корпуса. Пройдя последний виток, пылегазовый вихревой нисходящий поток огибает отражательный козырек, с помощью которого отклоняется к

внутренней стенке корпуса. Далее газ поступает через отверстие в центральный патрубок и выбрасывается в атмосферу.

Вращающийся в осадителе воздушный поток имеет сложное пространственное поле скоростей, обусловленное конструкцией аппарата (тангенциальный вход и центральный выход воздуха).

Поле абсолютных скоростей газа в осадителе было представлено в виде спиральных траекторий движения потока. Внутренний восходящий поток начинается в нижней части конуса осадителя и движется вверх, вращаясь в том же направлении, что и внешний нисходящий поток.

Наибольшую скорость в осадителе газовый поток имеет в тангенциальном патрубке в аппарат –  $v = (22 \div 25)$  м/с. Основная зона износа в аппарате располагается в месте входа потока в осадитель. Скорость потока на внутренних стенках корпуса составляет  $v = (17 \div 22)$  м/с. На последнем витке, пылегазовый вихревой нисходящий поток огибает отражательный козырек, установленный в нижней части выхлопной трубы. Поток резко меняет направление движения достигая скорости  $v = (17 \div 20)$  м/с, что будет отрицательно влиять на эффективность работы аппарата. На эпюрах скоростей наблюдается отрыв потока от поверхности козырька. В выхлопной трубе газовый поток вращается и движется со скоростью  $v = (10 \div 12)$  м/с.

Потери давления в осадителе составляют 900 Па (расчет проводился без учета шероховатости внутренних стенок корпуса). Зона наибольшего давления находится в месте входа потока в осадитель на его внутренней цилиндрической поверхности. Давление  $P \cong 101900$  Па. Далее, при повороте потока на девяносто градусов давление в этой зоне несколько снижается –  $P \cong 101700$  Па. Наибольшее разрежение газа в аппарате находится в зоне отражательного козырька ( $P \cong 101500$  Па) и в центральной трубе –  $P \cong 101170$  Па.

Благодаря наличию наклонной винтовой поверхности, прилегающей к центральному патрубку шнекового осадителя, отрицательный эффект радиального стока частиц внутри рабочей камеры осадителя полностью отсутствует.

## К вопросу выбора критической скорости воздуха при вертикальном пневмотранспорте

Петренко С. М.

Белорусский национальный технический университет

Критическая скорость  $\mathcal{G}_{кр}$  воздуха, при которой обеспечивается направленное перемещение транспортируемого материала с минимальными потерями давления  $dP/dL$  на единицу длины трубопровода, определяется из опыта как приведенная (отнесенная к площади поперечного сечения трубопровода) скорость  $\mathcal{G}$  для конкретных режимных параметров вертикального пневмотранспорта.

Из анализа условий силового взаимодействия в движущемся объеме аэросмеси следует, что для реализации вертикального пневмотранспорта материала в направлении против силы тяжести сила  $F_{вз}$  аэродинамического взаимодействия между воздушной и твердой фазами, отнесенная к единице массы, должна превышать вес столба материала в пневмотранспортном трубопроводе, т.е.  $F_{вз} > g$ , или  $(v - v_m)^2 / v_s^2 > 1$ , где  $v$ ,  $v_m$  и  $v_s$  - действительные (с учетом стеснения поперечного сечения трубопровода транспортируемым материалом) скорости воздуха, материала и витания частиц. При переходе к расходным параметрам это условие обеспечения вертикального пневмотранспорта сыпучего материала с массовой производительностью  $Q_m$  для некоторой выбранной приведенной скорости  $\mathcal{G}$  воздуха имеет вид:

$$\left( \frac{\mathcal{G}}{1-c} - \frac{4Q_m}{c\rho_m\pi D^2} \right)^2 > \mathcal{G}_{sm}^2 (1-c)^6 \left( 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^2 \right)^2, \quad (1)$$

где  $\mathcal{G}_{sm}$  - приведенная скорость витания частиц материала,  $c$  - объемная концентрация материала в пневмотранспортном трубопроводе,  $d$  и  $\rho_m$  - эквивалентный диаметр и плотность час-

тиц материала,  $D$  – диаметр пневмотранспортного трубопровода.

При известных размерно-плотностных и аэродинамических характеристиках ( $d$ ,  $\rho_m$ ,  $\mathcal{G}_{sn}$ ) материала и диаметре трубопровода  $D$  из (1) можно определить для заданного массового расхода  $Q_m$  и принятой приведенной скорости  $\mathcal{G}$  воздуха объемную концентрацию  $c_o = c_{\min}$ , минимально необходимую для того, чтобы за счет стеснения поперечного сечения трубопровода частицами транспортируемого материала действительная скорость воздуха  $v = \mathcal{G}/(1 - c_o)$  превысила потребную для обеспечения  $Q_m$  действительную скорость материала  $v_m = 4Q_m / (c_o \rho_m \pi D^2)$  и квадрат их разности стал больше квадрата действительной скорости витания  $v_s = \mathcal{G}_{sn} (1 - c_o)^3 (1 - (d/D)^2)$ . Минимальное потребное значение приведенной скорости воздуха ограничено значением  $c_o \approx 0,6$ , соответствующим состоянию плотной упаковки частиц материала в трубопроводе.

С увеличением приведенной скорости  $\mathcal{G}$  воздуха значения  $c_o$  и действительной скорости воздуха  $v$ , а также коэффициента  $\lambda_m$  сопротивления транспортируемого материала уменьшаются, а значения действительной скорости материала  $v_m$  и действительной скорости  $v_s$  витания частиц увеличиваются. Соответственно с ростом  $\mathcal{G}$  возрастает составляющая потерь давления на перемещение воздуха

$$(dP/dL)_g = (1 - c_o)g\rho_g + (1 - c_o)\lambda_g \rho_g v^2 / 2D,$$

где  $\rho_g$  и  $\lambda_g$  – плотность и коэффициент сопротивления воздушной фазы, и уменьшается составляющая потерь давления на перемещение материала

$$(dP/dL)_m = c_o g\rho_m + c_o \lambda_m \rho_m v_m^2 / 2D.$$

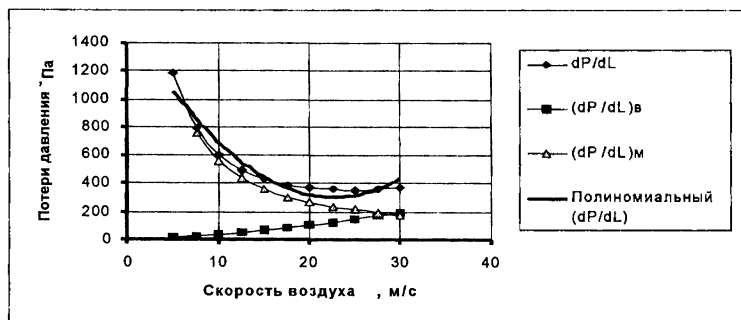


В результате с возрастанием  $\mathcal{G}$  происходит перераспределение вклада в суммарные потери давления составляющих потерь давления  $(dP/dL)_в$  и  $(dP/dL)_м$ , и зависимость суммарных потерь давления  $dP/dL=(dP/dL)_в+(dP/dL)_м =f(\mathcal{G})$  имеет минимум, соответствующий расчетному значению критической скорости  $\mathcal{G}_{кр}$ .

Результаты определения  $\mathcal{G}_{кр}$  для образца дробленого торфа с  $d = 5,5$  мм,  $\rho_m = 935$  кг/м<sup>3</sup>,  $\mathcal{G}_{sn} = 10,8$  м/с при диаметре трубопровода  $D = 0,053$  м и  $Q_m = 0,55$  кг/с на основании полученной расчетом полиномиальной зависимости

$$dP/dL = 2,4489 \mathcal{G}^2 + 110,63 \mathcal{G} + 1551,4$$

представлены на рисунке.



Наиболее существенное влияние на определяемое по предложенной методике значение  $\mathcal{G}_{кр}$  оказывает точность оценки приведенной скорости витания частиц транспортируемого материала — с увеличением  $\mathcal{G}_{sn}$  при прочих равных условиях минимум кривой  $dP/dL = f(\mathcal{G})$  смещается вправо.

## Об эффективности гидроразбивателя

Шульдова С.Г.

Белорусский национальный технический университет

Одним из важнейших направлений производственной деятельности во всех странах мира является развитие ресурсосберегающих технологий, позволяющих рационально использовать сырье и энергию, утилизировать и повторно использовать производственные отходы. В связи с этим, в последние годы непрерывно увеличивается производство формованной из органогенной гидромассы тары и упаковки, самым распространенным видом которой являются лотки для яиц и торфяные горшочки. Преимущества такой упаковки заключаются в ее надежности и прочности при одновременной легкости, привлекательности, возможности рециклинга и экологической безвредности.

Производство формованных из гидромассы изделий начинается с роспуска сырья в ванне гидроразбивателя, одной из самых энергоемких операций производства. В настоящей работе рассматривается модель процесса гидророспуска для поиска путей повышения его эффективности.

Эффективность гидроразбивателя определяется степенью переработки массы и количеством потребляемой энергии. Поэтому постановка задачи оптимизации работы гидроразбивателя предусматривает определение режимов, которые обеспечивают требуемую степень переработки гидромассы при минимальном количестве потребляемой энергии.

Связь между мощностью ротора и условиями процесса принято выражать в форме зависимости  $N_p = K_N \rho n^3 d^5$ , где  $\rho$  – плотность пульпы;  $n$  – частота вращения ротора;  $d$  – наибольший диаметр расположения кромок ротора;  $K_N$  – критерий мощности. Для гидроразбивателей значения  $K_N$  находятся в пределах  $0,1 \div 0,3$  [1].

Для определения режимных параметров работы гидроразбивателя (подачи  $Q$ , теоретического  $p_T$  и фактического  $p_p$  давлений) предлагается использовать гидравлический метод расчета, основанный на нахождении потерь давления в роторе и ванне гидроразбивателя. Для этого необходимо разделить круг цирку-

ляции гидромассы на участки: ротора, восходящего и нисходящего потоков, определить потери давления на каждом участке, и решить уравнение  $N_p - Q \cdot \sum p_i = 0$ , где  $p_i$  – потери давления на каждом участке в круге циркуляции. Это уравнение может быть решено только численным методом. Алгоритм нахождения значений  $Q$  и  $r_T$  методом итераций приведен на рис. 1.

Для реализации алгоритма разработано приложение для MS Excel в среде Visual Basic for Application. В качестве исходных данных используются:

частота вращения ротора; внешний радиус ротора; внутренний радиус ротора; частота вращения ротора; лопастной угол; ширина лопасти ротора; число лопастей ротора; коэффициент мощности; плотность гидромассы; концентрация гидромассы; радиус ванны гидроразбивателя; высота заполнения ванны гидроразбивателя; угол «атаки» на направляющее устройство; размеры и число направляющих устройств; коэффициент потерь трения  $\lambda$ .

Значение коэффициента  $\lambda$  гидравлических потерь на трение устанавливается зависимости от вида распускаемого материала и его концентрации.

В качестве критерия, определяющего степень переработки массы, используется показатель степени помола гидромассы. Экспериментально установлено [2], что степень помола зависит от следующих параметров: вида исходного сырья, температуры воды в процессе роспуска материала, концентрации гидромассы и продолжительности гидророспуска.

Таким образом, математическую модель процесса роспуска материала в ванне гидроразбивателя можно сформулировать в виде  $Z_1(p_p, Q) \rightarrow \min$ , где  $Z_1$  – необходимые затраты мощности, при  $Z_2(C, T, F, t) \geq Z_0$ , где  $Z_2$  – степень помола;  $Z_0$  – минимальное значение степени помола, обеспечивающее требуемые значения показателя качества готовой продукции;  $C$  – концентрация;  $T$  – температура гидромассы;  $t$  – продолжительность роспуска;  $F$  – марка макулатуры в соответствии с ГОСТ 10700-63.

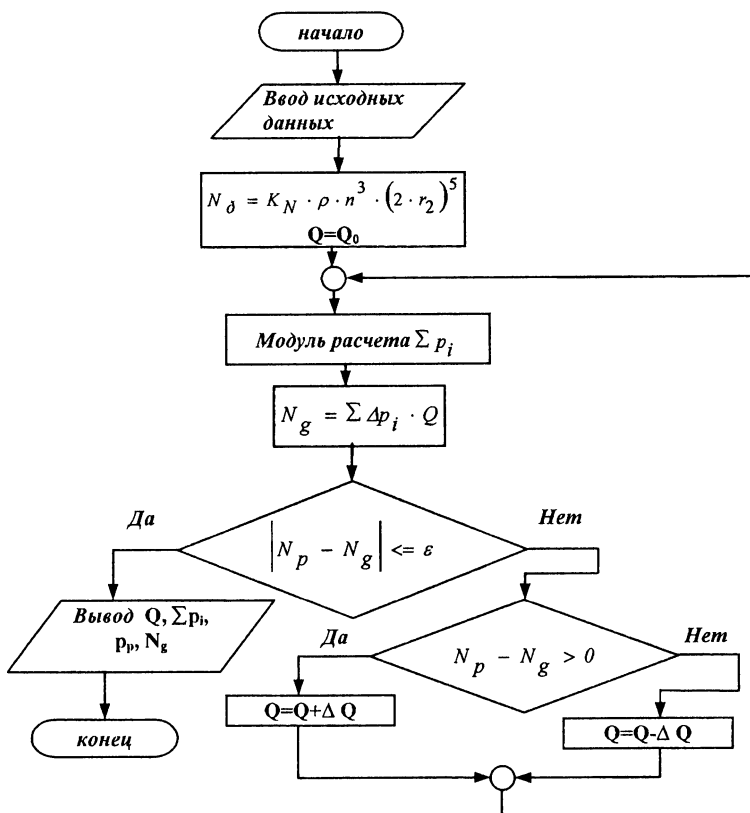


Рис. 1. Алгоритм определения  $p_p$  и  $Q$

### Литература

1. Гаузе, А.А., Гончаров, Н.В., Кугушев, И.Д. Оборудование для подготовки бумажной массы. – М.: Экология, 1992. – 352 с.
2. Петрушева, Н.А., Алашкевич, Ю.Д., Чистова, Н.Г. Математическая модель процесса обработки вторичного волокна в производстве древесноволокнистых плит. // Химия растительного сырья. 2002. №4. – С. 49–53.

**Обоснование основных параметров  
машины для внесения удобрений  
и выполнения сельхозработ в условиях низкой  
несущей способности почв**

Казаченко Г.В., Басалай Г.А.

Белорусский национальный технический университет

Обеспечение высокой урожайности сельскохозяйственных культур достигается с применением современных технологий, которые предусматривают периодическое внесение удобрений, микроэлементов и других средств в период прорастания и вегетации растений. Особенно важным является внесение минеральных удобрений перед появлением всходов и в период интенсивного их роста. Эта операция для озимых культур производится сразу после схода снега ранней весной с использованием авиации или наземных машин с движителями, обеспечивающими особо низкое давление на почву.

В связи с экономической нецелесообразностью использования авиации создание транспортно-технологических агрегатов с особо низким давлением на почву для внесения сыпучих удобрений и выполнения других сельскохозяйственных работ в условиях низкой несущей способности грунтов представляется в современных условиях актуальной технической задачей.

Существует широкий парк машин для внесения твердых и жидких удобрений на базе грузовых автомобилей высокой проходимости, а также в виде навесного или прицепного оборудования к колесным тракторам. Однако, из-за высоких давлений на почву при их работе образуется достаточно глубокая и уплотненная колея, что отрицательно сказывается на урожайности. Поэтому основной задачей создания машины высокой проходимости для внесения минеральных удобрений является разработка движителя, обеспечивающего давление на почву 10-30 кПа. Наряду с решением этой задачи требуется выбрать эффективные средства разбрасывания удобрений с допустимой неравномерностью по ширине захвата и по ходу движения машины.

При выборе движителя проанализированы его колесный и гусеничный варианты. Предпочтение отдано колесному, что обусловлено рядом его преимуществ по сравнению с гусенич-

ным двигателем. При этом учитывались возможности отечественного шинного производства ПО «Белшина».

Преимуществами колесных двигателей по сравнению с гусеничными являются, прежде всего, меньшая конструктивная масса, простота в эксплуатации и значительно больший ресурс. Благодаря упругим и сглаживающим свойствам пневматических шин снижаются динамические нагрузки при работе машины на повышенных скоростях. Пневматические колеса позволяют также регулировать давление на опорное основание за счет изменения внутреннего давления в шинах. Колесный двигатель на пневматических шинах дает возможность расширить сферу использования машины путем установки вместо разбрасывателя удобрений технологических агрегатов другого назначения.

Анализ конструктивных и эксплуатационных параметров шин низкого давления, включая шины-оболочки, позволил с учетом допустимых давлений на почву определить предельное значение массы машины

$$m \leq [p]nS / g ,$$

где  $[p]$ - допускаемое давление в пятне контакта;  $n$ - число колес машины;  $S$  - площадь контакта колеса с почвой.

С учетом ограничения по грузоподъемности шин, а также результаты измерений размеров пятна контакта колес, определена предельная масса машины, которая составила 2500 кг при установке шести колес. Выбранные шины и предельная масса машины дали основание рассматривать варианты машины с использованием в качестве базы шасси одного из серийных легковых или малотоннажных грузовых автомобилей или тракторов классов тяги до 0,6. Результатом всестороннего рассмотрения энергетических и динамических характеристик машин, производимых в СНГ, а также общие требования к машинам высокой проходимости для внесения удобрений и анализ имеющихся возможностей для ее производства, стал выбор в качестве базы автомобиль УАЗ-3151(469), оборудованный специальными шинами Бел-79 или усиленными шинами-оболочками ОШ-2 .

В качестве технологического модуля для разбрасывания твердых минеральных удобрений выбран агрегат завода «Брестсельмаш» с емкостью бункера 0,8 куб.м и массой 310 кг.

Механический привод разбрасывающих роторов выполнен от раздаточной коробки базового автомобиля.

Полученные исходные данные позволили разработать экспериментальный образец машины высокой проходимости для внесения удобрений с параметрами, приведенными в таблице.

Таблица - Основные параметры экспериментального образца

№ п/п	Наименование показателя	Значение
1	Тип	Самоходная
2	Базовый автомобиль	УАЗ-469 (3151)
3	Колесная формула (двухосная)	6×6
4	Распределение нагрузки по осям: передний/ задний ведущие мосты	840/1500
5	Шины	Бел-79
6	Давление в шинах, кПа	20-50
7	Давление на почву при полной нагрузке: передние колеса, кПа задние колеса, кПа	28-40 26-38
8	Рабочее оборудование	Агрегат АВУ-0,8
9	Привод агрегата	Механич., зависим.
10	Рабочие скорости, км/ч	25-40
11	Удельный расход топлива, кг/час	0,5-0,8

Параметры машины проанализированы с точки зрения энергетических возможностей базового автомобиля и тягово-сцепных качеств движителя высокой проходимости. Энергетический анализ выполнен с использованием уравнения баланса мощности для машин с переменной массой. При вычислении составляющих мощности учитывались затраты на передвижение и привод роторов, а также реактивная составляющая при работе роторов. Расчеты показали - машина может устойчиво работать на скоростях до 50 км/ч при буксовании 10-15%

В 2004 г. проведены пробные испытания машины на сельскохозяйственных полях Дзержинского района Минской области, которые продолжены зимой и весной 2005 г. Комплексные испытания показали - машина обеспечивает проектные характеристики, как по качеству выполнения работ, так и по производительности.

**Порошковая металлургия,  
сварка и обработка  
материалов давлением**



**Способ повышения усталостной прочности и долговечности малолистовых рессор**

Исаевич Л.А., Иваницкий Д.М.

Белорусский национальный технический университет

Основные виды отказов рессор — усталостные разрушения листов и износ концов коренных листов. Реже встречаются срез и смятие центрального болта, износ пальца и втулки ушка, поломка кронштейнов, потеря упругих свойств подвески.

Очаги зарождения трещин находятся, как правило, на вогнутой (работающей на растяжение) поверхности листа и соответствуют местам контакта с соседними листами или с деталями крепления рессор.

Известен способ упрочнения рессорных листов, при котором осуществляют дробную деформацию поверхности дробеструйной обработкой для повышения упрочнения металла путем создания на его поверхности напряжений сжатия [1]. В качестве недостатков известного способа поверхностного упрочнения можно выделить повышенный шум, низкая экологичность, необходимость частой замены или очистки дробы, невозможность регулирования параметров процесса.

Предложенный способ поверхностного упрочнения заключается в дробной деформации при прокатке с созданием в поверхностном слое рессоры фасонной полосчатой деформированной структуры, состоящей из параллельных канавок периодического профиля (рисунок 1).

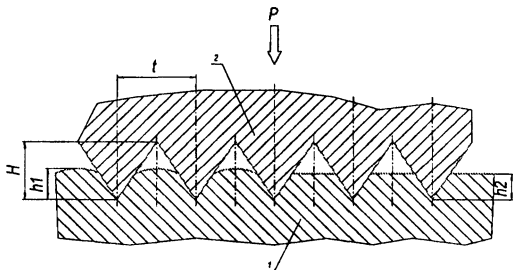


Рисунок 1. Схема процесса деформирования

Прокатный стан для осуществления упрочнения рессоры (рисунок 2) состоит из рабочей клетки 1, с двумя приводными валками, и механизма поджима верхнего валка 2.

Поверхность бочки валка образована кольцеобразными или резьбовыми выступами и впадинами регулярного профиля. Инструмент может быть изготовлен в нескольких исполнениях.

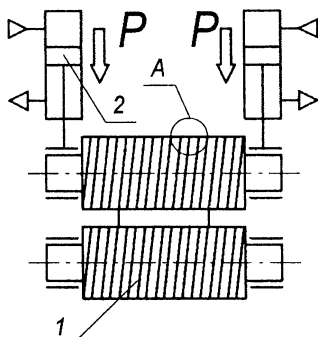


Рисунок 2. Схема стана для поверхностного упрочнения рессорных листов

В первом исполнении периодические выступы и впадины выполняются в виде многозаходной резьбы с различным шагом  $t_1$  и  $t_2$  и высотой  $h$  (рисунок 3). Во втором исполнении выступы и впадины образованы однозаходной резьбой с шагом  $t_1=t_2=t$  с углом  $\alpha$  равным  $60^\circ$  и высотой  $h$ . В третьем исполнении – в виде кольцевых выступов и впадин с шагом  $t_1=t_2=t$ , углом  $\alpha=60^\circ$  и высотой  $h$ .

Полосчато-деформированную структуру выполняют на вогнутой стороне рессоры, так как она наиболее подвержена действию растягивающих напряжений, и во втором исполнении – на обеих сторонах. Чередующиеся впадины и выступы располагаются на поверхности с шагом  $t$  вдоль рессорных листов. Глубина деформирования  $h_1$ ,  $h_2$  колеблется в пределах  $0,4 \dots 0,6$  мм.

Направленная ориентация поверхностно-деформированных канавок образует полосчатую структуру (аналогично армирующим волокнам), которые обладают высокими механическими свойствами.

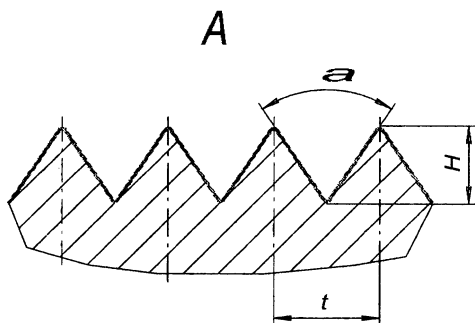


Рисунок 3. Профиль зуба на инструменте

В результате такой обработки с плоских поверхностей рессорного листа удаляется окалина. Поверхностно упрочненные канавки также являются препятствиями для лавинообразного распространения трещин по всей ширине рессорного листа.

В таблице 1 приведены результаты сравнительных испытаний на циклическую прочность.

Таблица 1

Способы упрочнения	Номер испытанного образца					
	1	2	3	4	5	Средне
Без поверхностного упрочнения [2]	10678	11528	11332	11064	11176	11022
Обработка дробью	13347	14410	14166	13830	13970	13778
Упрочнение	18200	18470	17670	18017	17555	17893

Результаты испытаний показали, что прочность после использования новой технологии увеличивается на 30% по сравнению с базовой дробеструйной обработкой.

### Литература

1. Ракицкий, А.А., Бернацкий, А.К. Обеспечение ресурса рессорных подвесок. – Мн.: Наука и техника, 1988. – 166 с.
2. Бернштейн, М.Л. Технология термомеханической обработки стали. – М.: Машиностроение, 1972. – 392 с.

## **Получение высокопрочных прутков из стали 12X18H10T волочением с электролитно-плазменной обработкой поверхности**

Исаевич Л.А., Алексеев Ю.Г., Королев А.Ю.

Белорусский национальный технический университет

Целью исследований, приведенных в данной работе, является изучение возможности применения электролитно-плазменной обработки (ЭПО) поверхности аустенитных сталей, как подготовительной операции при производстве особонагартованных прутков. Применение ЭПО направлено на снижение трудоемкости процесса подготовки материала к волочению, а также на обеспечение безвредности процесса с точки зрения экологии. Кроме того, применение ЭПО между переходами при волочении позволит: добиться снижения числа переходов и повысить ресурс работы инструмента.

Исследование проводили на образцах с исходным диаметром 4 мм из стали аустенитного класса 12X18H10T после закалки при температуре 1150<sup>o</sup>C с охлаждением в воду. Образцы подвергали волочению на цепном волочильном стане.

Волочение проводили в три прохода с суммарными степенями деформации 22, 37 и 44%. Структурный анализ, выполненный на световом микроскопе «MeF-3» фирмы «Reichert», показал, что с ростом степени деформации в структуре стали повышается содержание мартенсита. Высоколегированная сталь аустенитного класса 12X18H10T является неустойчивым в структурном отношении сплавом. Неустойчивость структуры главным образом определяется фазовыми превращениями, происходящими при пластической деформации, в результате которой аустенит закаленного сплава превращается в мартенсит [1].

Распределение остаточных напряжений по сечению деформированного волочением прутка неодинаково. На поверхности преобладают растягивающие напряжения, в середине сжимающие [2]. Анализ распределения микротвердости в поперечном сечении образца (рисунок 1) показал, что поверхность образца упрочнена в большей степени,

чем внутренняя часть. Измерения выполнены на микротвердомере «Micromet-II», нагрузка – 25 г.

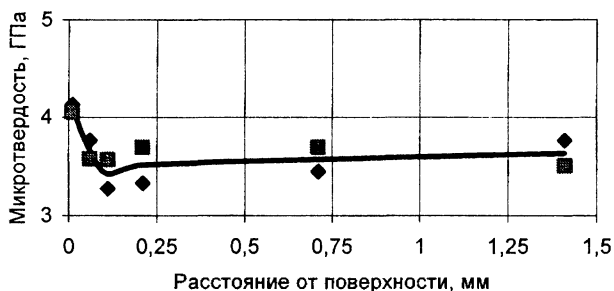


Рисунок 1. Распределение микротвердости по сечению заготовки (степень деформации 44 %)

После волочения на поверхности материала присутствуют задиры и микротрещины, которые являются концентраторами напряжений (центрами разрушений) при следующих переходах волочения. Их глубина достигает 100 мкм (рисунок 2).



Рисунок 2. Задиры на поверхности прутка после волочения,  $\times 200$ .

С целью снижения влияния изложенных выше поверхностных физико-механических неоднородностей на волочение заготовок из аустенитной стали, проведены исследования по воздействию на состояние поверхностного слоя ЭПО.

После ЭПО на поверхности заготовок отсутствовали какие-либо загрязнения, окалина. Поверхность имела блестящий вид. Среднее значения шероховатости составляло 0,16 мкм. Таким образом, ЭПО может заменить целый ряд предварительных и окончательных операций отделки перед волочением.

Исследования шероховатости поверхности, проведенные совместно со специалистами из БелГУТа на АСМ «Нанотоп»,

показали, что после ЭПО по сравнению с механическим полированием профиль поверхности более сглажен. Это снижает вероятность образования трещин при волочении.

Процесс ЭПО способствует повышению качества поверхности. Снижение шероховатости в свою очередь приводит к снижению коэффициента трения между заготовкой и инструментом.

Была проверена микротвёрдость тонкого поверхностного слоя до и после ЭПО. Установлено падение микротвёрдости примерно на 1 ГПа, что объясняется снятием в результате ЭПО особонагартованного слоя материала прутка. Падение микротвёрдости можно также объяснить локальным термическим воздействием на тонкий поверхностный слой при ЭПО и снижением количества твёрдой фазы: карбидов и карбонитридов на поверхности стали, в результате избирательного «травления» при ЭПО. Карбиды и карбонитриды при механической полировке занимают 2,52% от всей площади образца. После ЭПО карбидов и карбонитридов заметно меньше, и они составляют 0,76% от общей площади. Снижение микротвёрдости поверхности заготовок между проходами волочения в результате ЭПО улучшит условия трения при волочении и, как следствие, повысится качество поверхности нагартованного прутка.

Сглаживание поверхности в процессе ЭПО и разупрочнение поверхностного слоя способствуют снижению предела текучести материала. Удаление более твёрдых поверхностных слоев при ЭПО снижает предел текучести материала, за счёт этого могут быть снижены энергосиловые параметры процесса волочения.

В результате ЭПО снимается осотвёрдый поверхностный слой и формируется поверхность с высокой удельной площадью. Это позволяет хорошо адсорбировать поверхностью покрытия и смазки, применяемые для снижения коэффициента трения при волочении.

### Литература

1. Ллевелин, Д.Т., Мэррей, Дж.Д. Холодная пластическая деформация нержавеющей сталей – В кн.: Высоколегированные стали. М.: Металлургия, 1969, с. 405-435.

2. Колпашников А.И., Белоусов А.С., Мануйлов В.Ф. Высокопрочная нержавеющая проволока. М.: «Металлургия», 1971, 184 с.

УДК 621.77

### Особенности формообразования пластическим деформированием фланца в трубной заготовке

Гуринович В.А., Исаевич Л.А., Сидоренко М.И.  
Белорусский национальный технический университет

При изготовлении трубчатых деталей с фланцем широко используется процесс отбортовки, осуществляемый за счет растяжения металла по краю полый заготовки [1-3]. Началу отбортовки предшествует процесс раздачи заготовки с последующим формированием фланца. В итоге край фланца утоняется в соответствии с соотношением [3]

$$S_1 = S_0 \sqrt{R_0/R_1}, \quad (1)$$

где  $R_0$  - срединный радиус полый заготовки;  $R_1$  - радиус фланца;  $S_0$  - толщина стенки заготовки;  $S_1$  - толщина края фланца.

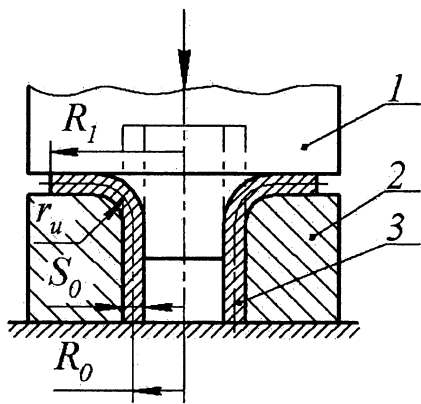


Рисунок 1. Схема отбортовки трубной заготовки: 1 - пуансон; 2 - матрица; 3 - заготовка

Однако в ряде случаев утонение фланца недопустимо в силу конструктивных особенностей готового изделия. Поэтому возникает проблема обеспечения постоянства толщины по диаметру фланца. В настоящей работе это предполагается выполнить за счет предварительного фасонирования трубной

заготовки. Для этого вначале определим объем фланца, состоящего из торообразной части и плоской колцеобразной шайбы. Площадь последней определим как

$F_{\sigma} = \pi[R_1^2 - (R_0 + r_{\dot{\epsilon}})^2]$ , где  $r_{\dot{\epsilon}}$  - радиус изгиба на кромке матрицы, измеренный по серединной линии.

Площадь торообразной части найдем из выражения  $F_{\dot{O}} = \pi^2 r_{\dot{\epsilon}} (R_0 + r_{\dot{\epsilon}})$ .

Для упрощения решения задачи введем допущение, что толщина фланца будет постоянной и равной некоторой средней величине

$$S_{\dot{n}\delta} = \frac{S_0 + S_1}{2} = S_0 \left( \sqrt{R_1} + \sqrt{R_0} \right) / 2\sqrt{R_1}.$$

С учетом этого объем фланца будет равен  $V_{\delta} = (F_{\sigma} + F_{\dot{O}})S_{\dot{n}\delta}$  или в развернутом виде

$$V_{\delta} = \pi S_0 [R_1^2 - (R_0 + r_{\dot{\epsilon}})^2 + \pi r_{\dot{\epsilon}} (R_0 + r_{\dot{\epsilon}})] \left( \sqrt{R_1} + \sqrt{R_0} \right) / 2\sqrt{R_1}.$$

Теперь найдем длину трубной заготовки, идущей на формообразование фланца, принимая во внимание, что  $V_{\delta\delta} = V_{\delta}$ .

Известно, что  $V_{\delta\delta} = \pi l_1 \left[ \left( R_0 + S_0/2 \right)^2 - \left( R_0 - S_0/2 \right)^2 \right]$ , или после преобразований  $V_{\delta\delta} = 2\pi l_1 R_0 S_0$ .

Решив последнее выражение с учетом значения  $V_{\delta}$ , найдем

$$l_1 = [R_1^2 - (R_0 + r_{\dot{\epsilon}})^2 + \pi r_{\dot{\epsilon}} (R_0 + r_{\dot{\epsilon}})] (\sqrt{R_1} + \sqrt{R_0}) / 4R_0 \sqrt{R_1}.$$

Для формообразования фланца постоянной толщины  $S_0$  необходимо очевидно изменить толщину стенки трубы на длине  $l_1$  так, чтобы удовлетворить уравнению



$$S_2 = S_0 \sqrt{R_1/R_0} \quad (2)$$

как показано на рисунке 2.

Справедливость данного утверждения легко доказать, если в (1) вместо  $S_0$  подставить значение  $S_2$ . Тогда,  $S_1 = S_0$ .

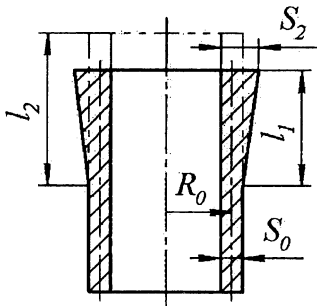


Рисунок 2. Форма фасонированного участка трубы

Далее определим длину участка трубной заготовки, подлежащего фасонированию. Для этого определим объем фасонированного участка. С целью упрощения решения примем толщину стенки на этом участке постоянной и равной  $S_{\bar{n}\delta} = (S_0 + S_2)/2$  или с учетом выражения (2)  $S_{\bar{n}\delta} = S_0 (\sqrt{R_0} + \sqrt{R_1})/2\sqrt{R_0}$

Форма концевго фасонированного участка близка к форме полого усеченного конуса и его объем будем представлять равным ему полым цилиндром с толщиной стенки  $S_{\bar{n}\delta}$ . Тогда

$$V_{\bar{e},\delta} = \pi l_1 \left[ \left( R_0 - S_0/2 + S_{cp} \right)^2 - \left( R_0 - S_0/2 \right)^2 \right].$$

Длину участка трубной заготовки, расходуемого на фасонирование, определим из условия, что

$$V_{\bar{e},\delta} = V_{\delta} = \pi l_2 \left[ \left( R_0 + S_0/2 \right)^2 - \left( R_0 - S_0/2 \right)^2 \right].$$

Тогда с учетом значения  $S_{\bar{n}\delta}$  и преобразований запишем

$$l_2 = \frac{l_1 (\sqrt{R_0} + \sqrt{R_1})}{4R_0 \sqrt{R_0}} \left\{ 2R_0 + S_0 \left[ 1 + (\sqrt{R_1} + \sqrt{R_0})/2\sqrt{R_0} \right] \right\}. \quad (3)$$

Экспериментальные исследования по формообразованию фланца проводили на свинцовых трубных заготовках высотой

60 мм с наружным диаметром 70 мм и толщиной стенки 3 мм. При этом получали фланец диаметром 102 мм с исходной толщиной стенки и радиусом  $r_e = 3$  мм. Таким образом моделировали процесс формообразования фланцев в полых заготовках из стали 35, подвергаемых локальному нагреву в зоне деформации. Фасонирование заготовки осуществляли в безоблойном штампе.

Поскольку длина  $l_2$  значительно превышает толщину стенки трубной заготовки, то в начальный момент ее осадки наблюдается потеря устойчивости за счет выпучивания наружу стенки в свободной полости матрицы. Такое явление описано в работе [4], что обусловлено наличием цилиндрической части в матрице над зоной фасонирования.

Результаты экспериментов показали, что расчеты, проведенные по уравнениям (2) и (3) достаточно хорошо согласуются с опытными данными. Это подтверждает корректность принятых допущений.

### **Литература**

1. Романовский, В.П. Справочник по холодной штамповке. – Л.: Машиностроение, 1971. – 782 с.
2. Зубцов, М.Е. Листовая штамповка. – Л.: Машиностроение, 1980. – 432 с.
3. Попов, Е.А. Основы теории листовой штамповки. – М.: Машиностроение, 1968. – 284 с.
4. Теория обработки металлов давлением / Под ред. И.Я. Тарновского. – М.: Металлургиздат, 1963. – 672 с.

УДК 621.791.7

### **Наноструктурные покрытия карбида кремния для защиты алмазных кристаллов**

Ковалевский В.Н., Фомихина И.В., Григорьев С.В., Жук А.Е.  
Белорусский национальный технический университет

Нанесение композиционных покрытий на исходные порошки и гранулы позволяет создавать слоистые порошковые композиции, которые могут найти применение при получении

высокопрочных керамических, керамико-полимерных, полимерных и сверхтвердых материалов для машиностроения, приборостроения, электроники и электротехники. Особенно заманчива перспектива создания керамических карбидокремниевых покрытий, которые обладают высокими механическими свойствами. Для получения наноструктурных покрытий карбида кремния используют магнетронное распыление катодов в среде аргона. Использование комбинированного катода кремний – графит позволяет осуществлять покрытия из смеси атомов кремния и углерода, которое при нагреве преобразуется карбид кремния. Полученное по принципу раздельного синтеза покрытие предотвращает окисление алмаза при нагреве и сдерживает процесс графитации. Полученные композиты алмаз – карбид кремния обладают комплексом уникальных физико – механических характеристик: высокие модуль упругости и твердость, низкий коэффициент термического расширения, высокие теплопроводность и износостойкость, что позволяет применять материал для изготовления абразивного, режущего и формирующего инструмента, конструкционных деталей, работающих в узлах трения, эрозийного износа, подложек микросхем, нагревательных элементов и т.д.

Известно устройство для получения покрытий в вакууме, содержащее вакуумную камеру, в которой размещены анод и распыляемый катод, установленный внутри анода в одной плоскости с ним, включающий операции установки подложки фронтально к распыляемому катоду. Использование магнетронной системы для напыления наноструктурных покрытий на порошки потребовало разработки специальных устройств и технологии нанесения покрытий с высокой адгезионной прочностью. Устройство должно обеспечить предварительную обработку (активацию) поверхности порошка плазмой тлеющего разряда и последующее напыление магнетронным методом с равномерной плотностью эмиссионного потока. Следовало решить вопросы создания условий получения равномерной толщины покрытий, допускаемый разогрев порошкового материала подложки, повышения коэффициента использования мишени, который для существующих МРС составляет только 0,3-0,35.

В работе использовали устройство для получения покрытия в вакууме [1], содержащее вакуумную камеру. В камере размещены анод и распыляемый катод, установленный внутри анода в одной плоскости с ним, а также дополнительный катод, выполненный перфорированным, при этом площадь сплошной части поверхности дополнительного катода соответствует площади распыляемого катода. Дополнительный катод, выполнен в форме спирали либо решетчатой с радиально расположенными от периферии к центру отверстиями. Такая конструкция позволяет увеличить степень ионизации газа при неизменных условиях напыления. Это позволяет получить равнопрочное и равномерное по толщине осаждаемое покрытие.

Для нанесения покрытия на порошки распыляемое устройство снабжено вращающимся барабаном с перемешивающими лопатками для размещения в нем напыляемого порошка. Повышение коэффициента использования мишени устанавливали между основным и дополнительным катодами трубчатый катод, который концентрировал эмиссионный поток в центральной части. Одновременное распыление двух и более компонентов осуществляется использованием распыляемого катода, выполненного составным или композиционным. Процесс предварительной обработки порошка и последующее напыление покрытия на порошки магнетронным методом осуществляют в вакуумной установке УРМ типа 379048. Осуществляли предварительную активацию поверхности частиц алмаза обработкой в тлеющем разряде при давлении  $5 \times 10^{-3}$  Торр. В зависимости от назначения и требуемых свойств покрытия применяли составной или композиционный распыляемый катод, который обеспечивает одновременное распыление двух или более компонентов. Применение трубчатого катода, расположенного между распыляемым и дополнительным катодами концентрирует скрещивающиеся потоки распыляемого материала, увеличивают объем эмиссируемых потоков взаимодействующий с плазмой рабочего газа, а дополнительный перфорированный катод отсекает потоки высокоэнергетичных газов, снижает разогрев поверхности порошка, позволяет наносить покрытия не только на алмазные кристаллы, но и на полимеры, ультрадисперсные порошки с

равномерной толщиной покрытия и с повышенным коэффициентом использования мишени до 0,5-0,6.

В разработанном устройстве осуществляли покрытие алмазного порошка марки АСМ 14/10 (ГОСТ 9206-80) со средним размером частиц 12 мкм, которые размещали во вращающемся барабане с перемешивающими лопастями, вращение осуществляли со скоростью 30 оборотов в минуту. Поверхность кристаллов алмаза активировали путем обработки в магнетронной распылительной системе в плазме тлеющего разряда (плазмирующий газ – аргон) в режимах:  $U = 1250$  В,  $I = 0,15$  А, время 300 с. Распылением составного катода (наружный кольцевой катод из кремния с наружным диаметром 116 мм, внутренним 80 мм, внутренний катод из графита диаметром 80 мм) наносили тонкопленочное (60...160нм) покрытие, состоящее из атомов кремния и углерода в режимах: ток  $I = 2,5$  А, давление  $P = 0,5$  Па и расстояние от катода до подложки  $l = 150$  мм.

Полученные покрытия состояло из смеси атомов кремния и углерода. На dilatометре оценивали процесс образования карбида кремния в покрытии. Установлено, что химическое взаимодействие углерода и кремния в вакууме начинается при температуре  $650^{\circ}\text{C}$  и заканчивается при температуре  $800^{\circ}\text{C}$ . Этот факт позволяет предполагать, что активные свободные атомы кремния и углерода требуют малой дополнительной энергии для протекания химической реакции в условиях вакуума между кремнием и углеродом.

Оценку стойкости алмазов к окислению при наличии на поверхности покрытия осуществляли нагревом порошков с покрытием в окислительной среде. Исследования показали, что окисление покрытия из смеси атомов кремния и углерода начинается при температуре  $800^{\circ}\text{C}$ . Выдержка в течение 3 часов приводит к интенсивному окислению кристаллов алмаза. При  $1000^{\circ}\text{C}$  и выдержке 1 час алмазный порошок с покрытием превращается в графит и выгорает. Это объясняется, по-видимому, тем, что при нагреве без вакуума энергии для образования карбида кремния требуется больше, чем для окисления и покрытие частично окисляется, не образует плотной оболочки вокруг кристалла алмаза и не препятствует его графитации. Качественно адгезионную прочность покрытия

оценивали раздавливанием частиц алмаза с покрытием на прессе. Установлено, что в процессе раздавливания покрытие не ослаиваются. Формирование каркаса из карбида кремния на поверхности алмаза делает его термостабильным до температур 1600<sup>0</sup>С. Установлено, что процесс образования карбида кремния в покрытии идет при температуре 680-750<sup>0</sup>С[2]. Исследования тонкой структуры и фазового состава карбидокремниевой матрицы композиции алмаз – карбид кремния показали, что процесс структурообразования при реакционном спекании в засыпках при температуре 1500<sup>0</sup>С идет с образованием в зоне контакта алмаза аморифизированной структуры карбида кремния, которая образуется при быстром охлаждении наноструктурного покрытия. Использование карбида кремния, активированного взрывом, способствует созданию высокоплотной структуры композиции, содержащий как наноструктурный карбид кремния, так и зерна карбида кремния с развитой границей. Полученные результаты позволят считать перспективной предлагаемую технологию для защиты алмаза от окисления и процесса графитации, что позволяет создать сверхтвердых материалов на основе алмаза и карбида кремния с уникальным сочетанием физико-механических свойств.

## **Литература**

1. Патент №1375, РБ, С23С 14/00, опубл. бюл. №3, 1996
2. Ковалевский, В.Н. Гордеев, С.К., Корчагина, С.Б., Фомихина, И.В., Жук, А.Е. Формирование структуры карбидокремниевой матрицы при создании композиции алмаз – карбид кремния. Огнеупоры и техническая керамика. – 2005.-№5.- С.

УДК 621.791.7

### **Получение композита алмаз – карбид кремния с использованием наноструктурных покрытий**

Ковалевский В.Н., Фомихина И.В., Ковалевская А.В., Жук А.Е.  
Белорусский национальный технический университет

Использование в качестве связки карбида кремния (SiC) позволяет создать сверхтвердый материал инструментального и конструкционного назначения, в котором сочетаются высокие

удельные характеристики прочности и жесткости с высокой износостойкостью и твердостью. Трудности окончательной механической обработки сверхтвердого материала сдерживают широкое применение композита алмаз – карбид кремния в промышленности.

Достижимые в композитах алмаз - карбид кремния высокие свойства, естественно, вызывают интерес к поиску новых подходов к их получению. Анализ технологических возможностей позволяет предложить следующую классификацию методов получения композитов алмаз – SiC. Получение композиции возможно по трем вариантам:

- пропиткой пористой заготовки из кристаллов алмаза жидким кремнием;
- реакционным спеканием в засыпке заготовки из шихты (кремний, углерод, алмаз, карбид кремния);
- взрывным уплотнением пористого изделия из шихты с последующим термобарическим спеканием.

По первому варианту получают различных по размерам и форме изделий. По технологии [1], абразивное изделие изготавливают пропиткой жидким кремнием при 15000С пористой заготовки из шихты, полученной смешиванием и термообработкой алмазных порошков различных фракций с технологической связкой (фенолформальдегидной смолой). Термодинамическая нестабильность алмаза на воздухе при температуре свыше 1000°С приводит к графитации алмаза [1]. При пропитке происходит графитация поверхностных слоев алмаза с образованием карбида кремния, что приводит к потере массы алмаза. Потеря массы алмаза малых размеров (5 – 7мкм) может достигать 50 масс. %.

Во втором и третьем вариантах приготавливают шихту из порошков алмаза и SiC, Si и углерода (пиролитическое покрытие алмаза и SiC), технологической связки, формируют изделие с заданной пористостью, выполняют реакционное спекание в засыпках или уплотняют заготовку взрывом и проводят термобарическое спекание [2].

Для первого варианта пористость ограничивается свободной фильтрацией жидкого Si (чаще 30 – 60%). Для второго и третьего варианта пористость 15 – 20%, так как в шихте содержится Si. Получение готового изделия связано с

образованием пронизывающего алмазный скелет карбида кремния, который формируется за счет химического взаимодействия углерода и жидкого Si. Процесс реакционного спекания протекает без усадки (0,2%), что исключает необходимость окончательной механической обработки материала [1,3].

В задачи данного исследования входило снижение потерь алмаза, связанных с графитацией и химическим взаимодействием его с жидким Si с образованием SiC, путем защиты поверхности алмаза покрытием. Предлагается один из вариантов защиты кристаллов алмаза нанесением тонкопленочного наноструктурного покрытия из смеси атомов Si и C с последующим превращением покрытия при нагреве в SiC. Использование полученных порошков с наноструктурным покрытием для получения композита алмаз – карбид кремния, исследование структуры и фазового состава композита на основе Si+C/C(алмаз).

Исследования выполнялись на алмазных порошках АСМ 14/10 и 7/5 (ГОСТ 9206-80) с размером частиц 14 - 10 мкм и 5 - 7 мкм. При изготовлении композита алмаз – карбид кремния использовали шихту, в которую входили алмазные порошки с нанесенными покрытиями, Смарки Кр-0 (ГОСТ 2169-69), порошки SiC марки FCP фирмы Stark с размерами частиц 0,56...0,64 мкм, активированные взрывом.

Перед нанесением покрытия активировали поверхность кристаллов алмаза обработкой порошка в плазме тлеющего разряда (плазмирующий газ – аргон) при давлении  $5 \times 10^{-3}$  Торр в режимах:  $U = 1250$  В,  $I = 0,15$  А, время обработки 300 с. Для нанесения покрытия применяли композиционный распыляемый катод, который обеспечивал одновременное распыление двух или более компонентов. Низкотемпературной плазмой на поверхность кристаллов алмаза наносили тонкопленочное (до 100 нм) покрытие Si+C. Режимы обработки: ток  $I = 2,5$  А, давление  $P = 0,5$  Па, расстояние от катода до порошка  $l = 150$  мм. Полученные покрытия состояло из смеси атомов кремния и углерода

Изготовление композита алмаз – карбид кремния осуществляли реакционным спеканием шихты в засыпках. Порошки алмаза и SiC покрывали пиролитическим С (12% от



массы алмаза). Использовали соотношение компонентов: алмаз – карбид кремния алмаз – кремний 30–30–40 об.%.

Исследования фазового состава алмазных порошков с тонкопленочным покрытием показали, что в исходном состоянии порошок с покрытием состоит: алмаза С (решетка кубическая), кремния Si (кубическая), графит С (гексагональная). Поверхность частиц алмаза с покрытием Si+C/C(алмаз) и SiC/C(алмаз) изучена по фрактограммам, полученным на растровом микроскопе. Поверхность частицы алмаза, покрытого смесью атомов кремния и графита, выглядит как поверхность исходного алмаза. Фрактограммы подтверждают, что тонкопленочное покрытие однородно покрывает поверхность кристаллов алмаза. Фрактограммы поверхности алмаза, покрытого пиролитическим углеродом представляют собой развитую наружную поверхность, что обеспечивает активное растворение углерода в жидком кремнии.

Для оценки адгезионной прочности покрытия с кристаллами алмаза использовали методом раздавливания частиц на прессе при нагрузке 95 – 100кгс. Порошки АСМ 14/10 испытывали с покрытием (Si+C). После испытания исследовали тонкую структуру алмаза с покрытием. Исследования показали, что покрытие (Si+C) не отслаивается от основной фракции алмаза.

Для оценки температуры, при которой происходит образование SiC в покрытии проводили фиксировали на dilatометре. Установлено, что в процессе нагрева наблюдается образование SiC в интервале температур 6500С - 7500С. Тонкая структура частиц алмаза с покрытием после спекания оценивалась по репликам и структурам, полученным при исследовании тонких фольг на просвет.

В зоне контакта с алмазом формируется оболочка из SiC с аморфной структурой, о чем свидетельствуют образование дифракционных колец. Структура композиции алмаз-карбид кремния, полученная реакционным спеканием (1500<sup>0</sup>С) в засыпке формируется из алмаза с оболочкой SiC и карбидокремниевой матрицы. Частицы алмаза сохранили свои размеры.

Исследования вязкости разрушения композиции алмаз-карбид кремния, выполненное инденторным методом, показало, что материал матрицы (SiC) имеет значения  $K_{IC}$  в пределах 10-12 н/м<sup>3/2</sup>, твердость композиции составляет 50 – 55 по Кнуппу,

модулем упругости (580 – 720ГПа), прочностью на сжатие 560 – 650МПа, теплопроводность 500 Вт/(м\*К) По характеристикам вязкости разрушения материал приближается к значениям твердых сплавов.

По структуре и свойствам материал относится к группе сверхтвердых материалов с уникальным сочетанием физико – механических свойств, что предполагается перспективным применять разработанную технологию для изготовления режущего и формующего инструмента. Использование наноструктурного покрытия позволяет избежать потерю массы алмаза при графитации и образовании карбида кремния.

### **Литература**

1. Гордеев, С.К. Алмазные композиционные конструкционные материалы. – В кн.: Теория и практики технологий производства изделий из композиционных материалов и новых металлических сплавов / Труды международной конференции 27-30 августа 2003, Москва. М., «Знание», 2004, с.37-41.
2. Ковалевский, В.Н., Гордеев, С.К., Фомихина, И.В., Жук, А.Е. Технологические особенности получения композитов алмаз – карбид кремния с использованием высоких давлений // Материалы, технологии, инструменты. Т.10 (2005) №1 С.62– 66.

УДК 666.797 2

**50 лет кафедре «Порошковая металлургия, сварка и технология материалов».**

**История и перспективы развития научных направлений**

**Ковалевский В.Н.**

**Белорусский национальный технический университет**

21 сентября 2005 года выдающемуся ученому академику Роману Олегу Владиславовичу, 35 лет возглавлявшему кафедру, исполняется 80 лет. Его родная кафедра «Порошковая металлургия, сварка и технология материалов» сердечно поздравляет Юбилера и желает ему здоровья и творческого долголетия на благо нашей Отчизны.

Исторический экскурс. В послевоенные годы бурное развитие промышленности Беларуси опиралось на достижения

науки и техники. Организованная в 1955 году в Белорусском политехническом институте кафедра «Технология металлов» возглавила новое для республики направление – порошковую металлургию, которая основана на безотходных, наукоёмких, ресурсосберегающих технологиях получения материалов и изделий с высокими, управляемыми свойствами.

Бессменным заведующим кафедрой с 1955 по 1989 год являлся Роман Олег Владиславович, академик НАН Беларуси, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники БССР, лауреат Государственной премии БССР и премии Совета Министров СССР, который был одновременно директором НИИ порошковая металлургия, генеральным директором концерна «Порошковая металлургия», созданная им научная школа является одной из ведущих в мире.

В 1956- 1957 годах при кафедре «Технология металлов» развивалось научное направление - порошковая металлургия, которое возглавил активный, талантливый организатор, ученый и педагог Роман О.В. Накопленный научный и практический опыт позволил создать Центральную базовую лабораторию порошковой металлургии (Приказ Минвуза БССР № 627 от 23.09.1960 г.). 1960 год стал датой рождения порошковой металлургии Беларуси.

Первые дипломные работы в области порошковой металлургии в 1958 году выполнили студенты механического факультета Громович В.Н. и Дечко Э.М. В 1961-1962 годах на кафедре появились первые аспиранты: Афанасьев Л.Н., Богданов А.П., Витязь П.А., Богинский Л.С., Дорошкевич Е.А., Скоков П.И., Ковалевский В.Н., Назаров Н.С., Перельман В.Е., Зинкевич В.И.

Первыми аспирантами кафедры, в срок защитившими диссертацию, были Дорошкевич Евгений Адамович (в 31 год), впоследствии стал генеральным директором БГ НПК ПМ, доктор технических наук, профессор и Скоков Павел Иванович (в 26 лет) – был проректором Витебского технологического института, в настоящее время заведующий кафедрой, профессор.

Первым докторантом кафедры, первым в Беларуси защитившим в 37 лет докторскую диссертацию в области порошковой металлургии, являлся Жданович Геннадий

Михайлович – известный, цитируемый ученый в области теории прессования, заведующий кафедрой «Сопrotивление материалов» с 1972 по 1998 г., в настоящее время – профессор этой кафедры.

С 1960 году на кафедре работал Беляев Василий Иванович, защитивший в 1970 году докторскую диссертацию. Он основал в республике направление сварки взрывом. В школе Беляева В.И. 24 кандидата и 2 доктора наук, в том числе 2 человека стали кандидатами педагогических наук.

На базе проблемной лаборатории кафедры был создан в 1972 году научно-исследовательский институт порошковой металлургии БПИ, директором института назначен Роман О.В.

Используя хорошую материально-техническую базу института порошковой металлургии, кафедра «Технология металлов» активно занималась подготовкой аспирантов и докторантов. В подготовке научных работников высшей квалификации активно участвовали профессора Роман О.В. Витязь П.А., Беляев В.И., Худокормов Д.Н., которые подготовили большую плеяду научных сотрудников - докторов наук: Дорошкевич Е.А., Горобцов В.С., Богинский Л.С., Карпенко Г.Д., Ковалевский В.Н., Ильющенко А. Ф., Перельман В.Е., Шелег В.К., Горохов В.М., Капцевич В.М., Смирнов Г.В.

Витязь П.А. сформировал научную школу в области пористых материалов и защитных покрытий, наноматериалов и нанотехнологий, в которую входят доктора наук Шелег В.К., Капцевич В.М., Ильющенко А.Ф., Ловшенко Ф.Г., и др.

1976 г. – открыта специальность «Композиционные и порошковые материалы, покрытия». Выпущено свыше 500 инженеров, в том числе 19 с отличием. Кафедра готовила специалистов и для других республик (Азербайджан).

Для подготовки инженерных кадров в БПИ организована кафедра порошковой металлургии (Приказ Министерства образования БССР № 357 от 15.07.77 г.). Заведующим кафедрой стал профессор Роман О.В.. Состав кафедры: Афанасьев А.Н., Богданов А.П., Витязь П.А., Дорошкевич Е.А., Горобцов В.Г., Ивашин В.В., Керженцева Л.Ф., Заяш И.В., Габриелов И.П., Хренов О.В.

Заведующим кафедрой «Технология металлов» стал профессор Беляев В.И.. Состав кафедры: Ковалевский В.Н.,

Комаров О.С., Слабодкин В.Ю., Соколовский А.В., Логинов П.И., Назаров Н.С., Кучерявый А.Г., Дьяконов О.М., Ходосевич В.Г., Рапопорт Л.А.

Большой научный потенциал позволил кафедре организовать в 1978 г. факультет повышения квалификации в области порошковой металлургии (первый декан Дорошкевич Е.А.). Повышение квалификации на факультете проходили специалисты из всего Советского Союза, некоторые из них стали докторами наук (Бичуров Г.В. – Самара и др.)

1988 г – на кафедры основана НИЛ новых конструкционных материалов (Зав. НИЛ были Данилко Б.М., Алексеев Ю.Г., в настоящее время Нисс В.С.)

Объединенную в 1989 г. кафедру «Порошковая металлургия и технология материалов» возглавил профессор Роман О.В.

С 1990 года по настоящее время заведующим кафедрой «Порошковая металлургия, сварка и технология материалов» является д.т.н., профессор Ковалевский В.Н.

В 1992 году открыта специальность «Оборудование и технология сварочного производства», а в 1999 году – заочное обучение этой специальности.

Кафедра выполняет большой объем научно-исследовательских работ в области технической керамики, наноматериалов, тонких покрытий, сверхтвердых материалов, мелкокристаллических износостойких покрытий, переработки вторичных ресурсов. Работы выполняются в рамках фундаментальных исследований, фундаментально-прикладных и прикладных исследований с предприятиями РБ (БМЗ, МТЗ, МАЗ, ПО «Горизонт» и др.) Под руководством профессора Ковалевского В.Н. выполнялся грант по программе «ИНТАС».

Кафедра имеет тесные научные связи с учеными Германии, Австрии, Великобритании, Польши и других европейских стран. К научным исследованиям привлекаются студенты, магистранты и аспиранты кафедры. Кафедра готовит докторантов, аспирантов и магистрантов в области порошковой металлургии и сварки.

Значительный вклад в развитие науки материаловедения и в первую очередь порошковой металлургии, востребованный производством РБ, внесли сотрудники кафедры. Основные

разработки кафедры выполнены в области науки, технологии и производства:

1. В области теории и технологии взрывного прессования и упрочнения материалов сверхглубоким прониканием частиц (академик О.В. Роман).

2. В области теории и технологии получения пористых материалов и покрытий, создания научного направления по наноматериалам и нанотехнологиям (академик П.А.Витязь).

3. В области теории и технологии сварки взрывом (проф. В.И.Беляев, Г.В. Смирнов, В.Н. Ковалевский).

4. В области теории прессования порошков (проф. Г.М. Жданович).

5. В разработке новых процессов получения наноструктурных покрытий и сверхтвердых материалов (проф. В.Н. Ковалевский).

6. В разработке теории и технологии создания высокохромистых износостойких чугунов (проф. О.С. Комаров).

7. В разработке и внедрении технологии получения износостойких покрытий (доц. Г.Г. Горанский).

8. В области создания медицинских материалов и инструментов (к.т.н. Ю.Г. Алексеев).

9. В области создания и внедрения керамики – полимерных материалов (В.А. Козырко).

10. В разработке технологии переработки промышленных отходов (проф. О.С. Комаров, доц. О.М.Дьяконов).

Коллектив, отмечая 50-летний юбилей кафедры, гордится своей историей и уверенно смотрит в будущее.

**Исследование структуры и свойств стальных деталей после боросилицирования и борокарбозотирования**

Ситкевич М.В., Старовойтова Е.М.

Белорусский национальный технический университет

Процесс боросилицирования проводился при температурах 900-950°C в специально разработанных порошковых смесях, которые после засыпки ими образцов эффективно функционируют в окислительной воздушной печной среде без использования каких либо защитных средств. Следует отметить, что описанные в научной литературе порошковые смеси для ХТО при проведении диффузионного насыщения в воздушной среде требуют тщательной герметизации контейнеров.

В качестве исследуемых образцов были использованы как сравнительно дешевые стали 45 и 40Х, так и высоколегированные стали, которые могут быть использованы при изготовлении некоторых деталей инструмента и технологической оснастки.

В результате исследований установлено, что в структуре боросилицированных слоев сталей 45 и 40Х присутствует преимущественно фаза  $Fe_2B$  с небольшим количеством фаз  $Fe_3Si$  и  $FeB$ . Практика эксплуатации деталей, упрочненных высокотвердыми боридными фазами показывает, что наиболее эффективная толщина боридных слоев 90-110 мкм. При существенном увеличении размеров зон боридного упрочнения весьма вероятно их скалывание в процессе изнашивания. Исследования показывают, что на сталях 40Х, 45 при температуре ХТО 920°C, боросилицированные слои указанной толщины формируются за 7 часов.

Результаты исследований микротвердости, коррозионной стойкости, износостойкости образцов сталей 45, 40Х, Х12М после боросилицирования при 920°C в течение 7 часов представлены в табл. 1.

Износостойкость определялась в условиях трения скольжения образцов исследуемых сталей по контртелу из нормализованной стали 45 при давлении 20 МПа на пути трения 1 км. Коррозионная стойкость оценивалась по потере

массы на единицу площади исследуемых образцов, после выдержки в водопроводной воде в течении 100 часов.

Таблица 1

Процесс упрочняющей обработки	Марка стали	Тверд. поверх. слоев, ГПа	Износ, мг/см <sup>2</sup>	Потеря массы в воде, мг/дм <sup>2</sup>
B-Si, 920 <sup>0</sup> C, 7 ч.	45	14,1	102	42
B-Si, 920 <sup>0</sup> C, 7 ч.	40X	13,8	105	44
B-Si, 920 <sup>0</sup> C, 7 ч.	X12M	13,5		
B-C-N, 550 <sup>0</sup> C, 8 ч.	45	5,9	285	11
B-C-N, 550 <sup>0</sup> C, 8 ч.	40X	8,4	165	10
B-C-N, 550 <sup>0</sup> C, 8 ч.	X12M	13,2		
Зак.+ отп. 550 <sup>0</sup> C	45	1,9	675	68
Зак.+ отп. 550 <sup>0</sup> C	40X	2,7	583	65
Зак.+ отп. 550 <sup>0</sup> C	X12M	5,1		

Как видно из представленных данных микротвердость боросилицированного слоя на сталях 40X и 45 в пределах 13,8-14,1 ГПа. Несколько меньше она на высокохромистой стали X12M. В тоже время на образцах без ХТО на сталях 40X и 45 микротвердость 2,7 и 1,9 ГПа соответственно, что более чем в 5 раз ниже. Вследствие высокой твердости боросилицированных слоев износостойкость образцов после этого процесса возрастает примерно в 6 раз. После боросилицирования повышается также и коррозионная стойкость в воде, правда не столь существенно-всего в 1,5 раза.

В случае борокарбозотирования для деталей, работающих в условиях длительного изнашивания целесообразно получать диффузионные слои толщина которых должна достигать максимально возможных значений. Как показывают ранее проведенные исследования, применительно к различным углеродистым и легированным сталям наиболее приемлемой толщиной борокарбозотированного слоя следует считать примерно 200 мкм. Применительно к сталям 45 и 40X при температуре борокарбозотирования 550<sup>0</sup>C такую толщину слоя можно получить за 8 часов. Следует отметить, что микротвердость борокарбозотированных слоев, в отличие от



боросилицированных, плавно уменьшается по мере удаления от поверхности к сердцевине, что обеспечивает прочное их сцепление с металлической основой и предотвращает скалывание даже при относительно высоких динамических нагрузках.

Исследования показывают, что структура борокарбозотированных слоев кардинально отличается от боросилицированных. Так, вблизи поверхности исследуемых сталей 45 и 40X находится светлая полоска  $\epsilon$ -фазы. Эта фаза состава  $Fe_{2-3}(N,C,B)$  с гексагональной решеткой. Под ней располагается зона гетерогенного строения в которой наряду со структурными составляющими основного материала присутствуют включения борокарбонитридов железа, концентрация которых плавно уменьшается по мере удаления от поверхности, что вызывает уменьшение микротвердости. Установлено, что в случае присутствия в составе сталей таких легирующих элементов как хром, вольфрам, ванадий, титан и др. наряду с борокарбонитридами железа в структуре диффузионного слоя появляются и борокарбонитриды указанных элементов. Их микротвердость существенно превышает твердость борокарбонитридов железа, что приводит к повышению микротвердости всего диффузионного слоя. Причем, чем больше легирующих элементов в стали, тем выше твердость. Из таблицы 1 видно, что вблизи поверхности после борокарбозотирования стали 45 микротвердость достигает 5,9 ГПа, в случае стали 40X с 1% хрома микротвердость уже 8,4 ГПа, а при повышении содержания хрома до 12% (сталь X12M) микротвердость уже 13,2 ГПа. В то же время без ХТО твердость сталей 45 и 40X всего на уровне 2-2,5 ГПа. Повышение твердости поверхностных слоев после борокарбозотирования сталей 45 и 40X приводит к повышению износостойкости в 2,5-3 раза, что ниже, чем в случае боросилицированных образцов (табл.1), однако коррозионная стойкость после борокарбозотирования повышается примерно в 6 раз, что превышает подобный показатель после боросилицирования (табл.1).

**Заключение.** Таким образом, в настоящей работе исследованы два процесса ХТО - боросилицирование и борокарбозотирование. Каждый из этих процессов имеет

свои специфические особенности и в плане выполнения температурных параметров технологических операций, и по получаемым после ХТО свойствам поверхностных слоев упрочняемых деталей. Так, процесс боросилицирования проводится при температурах 900-950°C и требует существенных энергозатрат, но на углеродистых и низколегированных сталях формируются диффузионные слои повышенной твердости (свыше 13 ГПа) вследствие чего износостойкость при определенных параметрах испытаний возрастает более чем в 6 раз. Процесс борокарбозотирования более энергосберегающий, так как проводится при температурах 500-600°C, но на углеродистых и низколегированных сталях типа 45, 40Х формируются диффузионные слои с микротвердостью до 8-8,5 ГПа, что хотя и значительно выше, чем в сталях 40Х и 45 без ХТО (около 2-3 ГПа), но ниже, чем в случае боросилицирования. Следует отметить, что если твердость после низкотемпературной обработки требуется на более высоком уровне (выше 12 ГПа), можно пойти на использование сталей повышенной легированности типа Х12М, Р6М5, 4Х5МФС, 38ХМЮА и др. При этом важной особенностью этого процесса является значительная коррозионная стойкость поверхностных слоев деталей во влажной среде (увеличивается более, чем в 6 раз). В связи со сказанным, процесс борокарбозотирования можно рекомендовать к использованию не только для повышения долговечности деталей машин и оборудования, эксплуатирующихся в условиях изнашивания во влажной среде, но и повышения стойкости металлообрабатывающего инструмента из быстрорежущих сталей типа Р6М5 (сверла, метчики, фрезы, развертки, зенкеры и др.), деформирующей оснастки из легированных штамповых сталей, а также для повышения коррозионной стойкости и улучшения фрикционных показателей резьб (вследствие уменьшения коэффициента трения) крепежных деталей (болты, гайки, шпильки и др.). Данные виды изделий широко используются на производственных участках промышленных предприятий.

# **Строительные и дорожные машины**

**Доставка древесного топлива к энергетическим установкам**

Вавилов А.В., Соколовский Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

В связи с подорожанием традиционных видов топлива в Республике Беларусь ведется поиск альтернативных источников энергии. Из-за низкой обеспеченности собственными энергоносителями (на уровне 15 процентов от общей потребности) вопрос энергетической безопасности является одним из важнейших для нашей страны. В республике разработана Целевая программа по обеспечению не менее 25 процентов объема производства электрической и тепловой энергии за счет использования местных видов топлива. Согласно данной программе в ближайшей перспективе основными собственными энергоносителями будут древесное топливо и торф. Следует отметить, что древесными ресурсами обладают все области Республики Беларусь. Ресурсы топливного древесного потенциала представлены древесиной заготавливаемой в порядке: главного пользования лесов, рубок ухода за лесом, санитарных рубок, прочих рубок. Кроме того, в качестве древесного топлива рассматриваются отходы лесопиления и деревообработки, но как показывает практика, древесные отходы образуются и в строительном комплексе при расчистке строительных площадок, полосы отвода дороги, линий электропередач, мелиоративных каналов от древесно-кустарниковой растительности, строительстве новых объектов, а так же древесные отходы составляют около 55 тысяч тонн ежегодно в коммунальных отходах. Возникает вопрос об их использовании в качестве топлива.

В процессе использования древесных отходов в качестве топлива они проходят несколько этапов: сбор (заготовка), транспортировка, хранение, сжигание в энергетических установках. При заготовке древесного на лесосеке, при очистке от древесно-кустарниковой полосы отвода дороги, строительных площадок, линий электропередач, мелиоративных каналов и т.д. необходимо образовавшиеся древесные отходы переработать на топливную щепу для их сжигания в энергетических установках. Переработка на щепу маломерных

деревьев, веток, сучьев, имеющих коэффициент полндревесности 0,12, позволяет значительно увеличить эффективность доставки и хранения (коэффициент полндревесности щепы 0,36), так как уменьшается количество необходимых транспортных средств и площадь помещения склада для хранения древесного топлива.

Вопрос эффективной доставки древесных отходов является одним из наиболее важных мест в цепочке получения и использования древесинных отходов в качестве топлива. Как показывает практика, значительную часть в средствах затрачиваемых на древесное топливо занимает транспортно-заготовительная составляющая, из чего следует рациональность расположения энергетических установок вблизи топливно-сырьевых баз, а также невысокая производительность каждого из объектов работающих на древесине. Создание мини-ТЭЦ небольшой мощности в большинстве случаев отвечает данным требованиям, но возникает необходимость доставки древесного топлива от нескольких его производителей в районе, для эффективного топливообеспечения энергетической установки. Необходимо решить задачу оптимизации поставки древесного топлива к энергетической установке (или нескольким установкам). Поскольку решается задача обеспечения конкурентоспособности древесных отходов с традиционными видами топлива, то в качестве критерия оптимизации следует принимать минимальные приведенные затраты на покупку и доставку древесного топлива. В качестве дополнительного критерия может использоваться производительность транспортного средства за единицу времени, так как ежедневно необходимо обеспечить доставку определенного количества древесного топлива.

В данном случае мы имеем дело с транспортной задачей, рассматриваемой в курсе линейного программирования. В ходе решения данной задачи рассматриваются объекты, на которых происходит образование древесных отходов  $O_1, O_2, O_3, \dots, O_m$ , на каждом из которых образуются соответственно  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_m$  м<sup>3</sup> древесных отходов, которые доставляются к энергетическим установкам  $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3, \dots, \mathcal{E}_n$  с объемами потребления соответственно  $b_1, b_2, b_3, \dots, b_n$  м<sup>3</sup>. Если обозначить через  $x_{ij}$  объем древесины перевозимый с  $i$ -ого объекта до  $j$ -ой

энергоустановки, а стоимость доставки древесного топлива с  $i$ -ого объекта до  $j$ -ой энергоустановки через  $c_{ij}$  ( $i = \overline{1, m}$ ,  $j = \overline{1, n}$ ) суммарная стоимость перевозки древесины составит:

$$z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}. \quad (1)$$

При этом должны выполняться условия:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq a_i, \quad i = \overline{1, m}, \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = b_j, \quad j = \overline{1, n}. \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m a_i \geq \sum_{j=1}^n b_j. \quad (4)$$

В данном случае математическая модель представляет собой нахождение минимума линейной функции (1) при линейных ограничениях (2-4).

Модель данной транспортной задачи чаще всего является открытой, т.е. ограничение (4) принимает вид неравенства, и часть древесных отходов у поставщиков остается невостребованной. Их предлагается свозить на резервный склад. Следует отметить, что одним из важнейших вопросов при обеспечении энергетических установок древесным топливом является вопрос долговременной сырьевой топливной базы. Поэтому достижение минимума линейной функции (1) при одних лишь ограничениях (2-4) не всегда является лучшим вариантом. Так, например, часть поставщиков древесных отходов может со временем исчезнуть (вследствие повышения цены на древесину и т.д.), поэтому в ряде случаев следует отдавать предпочтение наиболее стабильным поставщикам. Следовательно, для обеспечения лучшего варианта следует в качестве дополнительного принимать условие, по которому древесные отходы наиболее стабильных поставщиков потребляются полностью.

Важным вопросом является создание резервных складов. Например, обоснование вместимости склада под древесное топливо, с учетом сезонной неравномерности работы мини-ТЭЦ.

Решение данной задачи может быть достигнуто методом динамического программирования, суть которого заключается в том, что оптимальное решение строится постепенно, шаг за шагом. На каждом шаге оптимизируется решение только этого шага, но решение выбирается с учетом последствий, так как решение, оптимальное для этого шага, может привести к неоптимальному решению всей задачи, т.е. оптимальное решение задачи содержит оптимальные решения ее подзадач. Для решения этой задачи годовой период работы резервного склада подразделяется на несколько этапов: зимний и летний периоды (характеризующиеся наиболее интенсивной вывозкой), весенний и осенний периоды. Оптимальным будет вариант, при котором суммарные издержки на создание запасов будут минимальны.

При организации топливообеспечения мини-ТЭЦ немаловажным вопросом может стать управление запасами древесного топлива, которое позволит определять оптимальные величины запасов, моменты времени их создания и пополнения, периоды хранения и уменьшения, а также рассчитывать затраты на все указанные операции. Решение указанной задачи может существенно снизить затраты на заготовку и хранение древесного топлива и обеспечить его стабильное поступление к энергетической установке.

### **Литература**

1. Целевая программа обеспечения в республике не менее 25 процентов объема производства электрической и тепловой энергии за счет использования местных видов топлива и альтернативных источников энергии на период до 2012 года.
2. А.В. Вавилов, Г.И. Жихар, Л.П. Падалко и др. Малая энергетика на биотопливе. - Мн.: УП «Технопринт», 2002. – 248 с.
3. В.В. Игнатенко, И.В. Турлай, А.С. Федоренчик. Моделирование и оптимизация процессов лесозаготовок. – Мн.: БГТУ, 2004. – 180 с.
4. И.Л. Акулич Математическое программирование в примерах и задачах. - М.: Высшая школа, 1986. - 319 с.

## Модернизация гидрообъемной трансмиссии погрузчика

Котлобай А.А.

Белорусский национальный технический университет

Одной из тенденций развития погрузчиков является использование гидрообъемных трансмиссий, обеспечивающих бесступенчатое регулирование скорости и плавность передачи крутящего момента к ведущим колесам; реверсирование движения; возможность автоматизации выбора оптимального режима работы трансмиссии; простота конструкции и легкость обслуживания; свобода компоновки; облегчение управления и повышение маневренности [1].

Существенным резервом рационализации схемы гидрообъемной трансмиссии является уменьшение удельного веса механических передач в кинематической цепи привода ходового и рабочего оборудования.

В гидрообъемной трансмиссии погрузчика с бортовым поворотом при использовании одного насоса на привод двух гидромоторов бортов необходимо обеспечить деление потока рабочей жидкости насоса по напорным магистралям гидромоторов.

Такая задача может решаться по двум направлениям [2]: модернизация конструктивной схемы применяемых типов гидромашин; применения гидравлических агрегатов деления – суммирования потока рабочей жидкости насоса.

В рамках реализации первого направления может быть применен аксиально-поршневой насос с модернизированным опорно-распределительным диском [3].

Основой гидросистемы является насосный моноагрегат НА, представляющий собой совокупность регулируемого аксиально-поршневого насоса хода НХ, шестеренного нерегулируемого насоса подпитки контуров привода хода НП, нерегулируемого аксиально-поршневого насоса привода рабочего оборудования НО и системы клапанов.

Особенностью моноагрегата является двухконтурный регулируемый аксиально-поршневой насос НХ. Подача обоих контуров насоса может изменяться от нуля до номинального значения, как в положительном, так и в отрицательном



направлении, обеспечивая прямолинейное движение погрузчика вперед и назад с плавным регулированием скорости.

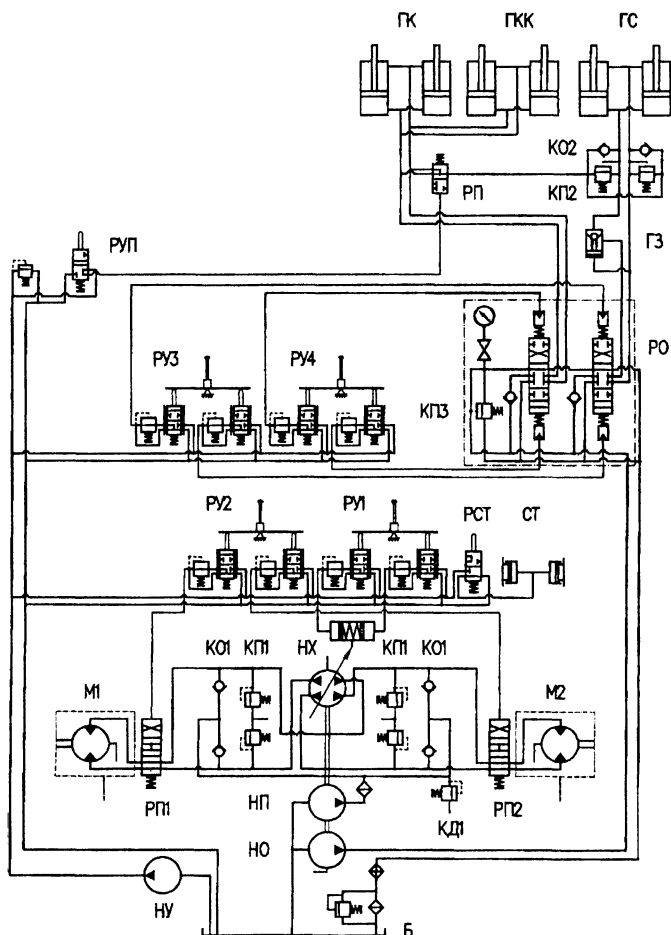


Рис. Схема гидравлическая гидросистемы погрузчика

Гидроприводы моторов колес погрузчика состоят из контура насоса НХ, предохранительных клапанов КП2, клапанов заполнения К02, клапана давления подпитки КД2,

золотникового распределителя поворота РП и гидромоторов колес М1, М2.

Управление ходом погрузчика осуществляется посредством двух двухконтурных дифференциальных распределителей управления РУ1 и РУ2, конструктивно выполненных в виде 4-направленного джойстика. Джойстики питаются шестеренным насосом управления НУ, установленным на двигателе погрузчика.

Две другие секции джойстика соединены с полостями управления золотникового распределителя поворота. Золотник распределителя поворота подпружинен. Жесткость пружины выбрана такой, чтобы максимальное давление секции джойстика вызывало перемещение золотника в крайнее положение.

Конструкция распределителя поворота обеспечивает в нейтральном положении прямое подключение секции насоса к мотору. В положении золотника, близком к среднему, обеспечивается плавающее положение гидромотора колеса. Дальнейшее перемещение золотника вызывает реверсирование гидромотора.

Гидросистема рабочего оборудования погрузчика состоит из насоса рабочего оборудования НО, управляемого 2-секционного золотникового распределителя РО и гидроцилиндров – подъема стрелы ГС, опрокидывания ковша ГК и корректирующих положение ковша ГКК. Для предотвращения динамических перегрузок в линии управления гидроцилиндрами подъема стрелы установлены предохранительные клапаны КП2. Сброс жидкости в случае их срабатывания происходит через клапана КО2 в соответствующую сливную линию. Дополнительно поршневые полости гидроцилиндров подъема стрелы оснащены гидрозамком ГЗ.

Корректирующие гидроцилиндры ковша ГКК установлены на стреле. При подъеме стрелы гидроцилиндрами ГС поршень корректирующего цилиндра вытесняет часть жидкости в соответствующую полость гидроцилиндра ГК, чем обеспечивается неизменность положения ковша относительно земли при подъеме стрелы.

Управление секциями распределителя РО осуществляется дифференциальными распределителями РУ3 и РУ4, по конструкции аналогичными РУ1 и РУ2.

Для защиты системы от перегрузок при выполнении рабочих операций в гидрораспределитель РО встроено предохранительный клапан КПЗ.

Удержание погрузчика в заторможенном состоянии осуществляется стояночной тормозной системой, состоящей из тормозных многодисковых механизмов задних колес СТ и распределителя управления РСТ.

Для обеспечения плавающего положения ковша, что необходимо для некоторых технологических операций, имеется контур плавающего положения, состоящий из распределителя управления плавающим положением РУП и исполнительного распределителя РП.

В рамках реализации второго направления в гидрообъемной трансмиссии могут использоваться модульные дозирующие системы [4], [5], обеспечивающие: независимость работы контуров гидромоторов при дискретно-синхронном расходе рабочей жидкости; возможность модульного изменения числа контуров гидромоторов в соответствии с потребностями реализуемой гидрообъемной трансмиссии.

Модернизация гидрообъемной трансмиссии погрузчика в одном из названных направлений позволит исключить из состава трансмиссии механические согласующие устройства, снизить материалоемкость трансмиссии.

## **Литература**

1. Петров, В.А. Гидрообъемные трансмиссии самоходных машин. – М.: Машиностроение, 1988. – 248 с.
2. Котлобай, А.Я., Котлобай, А.А. Модернизация насосных установок много моторных приводов технологических машин. Наука – образованию, производству, экономике. Материалы Второй международной научно-технической конференции. В 2 томах. Том 1. Минск 2004.
3. Котлобай, А.Я., Котлобай, А.А. Аксиально-поршневая гидромашинa. Патент РБ № 1543U, 2004, АБ № 3 (42).
4. Котлобай, А.Я., Котлобай, А.А. Гидрообъемная трансмиссия самоходной машины. Патент РБ № 655U, 2002, АБ № 3 (34).

5. Котлобай, А.Я., Котлобай, А.А. Гидрообъемная трансмиссия самоходной машины. Патент РБ № 1409U, 2004, АБ № 2 (41).

УДК 625.08.

### **О повышении эффективности эксплуатации строительных и дорожных машин**

Гарост М.М., Котлобай А.Я., Котлобай А.А.

Белорусский национальный технический университет

Дальнейшее повышение эффективности использования дорожно-строительных машин и оборудования за счет повышения их технического уровня, надежности и качества невозможно без надлежащей организации сервиса и внедрения фирменного метода обслуживания. Собственными силами или силами посредников-дилеров ведущие зарубежные фирмы-изготовители выполняют ремонтные работы, оперативно обеспечивают необходимыми материалами и запасными частями. Так, фирма «Caterpillar» имеет 1400 дилеров, действующих во всех регионах мира.

Переход на сервисное обслуживание машин по зарубежному опыту принесет очевидную выгоду предприятиям дорожной и строительной отраслей: сокращение как минимум вдвое затрат на техническое обслуживание техники и содержание эксплуатационных баз; отказ от малоэффективного ремонта машины; сокращение простоев машины на техническом обслуживании и ремонте, увеличение времени полезной работы на объекте. Если организации предложить услуги по ТО и ремонту машин с гарантированным коэффициентом технической готовности 0,85 – 0,90, она купила бы эти услуги, поскольку потери из-за простоев машин в 2-3 раза больше.

В зарубежной практике сервисного обслуживания грузоподъемных и строительных машин все большее распространение получает система связи, позволяющая на персональном компьютере сервисной службы с помощью Интернета и спутниковой сети получать информацию о наработке машины и, соответственно, планировать выполнение операций обязательного ТО.

Уменьшение затрат на техническое обслуживание и ремонт дорожно-строительных машин и поддержание их в исправном состоянии возможно благодаря применению технической диагностики.

В передовой практике в диагностировании машины участвуют машинист и специализированный персонал. Ежедневно машинист с помощью установленных на машинах приборов, а также осмотром, прослушиванием оценивает наличие предупредительных признаков, предшествующих возникновению потребности в ремонте. Обнаружив такие признаки, он сообщает о них сервисному персоналу, который диагностирует неисправности, и по результатам может рекомендовать проведение ТО или ремонта.

Сервисный персонал осуществляет обязательное периодическое диагностирование (без приборов и с приборами), и диагностирование по потребности.

Обязательное диагностирование имеет целью выявление характерных признаков, предшествующих нарушению работоспособности машины.

В Республике Беларусь обязательному диагностированию при проведении периодического технического осмотра подлежат только автомобильный транспорт.

В соответствии с действующими на территории РБ нормативными документами для автомобилей, осуществляющих платную перевозку пассажиров, частота прохождения техосмотра составляет 2 раза в год, для остальных автомобилей – 1 раз в год (за исключением машин, возраст которых не превышает 10 лет – для них техосмотр проводится 1 раз в 2 года). Проведение техосмотров автомобилей является лицензируемым видом деятельности, и любое зарегистрированное юридическое лицо может, при наличии соответствующего оборудования, получить разрешение на проведение технических осмотров транспортных средств. Предприятие должно располагать следующим оборудованием: смотровая яма, размеры которой определяются категориями транспортных средств, осмотр которых разрешен, и оборудованная в соответствии с определенными нормами; роликовый тормозной стенд с оборудованием для определения удельных тормозных сил колес; прибор проверки токсичности

отработанных газов бензиновых двигателей; прибор проверки дымности отработанных газов дизельных двигателей; прибор проверки параметров внешних световых приборов; прибор определения суммарного люфта рулевого управления; прибор определения светопропускания стекол автомобиля; штангенциркуль или иной прибор для определения высоты протектора колеса; секундомер; манометр.

Обязательным компонентом станций диагностики является наличие на них ЭВМ с установленным программно-аппаратным комплексом для проведения техосмотра. Данный комплекс должен обеспечивать: а) регистрацию автомобиля с занесением данных из технического паспорта автомобиля, водительского удостоверения лица, управляющего им, талона к водительскому удостоверению, медицинской справки, страхового свидетельства; б) накопление данных по автомобилям в базе данных; в) управление тормозным стендом; г) автоматическую передачу и анализ данных, получаемых от тормозного стенда, приборов проверки токсичности и дымности выхлопа, и других; д) формирование диагностической карты транспортного средства и печать данных в бланк диагностической карты; е) ежемесячный экспорт накапливаемых данных по прохождению технического осмотра в центральную базу данных, анализируемую специальным подразделением РУП «БелТехосмотр».

В настоящее время производители линий предлагают ряд моделей мобильных станций диагностики.

В связи с появлением на дорогах Беларуси новых автомобилей с бортовыми компьютерами необходимы специальные устройства и методы диагностирования данных автомобилей.

Диагностирование электронных систем автомобилей выпуска 1995 года и моложе производится только с помощью специальных сканеров. Диагност, используя данную аппаратуру, в состоянии определить параметры работы систем и выявить те или иные неполадки.

Существующая в настоящее время номенклатура диагностических приборов позволяет осуществлять качественную и всестороннюю диагностику автомобилей необходимой глубины.

Диагностические работы подвижного состава автомобильного транспорта выполняются на станциях диагностики.

В РБ отдельные организации, имеющие на балансе большой парк дорожно-строительных машин, также приобретают современные технические средства для диагностирования машин. В частности, предприятие РУП «Беллестехника» для проведения диагностирования манипуляторов для погрузки леса приобрела в ОАО «ВНИИСтройдормаш» (Россия) микропроцессорный прибор МП-2002-03. Прибор укомплектован первичными преобразователями: расхода, давления, температуры среды измерения, оборотов (крутящего момента) приводного вала силовой установки, ультразвукового датчика – преобразователя на основе мощного пьезоэлемента.

По оценкам эксплуатирующих организаций, внедрение системы диагностирования на основе микропроцессорного прибора на 80% сократило трудозатраты поиска неисправностей и настройки гидروприводов машин.

В последнее время на дорожно-строительных машинах ведущих зарубежных фирм широко используются бортовые электронные средства (БЭС), выполняющие функции контроля, регулирования или автоматического управления различными системами и механизмами машин, а также обеспечения оператора необходимой информацией.

На выпускаемых в настоящее время в республике и странах СНГ дорожно-строительных машинах, подобные средства не применяются. Это обусловлено тем, что применение БЭС усложняет (а значит, удорожает) конструкцию машины.

Для повышения эффективности использования и уровня технической готовности, строительных и дорожных машин целесообразно создать в управлениях механизации и облатводорах диагностические центры, оснастив их современным диагностическим оборудованием и приборами.

Несмотря на очевидные преимущества организации фирменного обслуживания техники за рубежом, в республике внедрение данного метода пока не ведется. Основные причины – отсутствие конкуренции среди заводов-изготовителей, наличие дефицита машин, ведомственная разобщенность сфер





Супраціўленне бегунка качэнню па шнэку абумоўлена сіламі трэння:

$$W_1 = (F_u^n + F_{np.}) \left( \frac{2f}{d_6} + \frac{\mu d_u}{d_6} \right), \text{ Н}, \quad (2)$$

дзе  $F_u^n$  – цэнтрабежная сіла інерцыі нізкочастотных ваганняў;  
 $F_{np.}$  – сіла спружыны;  $f$  – каэфіцыент трэння качэння бегунка па шнэку;  $\mu$  – каэфіцыент трэння слізгання цапфы роліка па павадку;  $d_u$  – дыяметр цапфы бегунка, м;  $d_6$  – дыяметр бегунка, м.

Тады магутнасць:

$$N_1 = W_1 \frac{D}{2} \omega_{ш} = (F_u^n + F_{np.}) \left( \frac{2f}{d_6} + \frac{\mu d_u}{d_6} \right) \frac{D}{2} \omega_{ш}, \text{ Вт}; \quad (3)$$

$$N_2 = (F_u^n + F_{np.}) f_n d_u \omega_n 0.5, \text{ Вт}, \quad (4)$$

дзе  $N_2$  – магутнасць на пераадольванне сілы трэння ў падшыпнікавых апорах эксцэнтрыкавага вала і дэбаланса, Вт;  
 $f_n$  – каэфіцыент трэння качэння падшыпнікаў;

$d_u$  – дыяметр цапфы эксцэнтрыкавага вала;

$\omega_n$  – вуглавая скорасць павадка, р/с.

Магутнасць  $N_3$  на павелічэнне КПД шнэка і на ўшчыльненне, знойдем як работу неабходную для падтрымання ваганняў у сістэме за час, роўны аднаму перыяду.

$$A_3^1 = \frac{m_6 \cdot \omega_{ш}^2 \cdot D^2}{(2h + d)^2} X_a^1 \omega_n \int_0^{T_1} \sin(\omega_n t - \varphi) \cos \omega_n t =$$

$$= - \frac{\pi \cdot m_6 \cdot \omega_{ш}^2 \cdot D^2 X_a^1 \omega_n}{2(2h + d)^2} \sin \varphi, \quad (5)$$

дзе  $T_1$  – перыяд ваганняў,  $T_1 = \frac{2\pi}{\omega_n}$ , с, (6)

$\varphi$  – вугал зруху фаз паміж вымушанымі ваганьнямі і вымушальнай сілай  $F_n^n$ . Для таго каб, атрымаць значэнне  $N_{cp}^3$ , дастаткова аднесці  $A_3$  да перыяду  $T$ .

$$N_{cp3}^1 = \frac{A_3^1 \omega_n}{2\pi} = \frac{m_b \cdot \omega_{ш}^2 \cdot D^2 X_a^1 \omega_n}{2(2h + d)^2} \sin \varphi, \text{ Дж. (7)}$$

Знойдем работу на падтрыманне высокачастотных ваганьняў.

$$A_3^2 = - m_b \left[ \frac{D}{d} \omega_{ш} + \omega_n \left( 1 - \frac{D}{d} \right) \right]^2 e X_a^2 \int_0^{T_2} \omega_b \sin(\omega_b t - \psi) \cos \omega_b t dt, \text{ Дж, (8)}$$

дзе  $\psi$  – вугал зруху фаз паміж вымушанымі ваганьнямі  $X_2$  і вымушальнай сілай  $F_b$ .

$$A_3^2 = \pi m_b \left[ \frac{D}{d} \omega_{ш} + \omega_n \left( 1 - \frac{D}{d} \right) \right]^2 e X_a^2 \sin \psi, \text{ Дж; (9)}$$

$$N_{cp2}^3 = m_b \left[ \frac{D}{d} \omega_{ш} + \omega_n \left( 1 - \frac{D}{d} \right) \right]^2 e X_a^2 \omega_b \sin \psi \cdot 0.5, \text{ Вт. (10)}$$

Сумарная магутнасць прываду вібратора для першага выпадка:

$$N_{cp} = N_{cp3}^1 + N_{cp3}^2 = \frac{m_b \cdot \omega_{ш}^2 \cdot D^2 X_a^1 \omega_n}{2(2h + d)^2} \sin \varphi + m_b \left[ \frac{D}{d} \omega_{ш} + \omega_n \left( 1 - \frac{D}{d} \right) \right]^2 e X_a^2 \omega_b \sin \psi \cdot 0.5, \text{ Вт, (11)}$$

Разгледзім трэці выпадак пры  $\omega_{ш} = 0$ , пры якім будзе найбольш эфектыўнае ўшчыльненне, а значыць працэс найбольш энэргаёмісты. Сумарную магутнасць прываду вібратора вызначым па выражэнні, як і для першага выпадка. Супраціўленне качэнню бегунка па шнэку вызначаецца выражэннем ( 5 ). Тады магутнасць  $N_1$  пераадолення сілы трэння:

$$N_1 = (m_6 \omega_n^2 h + F_{тр}) \left( \frac{2f}{d_6} + \frac{\mu d_u}{d_6} \right) \frac{d_6}{2} \omega_6, \text{ Вт}, \quad (12)$$

$N_2$  – магутнасць пераадолення сілы трэння ў падшыпніках эксцэн -трыкавага вала.

$$N_2 = (m_6 \omega_n^2 h + F_{тр}) f_n \frac{d_{II}}{2} \omega_{II}, \text{ Вт}. \quad (13)$$

Магутнасць  $N_3$  на павелічэнне ККД шнэка і на ушчыльненне.

$$N_{3cp} = \frac{A_3^1 \omega_n}{2\pi} = \omega_n^3 m_6 \left[ h + \left( 1 - \frac{D}{d} \right)^2 e \right] X_a^1 \sin \varphi 0.5, \text{ Вт} \quad (14)$$

Другі выпадак, калі  $\omega_{ш} \neq 0$  і  $\omega_n > 0$ ; энэргаёмістасць вібратора, максімальная бо  $F_a \text{ мах.}$  і вызначаецца па выражэннях

$$N_1 = \left\{ \frac{m_6 \omega_{ш}^2 D^2}{(2h + d)^2} + m_6 \left[ \frac{D}{d_6} \omega_{ш} + \omega_n \left( 1 - \frac{D}{d_6} \right) \right]^2 \right\} \left( \frac{2f}{d_6} + \frac{\mu d_u}{d_6} \right) \frac{d_6}{2} \omega_6, \text{ Вт}; \quad (15)$$

$$N_2 = \left\{ \frac{m_6 \omega_w^2 D^2}{(2h+d)^2} + m_w \left[ \frac{D}{d_6} \omega_w + \omega_n \left( 1 - \frac{D}{d_6} \right) \right]^2 \ell \right\} \frac{d_{II}}{2} \omega_n f_n, \text{Br}; \quad (16)$$

$$N_3 = \pi \left\{ \frac{m_6 \omega_w^2 D^2}{(2h+d)^2} + m_6 \left[ \frac{D}{d_6} \omega_w + \omega_n \left( 1 - \frac{D}{d_6} \right) \right]^2 \ell \right\} \frac{X_a^1 \omega_n \sin \varphi}{2}, \text{Br}. \quad (17)$$

**Информационно-  
измерительная техника  
и технологии**

**Влияние конструктивных особенностей дымовых пожарных извещателей на их чувствительность к дымам различной природы**

Зуйков И.Е., Антошин А.А., Есипович\* Д.Л., Пантелеев Ф.В.  
БНТУ, \*НИИ пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций

Гибель людей и большие материальные потери во время пожаров чаще всего связаны с неэффективной работой пожарной сигнализации или ее отсутствием на объектах. Решение этой проблемы в значительной степени обусловлено не только качеством используемых технических средств, в первую очередь пожарных извещателей, но и оптимальным согласованием характеристик извещателя с факторами наиболее вероятного для каждого конкретного объекта типом пожара. Так, например, извещатели, имеющие максимальную чувствительность к дыму, образующемуся при тлении хлопка, должны устанавливаться в помещениях, где наиболее вероятен именно такой тип пожара.

Особенно чувствительны к характеристикам дыма и присутствию аэрозолей не связанных с процессами протекающими на ранних стадиях пожара оптические дымовые извещатели, использующие эффект рассеяния оптического излучения на частицах дыма. Их чувствительность к производственным и бытовым аэрозолям разной природы приводит к высокой вероятности их ложного срабатывания. Однако эти же качества могут быть использованы для обеспечения селективной чувствительности извещателей при распознавании пожара на ранней стадии его развития и снижения вероятности ложного срабатывания.

В настоящее время эта проблема находится в центре внимания ведущих исследовательских центров. Однако до сих пор не разработаны объективные критерии эффективности применения наиболее широко используемых оптических дымовых пожарных извещателей. Современные нормативные документы, определяющие требования к размещению дымовых пожарных извещателей в зданиях, не принимают во внимание их разную чувствительность к дымам различной природы.

В работе рассмотрены конструктивные особенности оптических дымовых пожарных извещателей, которые могут существенным образом влиять на их селективную чувствительность.

Анализ влияния конструкции широко применяемых дымовых извещателей на их характеристики показал, что размещение дымовой камеры внутри корпуса, как например у ИП 212-50М, ИП 212-45, может являться причиной их нестабильной работы. Такие извещатели чувствительны к направлению потока дыма. В случае использования для защиты дымовой камеры от насекомых и пыли металлической сетки, располагаемой по ее периметру, наблюдается эффект образования электростатического поля, влияющего на проникновение дыма в камеру.

Анализ экспериментальных результатов по рассеянию оптического излучения дымом трех тестовых очагов пожара (ТП-2 – тление буковых брусков (древесины) при температуре примерно  $600^{\circ}\text{C}$ , ТП-3 – тление со свечением хлопка, ТП-4 – горение полимерных материалов). показал, что величина сечения рассеяния  $\sigma$  для углов рассеяния от  $5^{\circ}$  до  $10^{\circ}$  частицами с медианой аэродинамического диаметра  $0,31\text{ мкм}$  (ТП 3) почти на порядок меньше сечения рассеяния для частиц с  $d_m=2\text{ мкм}$  (ТП 4). Этот факт может привести к большой ошибке при определении количества дыма во время испытаний дымовых извещателей по измерениям оптической плотности если угол зрения фотоприемника слишком велик, например больше  $3^{\circ}$ . Величина сечения рассеяния крупными частицами на угол  $60^{\circ}$  (соответствует  $120^{\circ}$  между излучателем и фотоприемником) более чем на порядок меньше чем для угла рассеяния  $5^{\circ}$ . Это означает, что извещатели с таким расположением фотоприемника и излучателя будут иметь низкую чувствительность к тестовому очагу пожара ТП4 и аэрозолям с крупными частицами.

В настоящее время в мировой практике используются оптические дымовые пожарные извещатели с разным углом  $\alpha$  между излучателем и фотоприемником ( $120^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$  и т.д.). Приведенная на рисунке зависимость показывает, что при изменении угла  $\alpha$  существенным образом изменяется объем фотометрируемой области. При одинаковых значениях угла зрения фотоприемника и диаграммы направленности светодиода фотометрируемая область имеет минимальный размер, если оптические оси светодиода и фотоприемника взаимно перпендикулярны ( $\alpha=90^{\circ}$ ). Из-

менение угла  $\alpha$  от  $60^\circ$  до  $120^\circ$  не вызывает существенного изменения фотометрируемого объема. Наиболее сильные изменения объема происходят при стремлении угла к  $0^\circ$  и  $180^\circ$ , фотометрируемая область в этом случае увеличивается в десятки раз.

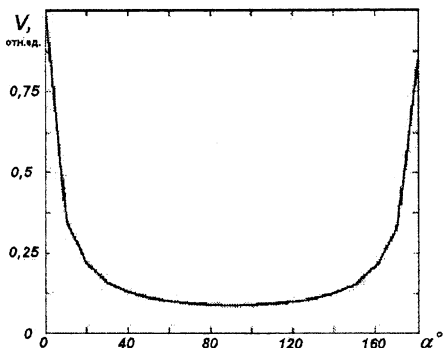


Рисунок. Зависимость размера фотометрируемой области от угла между источником и приемником излучения

Кроме изменения объема фотометрируемой области, при разном положении фотоприемника относительно светодиода происходит регистрация излучения рассеянного под разными углами. Если угол  $\alpha > 90^\circ$ , то регистрируется излучение рассеянное дымом в основном вперед, если  $\alpha < 90^\circ$ , то регистрируется излучение рассеянное в основном назад, при  $\alpha = 90^\circ$  на фотоприемник будет попадать иллучение рассеянное как вперед так и назад.

Рассмотренные эффекты могут существенным образом влиять на селективную чувствительность оптических дымовых извещателей к тестовым пожарам и аэрозолям, образование которых не связано с возникновением пожара.



**Метрологическое обеспечение светотехнического  
оборудования транспортных средств с несменными  
источниками света на основе светодиодов**

Балохонов Д.В., Колонтаева Т.В., Кузьмина О.А., Сернов С.П.  
Белорусский национальный технический университет

Потребности рынка и трудности взаимопонимания между производителями и потребителями светодиодов вызвали необходимость разработки метрологического обеспечения измерений фотометрических и колориметрических характеристик полупроводниковых источников света.

В связи с этим, актуальной задачей является разработка метрологического обеспечения производства светотехнического оборудования с несменными источниками света на основе светодиодов. Согласно требованиям Правил ЕЭК ООН и Директив ЕС, основными характеристиками изделий, контролируемые при фотометрировании светодиодной продукции, являются пространственное распределение силы света и координаты цветности.

Для объективной оценки качества изделий, по аналогии с лампами накаливания, для каждого типа светотехнического оборудования необходимо иметь эталонные (контрольные) несменные источники света (НИС), на основе конкретного типа светодиодов (СД). Это обусловлено прежде всего разбросом значений силы света СД, который может достигать в пределах одной группы (bin name) 100%.

При проведении испытаний промышленных партий несменных источников света по методу однократной выборки, значительное время занимает процедура стабилизации светового потока, которая согласно предписаниям Правил ЕЭК ООН составляет для каждого источника не менее 20 минут. Физически это связано с релаксационными процессами в кристалле. Поскольку объем выборки при проведении нормального вида контроля по уровню II с приемочным числом  $C=0$ , согласно НД, составляет  $n=80$  при объеме партии  $N \geq 1000$ , то "чистое" время проведения испытаний составляет более 30 часов.

В связи с этим представляет практический интерес определение критериев годности НИС без предварительной температур-

ной стабилизации. В отличие от фотометрии единичных СД, для которых известны люкс-амперные зависимости в пределах каждой группы данного типа, при фотометрировании НИС необходимо учитывать не только эффекты связанные с температурным гашением люминесценции при увеличенных токах инжекции, но и косвенный нагрев светодиодов со стороны элементов электронной схемы. Для минимизации негативного влияния перегрева СД используют керамические теплопроводящие подложки и импульсные схемы стабилизации тока инжекции. Однако полностью исключить указанные недостатки не удастся, поскольку требуется обеспечить эффективный теплоотвод.

Основной задачей при проведении испытаний является выбор оптимального значения тока инжекции, который обеспечивал требуемую величину светового потока в некотором температурном диапазоне.

Поскольку не эффективно ждать несколько минут для термостабилизации при проведении испытаний, предлагается делать импульсные измерения, при этом устройство для испытаний калибруется для получения термостабилизированного результата.

Процедура калибровки светового потока состоит в измерении как мгновенного, так и термостабилизированного светового потока большого количества НИС в рекомендуемой системе испытаний. Эти излучатели выбираются таким образом, чтобы охватить весь диапазон светового потока и длин волн каждого конкретного типа светодиодов.

Каждый СД проводит постоянный ток и позволяет при самонагреве прийти к тепловому равновесию. Обычно это занимает 1,5-3 мин. Затем световой поток регистрируется. После этого световой поток измеряется в рекомендуемой системе при таком же пиковом токе при условиях пульсации, использующим 1% коэффициент заполнения импульса при 1кГц. Следует отметить, что далее при этих же условиях происходит незначительный нагрев и мгновенный световой поток регистрируется. Отношение термостабилизированных данных к мгновенным называется *hot/cold* коэффициентом.

Этот коэффициент определяется для каждого типа СД. Термостабилизированный световой поток каждого типа СД опреде-

ляется путем умножения на *hot/cold* коэффициент, определенный ранее. На рис.1 приведены значения *hot/cold* коэффициента.

Затем выбирается некоторое число калибровочных НИС и испытывается на рекомендуемой системе измерений. Затем эти НИС используются для калибровки производственных испытательных систем. Производственная система испытаний калибруется таким образом, чтобы показания прибора соответствовали термостабилизированному световому потоку, измеренному с помощью предлагаемой системы испытаний.

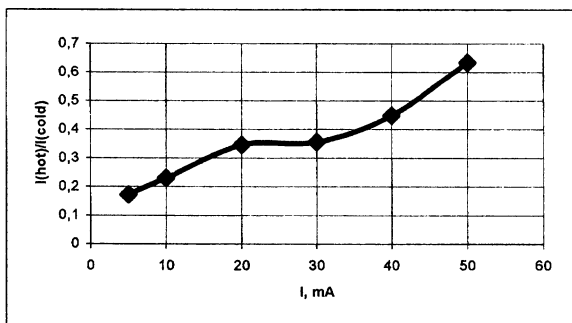


Рис.1.  
Зависимость коэффициента от тока инъекции

На рис. 2 представлена зависимость доминирующей длины волны от температуры для автожелтых НИС.

Согласно правилам ЕЭК ООН координаты цветности автожелтых фонарей должны находиться в следующих пределах  $0.398 \leq u \leq 0.429$ , что соответствует диапазону длин волн 592- 599 нм. Из рис.2 следует, что для того чтобы находиться в требуемом диапазоне длин волн диапазон температур должен быть от  $-15$  °С до  $50$  °С.

Доминирующая длина волны в спектре излучения измеряется по методу трех светофильтров в фотометрическом шаре.

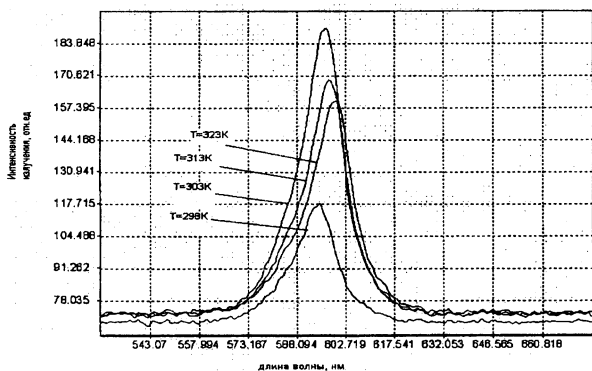


Рис. 2.

Зависимость доминирующей длины волны от температуры при токе инжекции 20мА

Доминирующая длина волны незначительно сдвигается в длинноволновую область, при повышении температуры. Экспериментально получено, что доминирующая длина волны увеличивается на 1 нм при увеличении температуры на 10°C. Поэтому все испытания необходимо проводить в условиях термостабилизации.

Процедура калибровки для доминирующей длины волны светодиода состоит в измерении калиброванных светодиодов, которые термостабилизированны в предлагаемой системы испытаний. Затем эти единицы испытываются на производственной системе испытаний, которая затем калибруется таким образом, чтобы показания установки совпадали с термостабилизированными показаниями предлагаемой системы.

Использование данного подхода при проведении массового контроля качества несменных источников света значительно сократит время и упростит методику проведения измерений.

## Физические основы построения полупроводниковых преобразователей силы и давления

Гусев О.К., Киреенко В.П.

Белорусский национальный технический университет

Среди большого разнообразия различных измерительных преобразователей число механоэлектрических, построенных на тензорезистивном принципе занимает ведущее место. Классический тензорезистивный преобразователь давления представляет собой мембрану – воспринимающую измеряемое давление (силу), которая, деформируясь, передает воздействие на тензорезистор. Его деформация приводит к появлению механических напряжений, которые изменяют омическое сопротивление тензорезистора и, соответственно, изменяется выходной сигнал устройства. Развитие планарной технологии и успехи микроэлектроники позволили объединить в одной конструкции как все отдельные элементы измерительного устройства так и электронную часть.

В качестве базового материала таких преобразователей используется кремний, на основе которого изготавливаются как конструктивные элементы, так и сами тензорезисторы. Связь между изменением его электрического сопротивления и механическими напряжениями или деформациями устанавливается на основе феноменологической теории пьезорезистивного эффекта [1], которая устанавливает связь между изменением электрического сопротивления полупроводника и механическими напряжениями в нем или его деформациями. Эту зависимость можно представить в виде

$$E_S/\rho_0 = j_i + \pi_{ijkm} \sigma_{km} j_j; \quad (1)$$

$$E_S/\rho_0 = j_i + m_{ijkm} \varepsilon_{km} j_j, \quad (2)$$

где  $i, j, k, m, s = 1, 2, 3$ ;  $\rho_0$  – удельное электрическое сопротивление материала при механическом напряжении, равном нулю;  $E_S$  – компоненты вектора напряженности электрического поля;  $j_i$  и  $j_j$  – компоненты вектора плотности тока,  $\sigma_{km}$ ,  $\varepsilon_{km}$  – тензоры второго ранга деформации и напряжения. Коэффициенты  $\pi_{ijkm}$ ,  $m_{ijkm}$  называют пьезорезистивными, и они являются в общем случае тензорами четвертого порядка и связаны

между собой через коэффициенты податливости и модули упругости.

Но так как в большинстве практических случаев [2-5] в тензорезисторах направление тока совпадает с направлением электрического поля, механические напряжения учитываются только в плоскости упругого элемента, а тензорезисторы ориентированы в плоскостях (001), (011) и (111), то выражение (1) можно преобразовать к виду

$$\delta'_1 = \pi'_{11} \sigma'_1 + \pi'_{12} \sigma'_2 + \pi'_{16} \sigma'_6. \quad (3)$$

Т.е. задача определения относительного изменения сопротивления тензорезистора сводится к определению компонент тензора механических напряжений, действующих на резистор, и к определению компонент тензора пьезорезистивных коэффициентов через главные пьезорезистивные коэффициенты  $\pi_{11}$ ,  $\pi_{12}$  и  $\pi_{44}$  с учетом поворота произвольной системы координат на некоторый угол. Более того, во многих случаях (при уровнях легирования кремния меньше  $5 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$ ) для кремния  $p$ -типа достаточно знать коэффициент  $\pi_{44}$  а для  $n$ -типа -  $\pi_{11}$  [3, 4]. Следовательно, при прочих равных условиях чувствительность тензорезистора к механическому воздействию будет определяться главными пьезорезистивными коэффициентами.

Главные пьезорезистивные коэффициенты зависят от многих факторов: от материала, типа проводимости, удельного сопротивления, температуры и механического напряжения или деформации. Разработчика интегральных преобразователей прежде всего интересуют зависимости пьезорезистивных коэффициентов от концентрации примесей и температуры т.е. основной интерес представляют концентрационные и температурные зависимости коэффициентов  $\pi_{44}$  (для  $p$ -типа тензорезисторов) и  $\pi_{11}$  (для  $n$ -типа). Эти зависимости к сожалению до настоящего времени недостаточно изучены.

В практических разработках измерительных тензопреобразователей [3-5] чаще всего встречается радиально-тангенциальное расположение тензорезисторов  $p$ - и  $n$ -типов проводимости для трех ориентаций плоскости мембраны. Проводимые расчеты являются основой для выбора правильного положения тензорезисторов на мембране с учетом значения и знака относительного приращения их сопротивление. Причем во всех случаях тензорезисторы можно расположить так на круглых

мембранах, что они будут иметь противоположные знаки приращения сопротивления (рис.1.). Это позволяет создавать на одной мембране полную мостовую схему, в каждом плече которой включен тензорезистор с соответствующим знаком для увеличения чувствительности всего преобразователя. Кроме того, на одной мембране можно получить несколько мостовых схем для резервирования.

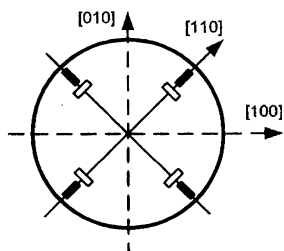


Рис.1. Расположение однополосных тензорезисторов  $p$ -типа с положительной (темные) и отрицательной (светлые) чувствительностью на мембране (001)

В этом случае чувствительность к давлению такого мембранного преобразователя с мостовой тензорезисторной схемой образованной двумя радиальными и двумя тангенциальными резисторами определяется выражением [5]

$$S = \frac{1}{q} \frac{|\delta +| + |\delta -|}{2}. \quad (4)$$

Произведен расчет и оценка параметров кремниевого вибрационного мостикового датчика. Варьируемыми параметрами и характеристиками при расчетах были приняты следующие величины: геометрические размеры кремниевого резонатора, геометрические размеры кремниевого мостикового элемента, вольтамперная характеристика металлического контакта к тензорезистивному слою, геометрические размеры тензорезистивного слоя, концентрация и подвижность электронов в кремнии, преобразуемое значение силы, величина межэлектродного зазора между контактом мостикового элемента и поверхностью диэлектрика тензорезистора. Рассчитанная характеристика показана на рис.2.

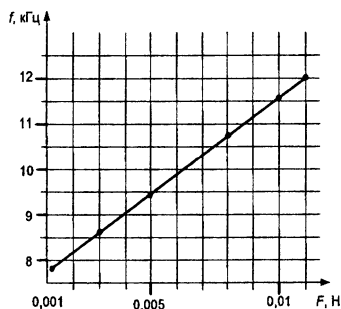


Рис.2. Теоретическая характеристика преобразования мостикового датчика на основе кремния

### Литература

1. Терстон, Р. Применение полупроводниковых преобразователей для измерения деформаций, ускорений и смещений. — В кн.: Физическая акустика/ Под ред. У. Мэзона, т. 1, часть Б — Методы и приборы ультразвуковых исследований. Пер. с англ.—М.: Мир, 1967, с. 187—209.
2. Ваганов, В.И. Интегральные тензопреобразователи.- М.: Энергоатомиздат, 1983.
3. Соколов, Л.В., Школьников, В.М. Методы проектирования интегральных полупроводниковых сенсоров, сенсорных и микромеханических систем/Датчики и системы.-2002.-№1.-с.45-48.
4. Толстенок, О.А., Холомина, Т.А. Конструктивные и технологические особенности измерительно-преобразовательных микроэлектромеханических систем на основе кремниевых датчиков/Измерительная техника.-2004.-№8.-с.66-71.
5. Беликов, Л.В. Проектирование топологии тензорезистивного моста Уитстона, расположенного на монокристаллической кремниевой мембране, ориентированной по (111)/ Микросистемная техника-2001.-№8.-с.14-18.



**Использование отладочных средств микроконтроллеров MSP430 в учебном процессе на кафедре «Информационно-измерительная техника и технологии» и в её филиалах**

Кривицкий П.Г., Тявловский А.К., Шмаков В.Ю.

Белорусский национальный технический университет

Обучение микропроцессорной технике и микроконтроллерам в частности является неотъемлемой частью учебного процесса, проводимого на кафедре ряд последних лет.

Микроконтроллеры, как класс цифровых микросхем имеют уже достаточно долгую историю развития, значительная часть которой приходится на восьмиразрядные приборы, такие как, например, семейство MCS-51. Появившееся в 70-х годах наряду с персональным компьютером, оно имеет такую же богатую и славную историю. Однако сегодня проявляются границы области применения 8-разрядных микроконтроллеров, прежде всего в системах логического управления и контроля.

Для инженера, специализирующегося в области электроники и измерительной техники, сегодня требуются уже более мощные и совершенные приборы. На микроконтроллеры нередко возлагают задачу цифровой обработки выборок измеряемых аналоговых величин, для чего обычно применяются 16- или 32-разрядные быстродействующие устройства.

Современные производители предлагают по доступным ценам широкий спектр подобных приборов. Так, например, сравнительно недавно появилось семейство микроконтроллеров MSP430 фирмы Texas Instruments, и уже получило хорошую оценку у специалистов. Эти современные, многофункциональные цифровые устройства обладают простой и понятной системной организацией с классической фон-Неймановской архитектурой, сокращенной RISC системой команд, развитыми средствами программирования и внутрисхемной отладки.

Фирма Texas Instruments также проводит европейскую университетскую образовательную программу («The TI University Programme») по продвижению в данной области своих разработок в области обработки сигналов и микроконтроллеров. В рамках ее в текущем учебном году на кафедре было начато внедрение в учебный процесс комплектов разработки на базе микро-

контроллеров семейства MSP430, организованы лабораторные занятия по их практическому освоению студентами.

В качестве базового микроконтроллера был выбран MSP430F449, включающий большинство из функциональных возможностей этого семейства. В рамках учебной дисциплины «программируемые цифровые устройства» данный микроконтроллер был предложен студентам в качестве базового устройства для выполнения курсового проекта. Чтобы облегчить его освоение студентами в лабораторный цикл была включена работа по программированию цифровых портов микроконтроллера MSP430F449 на языке C в среде IAR Embedded Workbench.

В лабораторном практикуме по курсу "Системы с распределенной обработкой информации" используется микропроцессорный комплект MSP-FET 430, включающий микроконтроллер MSP430P440 и ОЗУ-эмулятор флэш-памяти, объединенные по интерфейсу JTAG. Для загрузки программного обеспечения в эмулятор и отладки программы комплект подключается к персональному компьютеру через параллельный порт LPT. Программирование ведется на языке ассемблера, что позволяет студентам лучше понять принципы функционирования микропроцессора и стимулирует разработку более компактного программного кода. Тематика практикума включает:

- изучение студентами архитектуры, адресного пространства, системы прерываний и системы команд микроконтроллера на основе его технической документации;
- практическое использование инструкций ассемблера для пересылки данных между регистрами, памятью и портами микроконтроллера;
- эмуляцию работы отдельного узла распределенной информационной системы в различных режимах функционирования (как приемника, передатчика, шинного арбитра/контроллера), написание и отладка программного обеспечения для него;
- программную реализацию протокола обмена данными, не реализованного аппаратными средствами.

По результатам проведенной работы по внедрению микроконтроллеров семейства MSP430 в учебный процесс можно сделать ряд выводов.

Во-первых, это – несомненно, нужное дело для формирования будущего специалиста приборостроительного профиля, по-

скольку, не умаляя значимость профессиональных знаний в конкретной прикладной области, следует сказать, что практически везде современные приборы не мыслимы без микроконтроллерного «обрамления», позволяющего упростить, удешевить и расширить функциональные возможности прибора.

Во-вторых, наличие комплектов разработки на базе микроконтроллеров является необходимым, но далеко не достаточным условием для проведения такого рода обучения. Эти комплекты должны быть соответствующим образом вставлены в защитные корпуса, обрамлены определенными периферийными элементами: кнопками, выключателями, светодиодными и символьными индикаторами и т.п. Желательно наличие минимальных элементов приборного оснащения – тестера, осциллографа, генератора, позволяющих задавать сигналы для таймеров-счетчиков, АЦП, контролировать их, а также выходные сигналы микроконтроллера. Для них должен быть разработан и опробован соответствующий цикл лабораторных работ, позволяющий освоить различные их блоки.

В-третьих, в рамках учебного процесса было бы полезно познакомить студента с различными представителями современной микропроцессорной техники, позволив ему сделать сравнительную оценку различных семейств микроконтроллеров, выявить общие подходы в их организации и применении, определить свои критерии выбора наиболее подходящего, удобного в применении изделия, имеющего развитую среду разработки и отладки программ.

В-четвертых, обучение на смежных дисциплинах (информатика, языки программирования) должно подготавливать студента к практическому применению полученных там знаний в программировании реальных цифровых приборов. Так, например, должны быть освоены приемы работы с битовыми элементами (установка, очистка, проверка битов в байте), битовые операции и построение программ на языке С без углубления в его объектно-ориентированные расширения.

**Испытания макета интегрированной навигационной системы на наземном транспортном средстве**

Зуйков И.Е., Кривицкий П.Г., Оксенчук И.Д.  
Белорусский национальный технический университет

Традиционно используемый для отладки бесплатформенных инерциальных навигационных систем (БИНС) статический режим испытаний имеет ограничения по реализуемому диапазону входных параметров, поэтому его стремятся дополнить динамическими испытаниями на подвижном объекте. Учитывая, что испытания на поверхности Земли лишь условно могут быть отнесены к статическим, дополнительные динамические испытания для серийных систем направлены больше на психологическое успокоение приемки заказчика. Однако на этапе создания новых систем динамические испытания, при наличии параллельно записанной эталонной траектории, дают дополнительные возможности отработки алгоритмов обработки информации.

Именно с этой целью были проведены испытания макета БИНС, созданного в научно-исследовательской лаборатории оптико-электронного приборостроения БНТУ. В качестве чувствительных элементов в макете БИНС использовались кольцевые лазеры КЛ-1 с периметром 28 см и акселерометры А-15.

Для испытаний был собран специализированный стенд, блок-схема которого представлена на Рисунке 1. Его питание осуществлялось от источника бесперебойного питания (ИБС), что позволило применять стандартное оборудование, предназначенное для работы от сети 220 В. Полностью заряженный аккумулятор ИБС обеспечивал непрерывную работу на протяжении не менее 6 часов.

Для регистрации информации от макета БИНС и GPS приемника использовался портативный компьютер с адаптерами интерфейсов RS422 и RS232. БИНС, источник питания и блок спутниковых приемников располагались в багажном отделении легкового автомобиля. Для удобства работы контрольная панель и контрольный компьютер размещались в кабине автомобиля.



Рассогласования по углам, полученные для БИНС без коррекции по GPS и приведенные к часу пути, равны:

азимут - лучше  $0,1^\circ$  (более точное определение угла рассогласования ограничено возможностью его воспроизведения на местности без специальных средств),

крен и тангаж - лучше  $0,03^\circ$ .

Ошибка по координатам не превысила 4 км. на час пути.

- маршрут №2. Поездка по городу. Маршрут имеет большое число участков разгона и торможения, остановок на непродолжительное время. Продолжительность движения около 1 часа.

Для данного маршрута характерна существенно более сложная динамика движения, что привело к ухудшению точности измерения БИНС примерно на 10%.

Полученные результаты превысили ожидания, т.к. испытываемая БИНС изначально проектировалась как интегрированная, с постоянной коррекцией по GPS/GLONASS приемнику, а используемые в ней кольцевые лазеры имеют дрейф на уровне  $0,03^\circ/\text{час}$ .

При испытаниях наряду с навигационными данными в памяти компьютера фиксировались показания всех датчиков БИНС, что позволяет в настоящее время проводить отработку различных методов калибровки и обработки информации без дополнительных испытаний. В качестве эталонных значений координат используются показания GPS приемника наложенные на карту. Для реализации такой возможности была проведена синхронизация временных шкал GPS и БИНС.

Используя полученные массивы данных, в настоящее время решаются следующие задачи:

- более точное определение осей чувствительности всех датчиков и их взаимной ориентации (их задание заводскими данными имеет недостаточную точность),

- выяснение и попытка учета динамики случайного дрейфа каждого из датчиков (т.е. попытка перехода от регламентируемого заводом-производителем линейного тренда к более сложной функции),

- более точный учет температурного дрейфа,

- и др.

## Мультипроцессорная информационно-измерительная система производства СБИС

Шматин А.С., Шматин С.Г.

Белорусский национальный технический университет

Качество производства СБИС в значительной мере определяется эффективностью контроля параметров технологических сред при их изготовлении. Определение температуры, давления, влажности и других параметров среды требует автоматизированных методов измерения и обработки информации на местах ее получения. Микропроцессорные вычислительные системы позволяют, во-первых, автоматизировать процесс измерения и обработки полученной информации и, во-вторых, создавать локальные сети, что особенно важно при серийном производстве СБИС.[1,2]

В данной статье предлагается метод контроля и измерения параметров технологических сред производства СБИС и представляется экспериментальная система, реализующая этот метод. Базисом такой системы является микропроцессорная система (МПС).

Наряду с МПС основным блоком системы является мультиметр, работающий в составе ряда МПС.

Мультиметр представляет собой шестнадцатиканальный программно-управляемый нормирующий преобразователь частота-код (ПЧК), работающий совместно с частотными первичными преобразователями различных физических величин (температуры, давления, влажности, частоты электрических сигналов и др.).

Измеряемые физические параметры, воздействуя на соответствующие первичные преобразователи, изменяют частоту их выходного сигнала.

Выходные сигналы первичных преобразователей поступают на блок вторичных преобразователей (БВП), в котором осуществляется преобразование частоты сигнала в цифровой код, расчет частоты и периода сигнала по полученному значению кода, пересчет частоты или периода сигнала в соответствующие значения измеряемых физических параметров, отображение результатов измерения на цифровом табло мультиметра, хранение ре-

зультатов измерения в резидентном оперативном запоминающем устройстве.

Функциональные блоки БВП имеют следующие назначения: преобразователь частота-код (ПЧК) обеспечивает поочередное преобразование частоты электрических сигналов, поступающих на входы БВП, в цифровой код; репрограммируемое запоминающее устройство (РеПЗУ) хранит коэффициенты аппроксимации рабочих характеристик первичных преобразователей; устройство ввода-вывода информации (УВВ) предназначено для задания нужного режима работы БВП, ввода информации в регистры и ячейки памяти резидентного ОЗУ и РеПЗУ, вывода информации; постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) хранит, рабочую программу БВП, определяющую алгоритм его функционирования; МПС обеспечивает вычисление частоты, периода и величины измеряемых физических параметров и управляет работой всех устройств системы в соответствии с программой, хранимой в ПЗУ.

Программное обеспечение мультиметра в составе системы выполняет следующие функции: задает алгоритм управления работой аппаратной части прибора, расчета частоты, периода и измеряемых параметров, тестирования результатов измерения и вывода данных, устанавливает определенную последовательность обмена информацией с устройствами пользователя и с запоминающими устройствами (ЗУ) прибора.

Программа "Пуск" осуществляет запуск рабочей программы системы, занесение начальных данных, необходимых для выполнения последующих программ, в резидентную память центрального процессора, запрет прерывания и передачу управления устройству пользователя (УП) для выполнения программы "Пуск УП".

Программа "Измерение частоты" обеспечивает измерение частоты следования электрических сигналов, поступающих на входы мультиметра и содержит следующие подпрограммы: поочередное подключение ко входу частотометра соответствующих входов приборов (каналов измерения); грубое преобразование периодов входного сигнала в цифровой код; определение количества периодов входного сигнала, необходимого для точного измерения периода; точное преобразование периода сигнала в цифровой код; расчет значений частоты сигнала по полу-



ченному значению цифрового кода; упаковка рассчитанных значений частоты в форму с плавающей запятой; формирование массива данных в определенной области резидентной памяти.

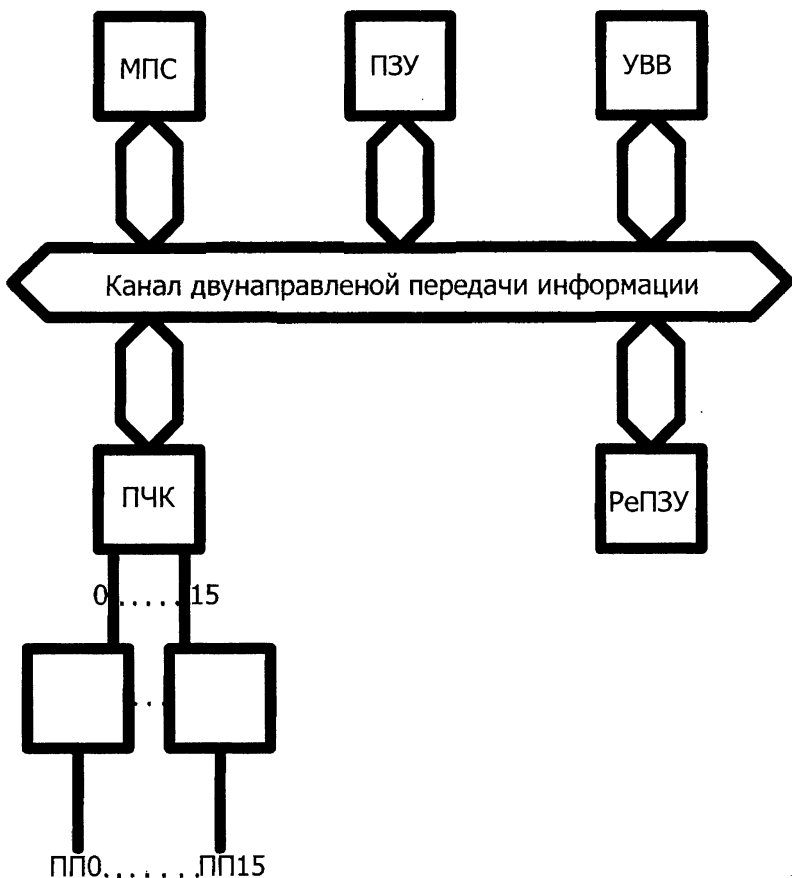


Рис. Структурная схема измерительной системы

Программа "Вычисление периода" осуществляет расчет периода частоты следования электрических сигналов, поступаю-

щих на входы БВП, по заданному значению частоты, а также формирует массив данных в области резидентной памяти для хранения вычисленных значений периода в форме с плавающей запятой. Программа "Вычисление параметра" предназначена для определения параметров по результатам измерения частоты или периода сигнала. Результаты вычислений в форме с плавающей запятой заносятся в ячейки резидентной памяти, образующие массив данных, причем каждому каналу измерения соответствует определенная пара ячеек.

Также в системе функционирует программа "Тест" предназначена для обнаружения и диагностики неисправности мультиметра, программа "Десятичная коррекция" - для преобразования данных, выводимых на цифровой индикатор по требованию устройств пользователя с указанием единиц измерения. Данные, поступающие от УП, имеют наивысший приоритет по отношению ко всем другим данным, выводимым на индикатор. Программа "Вывод на индикацию" является управляющей; она осуществляет вывод результатов измерений или тестирования на цифровой индикатор. В нее входят две основные подпрограммы. Первая осуществляет формирование массива данных для вывода информации в соответствии с кодом семисегментного индикатора, вторая - непосредственную засылку данных из массива информации в регистр индикатора с заданным адресом.

Основной цикл работы БВП включает следующие подциклы: шестнадцать рабочих подциклов, в течение которых происходит определение частоты сигналов, вычисление периода и параметров, обработка результатов измерений в подпрограмме "Тест 1" (подпрограмма текущего теста результатов измерения); подцикл, в течение которого выполняется подпрограмма "Тест 2" (подпрограмма анализа результатов текущего теста по всем измерительным каналам); подцикл передачи управления (УП); подцикл, в течение которого осуществляются подпрограммы "Двоичнодесятичная коррекция" и "Вывод на индикацию".

В течение одного рабочего подцикла мультиметра последовательно реализуются следующие подпрограммы: "Сканирование клавиатуры чисел", "Сканирование клавиатуры служебных символов", "Измерение частоты", "Вычисление периода", "Вычисление параметра", "Тест 1", "Передача управления устройству пользователя".

Производительность мультипроцессорной информационно-измерительной системы подобного типа определяется полиномиальным уравнением N-порядка:

$$T - \frac{M}{R} + \frac{M}{R} \left(1 - \frac{1}{M} \left(1 - \frac{T}{N} + \frac{TR}{N}\right)\right)^N = 0,$$

где M - число устройств памяти; N - число процессоров; R - коэффициент логических показателей использования:  $R = R_1 R_2 R_3 \dots$ . Здесь  $R_1$ ,  $R_2$  - время обращения процессора соответственно к первичной и вторичной памяти;  $R_3$  - время блокировки обращения к вторичной памяти.

В связи с тем что T входит в формулу неявно, расчет проводится методом последовательных приближений с заданной точностью с помощью ЭВМ. Результаты расчета подтвердили концепцию создания мультипроцессорных информационно-измерительных систем.

Таким образом, результаты теоретического и экспериментального анализа показали, что в первом приближении производительность T является функцией отношения M/R и лишь незначительно зависит от M и R, не приводящих к изменению их отношения.

Логические структуры типа МПС в информационно-измерительных системах обеспечивают эффективность применения первичной памяти. Это в свою очередь уменьшает время  $R_2$ , позволяющее увеличить отношение M/R и, значит, повысить производительность T. Следовательно, мультипроцессорные методы измерения и обработки информации являются наиболее эффективными средствами повышения производительности информационно-измерительных систем.

### Литература

1. Бойченко, Е.В., Кальфа, В., Овчинников, В.В. Локальные вычислительные сети. - М.: 1985. - 300 с.
2. Васильев, Г.П., Егоров, Г.А., Щербина, Н.Н. Программное обеспечение сетей СМ ЭВМ. - М.: 1983. - 86 с.

**Информационные  
технологии  
и автоматизация**

## **Подсекция «Робототехника и автоматизация производства»**

УДК 621.311.017.004.18:683.3

**Адаптивный алгоритм вывода произвольных отчетов по  
учету энергопотребления, платежам за него и  
задолженностям по оплате**

Дубиков П.В.

Белорусский национальный технический университет

Эксплуатация программ по контролю и учету энергопотребления, платежей и задолженностей за него в концерне «Белэнерго», внедренных в 2000 – 2005 гг., показала их высокую эффективность. Однако периодически изменяющиеся требования к структурам таблиц, к индексам министерств, ведомств и предприятий, а также к формам отчетов требуют привлечения высококлассных специалистов для модификации алгоритмов и программ.

Для живучести алгоритмов и программного обеспечения встает вопрос о переходе к адаптивным алгоритмам. Разработка таких алгоритмов дороже, но зато они быстро окупаются в процессе эксплуатации, обеспечивают высокую гибкость и живучесть программ.

Одним из таких проблемных вопросов является разработка адаптивного алгоритма для вывода произвольных отчетов по контролю и учету энергопотребления, платежей и задолженностей за него.

Необходимость вывода произвольных отчетов связана с требованиями Совета Министров и Минэкономики к расчетным таблицам и форме подачи материалов. Поэтому возникла необходимость в разработке и внедрении программного обеспечения для вывода нестандартных отчетов – по отдельным министерствам или ведомствам, по любым группам министерств, ведомств или предприятий, вплоть до одного предприятия с переменными полями.

В результате анализа современных технологий COM–DCOM (Component Object Model– компонентная модель объектов, соответственно DCOM – Distributed Component Object Model –

распределенная компонентная модель объектов) и CORBA (Common Object Require Broker Architecture– архитектура с постановщиком требуемых общих объектов) была выбрана технология COM–DCOM, которая является более простой и экономически выгодной.

COM используется в технологии OLE 2.0. Особенность последней - автономные объекты. Их отличие от обычных объектов OLE состоит в том, что автоматные объекты доступны только программно, они создаются и исполняются при помощи программного кода и, следовательно, в принципе временны. Они не могут быть внедрены или связаны. Они могут существовать только в течение времени выполнения программ и не видны непосредственно конечному пользователю.

Схема алгоритма вывода стандартных и нестандартных отчетов приведена на рисунке. В нее входят следующие блоки: 01 – Начало, 14 – Конец и двенадцать программных блоков обработки данных. Блоки 02 – 08 выделены в качестве унифицированного модуля подготовки генерации произвольных отчетов; 02 – процедуры и функции создания COM –сервера Excel (ПП1); 03 – модуль подключения свойств сервера Excel (ПП2); 04 – модуль создания COM – объекта в Excel (шаблона отчетов); 05 – процедура регистрации сервера в системе (ПР1); 06 - процедура доступа к COM – объекту (ПР2); 07 - модуль переноса динамических данных в COM – объект; 08 – процедура прерывания связи с COM – объектом (ПР3). Так как модуль УБПВ внедрен в программы вывода всех уровней («Белэнерго» - РУП-«облэнерго» - межрегиональные отделения), то при дальнейшем описании ссылка будет проводится именно на этот унифицированный модуль, состоящий из семи подпрограмм и процедур.

Далее управление передается программному модулю доступа в Excel (ПП 5) – 09. Затем срабатывает модуль открытия книги Workbook (ПП 6) -10, а подпрограмма ПП 7 служит для открытия листов книги (блок 11). Блок 12 обеспечивает возможность редактирования отчета средствами Excel через диалог с оператором, а подпрограмма ПП 8 (блок 13) также через диалог с оператором обеспечивает вывод либо стандартных, либо отредактированных стандартных отчетов, либо любых нестандартных отчетов.

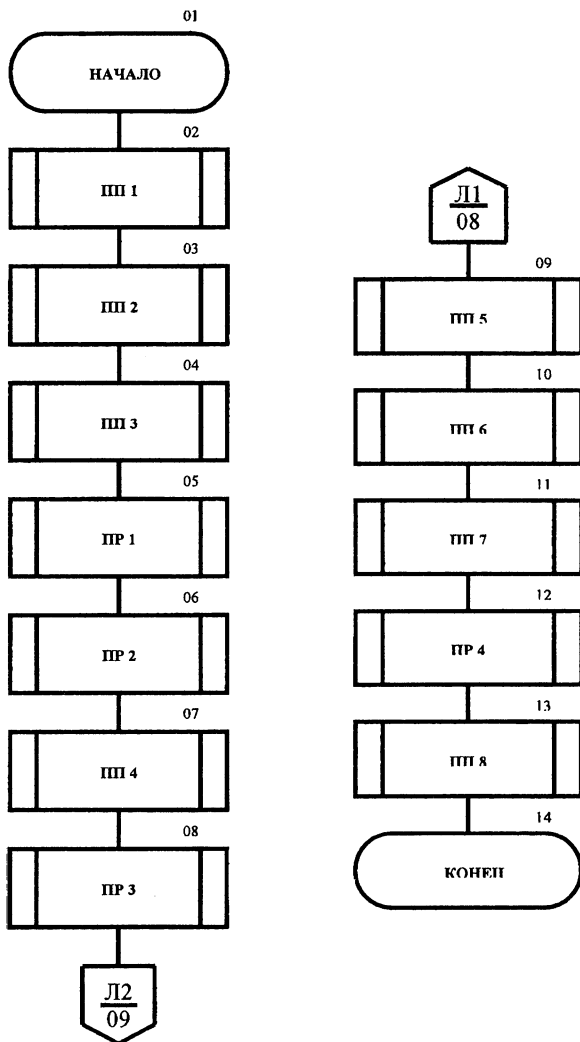


Рис.1. Схема алгоритма модуля вывода стандартных и нестандартных отчетов

**Концепция многомодельного параллельно-итерационного  
анализа производственных систем**

Новичихина Е.Р.

Белорусский национальный технический университет

Область исследования: компьютерное моделирование процесса функционирования производственных систем (ПС).

Объект исследования: ПС типа участок, линия или цех для обработки деталей машино- и приборостроения.

Суть проблемы. Для прогнозирования показателей функционирования ПС на стадии проектирования используются аналитические и имитационный методы моделирования. Все аналитические модели (АМ) имеют принципиальные ограничения по составу учитываемых аспектов и определяемых показателей ПС, т.е. недостаточно адекватны и информативны. В свою очередь имитационные модели (ИМ) принципиально не универсальны и каждый раз должны разрабатываться под конкретную структуру ПС и задачу. Это очень трудоемкий процесс. Возникает дилемма между быстротой и точностью. А нужно и то и другое. Сложилась общепринятая практика следующего компромисса. На ранних стадиях проектирования ПС, когда число рассматриваемых вариантов велико, используются АМ для отсекаемых заведомо проигрышных вариантов или для сужения диапазона искомых показателей. На завершающих стадиях проектирования ПС, когда число оставшихся вариантов, переменных и критериев оптимизации невелико, используются ИМ для детального анализа. Однако такой подход проблему кардинально не решает. Снижается только количество ИМ, а трудоемкость каждой остается прежней. Кроме того, могут быть ошибочно отсекаются лучшие варианты из-за низкой точности АМ.

Цель разработки: сокращение трудоемкости создания и использования моделей ПС без снижения адекватности и информативности.

Суть предлагаемой концепции.

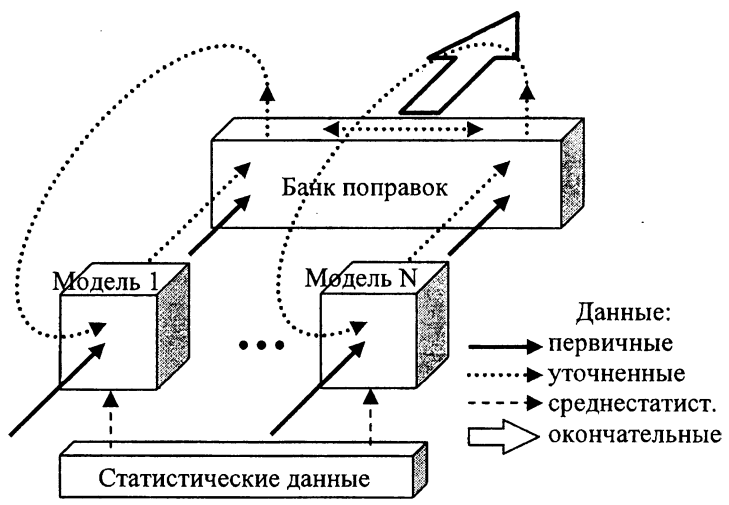
Анализ варианта ПС ведется сразу несколькими относительно простыми моделями.

Каждая частная модель:



- специализируется на отдельных факторах и показателях ПС,
- реализована на методе, наиболее восприимчивом и приспособленном к данным факторам и показателям,
- делается универсальной (с настройкой только параметрической на уровне исходных данных),
- досконально исследуя одни факторы, учитывает остальные факторы входными поправочными коэффициентами или результирующими входными потоками событий, полученными на выходе других моделей,
- выдает помимо частных выходных данных одну ключевую характеристику ПС, общую для всех моделей.

Вариант ПС проигрывается на каждой модели. Определяются факторные поправки. Происходит обмен поправками между моделями. Вариант заново проигрывается с уточненными исходными данными. И так многократно, до тех пор, пока ключевая характеристика ПС у всех моделей не сравняется. Для первого проигрыша значения поправок принимаются среднестатистические. Процесс моделирования можно представить схемой:



Вопросы, требующие решения для реализации концепции:

1. Разработать методику единообразной формализации структуры ПС.

2. Разработать методику единообразной формализации номенклатуры, техпроцессов и заказов изделий ПС.

3. Выявить методы моделирования, наиболее подходящие для анализа каждого фактора, разграничить функции между моделями.

4. Произвести систематизацию, унификацию и согласование входных, внутренних и выходных данных для комплекса моделей ПС.

5. Обеспечить сопоставимость, преемственность и автоматический обмен факторных поправок.

6. Обосновать и выбрать ключевую характеристику комплекса моделей.

7. Разработать экспертную систему для рекомендации среднестатистических значений и решений по недостающим данным.

8. Реализовать каждую модель и комплекс в целом программно.

Состояние разработки.

Принципиальные решения по перечисленным вопросам найдены. Ведется доработка ранее разработанных моделей [1] под концепцию. Осуществляется пополнение экспертной системы [2] недостающими знаниями.

## **Литература**

1. Новичихина, Е.Р. Интеллектуальная система моделирования производственных систем. – В кн.: «НИРС-2003»: Тезисы докладов VIII Республиканской научно-технической конф. студентов и аспирантов. В 7 ч. Часть 7/ Ред. коллегия Б.М.Хрусталева, Романюк Ф.А., Соломахо В.Л. и др. -Мн.:БНТУ, 2003. с.11-12.

2. Шардыко, П.П., Новичихина, Е.Р. Экспертная система для поддержки моделирования и проектирования производственных систем. – В кн.: Наука – образованию, производству, экономике: Материалы Второй Международной научно-технической конф. В 2-х томах. Том 1/ Ред. коллегия Б.М.Хрусталева, Романюк Ф.А., Калиниченко А.С. -Мн.:БНТУ, 2004. с.169-171.

**Влияние состава покрытий на затухание колебаний в парах трения роботов**

Самойленко А.В., Леванцевич М.А., Рудько В.М,  
Антюшеня Л.М., Ишин Н.Н.

Белорусский национальный технический университет,  
ИМИНМАШ НАНБ

Одной из актуальных проблем современного машиностроения является разработка эффективных методов и средств борьбы с шумами и вибрациями, возникающими при эксплуатации различного технологического оборудования. Перспективным, в этом направлении, является формирование на поверхностях деталей несущих конструкций и находящихся во фрикционном взаимодействии, защитных покрытий, способных обеспечивать их работоспособность и динамическую устойчивость, с учетом требований как с позиций трения и износа, так и с позиций поглощения и рассеивания колебательной энергии, обусловленной контактным взаимодействием.

Известно, что в контактной зоне трущихся поверхностей одновременно возникает комплекс механических и физико-химических явлений, каждое из которых оказывает влияние на процессы трения и изнашивания. Вследствие дискретности фрикционного контакта процесс трения в общем случае не является стационарным. Нестационарность процесса, приводящая к сложной динамической картине распределения деформаций и напряжений в поверхностных слоях трущихся тел, обуславливает и своеобразие виброакустических явлений при трении [1]. В большинстве случаев эти явления оказывают отрицательное влияние. Поэтому для борьбы с ними применяют различные методы. В их числе и методы нанесения защитных покрытий, обеспечивающих эффективное вибропоглощение колебательной энергии.

Необходимо отметить, что в научно-технической литературе имеется достаточно публикаций, посвященных теоретическим и практическим вопросам изучения вибропоглощающих свойств покрытий. Как правило, в этих публикациях рассматриваются однослойные или многослойные покрытия из материалов с

различными модулями упругости. Вместе с тем, в последние десятилетия, в связи с бурным развитием нанотехнологий, исключительный интерес для специалистов стали представлять композиционные покрытия, содержащие в своем составе наполнители, размерность которых не превышает 10...100 нанометров. Этот интерес обусловлен тем, что благодаря введению нанокomпонентов в состав покрытий существенно изменяются их физико-механические свойства, что способствует улучшению ряда эксплуатационных показателей трибосопряжений. Снижается коэффициент трения, повышается износостойкость, несущая способность и устойчивость к заеданию пар трения, улучшается теплоотвод и др. В известных публикациях, посвященных вопросам исследований наноструктурных покрытий, рассмотрено влияние нанонаполнителей на кинетику формирования покрытий, их физико-механические и триботехнические характеристики. Данные о влиянии нанонаполнителей на демпфирующие свойства покрытий в известных работах отсутствуют.

В связи с этим целью настоящих исследований являлось изучение влияния состава и концентрации нанонаполнителей на демпфирующие свойства покрытий.

В качестве образцов использовались прямоугольные пластины из стали 65 Г (HV 450), и из стали 08кп (HV 90), размером 1 × 20 × 75 мм. При этом, по три образца из сталей 65Г и 08кп на одной из поверхностей имели покрытия из меди, композиционного многокомпонентного сплава на основе меди, олова, свинца и цинка (композит) и двухслойное покрытие медь-композит, сформированные методом деформационного плакирования гибким инструментом. Толщина покрытий не превышала 4 мкм.

Обе поверхности пяти образцов из стали 65Г были покрыты никелевыми покрытиями, сформированным методом гальванического осаждения. Толщина покрытий на каждом образце составляла, соответственно, 10, 20, 30, 40 и 50 мкм.

Обе поверхности десяти образцов из стали 08 кп также были покрыты никелевым покрытием. Однако формирование покрытий осуществлялось в электролитах никелирования содержащих в различных концентрациях мелкодисперсные порошки триоксида вольфрама ( $WO_3$ ), с размерностью частиц

25...50 нанометров. Концентрация порошка в электролите никелирования изменялась от 0,4 до 10 мл/л. При этом толщина покрытий в двух комплектах из пяти пластинок составляла 3 мкм и 26 мкм.

Увеличение толщины никелевых покрытий, в целом, способствует повышению демпфирующих свойств образцов. Однако возможности такого улучшения ограничены. Начиная с толщины 30...35 мкм демпфирующие свойства снижаются. Возможно, это связано с возникновением дефектов в структуре покрытий после наращивания определенной толщины.

Зависимость логарифмического декремента затухания колебаний никелевых покрытий от концентрация нанопорошка в электролите, как для слоя толщиной 3 мкм, так и для слоя толщиной 26 мкм имеет нелинейный характер. При концентрации в растворе порошка  $WO_3$  в пределах 0,3–2 мл/л наблюдается минимум декремента затухания колебаний, что связано с повышением модуля упругости, в результате повышения прочности и микротвердости никелевого покрытия за счет внедрения частиц порошка в его состав.

Результаты выполненных исследований позволили сделать следующие выводы. Покрытия, в том числе с наноразмерными наполнителями, наносимые на рабочие поверхности трущихся деталей с целью улучшения условий трения, могут, как повышать, так и снижать демпфирующие свойства трибосистем. Степень повышения или снижения демпфирующих свойств зависит от метода нанесения покрытий, физико-механических свойств материалов основы и покрытия, толщины покрытий.

Введение в состав покрытий наноразмерных наполнителей приводит к упрочнению и соответственно к повышению модуля упругости покрытий, что обуславливает снижение логарифмического декремента затухания покрытий. Это следует учитывать при проектировании узлов трения.

## **Литература**

1. Леванцевич, М.А., Лукашик, А.А., Ишин, Н.Н., Бодрых, Т.И., Степанова, Л.И. Демпфирующие свойства тонких покрытий.- В кн.: Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Междун. сб. научных трудов. – Донецк: ДонГТУ, 2003. Вып. 28. – С. 94 – 98.

**Эффект модуляции собственного радиоизлучения  
электрического разряда механическими колебаниями и  
внешним электромагнитным полем**

Тимошевич В.Б.

Белорусский национальный технический университет

Радиоизлучение технологических процессов и объектов, вызываемое разрядными явлениями различной физической природы (вследствие трибоэлектричества, стекания зарядов, разрывы электрических цепей и пр.) несет информацию о параметрах и режимах работы вышеуказанных процессов. Эта информация содержится главным образом в спектрах различного вида модуляций собственного радиоизлучения.

Плазма электрических разрядов является источником широкополосного электромагнитного излучения [1,2]. Оно возникает вследствие формирования в плазме флюктуирующего электрического диполя, обусловленного колебаниями зарядов в двойных электрических слоях приэлектродных областей и волновыми процессами в плазме. В системе «отрицательное острие - положительная плоскость» происходит образование отрицательных ионов в прикатодной области, что обуславливает возникновение разрядов Тричеля [2]. Частота следования в зависимости от тока разряда, радиуса кривизны острия катода и давления может составлять  $10^2$ - $10^6$  Гц.

Были проведены исследования амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) электрического разряда и установлено, что частота и форма разрядных импульсов, а также спектральные характеристики радиоизлучения существенно зависят от величины давления и тока разряда.

Разряд поджигался в вакуумной камере в системе «отрицательное острие-положительная плоскость». Electroды стальные, расстояние между ними 10 мм, диаметр иглы 0,5 мм, радиус закругления острия 0,036 мм. Ток регулировался в пределах 1-500 мкА изменением напряжения источником питания. Электромагнитные излучения плазмы наводила ЭДС на расположенной в камере магнитной антенне, сигнал с которой подавался на измеритель радишумов с нормированным коэффициентом усиления и регулируемой

полосой пропускания. Далее усиленный и протектированный сигнал поступал на вход самопишущего потенциометра. Одновременно фиксировались форма импульсов и АЧХ разрядного тока, а также спектр модуляций радиоизлучения на частоте около 140 кГц. С этой целью сигнал подавался на входы электронного осциллографа и анализатора спектра. Измерения проводились в воздухе при давлениях  $33\text{-}10^5$  Па.

В диапазоне давлений  $(1,3\text{-}10)10^4$  увеличения напряжения на разрядном промежутке до 1,5-2,5 кВ приводит к возникновению темнового, а затем и коронного разрядов. Разряд носит импульсный характер. С увеличением среднего тока возрастает частота следования разрядных импульсов, форма же их при данном давлении сохраняется практически неизменной. При дальнейшем увеличении тока возникает существенная нестабильность частоты повторения, а затем и полное исчезновение разрядных импульсов. На спектре радиоизлучения отчетливо проявляются максимумы с частотами, кратными частоте следования импульсов Тричеля, причем удается зафиксировать 3-6 гармоник, амплитуда которых падает с возрастанием номера.

Увеличение среднего тока разряда свыше 40 мкА для давления  $4 \times 10^4$  Па вызывает модуляцию разрядных импульсов высокой частоты. Для давления  $2,6 \times 10^4$  такое увеличение тока приводит к резкому возрастанию частоты и добротности резонансных пиков. Однако частота их нестабильна и скачкообразно изменяется. Для давления  $1,3 \times 10^4$  Па и токов до 200 мкА характерно уменьшение амплитуды и добротности резонансных пиков, однако при токах до 400 мкА наблюдается стабилизация частоты. При токах более 600 мкА разрядные импульсы следуют пачками, как при амплитудно-импульсной модуляции. Для давления  $6,7 \times 10^3$  Па при токах 10-120 мкА наблюдаются регулярные импульсы, при чем частота стабильна и возрастает с увеличением тока. Спектр радиоизлучения при 100 мкА представляет собой ряд резонансных пиков в полосе частот 0,3-5 МГц с разнесением по частоте 300 кГц.

При давлениях  $1,3 \times 10^4$  и  $6,7 \times 10^3$  по мере увеличения тока происходит скачкообразный переход к тлеющему разряду. Он характеризуется более низкой (до 700 Гц) частотой следования и иной, существенно зависящей от тока и давления, формой

разрядных импульсов. При дальнейшем уменьшении давления тлеющий разряд занимает все больший объем камеры. При давлении 67 Па и ниже пропадают разрядные импульсы, радиоизлучение теряет мощность и резонансный характер. При давлении  $2,6 \times 10^3$  Па и ниже и тока больше 50 мкА спектральной характеристики радиоизлучения свидетельствуют о наличии одно-, двух-, трех частотной амплитудно-импульсной модуляции (1-5, 10-20, 40-60 кГц).

С целью экспериментальной проверки эффекта модулирующих воздействий механических колебаний на электромагнитные излучения было проведено лабораторное моделирование, при котором в вакуумной камере при давлении  $1,3 \times 10^2$  Па зажегся электрический разряд в системе «отрицательное «острие-положительная плоскость» и возбуждались механические колебания острия относительно плоскости. В спектре радиоизлучения появлялись резонансные пики на комбинационных частотах, равных сумме и разности несущей частоты импульсов Тричеля и частоты модулирующих механических воздействий. Аналогичный результат наблюдался при облучении плазмы в разрядном промежутке переменным электромагнитным полем. Звуковые же колебания, создаваемые в камере, модулирующего влияния на радиоизлучение не оказывали. Т.о. было подтверждено, что механические и электромагнитные колебания модулируют собственное радиоизлучение электрических разрядов.

Наличие эффектов модуляции собственного радиоизлучения механическими колебаниями позволяет проводить диагностику и контроль параметров процессов и объектов по спектрограммам собственного электромагнитного излучения дистанционно и без вмешательства в технологический процесс.

## Литература

1. Гречихин, Л.И., Тимошевич, В.Б. Аппаратура и методы измерений флюктуационных характеристик радиосигналов, возникающих в различных технологических процессах // Приборостроение.- Мн., 1989.-Вып.11.-С.121-124.
2. Мик, Дж. Крэгс, Дж. Электрический пробой в газах.//Иностранная литература- М., 1960.-600с.



**Анализ материальных и информационных потоков  
с целью автоматизации учета  
товарноматериальных ценностей**

Шардыко П. П., Стрельский Г. Е.

Белорусский национальный технический университет

Для автоматизации учета товарноматериальных ценностей в производстве необходимо решить две задачи:

1. Создание формализованной модели движения материалов и информации о них.
2. Выбор программной платформы автоматизированной системы учета.

Рассмотрим решение первой задачи на примере швейного производства.

Это производство относится к материалоемким отраслям. Разнообразие используемых материалов и необходимость формализации процесса учета требует детализации указанной группировки и разработки их систематизированного перечня.

Номенклатура материалов составляется по группам, подгруппам, видам, наименованиям, артикулам, сортам и т. д.

На складе подготовительного производства осуществляют количественную и качественную приемку-разбраковку поступивших тканей путем их промера по длине и ширине. Данные промера отражаются в паспорте куска.

На основании паспорта кусков выписывается промерочная ведомость в трех экземплярах. Первый передается в бухгалтерию, второй - в подготовительное производство для оперативного контроля за расходом партии ткани, а третий - в юридический отдел при необходимости предъявления претензий поставщику.

В подготовительном производстве осуществляют подбор и расчет количества ткани, необходимой для раскроя изделий по каждой карте раскроя. Затем ткань выдается в раскройный цех на основании накладной на отпуск. Она включена в карту раскроя.

Первый экземпляр накладной отрывается и служит основанием для записи расхода ткани в подготовительном производстве.

Второй накладной используется для определения фактического кроя изделий и для учета использования ткани в раскройном цехе.

После каждой операции выводится остаток материала.

В раскройный цех ткани поступают по партиям, подобранным согласно расчету на раскрой полных комплектов.

Накладная на отпуск ткани в раскройный цех, являясь составной частью карты раскроя, выписывается в подготовительном цехе в двух экземплярах на основании расчета потребности ткани.

Один экземпляр накладной отрывается и служит оправдательным документом расхода ткани со склада.

Второй экземпляр накладной отражает приход ткани в раскройный цех и служит для учета использования ткани при раскрое.

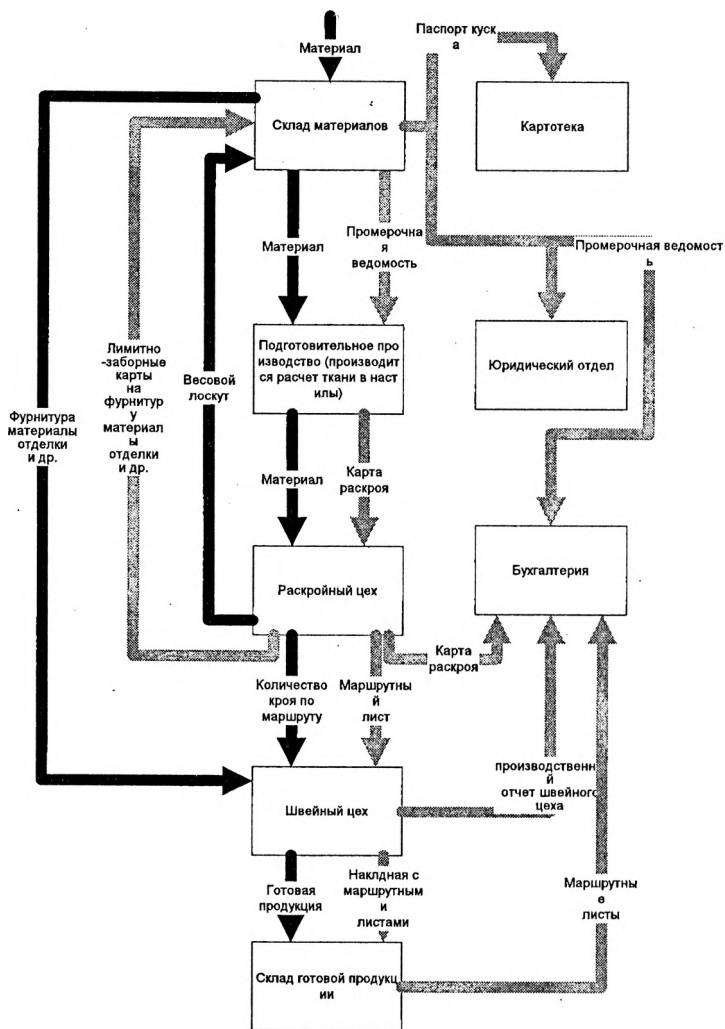
Готовая продукция передается из швейного цеха на склад готовой продукции по накладным.

После сверки количества продукции переданного по накладной и указанного в маршрутном листе последний передается в бухгалтерию.

На основании проведенного анализа была построена блок схема алгоритма движения материальных и информационных потоков в швейном производстве. На рисунке приведен упрощенный вариант алгоритма. В алгоритме направления, обозначенные темными линиями, означают материальные потоки, светлыми линиями – информационные потоки.

Разработанный алгоритм необходимо применять при дальнейшей разработке и внедрении автоматизированной системы по учету материалов в швейном производстве.

После детального анализа и формализации материальных информационных потоков, можно приступить к решению второй задачи - выбору программной платформы для разработки системы учета.



## **Подсекция «Информационные технологии в проектировании и производстве»**

УДК 621.7.681.31

### **Исследование методов интеграции приложений Windows при создании единого информационного пространства предприятия**

Дикий А.В., Кочуров В.А., Кулаков В.Н.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время практически все большие программные системы, в том числе и системы САПР, являются распределенными. Одной из главных проблем построения распределенных систем САПР является проблема получения ресурсов, особенно в областях знаний, которые содержат огромные массивы информационно-логических таблиц, текстуальных рекомендаций и эмпирических выводов.

В настоящей статье обсуждается принцип построения подсистемы поддержки принятия решений в распределённой САПР предприятия, основанный на системе интеллектуальных агентов – активных виртуальных баз знаний организационно-структурного уровня, содержащих информацию о данных и контекстах, в которых они содержатся, причем источниками данных могут служить:

- текстовые файлы, находящихся под управлением файл-серверов;
- локальные базы данных под управлением настольных СУБД и корпоративные базы данных под управлением SQL серверов;
- базы знаний;
- результат вызова процедуры (функции):
  - DDE сервера;
  - COM сервера;
  - WEB-сервиса;
- результат исполнения стандартного приложения - (.exe) файла.

Интеллектуальный агент представляет собой активный сервер приложений, содержащий виртуальную базу знаний ин-

формационных ресурсов функционально-структурного подразделения предприятия, используемых другими участниками процесса проектирования или информационного сопровождения изделия в течение его жизни.

Отличительная особенность предложенного решения состоит в рациональной децентрализацией общего информационного пространства предприятия с полным сохранением централизованного управления и без какого-либо вмешательства в работающие приложения-источники данных функционально-структурного подразделения.

Интеллектуальный агент выполняет одновременно роль сервера приложений, который обеспечивает контролируемый децентрализовать доступ к источникам данным предприятия. При подключении, сервер проверяет полномочия клиента, становясь, таким образом, центром аутентификации.

Учитывая современное развитие информационных и коммуникационных технологий, для описания ресурсов распределенных систем оптимальным является использование технологии XML. С помощью XML очень удобно описывать сложные структуры данных в виде XML-объектов. В случае корпоративных распределенных систем роль таких объектов играют универсальные объекты данных, которые в большинстве случаев имеют древовидную структуру. Описанные на XML, эти объекты также являются удобным средством для обмена информацией между различными приложениями.

Ключевая составляющая информационной системы, построенной на основе концепции XML – пространство имен, которые будут использоваться при создании тегов. Создание унифицированного пространства имен является серьезным препятствием при проектировании распределенной системы для любой области деятельности. В самом деле, наличие нескольких семантических классификаций для одной сферы деятельности станет практически непреодолимым препятствием для создания единого подхода к решению задач автоматизации. Созданные распределенные системы будут совершенно несовместимыми. Из-за различий в пространстве имен и отличии систем идентификации ресурсов никакой интеграции данных быть не может. Примеры

таких ситуаций в области информационных технологий можно привести множество.

В данной ситуации было принято решение использовать доказавшую собственную состоятельность классификации – УДК. Она является единой интегральной системой, а не суммой отраслевых, локальных схем. Вся сумма человеческих знаний и практики рассматривается в УДК как некоторая общность взаимосвязанных, взаимозависимых понятий, которая подразделяется по единому принципу на классы, разделы, подразделы и т. д. по принципу их наиболее частого применения в практической деятельности человека.

В многочисленных разделах этой системы упорядочено множество понятий по всем отраслям знаний или деятельности. Иными словами, УДК охватывает весь универсум знаний. При этом УДК не является конгломератом отдельных отраслевых классификаций. Хотя разделы классификации, соответствующие отдельным отраслям отличаются по своей внутренней структуре, определяемой спецификой отрасли, система воспринимается как единое целое благодаря существованию единого иерархического кода, общих правил построения индексов. УДК универсальна и в применении. Благодаря обилию средств и приемов индексирования, легко сокращаемой дробности, она успешно применяется для систематизации и последующего поиска самых разнообразных источников информации.

Таким образом, используя систему УДК можно организовать эффективное и универсальное пространство имен XML для любой сферы деятельности человека, а, используя коммуникационные возможности этой технологии, можно построить эффективную распределенную систему.

В результате была разработана методика построения системы идентификации объектов для создания распределенных САПР. Данная система позволяет однозначно определять ресурсы системы, организует к ним доступ различным пользователям из различных сред и позволяет адаптировать любой классификатор для идентификации объектов и определения контекста использования ресурсов.

## **Подсистема проектирования редукторных узлов**

Ковалева И.Л., Максимов С.А.

Белорусский национальный технический университет

Современный этап развития производства характеризуется комплексным подходом к решению задач конструкторско-технологического проектирования. Однако приобретение и использование таких хорошо известных унифицированных систем как T-FLEX, Pro-Engineer Wildfire, Unigraphics, CADMech требует значительных материальных затрат и привлечения специалистов, обладающих опытом моделирования и расчетов в среде указанных программ. Для конкретного предприятия, выпускающего определенную номенклатуру изделий и имеющего значительный опыт по расчету специфических деталей и узлов, целесообразно использовать специализированные программы, ориентированные на решение задач данного предприятия.

Одной из таких программ является подсистема проектирования редукторных узлов, позволяющая конструктору выполнять визуальное моделирование и силовой расчет редукторного узла. Структура подсистемы приведена на рисунке 1.

Автоматизация любого процесса проектирования начинается разработки формального описания объекта проектирования, т.е. с составления его информационной модели. В качестве информационной модели для описания редукторного узла используется массив записей с описанием валов и расположенных на них конструктивных элементов, а также таблица связей валов.

Для описания элемента «вал» используются следующие параметры и методы:

- Три координаты для описания положения начала вала и два угла для описания его ориентации;
- Длина вала;
- Частота вращения вала (или угловая скорость);
- Крутящий момент;
- Набор параметризованных элементов, расположенных на

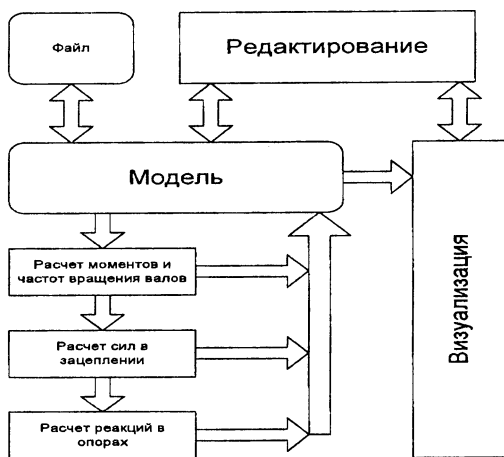


Рис.1. Структура подсистемы проектирования редукторных узлов

вала;

- Методы добавления, удаления и замены элементов;
- Метод визуализации вала (вместе с его элементами);
- Метод визуализации моментов, сил и реакций.

Параметры для описания элементов, которые могут располагаться на валах, делятся на общие и специальные. К общим параметрам относятся:

- Смещение от начала вала;
- Радиус, ширина элемента;
- Метод визуализации элемента.

Специальные параметры определяются исходя из характеристик и типа конкретного конструктивного элемента.

Таблица связей валов представляет собой матрицу  $n \times n$ , где  $n$  – количество валов. Ячейка таблицы характеризует связь валов посредством зацепления расположенных на них элементов и представляет собой запись, состоящую из трех элементов:

1. Номер элемента вала в столбце
2. Номер элемента вала в строке
3. Угол отклонения положения второго элемента относительно первого от горизонтали.





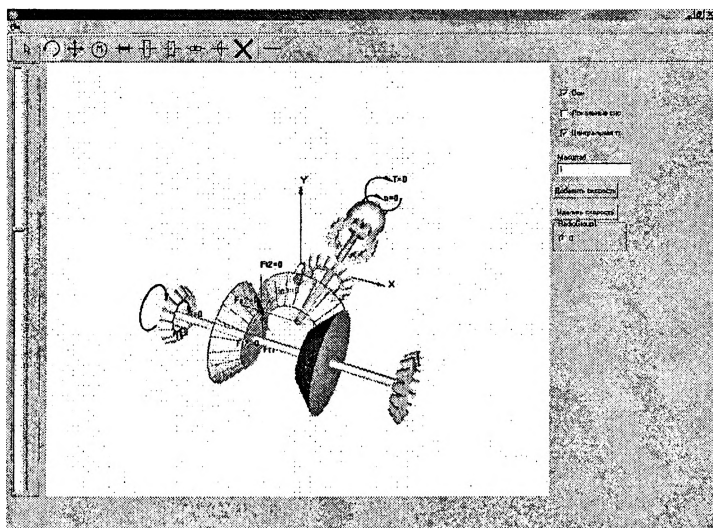


Рис.3. Создание передач

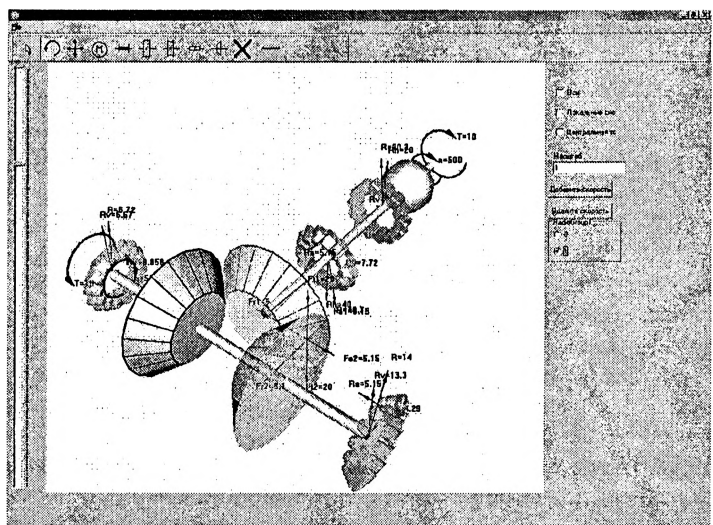


Рис.4 Силовой расчет

**Метод организации реляционной базы данных для слитного хранения XML документов**

Альхимович А.В., Кочуров В.А., Павловский М.С.,  
Цветков В.Д.

Белорусский национальный технический университет

Системы проектирования являются чрезвычайно требовательными к качеству информационного окружения конечного исполнителя - конструктора, технолога и т.д. В случае традиционного проектирования это окружение реализуется посредством доступа к различным ресурсам:

- нормативно-справочной литературе;
- знаниям более опытных коллег;
- знаниям проблемных специалистов предприятия;
- услугам различных консультационных предприятий;
- прочим источникам.

Как показывает практика, подобная схема принципиально верна, поскольку проектирование на уровне современных требований невозможно осуществить силами одного человека или небольшого замкнутого коллектива без информации извне. Эта схема доказала свою работоспособность, однако имеет и ряд недостатков:

- чрезвычайно медленный обмен данными;
- очень слабая формализация запросов, ответов и обязанностей сторон;
- субъективность оценки качества предоставляемой информации;
- уязвимость информационного пространства предприятия (особенно в условиях текучести кадров);
- сложности при взаимодействии со сторонними источниками и приёмниками информации, отсутствие стандартов подобного обмена данными (за исключением ЕСКД).

Отсюда следует необходимость создания информационной технологии, моделирующей информационное окружение проектировщика.

Ниша программных продуктов, реализующих функции доступа к справочно-эвристической информации, практически не заполнена, поскольку с технической точки зрения задача нетривиальна – необходимо создать инструментарий, который бы позволил человеку, не знакомому с информационными технологиями, воплощать свои знания в виде эвристических правил продукции.

Инженерные знания представляют собой весьма сложные, иерархические структуры данных, с огромным количеством ссылок на внешние источники информации. Кроме того, присутствует фактор вычислительных ресурсов – т.е. данные не являются пассивными (к данным могут относиться алгоритмы, формулы, правила продукции).

Однако требования сегодняшнего дня таковы, что необходимо обеспечить тесную интеграцию справочников с АРМ конструкторов, технологов, дизайнеров; ускорение доступа к справочникам, автоматическую контекстную привязку справочника в ситуации, отражённой в электронном документе, возможность автоматического обращения к внешним источникам. Так же нельзя забывать, что концепция единого информационного пространства предприятия исключает работу с бумажными документами.

Новые технологии создания распределённых информационных систем, основанные на XML Веб службах, предоставляют принципиальную возможность реализации такой задачи.

Формат представления данных XML набирает всё большую популярность. Его достоинствами являются наглядность, текстовый формат, поддержка со стороны как корпораций-гигантов (Microsoft, Sun, IBM), так и со стороны небольших фирм.

Традиционными форматами хранения XML является либо хранение в отдельных файлах, либо хранение каждого класса XML файлов в отдельной таблице. Особенность использования XML в САПР состоит в том, что здесь имеется очень много классов объектов, при небольшом количестве самих объектов. При хранении данных с использованием традиционного подхода в САПР будет образовываться большое количество файлов (таблиц), даже при объединении XML документов в один файл (таблицу). Ещё более явственно встаёт эта проблема при попыт-

ке решить задачу поиска одного и того же факта, который может встречаться в разных документах и в разных контекстах. Традиционными методами решить эту проблему не представляется возможным. Перебор всех документов неприемлем по времени выполнения операции, а реализация механизма индексирования потребует очень больших затрат ресурсов (человеческих и временных) и результатом будет низкая релевантность получаемых результатов.

В настоящей работе рассматривается слитное хранение объектов в реляционной СУБД. Слитность хранения заключается в том, что XML документ разбирается на составные части, и они последовательно сохраняются в БД. Разработанная модель БД, состоящая из фиксированного числа таблиц, позволяет хранить неограниченное число XML документов (ограничениями являются максимальный размер БД и доступное дисковое пространство).

Слитное хранение XML документов в реляционной СУБД позволит решить задачу поиска факта, который может встречаться в различных документах в различных контекстах. При традиционном подходе к решению пришлось бы последовательно открывать XML документы и осуществлять поиск средствами XML парсеров или же последовательно осуществлять поиск по всем таблицам и всем полям БД, в которой хранятся XML документы. При использовании нового подхода поиск будет осуществляться в БД с использованием индексов, что значительно увеличивает скорость поиска среди преобразованных документов. При использовании такого подхода можно осуществлять так же поиск документов, обладающих общим контекстом.

Таким образом, различные документы, спецификации, техпроцессы и т.д. могут быть представлены в виде XML документов, которые могут быть сохранены в реляционной БД в разобранном виде. Такой подход позволяет значительно ускорить поиск информации в документах за счёт использования всех возможностей современных реляционных СУБД и одновременно решает актуальную задачу поиска общего факта, который может содержаться в документах с разным контекстом.

**Моделирование рекуперативных воздухоподогревателей  
с использованием среды CoCreate**

Дикий А.В., Кадач Т.В., Карпович С.А.

Белорусский национальный технический университет

Основная выработка электроэнергии в РБ сохраняется за тепловыми станциями (свыше 90% вырабатываемой в РБ электроэнергии). В республике существует нескольких нефтеперерабатывающих заводов и, как следствие, имеются значительные объемы низкосортных жидких топлив, сжигание которых требует высокого подогрева воздуха с глубоким охлаждением дымовых газов.

Для этих целей в конструкциях котельных агрегатов используются воздухоподогреватели и роль их в современных ТЭС непрерывно возрастает. Это обусловлено рядом факторов. Температура газов за водяным экономайзером мощных котлов составляет 350-400 °С, в воздухоподогревателе она снижается до 140-160 °С. Тепло, отданное газами воздуху, возвращается в топку котла. Подогретый воздух улучшает горение топлива, в результате чего снижается химический и механический недожог топлива. Благодаря воздухоподогревателю использование тепла, выделяемого сжигаемым топливом, повышается на 10-15% и КПД современных котлоагрегатов достигает 92-94%. Кроме того, благодаря подогреву воздуха повышается температура в топке, растут температурные напоры в тракте котла и, следовательно, уменьшается масса дорогостоящих поверхностей нагрева, работающих под давлением.

Повышение КПД котла за счет снижения температуры уходящих газов приводит к тому, что при сжигании сернистых топлив холодная часть воздухоподогревателя имеет температуру стенки ниже температуры точки росы дымовых газов. В связи с этим возникает низкотемпературная коррозия и загрязнение холодной части воздухоподогревателя.

В этих условиях очень важно не только правильное конструирование, но и правильная эксплуатация воздухоподогревателей. Известно, что повышение уровня эксплуатации позволяет уменьшить расход топлива на 1-1,5%, а иногда и больше. Все

это показывает, что вопросы улучшения работы воздухоподогревателей и экономии топлива неразрывно связаны между собой.

Существует два принципа передачи тепла в воздухоподогревателе от газов к воздуху: рекуперативный и регенеративный. Рекуперативные воздухоподогреватели являются наиболее простыми теплообменниками. В процессе передачи тепло проходит непрерывно через стенку, с одной стороны которой проходят газы, с другой стороны – воздух. Наиболее распространенным рекуперативным воздухоподогревателем является трубчатый (ТВП). ТВП прост в изготовлении и эксплуатации, но он имеет большую массу и занимает большой объем. Поэтому ТВП устанавливаются в основном на котлах малой и средней энергетики и не имеют ограничений по виду топлива.

При значительной коррозии «холодного» конца (особенно «холодных» углов) появляются заметные перетоки воздуха в газовый тракт, а замена кубов трубчатого воздухоподогревателя является весьма трудоемкой операцией.

Отмеченные особенности определяют трудности конструирования этих воздухоподогревателей – создание компактных малогабаритных элементов с минимальным загрязнением и коррозионно-абразивным износом, обеспечивающих надежность и экономичность парового котла и энергоблока в целом.

Описанная задача принятия решения из-за многочисленных факторов, влияющих друг на друга, представляет собой сложную вариационную задачу, допускающую множество технически возможных решений, из которых нужно выбрать оптимальное, что затруднительно при ручном проектировании даже для сравнительно небольшого числа параметров.

Проблемам оптимального проектирования теплоэнергетических установок посвящено значительное количество работ; исследовались задачи оптимизации как котлоагрегатов в целом, так и отдельных компонентов. Однако результаты этих работ не нашли широкого применения в проектных организациях. Это связано со сложностью построения адекватных математических моделей, трудностями, возникающими при подготовке исходных данных для оптимизационных задач и использовании полученных результатов в процессах проектирования.

Преодоление этих проблем возможно при внедрении специальных технологий автоматизированного проектирования, включающих в себя соответствующие оптимизационные модели, эффективные методы решения и необходимое программное обеспечение. Пользователю должны быть предоставлены удобные средства подготовки исходных данных, управления параметрами модели и процессом решения оптимизационных задач, проведения анализа полученных результатов.

Для обеспечения надежной работы котла важно получить оптимальный вариант конструктивного исполнения ТВП. Кроме того, для повышения точности расчетов моделирование теплообмена в ТВП желательно провести с использованием известных программных продуктов для решения конечно-элементных задач (например, FlexPDE).

Предварительное моделирование ТВП, проведенное с помощью конечно-элементного пакета FlexPDE, показало перспективность анализа ТВП с помощью компьютерных средств, однако при этом возникают проблемы геометрического описания объекта в связи с наличием значительного количества (до нескольких сотен) однотипных элементов.

В результате для построения геометрической модели ТВП была выбрана система OneSpace Designer Modeling, т.к. она обеспечивает простое и быстрое по сравнению с другими системами, построение трехмерных моделей сложных инженерных конструкций. Входящий в ее состав модуль Design Analysis, основанный на полнофункциональном ядре Nastran, позволяет проводить анализ полученных моделей. Открытость интерфейсов OneSpace Designer Modeling дает возможность интегрировать с ней внешние приложения.

Разработанное приложение OSD.exe содержит геометрическую модель ТВП, описанную на языке LISP. С учетом заданных параметров конструкции ТВП приложение передается на выполнение посредством технологии DDE в OneSpace Designer Modeling. На основе полученной геометрической модели ТВП проводится его тепловой расчет с помощью модуля Design Analysis. Результаты расчетов сохраняются в файле отчета result.html и могут быть использованы для дальнейшего поиска оптимального варианта ТВП.



# **Оптико-электронные и лазерные приборы и системы**

**Высокоточные методы контроля выходных параметров полупроводниковых кремниевых пластин**

Луговик А.Ю., Фёдорцев Р.В., Перепёлкина Т.А., Лосякина Ю.В.  
Белорусский национальный технический университет

Важным элементом при разработке технологии обработки полупроводниковых материалов является исследование и контроль кристаллографических и механических характеристик кремниевых подложек. Известно, что качество поверхности полупроводниковых пластин и кристаллов определяется шероховатостью и глубиной нарушенного дефектного слоя на конечном этапе обработки. Для измерения этих параметров во всем мире активно используется атомно-силовая микроскопия. Одним из основных достоинств данного метода контроля является возможность проводить измерения образцов в обычных атмосферных условиях, без применения специальных вакуумных камер. Однако, атомная силовая микроскопия не обеспечивает одновременно получение информации обо всей поверхности исследуемого объекта. В каждый момент времени можно проводить оценку только небольшого участка (в пределах от  $14 \times 14$  мкм до  $100 \times 100$  мкм) поверхности находящегося непосредственно под регистрируемым зондом.

Принцип действия атомно-силового микроскопа (АСМ) основан на использовании сил атомных связей, действующих между атомами вещества. На малых расстояниях между двумя атомами (около одного ангстрема) действуют силы отталкивания, а на больших – силы притяжения. Совершенно аналогичные силы действуют и между любыми сближающимися телами. В сканирующем атомно-силовом микроскопе такими телами служат исследуемая поверхность объекта и скользящее над ним острие – микрозонд.

Микрозонд (кантилевер или чувствительная консоль) представляет собой тончайшую кремниевую пластинку прямоугольной или треугольной формы размером  $3 \times 1,5 \times 0,3$  мм, в торцовой части которой закреплён измерительный шип с радиусом кривизны острия порядка десятков-сотен нанометров, непосредственно зондирующий поверхность образца (рис.1).

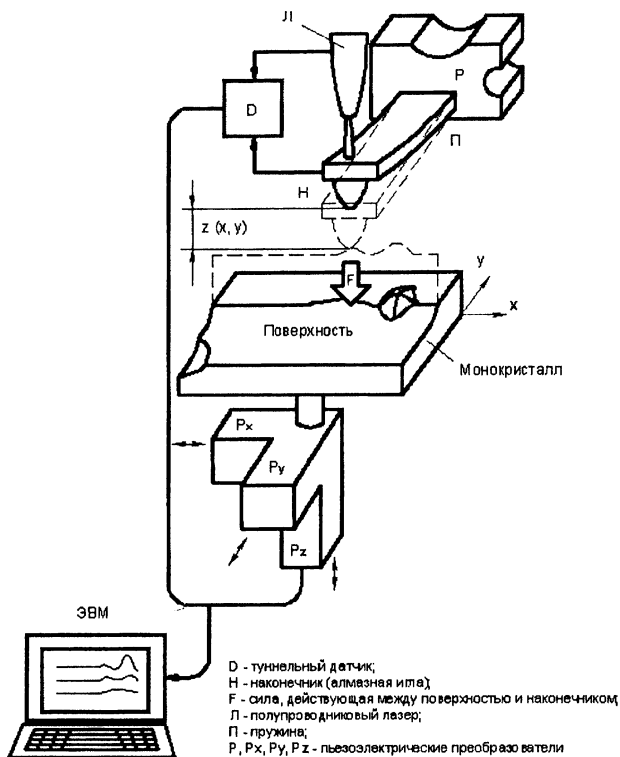


Рис.1. Функциональная схема и принцип действия атомного силового микроскопа

Для детектирования отклонения используется полупроводниковый лазер, работающий на длине волны 670 нм, с оптической мощностью 0,9 мВт. Лазерный луч направляется на обратную, по отношению к поверхности, сторону кантилевера (в место закрепления шипа). Для наилучшего отражения на эту поверхность нанесено специальное алюминиевое зеркальное покрытие. Отраженный луч попадает в специальный четырехсекционный фотодиод. Таким образом, отклонения кантилевера приводят к смещению луча лазера относительно секций фотодиода, – изменение разностного сигнала с фотодиода и будет показывать амплитуду смещения кантилевера в ту или иную сторону. Управляющая система следит за положением зонда

относительно поверхности образца в каждой измеряемой точке и поддерживает расстояние игла–образец на постоянном заданном уровне. Такая система позволяет измерять отклонения лазера в угле  $0,1''$ , что соответствует отклонению кантилевера на угол  $2 \cdot 10^{-7}$  рад. Измерения вертикального положения зонда в каждой точке измерений образуют матрицу ACM данных, которая записывается в файл, и используется в дальнейшем для обработки, визуализации и анализа.

Все полученные с помощью ACM данные передаются в цифровом виде через USB-порт на персональный компьютер, где обрабатываются с помощью специального программного обеспечения. На рис.2 показан результат работы измерительного комплекса Veeco NT1100 (Фраунгоферский институт промышленных технологий, Германия) по анализу поверхности 150 мм кремниевой подложки после финишной операции магнитно-абразивного полирования (МАП) на станке мод.3905 (УП «Полимаг», Беларусь).

#### Surface Appearance of MAM-Wafer-fine\_06

- Equipment: Wyco NT1100
- Amplification: 10x PSI
- Wafer: fine\_06 - 150 mm

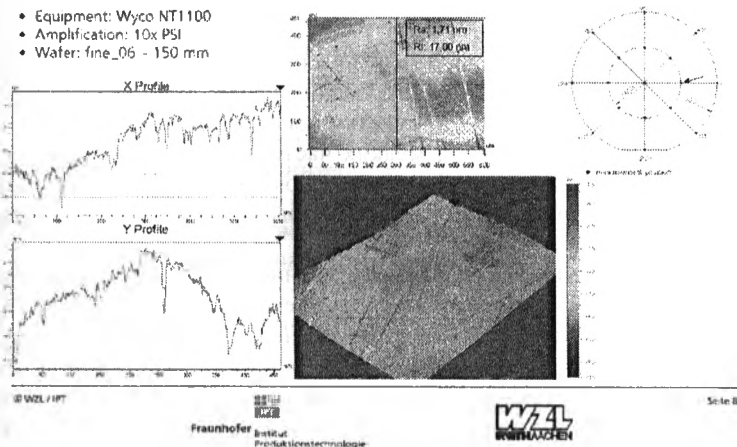


Рис.2. Профилограммы и топограмма поверхности кремниевой подложки после МАП в системе Veeco

Подобные измерительные комплексы также созданы в и Республике Беларусь (ИТМО, НАН Б). На рис.3 представленный прибор – нанотестер, позволяющий измерять шерохова-

тость и глубину нарушенного дефектного слоя образцов из различных материалов в субнанометровом диапазоне.



Рис.3. Измерительный модуль на основе атомного силового микроскопа мод. NT206 (ИТМО НАН Б)

Для повышения точности и обеспечения достоверности измерений перед началом сканирования необходимо обязательно осуществлять тщательную очистку поверхности образцов кремниевых пластин от пыли, мелких частиц, остатков абразивных суспензий и прочих посторонних включений. Для визуализации и анализа АСМ-данных в ИТМО разработан специальный программный пакет «SurfaceView».

Проведенный анализ и сопоставление полученных результатов измерений полупроводниковых кремниевых подложек показывает очевидные преимущества атомного силового микроскопа по сравнению с оптическими и электронно-лучевыми методами контроля. К основным достоинствам рассматриваемого метода следует отнести безопасность, экологичность, высокую точность измерений и на порядок более низкую (по сравнению с зарубежными аналогами) стоимость контрольно-измерительного оборудования. К недостаткам АСМ мод. NT 206 на сегодняшний день относятся ограниченная рабочая зона микроскопа ( $\varnothing 30$  мм и высота 10 мм) и относительно большое время сканирования (проход участка  $35 \times 35$  мкм осуществляется за 20 мин).

## Зеркальные системы с четырьмя отражениями

Артюхина Н.К., Богатко А.В., Марчик В.А.

Белорусский национальный технический университет

В последнее время в различных областях оптического и оптоэлектронного приборостроения все более широкое применение находят чисто зеркальные системы. Это связано с возможностью их работы в широком спектральном диапазоне – от ультрафиолетового до дальнего инфракрасного. Исследования в области зеркальных объективов направлены на поиск схемных решений с увеличенным полем зрения при сохранении высокой светосилы, которые должны быть откорректированы в отношении сферической аберрации, комы, астигматизма и кривизны изображения.

В предлагаемой работе рассматриваются различные схемные построения зеркальных объективов с четырьмя отражениями: как ранее разработанные, так и новый тип систем – двухзеркальные объективы с двойным отражением от зеркал, которые отличаются простотой конструкции в сочетании с высокими коррекционными возможностями и оптическими характеристиками.

Среди многообразия зеркальных объективов с четырьмя отражениями представляет интерес группа систем, состоящих из четырех зеркал с попарно совмещенными вершинами первого и третьего, и, второго и четвертого зеркал.

Объектив, предложенный Коршем, построен на основе системы Кассегрена (рис.1, а). Подобный объектив, построенный на основе зафокальной системы (рис.1, б), разработан отечественными авторами.

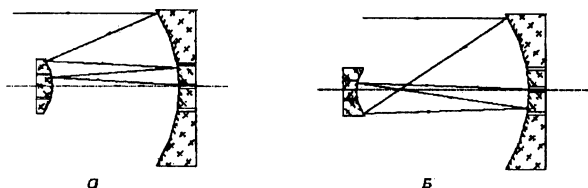


Рис.1. Четырехзеркальные объективы с попарно совмещенными вершинами зеркал

Оба объектива состоят из четырех асферических зеркал с попарно совмещенными вершинами первого и третьего, и второго и четвертого зеркал, и исправлены в отношении четырех аберраций – сферической, комы, астигматизма и дисторсии.

Оптические характеристики системы Корша:

$$f' = 1320 \text{ мм}, \quad D/f' = 1:13.2, \quad 2\omega = 30'.$$

Такие схемные решения являются более технологичными, чем четырехзеркальные системы с разнесенными вершинами зеркал, где возникают трудности с креплением зеркал, которое приводит к увеличению коэффициента экранирования, и обладают большими коррекционными возможностями, чем двух-, трехзеркальные объективы. Недостатком остается наличие четырех асферических зеркал различного профиля.

Дальнейшее исследование зеркальных систем с целью упрощения конструкции с одновременным увеличением оптических характеристик привело к получению трехзеркальных систем с четырьмя отражениями (с двойным отражением от главного зеркала). Оптические системы телескопов, предложенные Цукановой, состоят из зафокального объектива и дополнительного малого зеркала, при этом конструкция обеспечивает процесс двойного отражения луча от главного зеркала.

Система, показанная на рис.2 *a*, состоит из трех параболических зеркал и исправлена в отношении сферической аберрации, комы, астигматизма и кривизны изображения. Недостатком такого решения является то, что малое зеркало, расположенное между главным и вторичным, вызывает затруднение при креплении, а из-за небольшого отверстия в главном зеркале возникает значительное виньетирование. Эти недостатки устранены в схеме, в которой третье зеркало расположено вблизи вершины второго зеркала (рис.2, *b*), а вследствие того, что между главным и вторичным зеркалами не параллельный ход лучей, как в предыдущем случае, а расходящийся, отверстие в главном зеркале увеличивается и виньетирование уменьшается. Обе системы имеют увеличенное угловое поле.

Новым типом зеркальных систем с четырьмя отражениями являются двухзеркальные объективы с двойным отражением от каждого из зеркал. Получено несколько схемных решений таких систем.

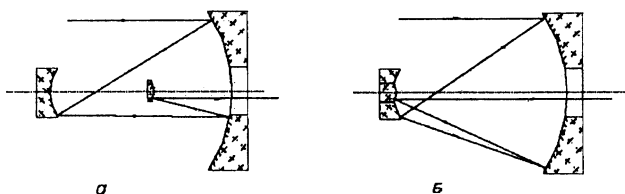


Рис.2. Трехзеркальные системы с двойным отражением от главного зеркала

Объектив (рис.3, а) можно рассматривать как усовершенствованную систему Боуэна – анастигмата, состоящего из двух concentrically расположенных поверхностей. Недостатком системы Боуэна является то, что диаметр вторичного зеркала более чем в 4 раза превосходит диаметр главного зеркала. Предлагаемый объектив состоит из двух сферических, concentrically расположенных поверхностей, оптическая схема которого обеспечивает процесс двойного отражения лучей от каждого из зеркал, что позволяет значительно уменьшить габариты вторичного зеркала. Рассчитанный объектив сочетает в себе высокую технологичность – поскольку состоит из двух сферических зеркал и высокие коррекционные возможности – вследствие concentricity поверхностей, в нем достигается возможность устранения четырех aberrations – сферической, комы, астигматизма и дисторсии. При этом объектив обеспечивает увеличенное поле зрения и является достаточно светосильным. Недостатком данного схемного решения является большая длина системы, вызванная большим удалением плоскости изображения.

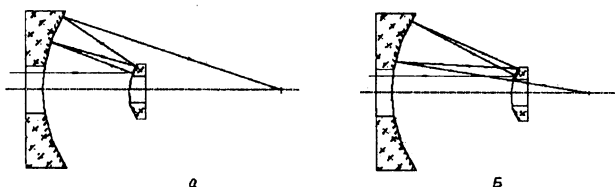


Рис.3. Двухзеркальные объективы с четырьмя отражениями

Один из рассчитанных вариантов имеет следующие оптические характеристики:



$$f' = 200 \text{ мм}, \quad D/f' = 1:4, \quad 2\omega = 6^\circ, \quad S' = 647 \text{ мм}.$$

Недостаток последнего объектива устранен в системе, показанной на рис.3, б. Данное схемное решение обеспечивает задний отрезок, а, следовательно, и длину объектива, в 2 раза меньше чем предыдущий объектив. Но вследствие того, что условие концентричности поверхностей в данном случае нарушается, коррекционные возможности этой системы будут ниже.

Было выполнено исследование и расчет объективов содержащих как асферические, так и сферические поверхности, с целью устранения трех aberrаций: сферической, комы и астигматизма. Исследование показало, что в данном схемном решении величина асферики зеркал возрастает с уменьшением коэффициента экранирования, и при допустимой величине экранирования остается достаточно большой, что сказывается на aberrации высших порядков. Так при устранении сферической aberrации, комы и астигматизма III порядка, aberrации высших порядков остаются велики и качество изображения – недостаточным.

Однако в ходе расчета был найден вариант объектива, состоящего из двух сферических зеркал с равными радиусами кривизны. Качество изображения, создаваемого этим объективом, значительно выше варианта с асферическими поверхностями. Кроме того, данное схемное решение отличается простотой и технологичностью конструкции.

Оптические характеристики объектива со сферическими поверхностями равного радиуса кривизны:

$$f' = 200 \text{ мм}, \quad D/f' = 1:4, \quad 2\omega = 6^\circ, \quad S' = 299 \text{ мм}.$$

Конструктивные параметры двухзеркальных систем с четырьмя отражениями определяются исходя из следующего квадратного уравнения:

$$d_1^2 - d_1(2\delta + \eta + 1) + (1 + \delta)(\delta - \eta^2) = 0,$$

где  $d_1$  – расстояние, прошедшее лучом света после первого отражения от первичного зеркала до вторичного зеркала;  $\delta$  – расстояние от последней зеркальной поверхности до фокальной плоскости;  $\eta$  – коэффициент экранирования.

## Направленная кристаллизация в холодном контейнере

Яровой Б.Ю., Кузнечик В.О.

Белорусский национальный технический университет

Диэлектрические оптические монокристаллы широко используются в оптическом и лазерном приборостроении.

Анализ тенденции развития этих отраслей промышленности показал, что они испытывают потребность в кристаллах с улучшенным комплексом физико-механических и эксплуатационных характеристик (снижение примесей, улучшение оптической однородности) и технологических свойств (возможность вторичного использования материалов, подвергшихся кристаллизации). Таким образом, совершенствование существующих и разработка новых технологий, направленных на улучшение этих свойств является актуальной задачей.

Для получения тугоплавких монокристаллов, как правило, применяются технологии, основанные на выращивании кристаллов из расплава веществ с применением тиглей (метод Стокбаргера, Чохральского) и без них (метод Вернейля, зонной плавки), в которых наличие примесей и физико-механические свойства кристаллов определяются процессом кристаллизации, а также диффузией материала тигля (контейнера) в расплав в первом случае и постоянством градиента температур и давления во втором случае.

Целью работы является исследование процесса направленной кристаллизации в холодном контейнере и разработка перспективных технологий получения тугоплавких кристаллов.

### Исследование влияния формы фронта кристаллизации на структуру кристаллов.

Особенность процесса направленной кристаллизации в холодном контейнере состоит в том, что при опускании контейнера с расплавом относительно индуктора происходит рост блока кристаллов в зависимости от технологических факторов, в результате действия которых происходит изменение числа, размеров и формы, составляющих блок кристаллов, т.е. меняется его структура.

По всей поверхности фазового раздела расплав находится в контакте с поликристаллической фазой идентичного состава. На

этой поверхности имеются готовые центры кристаллизации, из которых уже на стадиях формирования объема расплава и его гомогенизации вырастают кристаллы. Схемы, демонстрирующие рост блока кристаллов в холодном контейнере при разных формах фронта кристаллизации (ФК) на дне ванны расплава, представлены на рис.1, а, б, в. Вогнутый (рис.1, а) и выпуклый (рис.1, б) ФК изображены дугами окружностей, плоский фронт (рис.1, в) – отрезком прямой. Сплошными линиями показаны начальное состояние ФК и его положение через некоторое время после начала роста кристаллов. Пунктирными линиями отмечены промежуточные положения ФК по мере роста кристаллов, при этом радиус кривизны фронта постоянный.

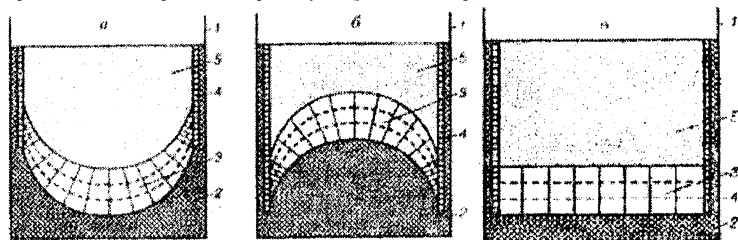


Рис.1. Схемы, иллюстрирующие рост блока кристаллов в холодном контейнере:

1 – контейнер; 2 – гарниссаж; 3 – кристаллы, растущие от дна ванны расплава; 4 – кристаллы, растущие от боковой поверхности ванны расплава; 5 – расплав

Таким образом, форма ФК оказывает влияние на количество кристаллов, дорастающих до верхней поверхности блока.

#### Выращивание монокристаллов направленной кристаллизацией расплава

Способ заключается в получении с помощью прямого высокочастотного нагрева относительно большого объема расплава в холодном контейнере и последующей кристаллизации его с определенной скоростью. Наиболее просто инициировать кристаллизацию путем опускания контейнера с расплавом относительно индуктора. По мере выхода из индуктора нижней части расплава уменьшается ее связь с ВЧ-полем и соответственно подвод мощности к расплаву. В результате постепенного охла-

ждения придонной части расплава происходит процесс кристаллизации.

Разработана технология выращивания кристалла неодим-галлиевого граната  $Nd_3Ga_5O_{12}$  с использованием усовершенствованного холодного контейнера (рис.2). Контейнер цилиндрической формы монтировался из охлаждаемых водой 40 медных трубок. Дно тигля составляли покрытые металлическим родием трубки, расположенные друг от друга на расстоянии 0,3 мм. Дно контейнера состояло из базовой пластины, кварцевой пластины и кольца из  $AlO_3$ , которые поджимались к контейнеру четырьмя пружинами. Кольцо из оксида алюминия служит для сохранения цилиндрической формы наружного контейнера при увеличении объема шихты при нагревании. Пружины предохраняют кварцевую пластину от разрушения путем компенсации вертикального давления. Спиральный индуктор, окружающий медные трубки, соединялся с ВЧ-генератором, работающим в частотном интервале (1 – 7) МГц. Максимальная мощность генератора составляла 100 кВт. Индукционная спираль, расположенная под дном, соединялась с генератором мощностью 75 кВт, работающим на частоте 8 кГц. Внутри холодного контейнера на штифтах уста-

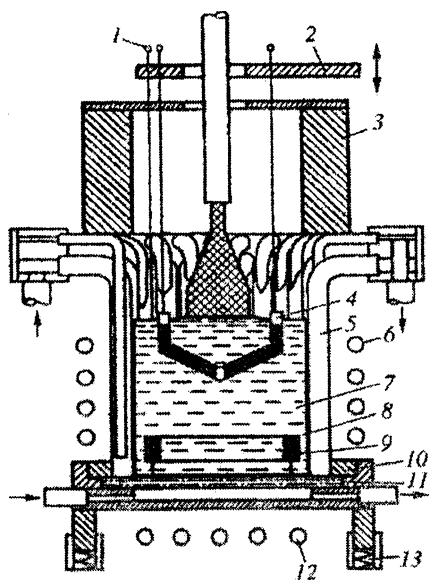


Рис.2. Схематическое изображение двойного тигля:

1 – детектор уровня расплава; 2 – суппорт контейнера; 3 – тепловая изоляция; 4 – ростовой контейнер; 5 – холодный контейнер; 6 – ВЧ-нагреватель (1-7 МГц); 7 – расплав; 8 – гарнисаж; 9 – донный нагреватель; 10 – алюминиевое кольцо; 11 – кварцевая пластина; 12 – ВЧ-нагреватель (7-10 кГц); 13 – амортизаторы

навливалось иридиевое кольцо, опирающееся на кварцевую пластину. Иридиевый контейнер (назовем его ростовым) подвешивался к суппорту в верхней части холодного контейнера. Его внутренний диаметр составлял 80 мм, у него было дно конической формы с отверстием в центре. Стенки контейнера имели несколько диаметрально расположенных продольных разрезов. Суппорт контейнера вертикально перемещался посредством электромотора. Иридиевый шуп указывал на перемещение поверхности расплава путем замыкания источника напряжения с ростовым контейнером. Керамическая труба в верхней части холодного контейнера минимизировала радиационные потери. Иридиевое кольцо на кварцевой пластине нагревалось полем с частотой 8 кГц индуктором, расположенным под дном контейнера. Как только в районе кольца появляется расплав, включается поле цилиндрического индуктора частотой 2 МГц и объем расплава увеличивается. При образовании свободной поверхности расплава процесс плавления заканчивается. Ростовый контейнер опускается в расплав и заполняется через прорезы и отверстие в дне тигля. Температура расплава во время затравления регулируется при помощи контролируемой мощности двух генераторов. Ростовый процесс происходит по методу Чохральского. Диаметр растущего кристалла контролируется посредством регулирования мощности ВЧ-генератора, мощность низкочастотного генератора сохраняется постоянной. Через камеру непрерывно прокачивалась газовая смесь, состоящая из 98% азота и 2% кислорода. Во время роста кристалла детектор уровня расплава непрерывно контролировал уровень расплава. Ростовый контейнер опускался вниз при помощи механизма, чтобы уровень расплава в ростовом контейнере оставался постоянным. По достижении заданной длины кристалл отрывался от расплава и вытягивался из ростового контейнера; мощность генератора снижалась в течение 10 ч до нуля.

Монокристалл выращен длиной 92 мм и диаметром около 35 мм со скоростью вытягивания 4 мм/ч и вращения 10 об/мин.

Направленная кристаллизация в холодном контейнере позволяет получать уже известные тугоплавкие диэлектрические монокристаллы (нитридов, карбидов, боридов и др.) так и новых высокотемпературных соединений и твердых растворов, получить которые известными способами практически невозможно.

## Применение керамических материалов в качестве отражателей Nd:YAG-лазеров

Елин Д.В., Фёдорцев Р.В.

Белорусский национальный технический университет

Твердотельные лазеры широко используются для маркировки и резки металлов, для сварки в автомобильном производстве и для обработки материалов в ювелирной промышленности. Их активная лазерная среда накачивается инфракрасными диодами или лампами. Высокоотражающие поверхности квантрона должны обеспечить оптимальную передачу света от источника накачки к лазерному стержню. Поэтому работа лазера и его эффективность напрямую зависят от используемых отражателей.

Стенки отражателя могут быть сделаны из стекла или кварца и покрыты металлическим отражающим слоем, или из керамических окисных порошков, полимеров и других керамических материалов.

В нашей стране в 80-90 гг. в качестве отражателей обычно использовался кварц легированный желтый (КЛЖ) в виде цилиндра с отверстиями для лазерного стержня и лампы, покрытого металлическим отражающим слоем.

Обычные отражатели не всегда позволяют достичь оптимальной мощности лазерного излучения. Для улучшения характеристик Nd:YAG-лазеров был разработан новый оптический керамический материал «Laserceramics» (рис.1), базируемый на высококачественной алюминиевой окиси, который обеспечивает постоянно высокие значения коэффициентов отражения в необходимом диапазоне длин волн и отличается легкостью в обработке.

Отражатели для технологических лазеров должны выдерживать: высокие оптические энергии источника накачки; продолжительный непрерывный режим работы; химические реакции из-за прямого контакта между лазерным стержнем, отражателем, источником накачки и веществом хладагента; быстрые температурные колебания, которые происходят в импульсных лазерах.

Керамические диффузные отражатели имеют следующие преимущества перед металлическими зеркальными отражателями:

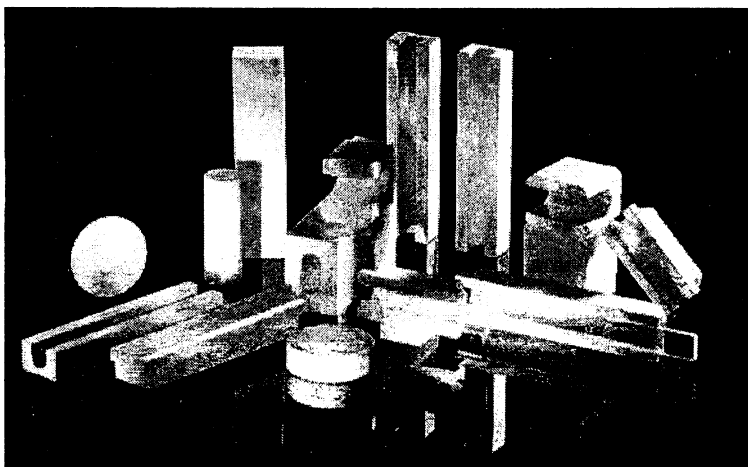


Рис.1. Конструкции деталей из керамического материала «Laserceramics»

♦ Увеличенная эффективность накачки.

Металлические зеркальные отражатели сосредотачивают свет от импульсной лампы на активной среде. Но любой непоглощенный свет возвратится к импульсной лампе и будет поглощен ею. Кроме того, небольшая часть светового потока будет поглощена самим отражателем.

В случае диффузных отражателей, только очень небольшая часть света возвратится к лампе. Большинство непоглощенного света в итоге поглотится активной средой, пройдя через неё несколько раз. Это увеличивает эффективность накачки и общую эффективность лазера.

♦ Долгосрочная стабильность.

Для большинства лазеров требуется использование активно-го охлаждения стержней и отражателей для их терморегулирования при напряженных режимах работы. Это обычно достигают прямым контактом с охлаждающей средой. Диффузные отражатели, сделанные из чистых керамических материалов химически нейтральны и, в отличие от металлических покрытий, не подвергаются коррозии.

#### ◆ Подавление паразитных колебаний.

Паразитные колебания часто возникают в лазерных средах при достижении максимального значения энергии накачки, которая с течением времени может накапливаться. Это происходит, например, в случае Nd:YAG-стержня, когда они используются как генераторы с пассивным затвором или как усилители. В отличие от металлических зеркальных отражателей, диффузные отражатели формируют ламбертово распределение интенсивности отраженного света, при котором вероятность возникновения паразитных колебаний уменьшается.

#### ◆ Сбалансированная накачка.

Металлические зеркальные отражатели сконструированы для получения максимальной эффективности накачки, но зачастую их конструкция приводит к неравномерному распределению интенсивности накачки. Это, в свою очередь, может приводить к возникновению тепловой линзы или развитию горячих точек в лазерном стержне.

Диффузные керамические отражатели позволяют получить сбалансированное, симметричное распределение интенсивности накачки в активной среде, предотвращая эти тепловые эффекты в лазерном стержне.

Алюминиево-окисная керамика до недавнего времени использовалась только в технических целях как устойчивый, твердый и химически инертный конструкционный материал. Такая керамика не имеет достаточно высокой степени чистоты для использования в качестве оптических материалов. Исследования показали, что она содержит не только остаточные примеси натрия, магния, кремния, кальция и цинковых окисей, но также и окиси железа.

Объединенная научно-исследовательская работа компаний «GMS Frank Optic Products GmbH» и «IKTS» решила эту проблему. Компании получили оксид алюминия с превосходными свойствами. Он на 99 % чист и не содержит никаких тяжелых металлов. Кроме того, коэффициент отражения оптической высококачественной керамики остается фактически постоянным по широкому диапазону длин волн от 300 до 1400 нм и превышает 99 %.

Таким образом, керамические отражатели могут преобразовывать на 30 % больше входной энергии накачки, чем обыч-



ные отражатели, которые состоят из тонких металлических слоев.

Квантрон с керамическими отражателями включает в себя две сферических впадины, окружающие источник накачки с одной стороны и лазерный стержень с другой (Рис.2). Стеклопластина между ними служит как ультрафиолетовый фильтр. Впадины в металле содержат каналы для циркуляции хладагента.

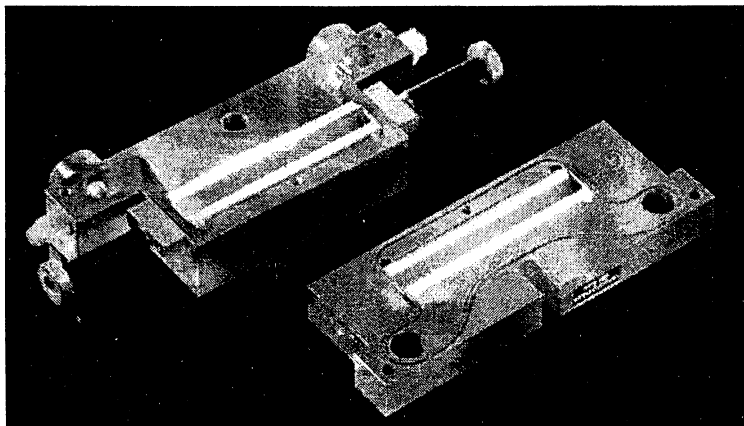


Рис.2. Конструкция лазерного квантрона с использованием керамического материала «Laserceramics» в качестве отражателя

Отражатели из материала «Laserceramics» ® имеют следующие основные технические характеристики:

- Керамика: «laserceramics» ®  $Al_2O_3 > 99,90\%$
- Пористость: 6-7%
- Прочность при температуре: максимум 1800 °C
- Прочность:  $> 160$  МН / кв. м.
- Прочность на сжатие:  $> 690$  МН / кв. м.
- Теплопроводность: 15,9 Вт/м/К
- Отражение:  $R > 98\%$

Высокопроизводительные отражатели компании «GMS Frank Optic Products GmbH» являются весьма перспективными для твердотельных лазеров, в частности, для Nd:YAG-лазера. Поскольку они снабжены специальными стеклянными пластинами, которые фильтруют ультрафиолетовое излучение.

# **Автотракторостроение**

## Моделирование выделения вредных веществ в отработавших газах ДВС

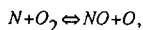
Короленко Р.В.

Белорусский национальный технический университет

Методы численного моделирования для решения задач расчёта и прогнозирования изменения показателей вредных выборов в зависимости от различных конструктивных факторов, являются сегодня одними из самых необходимых при проектировании двигателей.

В дизелях горючее и окислитель пространственно разделены и заранее не перемешаны. Химическая реакция горения между окислителем и горючим в таких условиях может произойти только после смешения реагентов в результате молекулярной или турбулентной диффузии.

Процессы образования окиси азота из азота воздуха при горении углеводородных топлив описываются с помощью расширенного механизма Я.Б. Зельдовича:



который, при условии квазистационарности концентрации атомарного кислорода, приводит к следующему выражению для скорости образования NO:

$$w_{NO} = \frac{2 \cdot k_1 [O] [N_2]}{1 + k_{-1} [NO]^{-b} / (k_{-2} [O_2])} \cdot \frac{2 \cdot k_2 [NO] [O]}{1 + k_{-2} [O_2] / (k_{-1} [NO]^{-b})},$$

где  $k_i$ ,  $k_{-i}$  – константы скоростей прямой и обратной  $i$ -ой реакции,

$$b = \left\{ + \frac{k_3 [OH]}{k_{-2} [O_2]} \right\}^{-1}.$$

Задача вычисления концентрации окиси азота в фиксированный момент времени  $t$  пребывания пробы газа в высокотемпературных продуктах сгорания углеводородных топлив состоит в расчёте состава термодинамически равновесных (за исключени-

ем NO и N) продуктах сгорания, а затем полученные концентрации компонентов и температура используются при численном интегрировании уравнения первого порядка:

$$\frac{d[NO]}{dt} = W_{NO},$$

где  $W_{NO}$  – задаётся выше приведенными выражениями.

Расчет эмиссии дыма осуществляется по методике профессора Н.Ф. Разлейцева, в которой сделана попытка учесть влияние особенности процесса горения распыленного топлива на образование и выгорание сажевых частиц. Принято, что сажевые частицы образуются преимущественно двумя путями:

- в результате цепного деструктивного превращения молекул топлива, диффундирующих от поверхности капель к фронту пламени;
- вследствие высокотемпературной термической полимеризации и дегидрогенизации парожидкостного ядра испаряющихся капель.

Параллельно идет процесс выгорания сажевых частиц и уменьшения их объемной концентрации вследствие расширения. Здесь приводятся лишь окончательные расчетные соотношения.

Скорость сажеобразования в зоне горения:

$$\left(\frac{d[C]}{d\tau}\right)_K = 0.004 \frac{q_C}{V} \frac{dx}{d\tau};$$

где:  $V$  - текущий объем цилиндра;

$q_C$  - цикловая подача топлива;

$dx/d\tau$  - скорость тепловыделения.

Скорость сажеобразования по механизму полимеризации ядер капель пропорциональна скорости исчезновения жидких капель вследствие их полного испарения.

На участке впрыска:

$$\left(\frac{d[C]}{d\tau}\right)_\Pi = 1.7 \frac{q_C}{V} \frac{1 - \exp\left[-\left(\frac{\sqrt{K}\tau}{d_{32}}\right)^{n'}\right]}{\tau_{впр}};$$

где:  $\tau$  - текущее время от начала впрыска,

$\tau_{впр}$  - продолжительность впрыска,

$n'$  - характеристика распределения,  
 $K$  - константа испарения,  
 $d_{32}$  - средний диаметр капле по Заутеру.

После окончания топливоподачи:

$$\left(\frac{d[C]}{d\tau}\right)_{\Pi} = 0.0028(1 - \chi_{\text{впр}})^{n'q_C} \frac{\sqrt{K_{\tau}}}{2V\tau_2} \left(\frac{\sqrt{K_{\tau}}}{d_{32}}\right)^{n'} \exp\left(-\frac{\sqrt{K_{\tau}}}{d_{32}}\right)^{n'},$$

где:  $\tau_2$  - текущее время от конца подачи топлива;

$\chi_{\text{впр}}$  - доля теплоты, выделившаяся к концу топливоподачи.

Скорость выгорания сажи:

$$\left(\frac{d[C]}{d\tau}\right)_B = 3.1 \cdot 10^{-6} n^{0.5} p[C];$$

где:  $p$  - текущее давление в цилиндре, МПа,

$[C] = C / V$  - текущая концентрация сажи в объеме цилиндра.

Концентрация сажи в выхлопных газах (приведенная к нормальным условиям)

$$[C]_H = \int_{\varphi_B}^{480} \frac{d[C]}{d\tau} \frac{d\varphi}{6n} \left(\frac{0.1}{p_{480}}\right)^{\frac{1}{k}};$$

где:  $p_{480}$  - давление в цилиндре в момент 60° до НМТ,

$k$  - показатель адиабаты ОГ (1.33).

Перевод полученного значения концентрации сажи  $[C]$ , г/м<sup>3</sup> в единицы шкалы Хартриджа осуществляется по уравнению:

$$\text{Hartridge} = 100[1 - 0.9545 \exp(-2.4226[C])].$$

По аналогичным эмпирическим зависимостям концентрация сажи  $[C]$  может быть переведена, в единицы шкалы Bosch, а также в единицы коэффициента абсолютного светопоглощения  $K, m_1$ .

**Экологическая безопасность  
автотракторных дизелей**

Альферович В.В.

Белорусский национальный технический университет

Автотракторные ДВС загрязняют окружающую среду (ОС) вредными веществами (ВВ) выбрасываемыми с отработавшими газами (ОГ), картерными газами и топливными испарениями.

Работа ДВС по разомкнутому термодинамическому циклу предопределяет выброс ОГ сложного состава (до 1200 компонентов), на долю которых приходится до 95 % всех токсичных компонентов, выделяемых современными дизелями. Таким образом, экологическую безопасность ДВС в основном определяют ВВ, выбрасываемые в ОС с ОГ.

Снижение выброса ВВ с ОГ можно достичь за счет воздействия на рабочий процесс ДВС и воздействия на ОГ (нейтрализация ОГ). В свою очередь воздействие на рабочий процесс можно осуществить как за счет проведения конструктивных, так и эксплуатационных мероприятий. К конструктивным мероприятиям, в состав которых включены и регулировочные, можно отнести:

- систему рециркуляции ОГ, эффективно снижающую выбросы оксидов азота;
- систему вентиляции картера закрытого типа;
- организацию подачи дополнительного воздуха к выпускным клапанам, что обеспечивает нейтрализацию ОГ за счет их догорания в выпускном трубопроводе;
- геометрию камеры сгорания. При объемном смесеобразовании наблюдается наименьшее количество выбросов продуктов неполного сгорания, при пленочном – наименьшие выбросы оксидов азота, а объемно-пленочный занимает промежуточное положение;
- геометрию распылителя форсунки;
- геометрию боковой поверхности поршня;
- количество клапанов на один цилиндр. Их увеличение приводит к уменьшению выбросов продуктов неполного сгорания и увеличению выбросов оксидов азота;

- уменьшение мертвого кольцевого объема в КС и надпоршневого пространства;
- геометрию впускных каналов и клапанов;
- максимальное давление впрыска топлива. При его увеличении возрастает мелкость распыливания топлива, что улучшает смесеобразование и приводит к более полному сгоранию. В результате происходит снижение сажеобразования и увеличение эмиссии оксидов азота;
- угол опережения впрыска топлива, который существенно влияет на эмиссию оксидов азота.

Топливные системы (ТС) оказывают определяющее влияние на выбросы ВВ с ОГ. ТС с механическим управлением не способны обеспечить нормативы выше Евро-2, хотя по давлению впрыска могут быть форсированы примерно до 180 МПа (Евро-1 – 80 МПа, Евро-2 – 120 МПа, Евро-3 – 150 МПа). Основными недостатками являются нестабильность регулирования по цилиндрам, как цикловой подачи топлива, так и угла опережения впрыска [1].

Более совершенные конструкции представляют собой индивидуальные насос-форсунки. Каждый такой блок снабжен интегральным электромагнитным клапаном и представляет собой одноплунжерный электроуправляемый ТНВД, обеспечивающий давление впрыска до 160...180 МПа.

Американская компания Caterpillar усовершенствовала ТС с насос-форсунками. Эта система «HEUI» получает все большее распространение. Полное название можно представить как электронно-гидравлическое устройство впрыска. Суть предложения сводится к замене механического привода плунжера насос-форсунки от кулачкового вала к гидравлическому приводу. В ДВС используется специальный масляный насос, подающий к насос-форсунке масло из системы под давлением 25 МПа. Развивается давление впрыска превышающее 160 МПа. Все рабочие процессы контролируются электронным блоком управления. Дизель с ТС этого типа обеспечивает выполнение норм Евро-3 и Евро-4.

Перспективной ТС является и система Common Rail, основанная на принципе разделения узла создающего давление (ТНВД) и узла впрыска (электромагнитная форсунка). Ее особенность - использование аккумуляторного узла (резервуара),

линий подачи топлива и электромагнитных форсунок. ТС дает возможность повысить точность управления процессами впрыска и выполнить нормы Евро-3 и Евро-4. Следует отметить, что выполнение норм Евро-3 и Евро-4 связывается с обязательным применением каталитических нейтрализаторов ОГ для всех типов ДВС. Такие методы нейтрализации ОГ как пламенная, жидкостная, термокаталитическая не могут быть отнесены к перспективным.

С 1 января 2005 г. в Европе вступили в силу новые более жесткие нормы (Евро-4) на выброс ВВ. Ниже приведены существенные основные изменения, произошедшие в сфере нормирования выбросов ВВ в странах Европейского Экономического Сообщества (ЕЭС).

Правила ЕЭК ООН №49 [2].

Правила распространяются на АТС категории М<sub>1</sub> полной массой 3,5 т, категорий М<sub>2</sub>, М<sub>3</sub>, N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub> с дизелями и газовыми двигателями. Правила с поправкой серии 03 устанавливают требования Евро-3 (2000 г), Евро-4 (2005 г) и Евро-5 (2008 г). Поправка 04 (Правила №49-04) не предусматривает новых нормативных требований, по сравнению с предыдущей 03 серией поправок, а лишь уточняет редакцию ряда положений и вводит значительное количество технических дополнений по процедурам испытаний. Принципиальным отличием поправок серии 04 от 03 является введение требований и процедур в отношении дизелей, работающих на этаноле (этиловый спирт).

Процедура испытаний действующих в настоящее время Евро-4 включает три различных цикла: ESC и ETC, предназначенных для определения газообразных ВВ и твердых частиц, и ELR – для определения дымности ОГ (оптической плотности).

Цикл ESC по принципу построения близок к старому 13-ти ступенчатому европейскому циклу ECE. Отличие цикла ESC от старого в основном сводится к тому, что Технической Службе, осуществляющей сертификацию АТС, дано право проверять содержание оксидов азота в трех дополнительных «случайных» точках, лежащих в области заданных режимов работы ДВС.

Цикл ETC представляет собой динамический цикл с непрерывным (посекундным) измерением нагрузки и частоты вращения двигателя. Он состоит из трех фаз, имитирующих движение АТС в условиях города, пригорода и автострады.



Цикл ELR предназначен для определения дымности ОГ и представляет собой цикл динамического нагружения. Испытания проводятся на тех же скоростных режимах, что и в цикле ESC, а также на одном дополнительном (случайном) режиме.

Применение испытательных циклов следующее:

- при испытании «обычных» дизелей, включая ДВС с электронным управлением топливоподачей, системой рециркуляции ОГ, окислительными нейтрализаторами, применяются циклы ESC и ELR;

- при испытании двигателей, оснащенных такими средствами уменьшения выбросов ВВ, как, например, восстановительные нейтрализаторы оксидов азота и сажевые фильтры, применяются все указанные циклы – ESC, ETC и ELR;

- газовые двигатели испытываются только по циклу ETC.

В части усовершенствования Правил № 49, в настоящее время проводятся работы:

- по созданию «всемирных» испытательных циклов, которые будут основой унифицированной всемирной процедуры испытаний грузовых автомобилей;

- разрабатываются требования в отношении бортовой диагностики для грузовых автомобилей и двигателей;

- проводятся исследования по совершенствованию контроля за «внецикловыми выбросами».

## **Литература**

1. Выбор топливной системы современных высокофорсированных дизелей / Г.М.Кухаренок, О.С. Руктешель, Н.В. Путеев // Вестник БНТУ. – 2004. – С. 42 - 46.

2. Правила ЕЭК ООН №49 (ГОСТ Р41.49-2003) Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения двигателей с воспламенением от сжатия и двигателей, работающих на природном газе, а также двигателей с принудительным зажиганием, работающих на сжиженном нефтяном газе (СНГ), и транспортных средств, оснащенных двигателями с воспламенением от сжатия, двигателями, работающими на природном газе, и двигателями с принудительным зажиганием, работающими на СНГ, в отношении выделяемых ими загрязняющих веществ.

**Результаты испытаний двигателя Д-245.2  
оснащенного промежуточным охладителем  
с регулятором температуры наддувочного воздуха**

Вершина Г.А, Тамкович Е.С.

Белорусский национальный технический университет

Важнейшим фактором процессов смесеобразования и сгорания, влияющих на основные показатели высокофорсированного двигателя, является система газотурбинного наддува. Высокие качественные характеристики используемых в конструкции как турбокомпрессоров так и промежуточных охладителей наддувочного воздуха (ПОНВ), являются необходимым условием обеспечения улучшения топливной экономичности и экологичности двигателя.

Проведенные на кафедре «ДВС» расчетные исследования [1, 2] показали, что объем ПОНВ и температура наддувочного воздуха на выходе из охладителя имеют значительное влияние на время переходного режима и рабочий процесс двигателя. При уменьшении нагрузки на двигатель оснащенный не регулируемым ПОНВ, особенно в условиях отрицательных температур окружающей среды, давление воздуха значительно меньше и глубина его охлаждения в промежуточном охладителе будет более высокой, что приводит к нарушениям процесса сгорания, а следовательно к ухудшению экономических и экологических показателей дизеля. Теоретические исследования показали, что неизменная температура наддувочного воздуха на входе в двигатель позволяет достичь более высоких и стабильных показателей последнего.

На основании сделанных выводов была разработана и испытана конструкция ПОНВ с автоматическим регулятором, обеспечивающим относительное постоянство температуры наддувочного воздуха на различных режимах работы дизеля [3].

Сравнительные испытания образцов ПОНВ серийной и экспериментальной конструкции, проведенные на РУП «Минский моторный завод» совместно с кафедрой «ДВС», показали следующие результаты:

1. При коэффициентах избытка воздуха менее 3,2 экономические показатели двигателя при его работе с серийным и экс-

периментальным ПОНВ на установившихся режимах являются практически равнозначными (рис.1).

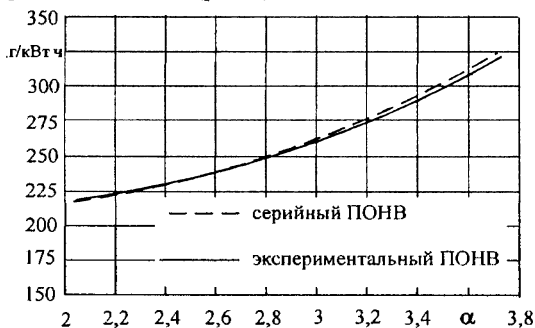


Рис.1.Зависимость удельного эффективного расхода топлива  $g_e$  от коэффициента избытка воздуха  $\alpha$  по нагрузочной характеристике

2. При значениях коэффициента избытка воздуха более 3,2 наблюдается тенденция к снижению удельного эффективного расхода топлива (рис.1, рис.3).

3. Применение экспериментального ПОНВ обеспечивает увеличение на 7 % интенсивности прогрева охлаждающей жидкости при пуске двигателя, а так же способствует увеличению отвода теплоты от масляного картера двигателя (рис.2). Последнее объясняется снижением количества теплоты, передаваемого материалом ПОНВ потоку охлаждающего воздуха с вентилятора, при перепуске наддувочного воздуха мимо охладителя.

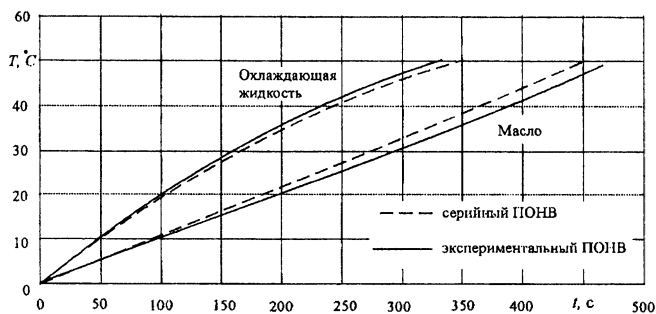


Рис. 2.Графики прогрева охлаждающей жидкости и масла

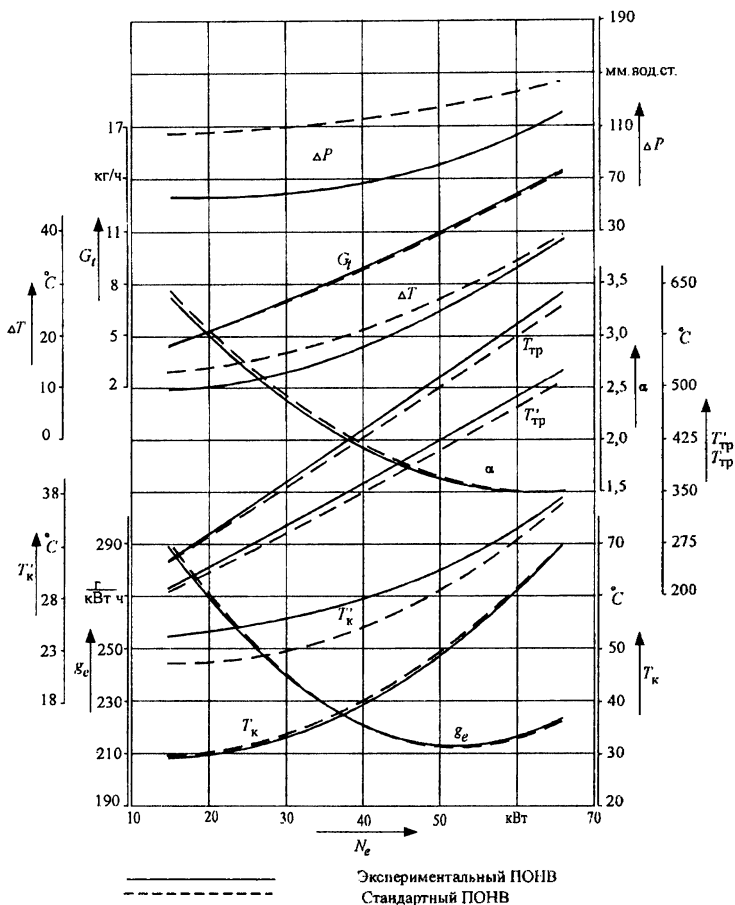


Рис. 3. Нагрузочная характеристика дизеля ( $n=1400$  об/мин)

где  $N_e$  – эффективная мощность двигателя;  $\alpha$  – коэффициент избытка воздуха;  $g_e$ ,  $G_t$  – удельный эффективный и часовой расходы топлива;  $T_k$ ,  $T'_k$  – температура наддувочного воздуха перед и после ПОНВ;  $T_{tr}$ ,  $T''_{tr}$  – температура отработавших газов перед и после турбины;  $\Delta T$ ,  $\Delta P$  – перепад температуры и потери давления в ПОНВ;

4. Перепуск части воздушного заряда, минуя ПОНВ, с целью сохранения его температуры при работе двигателя в области малых нагрузок и холостого хода способствует уменьшению периода задержки воспламенения и снижению выбросов СН и твердых частиц, так как температура свежего заряда на данных режимах возрастает на 20-25 °С.

5. Применение регулятора температуры наддувочного воздуха сокращает на 6-8 % время переходного процесса двигателя, при мгновенном набросе номинальной нагрузки.

6. Применение предложенного регулятора температуры не требует разработки специальной конструкции охладителя, так как за счет дополнительного канала он может применяться на дизелях оснащенных ПОНВ серийной конструкции.

#### Выводы:

Разработанная конструкция ПОНВ с регулятором температуры наддувочного воздуха обеспечивает эффективное регулирование температуры наддувочного воздуха и ее относительное постоянство во впускном коллекторе двигателя в независимости от параметров окружающей среды, что позволяет достичь более высоких технико-экономических и экологических показателей на режимах низких нагрузок, а также в условия динамического нагружения.

#### Литература

1. Вершина, Г.А., Тамкович, Е.С. Моделирование работы систем высокофорсированных дизелей. – Мн.: Вестник БНТУ – №5 2002 г., с 63-67.
2. Математическая модель САРЧ дизеля с наддувом Материалы 2-ой международной научно-технической конференции 21-23 мая 2003 г., Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств, Ч.2. – Пенза: ПГАСА 2003 г., 500 стр.
3. Патент РБ № 6510, МКИ F 02 В 29/04, 33/44 «Двигатель внутреннего сгорания» Вершина Г.А., Тамкович Е.С., Янченко П.Н., Информационный бюллетень «Изобретения, полезные модели и промышленные образцы» №3, Минск, 2004 г.

## Математическая модель гидропривода тормозов прицепного средства

Тарбаев В.В., Кишкевич П.Н.

Белорусский национальный технический университет

В связи с производством транспортных средств мощностью 230 и 280 л.с. возникла проблема эффективности торможения прицепных средств, движущихся в составе автопоезда. Известные ранее тормозные привода не могут обеспечить синхронность торможения автопоезда, а также необходимое быстроедействие срабатывания тормозных цилиндров прицепа. Применение тормозного крана со следящим действием в контуре гидропривода тормозов прицепа позволит устранить приведенные выше недостатки.

Для достижения эффективности торможения необходимо исследовать динамику гидравлического тормозного привода. В исследуемом гидравлическом приводе до 40% всего объема жидкости находится в колесных тормозных цилиндрах, поэтому была принята модель с тремя сосредоточенными объемами жидкости. В этом случае принято, что объемы жидкости распределяются поровну между цилиндрами.

При исследовании динамики гидравлического тормозного привода приняты следующие допущения:

-тормозные механизмы тягача и прицепа имеют одинаковую упругую характеристику и заменяются эквивалентным механизмом, объем колесного цилиндра которого равен суммарному объему заменяемых колесных цилиндров;

-свойства рабочей жидкости (температура, плотность, кинематическая вязкость) не изменяются в течение всего процесса торможения;

-длина гидравлических магистралей ( $l_i < 15\text{м}$ ) сравнительно небольшая и поэтому влиянием волновых процессов на динамику системы можно пренебречь. То есть гидравлический контур рассматривается, как система с сосредоточенными параметрами.

Математическая модель, описывающая динамику гидролинии, включает в себя три типа уравнений: дифференциальные уравнения движения перемещающихся

деталей системы, уравнения течения жидкости в элементах гидролинии; уравнения баланса мгновенных массовых расходов.

В нашей модели жидкость рассматривается сжимаемой и сосредоточенной в одном или нескольких объемах (система с сосредоточенными параметрами с учетом податливости элементов привода). В этом случае уравнения течения жидкости для гидравлической цепи можно записать в виде:

$$a_1 \frac{d^2 x}{dt^2} + a_2 \frac{dx}{dt} + a_3 \left( \frac{dx}{dt} \right)^2 \operatorname{sign} \frac{dx}{dt} + P_{\max} - P_{\text{ак}} = 0, \text{ где } a_1 = \rho l;$$

$$a_2 = 27,5 \frac{\rho \nu l}{A_i}; \quad a_3 = \left( 0,443 \frac{k_{\xi} \rho l}{\sqrt{A}} + \frac{\xi \rho}{2} \right).$$

$\nu$  - кинематическая вязкость жидкости, м<sup>2</sup>/с;  $k_{\xi}$  - коэффициент шероховатости трубопровода;  $\xi$  - коэффициент местного сопротивления;  $\rho$  - плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $A$  - площадь проходного сечения, м<sup>2</sup>.

Функция *sign* введена для того, чтобы избежать искажения переходного процесса при знакопеременной скорости движения жидкости.

Уравнение баланса мгновенных объемных расходов жидкости для  $i$ -го узла имеет вид:  $Q_i - Q_{j+1} - Q_{\text{ид}} = 0$ , где  $Q_i$ ,  $Q_{j+1}$ ,  $Q_{\text{ид}}$  - входной и выходной расход жидкости и расход жидкости, затраченный на деформацию в  $i$ -ом узле цепи, м<sup>3</sup>.

На расчетной схеме привода (рис. 1) приведены:  $y_i$  - узлы гидролиний;  $A_i$  - площади проходных сечений дросселей и гидравлических магистралей, м<sup>2</sup>;  $\psi(P_i)$  - коэффициент податливости рабочей жидкости для  $i$ -го узла гидролинии;  $P_{\max}$  - максимальное давление, развиваемое насосом, МПа;  $h(t)$  - управляющее входное воздействие (давление главного тормозного цилиндра тягача), МПа;  $x_i$  - перемещение столба рабочей жидкости в  $i$ -м узле гидролинии, м;  $z_i$  - перемещение соответствующих поршней цилиндров, м;  $R_i$  - эквивалентное сопротивление участков гидропривода;  $m$  - масса рабочей жидкости в соответствующих магистралах ( $m = \rho A_i l_i$ , где  $\rho$  - плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>), кг;  $k_{\text{ос}}$  - коэффициент обратной связи гидропривода.

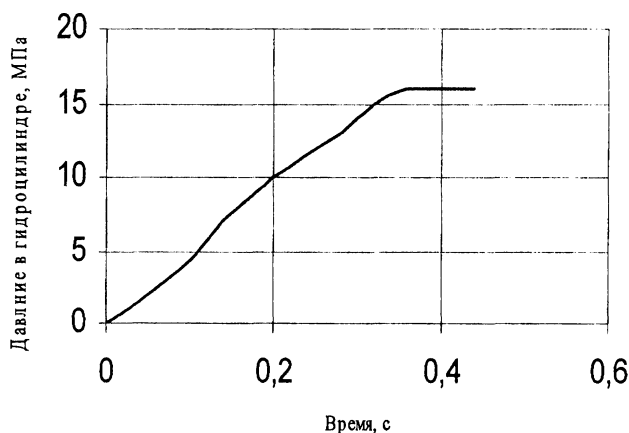




При составлении дифференциальных уравнений, описывающих динамику гидропривода, использовали методику расчета гидроцепей, приведенной в [2]. Согласно расчетной схеме привода и принятой математической модели гидроцепи были составлены уравнения течения жидкости и расхода для каждого узла схемы.

В данной математической модели была учтена податливость жидкости в гидравлическом трубопроводе. Она включает в себя сжимаемость рабочей жидкости и податливость трубопроводов, уплотнений, гибких шлангов. Податливость существенно влияет на быстродействие и устойчивость тормозного привода, а также на качество переходного процесса.

Рис. 2. График зависимости давления от времени



На основании европейской директивы на транспортные прицепные средства (EN ISO 3761-1:1995 – ISO 3761-4:1995) время срабатывания тормозных цилиндров не должно превышать 0,5с. Результаты расчета соответствуют этому требованию.

#### Литература

1. Т.М. Башта и др. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. //М. “Машиностроение”, 1982.
2. Н.Ф. Метлюк, В.П. Автушко. Динамика пневматических и гидравлических приводов автомобилей. //М. “Машиностроение”, 1980.

**Активная защита программ от внедрения  
разрушающих модулей**

Ревотюк М.П.\*, Кишкевич А.П.  
БГУИР\*, ИП "Центр компетенции "Эвклид"

Предмет рассмотрения – объектно-ориентированная реализация системы активной защиты разрабатываемого программного обеспечения в вычислительных средах операционных систем семейства Windows 2000/XP. Функциональное замыкание интервалов существования защищаемых объектов, обеспечиваемое конструкторами и деструкторами классов языка С++, использовано для автоматической установки среды защиты, опирающейся на аппаратные автономные криптографических средства.

Исполняемые модули ответственных систем обработки информации, представленные загрузочными файлами или файлами динамически подключаемых библиотек с открытым форматом PE (Portable Executable) в среде операционных систем Windows уязвимы для ряда угроз несанкционированного использования – копирования, дизассемблирования, модификации и запуска. Один из приемов защиты – связь процесса исполнения программного кода с сервисами группы AAA(Авторизация, Аутентификация, Аудит), рекомендуемых для создания серверных приложений [1].

Однако технологии создания серверных приложений не защищают файлы исполняемых модулей от дизассемблирования, трассировки или других угроз, реализуемых после получения файла. Опора на стандартные системные средства администрирования также страдает уязвимостью – дискреционный метод разделения полномочий пользователей и политика безопасности по определению статичны. Кардинальным решением задач противодействия таким угрозам может быть криптографическая защита фрагментов кода.

Так как применение криптографии само по себе должно быть связано с состоянием аутентификации, то естественно образовать рекуррентную схему его связи с хотя бы одним

предшествующим и остальными доступными для фиксации состояниями (рис.1).

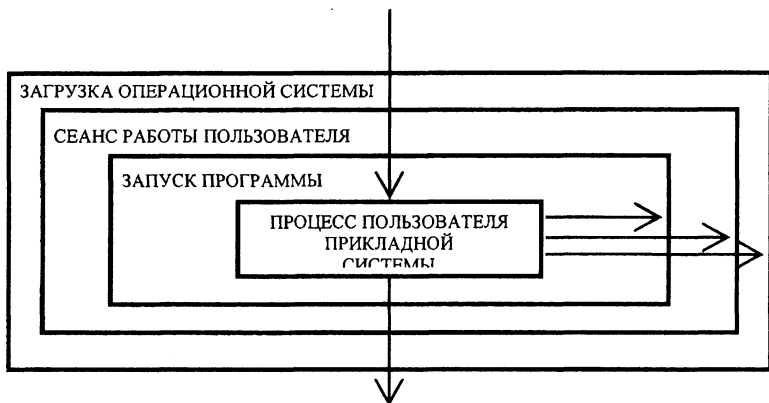


Рис. 1. Схема вложенности процессов активности пользователя

Архитектура операционных систем Windows NT/2000/XP/2003 включает достаточно полный набор интерфейсов для организации полного автоматического контроля вычислительной активности.

Используя криптографию с открытым ключом и реально доступные системные события, возможно до этапа инсталляции на ЭВМ построение динамической системы, привязанной к моменту аутентификации, функционирующей только при нулевых масках доступа к процессу лишь при предъявлении ключа зарегистрированного конечного пользователя (рис. 2) [1].

Файл программы выступает как контейнер для хранения скрытых блоков кода. Преобразование кода выполняется в последний момент непосредственно перед использованием в проекции на память. Критические по соображениям безопасности блоки прикладной программы должны быть указаны на уровне исходного кода [2].

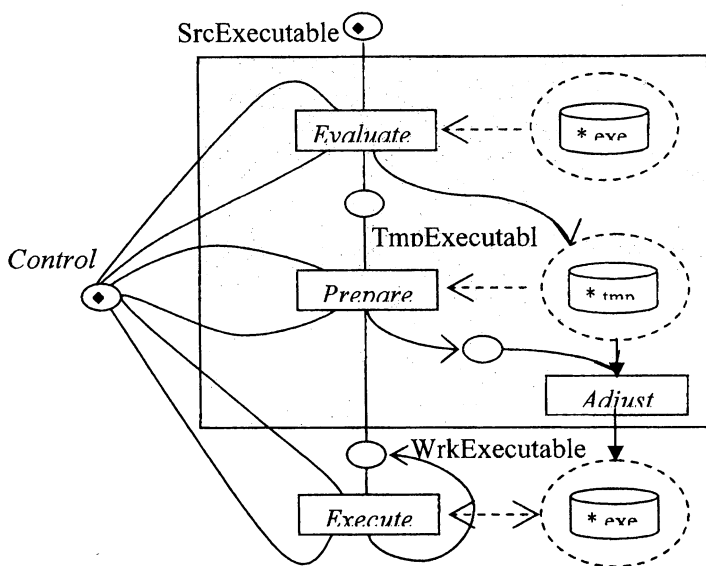


Рис. 2. Схема процесса установки слоев защиты

Выделенные блоки программы могут находиться в трех состояниях [3]:

*SrcExecutableFile* – исходное состояние в загрузочном модуле – результат работы редактора связей (компоновщика);

*TmpExecutableFile* – состояние актуализации привязки “файл – память”, регистрируемое конструктором класса статической защиты при первом технологическом запуске программы на исполнение;

*WrkExecutableFile* – закрытое состояние, обнаруживаемое конструктором класса статической защиты в момент запуска защищенной версии программы.

Конструктор класса статической защиты обеспечивает перевод блоков защищаемого модуля в рабочее состояние непосредственно перед этапом исполнения функциональной части программы.

Легко заметить, что представленная схема соответствует расширенной сети Петри с очевидным поведением: после последовательной активизации переходов *Evaluate* (оценка обстановки) и *Prepare* (подготовка рабочей версии программы)

возможна лишь активизация перехода *Execute* (исполнение программы в защищенном режиме). После активизации перехода *Adjust* (подготовка к эксплуатации) уничтожаются следы процесса подготовки рабочей версии программы, включая код функций переходов *Evaluate*, *Prepare* и *Adjust*. Позиция *Control* соответствует необходимым условиям активизации перехода *Execute*, включая, например, значение ключа, считанного из аппаратного носителя.

Практическая реализация защиты не требует от разработчика функциональной части прикладной программы специальных действий. Декларация объекта защиты может выполняться независимым лицом, осведомленным о технологии обработки данных.

Таким образом, представляемая схема защиты на логическом уровне утилизует потенциальные возможности автономных аппаратных средств криптографии для упреждающей проверки программно-канала доступа к защищаемым данным.

## **Литература**

1. Ревотюк, М.П. Шаблоны систем обеспечения безопасности разрабатываемых программ в вычислительных средах с открытой архитектурой//Компьютерные технологии в обеспечении безопасности электронной информации: Материалы межд. конф.(Минск, 4-9 ноября 2002 г.) - Мн.: БелИСА, 2002. – с. 107-117.
2. Ховард, М., Лебланк, Д. Защищенный код/Пер. с англ. – М.: Издательско-торговый дом “Русская редакция”, 2003.–704 с.

УДК 004.056.5

### **Генераторы подмножеств комбинаторных объектов**

Кишкевич А.П., Ревотюк М.П.\*

ИП “Центр компетенции ”Эвклид”, БГУИР\*

Объект рассмотрения – вычислительные схемы решения комбинаторных задач методом перебора вариантов. В случае, когда множество вариантов порождается алгоритмически, возникает проблема построения их подмножеств с целью независимого анализа на вычислительной сети.

Централизованное порождение вариантов агентом-диспетчером приводит к повышенной загрузке сети. Предлагается для генерации вариантов из множества сочетаний и перестановок экономный алгоритм выделения подмножеств без потерь времени на порождение и фильтрацию пропускаемых вариантов.

Цель исследования – построить абстрактные производные классы-итераторы сочетаний и перестановок для заданного подмножества всех перестановок и сочетаний.

Ключевой вопрос решения задачи порождения подмножества сочетаний/перестановок – фиксация начального состояния итератора. Необходимо по номеру сочетания/перестановки восстановить состав его элементов. По существу, требуется решать задачу, обратную задаче порождения сочетаний/перестановок.

В качестве исходной основы для построения итератора сочетаний и перестановок используем известные алгоритмы порождения сочетаний и перестановок в лексикографическом порядке.

Базовые классы-итераторы генерации всех перестановок и сочетаний будут иметь схожую структуру. Конструктор базового класса создает внутреннее отображение множества элементов перестановки и сочетания соответственно.

Оператор вызова функции выполняет проверку условий продолжения итераций, в случае ее успеха, организует обработку текущей перестановки/сочетания (вызов виртуальной функции `doit()`) и подготовку представления следующей перестановки/сочетания. Таким образом достаточно в конструкторе производного класса указать начальную перестановку/сочетание и количество итераций. [1].

### Порождение подмножества сочетаний

Начальное значение сочетания – множество  $\{\overline{n - m}, n - 1\}$ .

Так как общее количество сочетаний целочисленное

$$C_m^n = \frac{n!}{m! \cdot (n - m)!}, \quad (1)$$

то при разбиении на  $k$  не пересекающихся подмножеств размер последних -  $J C_m^n / k!$  или  $\lfloor C_m^n / k \rfloor$ .

Сочетания, порождаемые в лексикографическом порядке, связаны рекуррентным соотношением для индекса [2]

$$I_{n,m}(k_1, k_2, \dots, k_m) = C_m^n - \sum_{i=1}^m C_{m-i+1}^{n-k_i}, \quad (2)$$

позиции сочетания  $(k_1, k_2, \dots, k_m)$  в списке всех сочетаний.

Индекс последнего сочетания определяется (1):

$$I_{n,m}(n-m-1, n-m-2, \dots, n) = C_m^n.$$

Анализируя (1) и (2), достаточно легко придти к идее рекурсивного восстановления сочетания  $(k_1, k_2, \dots, k_m)$  из значения  $I_{n,m}(k_1, k_2, \dots, k_m)$ .

На первом шаге множество  $S$  сочетаний из  $n$  элементов по  $m$  можно разбить на две непересекающиеся части:

$S_1$  – сочетания из  $n-1$  элемента по  $m-1$  с позицией  $m$ , установленной в  $n$ ;

$S_2$  – сочетания из  $n-1$  элемента по  $m$ , такие, что  $S_2 = S \setminus S_1$ .

Мощности множеств сочетаний связаны соотношениями

$$|S| = C_m^n, \quad |S_1| = |S| \cdot m/n, \quad |S_2| = |S| - |S_1|. \quad (3)$$

Зафиксировав известный максимально допустимый элемент  $k_m = n$  в позиции  $m$ , и учитывая, что для сохранения лексикографического порядка всех элементов любого сочетания должно выполняться условие  $(0 \leq k_1 < k_2 < \dots < k_m \leq n-1)$ , процедуру разбиения можно последовательно продолжить. Выражения (3) при этом применяются для уменьшающихся значений  $m$  и  $n$ .

Алгоритм порождения любого из  $k$  подмножеств сочетаний из  $n$  элементов по  $m$  штук, указанного номером  $i$ ,  $i = \overline{0, k-1}$  представлен ниже производным классом, где конструктор выполняет фиксацию начального сочетания и счетчика итераций:

```

template <class Type> // Итератор подмножеств сочетаний
class nth_combination: public combination<Type> {
public:
nth_combination(Type N, Type M, Type K, Type I):
combination<Type>(N, M) {
Type cs=count;
count=cs/K;
Type ost=cs%K;
Type ps=(ost)? ((I<ost)? ++count*I: count*I+ost): count*I;
for (Type i=m, cp=0, cn=n; i>0; ) {
Type nb=(cs*i)/cn;
if (cp+nb<=ps){
cp+=nb; cs-=nb; cn--;
} else {
cs=nb; v[--i]=--cn;
}
}
}
};

```

### Порождение подмножества перестановок

Так как общее количество перестановок целочисленное

$$C^n = n!, \quad (1)$$

то при разбиении на  $k$  непересекающихся подмножеств размер последних -  $|C^n / k|$  или  $[C^n / k]$ .

На первом шаге множество  $S$  перестановок из  $n$  элементов можно разбить на  $n$  непересекающихся частей:

$S_0, S_1, S_i, \dots, S_{n-1}$  – сочетания из  $n-1$  элемента с позицией 0, установленной в  $i$ ;

Мощности множеств перестановок связаны соотношениями

$$|S| = C^n, |S_i| = |S|/n. \quad (3)$$

Зафиксировав известный максимально допустимый элемент  $k_0 = i$  в позиции 0, и учитывая, что для сохранения лексикографического порядка всех элементов любой перестановки должно выполняться условие  $(0 \leq k_1 < k_2 < \dots < k_n \leq n-1)$ , процедуру разбиения можно



последовательно продолжить. Выражения (3) при этом применяются для уменьшающегося значения  $n$ .

Алгоритм порождения любого из  $k$  подмножеств перестановок из  $n$ , указанного номером  $i$ ,  $i = \overline{0, k-1}$  представлен ниже производным классом:

```
template <class Type> // Итератор подмножеств сочетаний
class nth_permutation: public permutation<Type> {
    int I, K, N;
public:
    nth_permutation (int i, int K, int N): permutation <Type>(N),
    I(i), K(K), N(N) {
        Type cs=count; count/=K;
        Type ost=cs%K;
        Type ps=(ost)? ((I<ost)? ++count*I: count*I+ost): count*I;
        vector<bool> tv(N, true);
        std::vector<int>::iterator it=first;
        for(int cn=0, itn; cn<N; cn++, ps-=itn*cs){
            int cd=0, j=0;
            for(cs/=N-cn, itn=ps/cs;;j++)
                if(tv[j])
                    if(cd++==itn) break;
            tv[j]=false, *it++=j;
        }
    };
};
```

Таким образом, для координации процессов анализа вариантов на сети агентами системы выбора достаточно назначения номеров участвующим в решении задачи узлам сети. Передача элементов перестановок и сочетаний и холостой пропуск неиспользуемых вариантов не требуется. Порождаемые подмножества не пересекаются.

### Литература

1. Липский, В. Комбинаторика для программистов: Пер. с польск. – М.: Мир, 1988. – 218 с.
2. Рейнгольд, Э., Нивергельт, Ю., Део, Н. Комбинаторные алгоритмы. Теория и практика: Пер с агл. – М.: Мир, 1980. – 476 с.

## К выбору параметров агрегатов тормозной системы

Кишкевич П.Н., Тарбаев В.В.

Белорусский национальный технический университет

Для эффективного торможения прицепных средств, следующих в составе автопоезда, необходимо спроектировать гидравлический тормозной привод следящего действия. Применение тормозного крана со следящим действием в контуре гидропривода тормозов позволит обеспечить необходимое быстродействие тормозных цилиндров прицепа, а также синхронность торможения тягача и прицепа.

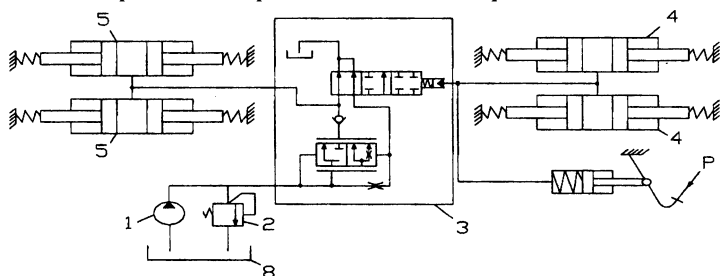


Рис. 1. Принципиальная схема гидропривода:

1-насос; 2-предохранительный клапан; 3-тормозной кран; 4-колесные цилиндры тягача; 5-колесные цилиндры прицепа; 6-главный тормозной цилиндр; 7-тормозная педаль; 8-бак

Гидравлический привод (рис. 1) является следящим с отрицательной обратной связью. Из конструктивных соображений выбираются:  $m$ -полная масса транспортного средства, кг;  $j_p$ -расчетное замедление автопоезда,  $m/c^2$ ;  $r_k$ -радиусы колес, м;  $h_c$ -центр масс в нагруженном состоянии, м;  $a, b$ -расстояния от передней и задней осей колес соответственно, м.

Определяем нормальные реакции на колесах

$$R = \frac{gm_a}{n(a+b)} \left( b + \frac{j_p}{g} h_c \right), \text{ где } n\text{-число колес на оси } (n=2); g\text{-}$$

ускорение свободного падения,  $m/c^2$ .

Тогда тормозная сила на колесо будет

$$T = \frac{j_p}{g} R, \text{ Н.}$$

Следовательно, тормозной момент на колесе

$$M_p = Tr_k, \text{ Нм.}$$

Сила на штоке тормозного цилиндра  $F$  (движущая сила) выбирается больше внешней нагрузке  $F_H$  (реактивная сила) т.е.

$$F \geq F_H = \frac{M_p}{r_k} + m_n \frac{dV_n}{dt}.$$

Площадь поршня  $A_n$  цилиндра определяется из равновесия сил, действующих на поршень

$$P_1 A_1 \eta - P_2 \left( A_n - \frac{\pi d^2}{4} \right) = P_1 A_1 \eta - P_2 A_2 = F_H + m_n \dot{V}_n = \frac{M_p}{r_k} + m_n \frac{dV_n}{dt},$$

где  $P_1, P_2$ -давление в бесштоковой и штоковой полости цилиндра, Па;  $\eta$ -механический КПД цилиндра, принимают  $\eta = 0,85 \dots 0,95$ ;  $d$ -диаметр штока, м;  $P_H$ - сила нагрузки, приведенная к поршню, Н;  $A_n = A_1 = \frac{\pi D^2}{4}$ ,  $m_n$ -приведенная

масса к поршню, кг;  $\frac{dV_n}{dt}$ -ускорение поршня, м/с<sup>2</sup>.

Сила трения  $R_o$  в цилиндре учитывается механическим КПД

$$\eta = 1 - \frac{R_o}{P_1 A_1}.$$

Тогда необходимая площадь поршня будет

$$A_n = A_1 = \frac{F_H + m_n \frac{dV_n}{dt} - P_2 \frac{\pi d^2}{4}}{P_1 \eta - P_2} = \frac{\frac{M_p}{r_k} + m_n \frac{dV_n}{dt} - P_2 \frac{\pi d^2}{4}}{P_1 \eta - P_2}.$$

Определение инерционных и приведенных к поршню сил часто представляет большие затруднения, поэтому для статического расчета вводят коэффициент запаса по нагрузке  $\sigma$ , равный  $\sigma = 1,2 \dots 1,6$ .

$$P_1 A_1 \eta - P_2 A_2 = \sigma F_H, \text{ где } A_2 = A_n - \frac{\pi d^2}{4}; \sigma = 1 + m_n \frac{dV_n}{dt} / F_H.$$

В этом случае площадь поршня имеет вид

$$A_n = A_1 = \frac{\sigma \frac{M_p}{r_k} - P_2 \frac{\pi d^2}{4}}{P_1 \eta - P_2}.$$

В литературе [1] приводится, что при максимальном КПД привода, полезная мощность при нагрузке максимальна.

$P_1 - P_2 = \frac{2}{3}(P_H - P_{сл})$ , где  $P_H$  - давление в нагнетательной магистрали насоса,  $P_H = 16$  МПа;  $P_{сл}$  - давление в сливной магистрали, соединяющей тормозной кран с баком.

Для статического расчета принимают  $P_{сл} = 0$ ;  $P_2 = 0,05 P_H$ . При этом допущении значение  $P_1 = 0,72 P_H$ . При подстановке значений давлений, получим расчетную площадь поршня гидроцилиндра тормоза.

В режиме отгормаживания выражение для определения площади поршня гидроцилиндра запишется в виде

$$P_2 \left( A_n - \frac{\pi d^2}{4} \right) \eta - P_1 A_n = \sigma F_H.$$

Чтобы обеспечить рабочее давление  $P_1$  и  $P_2$  в тормозном гидроцилиндре при резком торможении, необходимо выбрать достаточные проходные сечения тормозного крана  $A_3$  и трубопроводов  $A_T$ . [2] С учетом потерь давления в гидрوليнии рабочее давление в тормозном цилиндре  $P_1$  и  $P_2$  определится

$P_1 = P_H - \Delta P_3 - \Delta P_T$ ,  $P_2 = \Delta P_T - \Delta P_3 + \Delta P_{сл}$ , где  $\Delta P_3$  - потери давления в тормозном кране;  $\Delta P_T$  - потери давления в трубопроводе. Эти потери определяются по методике, приведенной в [3]. По полученным значениям потерь давления, определяют проходные сечения тормозного крана и трубопроводов.

### Литература

1. Метлюк, Н.Ф. Расчет и проектирование гидравлических следящих приводов и их элементов. Мн.: БГПА, 1993.
2. Тарбаев, В.В. Реализация механической характеристики желаемого вида гидропривода с дроссельным регулированием. // Сб. ГГТУ. -2004. -С.23-26.
3. Башта, Т.М. и др. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. //М. "Машиностроение", 1982.

**Математическая модель привода рулевого управления с гидравлической обратной связью мобильной машины**

Заболоцкий Е.М., Автушко В.П.

Белорусский национальный технический университет

Движение автомобиля, особенно по дорогам с неровным, изношенным покрытием, сопровождается значительными возмущающими силами, действующими на управляемые колёса, поэтому рулевые управления таких машин оборудуются гидравлическими усилителями.

Гидравлические усилители рулевого управления являются следящими системами автоматического регулирования и обеспечивают пропорциональную зависимость угла поворота управляемых колёс от угла поворота рулевого колеса. По способу обеспечения кинематического слежения гидравлические усилители делятся на три типа: с механической обратной связью, с гидравлической обратной связью (дозирование объёмов жидкости, поступающих в гидроцилиндр) и с шаговым гидроприводом.

Применение в гидросистемах механической обратной связи усложняет конструкцию узлов и увеличивает число шарнирных соединений. Ввиду этого во многих случаях имеет преимущество жидкостная обратная связь, которая позволяет размещать исполнительный гидродвигатель в наиболее рациональном месте. Гидравлические обратные связи с дозирующими моторами вращательного действия отличаются компактной конструкцией и минимальной длиной магистралей. Массогабаритные показатели конструкции рулевого управления улучшаются, если в качестве дозирующего мотора использовать гидромашину небольшого рабочего объёма.

Для гидрообъёмного привода рулевого управления мобильной машины, имеющего гидравлическую обратную связь, выполненную в виде насоса-дозатора героторного типа, разработана расчётная схема (рис.1). При разработке математической модели приняты следующие допущения: в течении переходного процесса не изменяются температура, вязкость жидкости и количество нерастворённого в ней воздуха;

отсутствуют утечки; пренебрегаем силами трения и сжимаемостью жидкости в сливной магистрали.

Для описания динамики контура используют три группы уравнений: 1) уравнения движения поршня и поворота ротора гидромотора; 2) уравнение движения жидкости в  $i$ -ом трубопроводе (баланс давлений); 3) уравнение расходов для  $i$ -го узла.

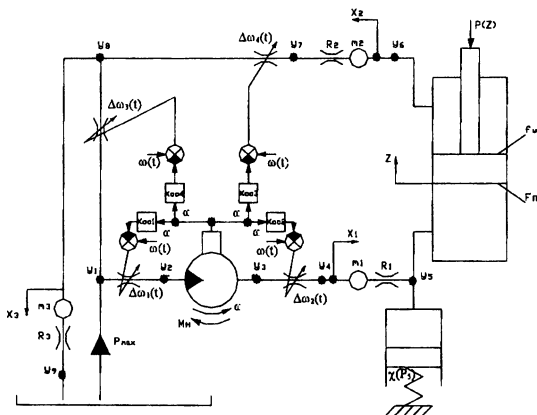


Рис. 1. Расчётная схема контура гидропривода

Таким образом, рассмотренная динамическая схема описывается системой состоящей двух из уравнений второго порядка и одного первого:

$$\frac{d^2 z}{dt^2} = \frac{1}{m_n + \frac{(F_n - f_w)^2}{f_2}} \cdot (p_3 \cdot (F_n - f_w) - p_9 \cdot (F_n - f_w) - \frac{(F_n - f_w)^3}{f_2}) \cdot (a_5 + a_8 + \frac{a_{13}}{(\varphi(t) - k_{об} \cdot \varphi)^2}) \cdot (\frac{dz}{dt})^2 \cdot \text{sgn} \frac{dz}{dt} - (a_6 + a_9) \cdot \frac{(F_n - f_w)^2}{f_2} \cdot \frac{dz}{dt} - (c_0 + c_1 \cdot z),$$

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot J_{\Pi} + a_0 \cdot a_1} \cdot (P_{\max} - p_5 - \left( \frac{a_{10}}{(\varphi(t) - k_{od} \cdot \varphi)^2} + \frac{a_{10}}{(\varphi(t) - k_{o2} \cdot \varphi)^2} + a_2 \cdot a_0^2 \right);$$

$$\cdot \left( \frac{d\varphi}{dt} \right)^2 \cdot \operatorname{sgn} \frac{d\varphi}{dt} - a_0 \cdot a_3 \cdot \frac{d\varphi}{dt} - \frac{2 \cdot \pi}{q_m} \cdot (M_n + M_{mp} \cdot \operatorname{sgn} \frac{d\varphi}{dt});$$

$$\frac{dp_5}{dt} = \frac{f_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} - F_{\Pi} \cdot \frac{dz}{dt}}{f_1 \cdot l_1 + F_{\Pi} \cdot (z_0 + z)} \cdot (E_{a0} + a_p \cdot p_5).$$

В данной системе:  $z$  – перемещение поршня гидроцилиндра;  $\varphi$  – угол поворота ротора гидромотора;  $\varphi(t)$  – угол поворота рулевого колеса;  $F_{\Pi}$ ,  $f_{\Pi}$  – площади поршневой и штоковой полостей гидроцилиндра соответственно;  $m_{\Pi}$  – масса поршня;  $q_m$  – рабочий объём гидромотора;  $J_{\Pi}$  – приведённый к ротору момент инерции вращающихся деталей;  $M_n$  – нагружающий момент;  $M_{тр}$  – момент трения;  $p_i$  – давление в  $i$ -ой точке;  $f_i$  – площадь проходного сечения  $i$ -го трубопровода;  $l_i$  – длина  $i$ -го трубопровода;  $k_{oci}$  – коэффициент обратной связи для  $i$ -го дросселя;  $c_0$  – постоянная нагрузка на штоке гидроцилиндра;  $c_1$  – коэффициент позиционной нагрузки;  $z_0$  – расстояние между поршнем и крышкой в начальном положении;  $E_{a0}$  – базовый модуль упругости;  $a_p$  – коэффициент, учитывающий влияние давления;  $x_i$  – перемещение столба жидкости в  $i$ -ом трубопроводе.

$$a_0 = \frac{q_m}{2 \cdot \pi \cdot f_1}; \quad a_1 = \rho \cdot l_1; \quad a_2 = 0.5 \cdot \xi_1 \cdot \rho + 0.443 \cdot \frac{k_e \cdot \rho \cdot l_1}{\sqrt{f_1}};$$

$$a_3 = 27.5 \cdot \frac{\rho \cdot v \cdot l_1}{f_1}; \quad a_4 = \rho \cdot l_2; \quad a_5 = 0.5 \cdot \xi_2 \cdot \rho + 0.443 \cdot \frac{k_e \cdot \rho \cdot l_2}{\sqrt{f_2}};$$

$$a_6 = 27.5 \cdot \frac{\rho \cdot v \cdot l_2}{f_2}; \quad a_7 = \rho \cdot l_3; \quad a_8 = 0.5 \cdot \xi_3 \cdot \rho + 0.443 \cdot \frac{k_e \cdot \rho \cdot l_3}{\sqrt{f_3}};$$

$$a_9 = 27.5 \cdot \frac{\rho \cdot v \cdot l_3}{f_3}; \quad a_{10} = \frac{q_m^2 \cdot \rho}{8 \cdot \pi^4 \cdot \mu^2 \cdot D_3^2}; \quad a_{11} = \frac{0.5 \cdot f_3^2 \cdot \rho}{(\mu \cdot \pi \cdot D_3)^2}.$$

В этих уравнениях:  $\rho$  – плотность рабочей жидкости;  $\xi_i$  – коэффициент местного сопротивления в  $i$ -ом трубопроводе;  $k_e$  – коэффициент, зависящий от шероховатости внутренних стенок трубопровода (0.02...0.03);  $v$  – кинематическая вязкость;  $\mu$  – динамическая вязкость;  $D_3$  – диаметр золотника распределителя.

Система уравнений решается с помощью ЭВМ, используя метод Рунге-Кутты. Структурная схема программы представлена на рисунке 2:

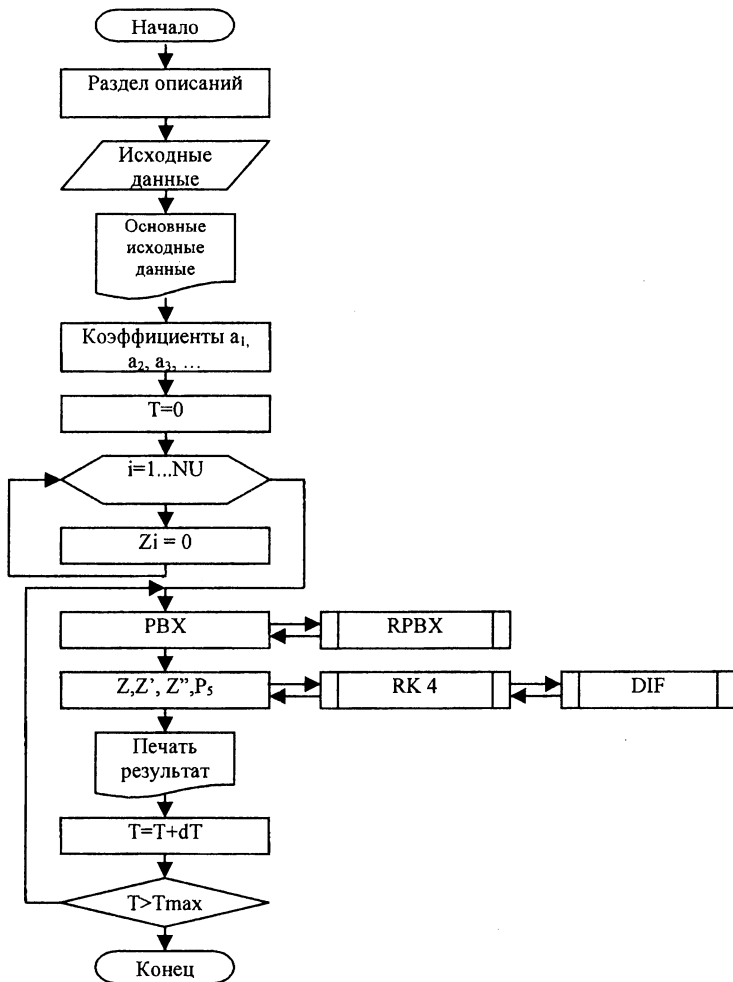


Рис. 2. Схема алгоритма динамического расчёта



## Методы диагностирования цилиндропоршневой группы двигателя

Климов Ю.В., Скуратович С.А., Гурский А.С.

Белорусский национальный технический университет

Одним из основных и ответственных элементов двигателя внутреннего сгорания является цилиндропоршневая группа (ЦПГ). Техническое состояние деталей этого узла во многом определяет мощностные, пусковые и экологические показатели работы двигателя, а также показатели экономичности. Однако в нем может возникать ряд неисправностей, как вследствие естественного износа, так и случайного характера.

На практике возникают определенные сложности при постановке точного диагноза, что обусловлено наличием ряда факторов, оказывающих друг на друга взаимное влияние. Как правило, полученная при измерениях величина некоторого диагностического параметра (ДП), не позволяет указать на конкретную неисправность, а является признаком нескольких.

Существующие на сегодняшний день методы диагностирования ЦПГ различаются как по методике проведения измерений, так и по получаемым диагностическим параметрам и, как следствие, обладают своими преимуществами и недостатками. Несмотря на это, к ним предъявляются одинаковые требования: метод должен обеспечивать как можно меньшую трудоемкость диагностирования, а измеряемые диагностические параметры должны обладать достаточной чувствительностью и информативностью. Необходимо отметить, что точность и достоверность диагноза во многом определяется квалификацией и опытом диагноста.

Рассмотрим применяемые методы диагностирования ЦПГ: по давлению в конце такта сжатия (измерение компрессии); по утечке сжатого воздуха из цилиндра двигателя; по расходу картерных газов; по расходу (угару) масла; по цвету отработавших газов двигателя; по параметрам шумов и вибраций; по параметрам картерного масла (табл. 1). Каждый из методов характеризуется определяемым диагностическим параметром, а также применяемым диагностическим оборудованием.

Таблица 1. Сравнительная характеристика методов диагностирования ЦПГ

№ п/п	Метод диагностирования ЦПГ	Определяемый диагностический параметр	Применяемое диагностическое оборудование
1	По давлению в конце такта сжатия (измерение компрессии)	-величина компрессии в каждом цилиндре; -относительная разница этих значений в различных цилиндрах	компрессометр (компрессограф)
2	По утечке сжатого воздуха из цилиндра двигателя	-величина падения давления воздуха, подаваемого в цилиндр	пневмотестер
3	По расходу картерных газов	-количество газов, прорывающихся в картер или их давление	расходомер газов, манометр
4	По расходу (угару) масла	-величина расхода моторного масла	щуп для измерения уровня масла
5	По цвету отработавших газов двигателя	-цвет отработавших газов	определяется визуально
6	По параметрам шумов и вибраций	-воздушные колебания (шумы); -стуки; -параметры вибрации	стетоскоп, микрофон, пьезоэлектрические датчики, усиливающая, регистрирующая аппаратура
7	По параметрам картерного масла	-количество продуктов износа деталей двигателя в масле	оборудование для проведения спектрального анализа

Анализируя используемые методы диагностирования ЦПГ двигателя можно сказать, что наиболее доступны в отношении трудоемкости и применения каких-либо диагностических средств являются методы диагностирования по расходу масла и по цвету отработавших газов. Однако, данные методы не позволяют однозначно указать на причину неисправности и, кроме того, не позволяют оценить количественно величину износа деталей. Поэтому данные методы целесообразно использовать совместно с другими – в дополнение к ним для более точной постановки диагноза (обычно они дают первичную диагностическую информацию для дальнейших измерений).

Диагностирование по параметрам картерного масла - трудоемкий и дорогостоящий метод, поэтому применяется он в случаях, когда другие методы недоступны (например, для двигателей карьерных самосвалов).

Более доступными методами оценки состояния ЦПГ являются методы диагностирования по параметрам шумов и вибраций, по расходу картерных газов, а также по утечке сжатого воздуха из цилиндра двигателя. Последний метод обоснованно может считаться наиболее доступным и эффективным, так как он не требует сложного диагностического оборудования (как виброакустический), позволяет дифференцированно оценить состояние ЦПГ различных цилиндров, а также позволяет избежать ряда методических погрешностей, свойственных методу измерения компрессии. Метод имеет приемлемую чувствительность, кроме того, позволяет оценить плотность прилегания клапанов и целостность прокладки головки блока. Метод диагностирования ЦПГ по величине компрессии нашел широкое применение, что обусловлено простотой измерений, универсальностью и невысокой стоимостью прибора (компрессометра). При этом заключение о техническом состоянии делается на основании одного лишь параметра – величине компрессии, измеренной в каждом цилиндре, а также по относительной разнице этих значений в различных цилиндрах. Однако, простота этого метода компенсируется низкой чувствительностью диагностического параметра.

Необходимо отметить, что наилучших результатов можно добиться только при комплексном применении нескольких методов.

## **Использование порошковых материалов при окраске автомобилей**

Гурский А.С.

Белорусский национальный технический университет

Характерная черта современной лакокрасочной промышленности — интенсивное развитие порошковых красок, которые в отличие от традиционных жидких лакокрасочных материалов (далее - ЛКМ) не содержат органических и других летучих веществ, что и обуславливает их экологическую полноценность. В настоящее время порошковые краски — практически единственный вид ЛКМ, позволяющий осуществлять безотходную технологию получения покрытий.

При их нанесении и использовании они позволяют получать высококачественные покрытия с хорошей коррозионной стойкостью, ударопрочностью, адгезией.

Порошковые краски появились в Германии еще в 50-е годы. С тех пор эта технология быстрыми темпами развивалась в Европе.

Анализ последних достижений в области окраски узлов и деталей автомобилей зарубежного и отечественного производства показывает, что все большее распространение в окрасочном производстве получают порошковые ЛКМ.

Типовой технологический процесс получения покрытий на основе порошковых ЛКМ состоит из следующих стадий:

- подготовка поверхности с применением обезжиривания, фосфатирования или хромирования (для алюминиевых изделий);
- сушка изделий после подготовки;
- нанесение порошковой краски;
- отвердевание покрытий при 160-200°C в течение 10-20 мин.

Подготовка поверхности изделий перед нанесением порошковых красок также важна, как и в случае применения жидких ЛКМ. Ее проводят теми же методами и с использованием тех же составов. В зависимости от материала, степени загрязнения и условий эксплуатации изделий применяют различные составы и способы обработки.

После подготовки поверхности изделие поступает в камеру сушки от влаги с рабочей температурой 120°C. Время обработки составляет 5-10 мин, метод сушки - конвекционный с циркуляцией горячего воздуха, способ нагревания воздуха - в зависимости от используемого теплоносителя.

Порошковые краски наносят в специальных камерах с системой фильтрации и рекуперации. Камеры нового поколения оснащены высокоскоростным циклоном, обеспечивающим возможность быстрой смены цвета краски.

Покрывают отвердевают в сушильных камерах при 160- 200°C в течение 10-15 мин. Метод сушки может быть конвекционный, с инфракрасным излучением или комбинированный. Применение порошковых красок в отечественном автомобилестроении долгое время сдерживалось отсутствием ЛКМ требуемого качества и трудностями, связанными с ремонтной окраской, переходом с одного цвета краски на другой и т.д. Сейчас многие из этих трудностей преодолены, и порошковые краски постепенно начинают занимать свое место в автомобилестроении. Порошковыми красками окрашивают бамперы, шасси, диски колес, корпуса и отражатели фар.

Кроме того, увеличившийся в настоящее время ассортимент выпускаемых порошковых красок (большая гамма цветов ЛКМ для глянцевых, матовых, полуматовых покрытий, структурированных, перламутровых и др.) позволяет значительно расширить область их применения в автомобильной промышленности.

На сегодняшний день наибольшее развитие получила технология окраски порошковыми материалами дисков колес. За рубежом эта технология преобладает при окраске алюминиевых дисков колес. Конструкция дисков их алюминиевых сплавов позволяет исключить труднодоступные для окраски поверхности сопряжения обода с диском, имеющиеся в сварных стальных конструкциях.

Процесс окраски начинается с подготовки поверхности: низкотемпературного обезжиривания и ускоренного фосфатирования раствором монофосфата марганца. После тщательной промывки кузовов высушивают при 140°C в течение 20 мин и подают на грунтование. Порошковая грунтовка наносится в двух последовательно расположенных камерах. В первой с помощью четырех роботов окрашиваются труднодоступные места кузова, во

второй 10 автоматических распылителей наносят ЛКМ на лицевые поверхности. Время отвердевания при 180°C - 15 мин. Толщина покрытия на лицевой части - 60-80 мкм, на днище - 50-60 мкм.

**Преимущества порошковых красок.**

*Готовность к применению.* Порошковые краски всегда поставляются в виде смеси, готовой к применению. Они не нуждаются ни в разведении или подготовке, ни в добавлении катализатора для достижения определенных свойств покрытия. Это устраняет любой риск получения бракованной продукции в результате ошибок при подготовке краски к применению.

*Снижение пожароопасности.* При исключении растворителей и других легковоспламеняющихся жидкостей риск возникновения пожаров резко снижается. Поэтому в складских помещениях, на участках нанесения порошковых покрытий не требуется применения специального электрооборудования, дополнительных средств пожаротушения.

*Высокие эксплуатационные характеристики.* Высокая адгезия, долговечность покрытия и неизменность цвета в течение не менее 10 лет, что особенно ценно для изделий, эксплуатируемых на открытом воздухе при температурах от -50 до 100°C, высокой влажности и агрессивной атмосфере.

*Отсутствие проблемы утилизации отходов.* Многие годы утилизация отходов ЛВЖ оставалась проблемой, требующей больших затрат. Для порошковых красок не требуется ЛВЖ, проблемы утилизации не существует.

*Снижение времени покраски.* Простота нанесения порошкового материала с одновременным улучшением качества и короткое время полимеризации (5-25 мин.), являются неоспоримым преимуществом технологии нанесения порошковых покрытий.

*Экономия энергоносителей.* Температура полимеризации полимерных порошковых покрытий 150-200° С соизмерима с температурой сушки жидких красок, однако нет необходимости удалять из печи объем горячего, насыщенного растворителями воздуха, что значительно снижает затраты электроэнергии. В процессе нанесения покрытия не требуется приточно-вытяжная вентиляция, что снижает огромные затраты теплоносителей.

*Огромный ассортимент красок.* В связи с использованием различных основ, отвердителей, добавок и пигментов, порошковые краски представлены огромным разнообразием по стойкости к воздействию внешних факторов, по фактуре и текстуре (от матовых до глянцевых, от муаровых до крупных шагреновых, лаки различных оттенков и прозрачности, металлики и т.д.), по цвету (свыше 300 цветов по каталогу).

*Эффективное использование.* На оборудовании не осевшая на поверхности детали порошковая краска может быть собрана, переработана и повторно использована. Использование порошковой краски доходит до 96%.

*Заданная толщина покрытия.* Толщина пленки от 35 до 300 микрон может быть получена без привлечения специально обученного персонала, благодаря регулированию оборудования.

*Хранение.* Для хранения порошковых красок не требуется специального помещения, так как нет необходимости обеспечивать какие-либо дополнительные противопожарные мероприятия, не требуется специального хранилища для ЛВЖ, так как порошковая краска готова к употреблению.

*Простота эксплуатации оборудования.* Окрасочная камера для нанесения порошковых красок очищается с помощью воздуха или вакуума. Для очистки стен и пола используется обычный резиновый отжимной валик. Нет необходимости использовать очищающие растворители, скребки и ветошь, как это принято при очистке камер для жидких красок.

*Экологическая чистота.* Все порошковые краски имеют гигиенические сертификаты и могут применяться для окраски любых поверхностей. В процессе нанесения и полимеризации порошковых красок не выделяется вредных веществ.

Порошковая краска сегодня - это высокая технология, это - такие свойства покрытия, которые никогда не могут быть достигнуты при применении жидких красок, получение покрытия, выдерживающего большие нагрузки и отвечающего постоянно меняющимся запросам производственной и ремонтной промышленности. Порошковую краску часто называют краской без растворителя, что является хорошей характеристикой для потребителя.

**Методы повышения ресурса воздушных фильтров  
автомобилей**

Бойкачев М.А., Расолько А.М.

Белорусский национальный технический университет

При эксплуатации отмечены случаи, когда из-за Поступившего воздуха с пылью в цилиндры предельный износ деталей цилиндропоршневой группы наступал при пробеге 10-40 тыс. км, причем при работе на асфальтовом покрытии. Вызвано это было негерметичностью системы фильтрации, а также предельным загрязнением фильтра, при котором его сопротивление возросло, и в один «прекрасный» момент он не выдерживает и разрывается. Как правило, водитель этого не замечает.

Внешними признаками такого износа (абразивного) служат повышенное дымление двигателя, снижение мощности и повышенный расход масла (выше 2-3 % от расхода топлива), а в отдельных случаях работа двигателя с «металлическим» стуком, хорошо прослушиваемым на средних оборотах без нагрузки. Причиной стука является, как правило, поломка первого компрессионного кольца, вызванная повышенной его вибрацией вследствие чрезмерного износа канавки поршня и самого кольца.

Пыль, попадающая на поверхности трения двигателя через воздушный фильтр и камеру сгорания, подвергается действию высоких температур - порядка 2000°С, после чего она увлекается газами, прорывающимися в картер. Под влиянием такой тепловой обработки пыль озоляется, часть входящих в нее компонентов сгорает, и в таком измененном состоянии она принимает участие в процессах изнашивания.

Разрушительное действие абразивных частиц не заканчивается только воздействием их на поверхности гильз цилиндров и поршневых колец. Раздробленные в процессе трения пылевые частицы совместно с продуктами износа попадают в картер двигателя и вызывают абразивное изнашивание шатунных и коренных шеек коленчатого вала.

По приблизительным подсчетам, на каждый литр топлива в процессе горения расходуется от 10 до 12 000 литров воздуха. Этот факт дает представление о значительности работы, кото-



рую проделывает воздушный фильтр. Качество фильтрации регламентировано строгими требованиями действующих отечественных и международных стандартов. Как следствие, эффективность очистки воздуха в силовых агрегатах определяются следующими характеристиками:

- тонкостью отсева загрязнителей;
- равномерностью фильтрации;
- стабильностью параметров фильтрации в течении эксплуатационного периода.

Эксплуатация двигателя с элементами, обеспечивающими разрежение во впускном канале выше допустимого, может привести к ухудшению тяговых и экономических качеств автомобиля вследствие возрастания сопротивления на впуске. Установлено, что возрастание сопротивления на 13, 33 Па приводит к снижению мощности и увеличению удельного часового расхода топлива: мощность теряется на 3,7-4,44 кВт; расход увеличивается на 2,7-4,1 г/(кВт-ч).

Длительная эксплуатация элементов, засоренных выше допустимого предела, может привести к разрыву штор фильтрующего картона, как следствие интенсивный износ деталей двигателя абразивной пылью, особенно если учесть, что отдельно взятая твердая частица внедрившись в мягкий материал детали, будет продолжать свою «грязную» работу очень долго, несмотря на все последующие промывки и продувки.

Как правило, ресурс воздушного фильтра, исчисляемый в километрах пробега; значительно превышает ресурс масляного фильтра. Однако стоит относиться к рекомендациям заводе изготовителя творчески. Дело том, что ресурс фильтра зависит от условий эксплуатации автомобиля. Имеется в виду время года, состояние дороги, географические факторы. О необходимой частоте смены воздушного фильтра можно косвенно судить по скорости запыления кузова автомобиля и элементе внутренней отделки салона.

Одним из способов повышения ресурса воздушных фильтров стало создание так называемых "спортивных фильтров".

В отличие от обычных фильтров, где для очистки воздуха от пыли используется специальная бумага, в спортивных фильтрах эту функцию выполняет совсем другой материал - либо специальная хлопчатобумажная ткань, либо поролон. Их особенность

в том, что они обладают повышенной пропускной способностью, а значит, пониженным сопротивлением при прохождении воздуха через фильтрующий элемент, а следовательно большим ресурсом - 1,5 млн. км, кроме того, их можно чистить в процессе эксплуатации. Таким образом, обеспечивается улучшенное наполнение цилиндров свежим зарядом и снижение насосных потерь, что увеличивает мощность мотора на 5-7 % и крутящего момента (в случае с серийными двигателями). Рабочий элемент тканевых фильтров, выпускаемых.

Обслуживание этих фильтров заключается в их мойке с использованием воды и фирменного шампуня, последующей сушке и пропитке специальным маслом. Комплект шампуня и спецмасла для фильтра, рассчитанный на 20-25 моек, стоит 60-75 у. е. Мыть фильтр бензином или не предназначенным для этого шампунем, а также продувать сжатым воздухом нельзя, так как можно ухудшить свойства фильтрующего элемента. Интервал обслуживания у поролоновых и хлопчатобумажных фильтров разный - первые производители рекомендуют мыть через 50 тыс. км, вторые - через 75-150 тыс. км. В условиях повышенной запыленности воздуха эти интервалы уменьшаются на 30-50 %. При умеренном засорении фильтров пропускная способность снижается, но все равно остается достаточно высокой.

Основным их недостатком является цена, которая колеблется в пределах от 50 до 200 у.е., а это существенные затраты. Вторым способом повышения ресурса воздушных фильтров является восстановление отслуживших свой срок фильтров.

Процесс восстановления предусматривает полную замену фильтровальной бумаги, каркасных сеток и резиновых уплотнений. Прежними остаются только прошедшие специальную очистку штампованные концевые диски с присоединительными элементами. Качество и высокая фильтрующая способность конечного продукта обеспечиваются:

- использованием фильтровальной бумаги исключительно известных фирм;
- тщательным подбором химического состава применяемых клеев и пластизолов;
- высокой квалификацией технического персонала;
- гибкой производственной системой;

- организацией входного контроля качества всех комплектующих. Рациональный подход к использованию имеющихся ресурсов, позволяет сэкономить до 70 % от стоимости оригинального изделия при тех же качестве и сроке службы. Например, если стоимость нового фильтра очистки воздуха на тягач Класса "Volvo P-12" колеблется в диапазоне 85-105 у. е., то восстановление старого обойдется в 20-22 у. е., что в условиях автохозяйства с парком в десяток автомобилей сумма 690-790 у. е. может стать серьезным поводом для размышлений накануне очередного ТО.

Основным недостатком данного предложения является необходимость создания предприятия занимающегося серийным выпуском продукции.

Третьим способом повышения ресурса воздушных фильтров является очистка воздушных фильтров. Все способы очистки подразделяются на сухую механическую обработку поверхности и обработку поверхности фильтроэлемента воздействием активных сред. Обработка поверхностей фильтроэлементов активными средами (моющими жидкостями) приводит к изменению структуры фильтрующего элемента: закрываются поры, что приводит к повышению начального разрежения в системе питания двигателя воздухом.

Сухой способ очистки менее эффективен, однако если жидкостной метод позволяет осуществлять 3...4 очистки, то сухой способ позволяет чистить фильтроэлементы многократно.

Перспективным направлением можно считать создание оборудования, в основе которого лежат принципы:

- получение на поверхности фильтра условий, противоположных процессу образования загрязнений и удержания инородных частиц;
- исключение возможности повреждения структуры очищаемой поверхности.

Для осуществления вышеуказанных принципов создано устройство для регенерации фильтров, которое позволяет подавать на фильтр сжатый воздух изнутри с перемещением ее по высоте, создать вибрацию, а также электрическое поле высокого напряжения. Сочетание упомянутых методов позволяет продлить ресурс фильтров, так как достигается высокое качество очистки.

**Методологические основы управления реологическими процессами в системах смазки машин**

Веренич И.А., Тини М.А.

Белорусский национальный технический университет

Целевое назначение любого управления – осуществление контроля и целенаправленное изменение состояния системы.

К числу параметров, определяющих состояние системы смазки, характеризующих ее текущее положение, либо фазовое состояние относительно заданной системы отсчета, обычно относят: степень износа пар трения, приобретенные деформации, герметичность замкнутых объемов (отсутствие утечек смазки и т.п.), параметры эксплуатации, такие как температура, уровень шума и вибрации, ресурсные параметры, претерпевающие изменения в процессе эксплуатации (загрязненность смазочного материала, изменение вязкости, изменение кислотного числа (для гидравлических жидкостей), изменение щелочного числа (для моторных масел)). Для некоторых систем смазки параметры движения на текущий и любой наперед заданный момент времени, комплексные параметры (целевые функции), характеризующие выполнение задач системой смазки на фиксированный момент времени.

Следует иметь в виду, что изменение состояния системы смазки в ходе эксплуатации происходит не только в результате целенаправленных управляющих воздействий, но и под влиянием внешних и внутренних возмущающих факторов. К внутренним факторам следует отнести в первую очередь изменение скорости скольжения, изменение нагрузки, изменение подачи смазки, пульсации подачи и давления и др. ошибки. К внешним факторам следует отнести изменение скорости движения мобильной машины, изменение дорожных возмущений и вибраций, вызванные работой двигателя и т.п.

Реализация процедуры управления предполагает следующее: подготовку исходных данных на расчет команд и программ управления, определяющих режимы функционирования аппаратуры; выбор типа и числа возможных режимов функционирования системы и аппаратуры; метрологическое обеспечение работы для определения текущих и прогнозируемых параметров

движения; контроль работоспособности аппаратуры; контроль других параметров, например, времени непрерывной работы, перерывов, частоты пуска и останова.

Повышение эффективности функционирования управляемой системы смазки достигается четырьмя основными факторами: 1) оптимизацией иерархий целей и информационной структуры; 2) оптимизацией системы в рамках заданной структуры; 3) оптимизацией внутренней структуры отдельных элементов; 4) оптимизацией самой системы смазки путем достижения ее максимальной совместимости с автоматизированной системой управления.

В большинстве случаев функционирование элементов системы управления оказывается лишь частично наблюдаемыми и частично управляемыми, что делает актуальным выбор наиболее рациональных технологических циклов управления и алгоритмов их реализации. Под технологическим циклом управления следует понимать совокупность типовых операций управления, осуществляемых в процессе эксплуатации в определенной последовательности, с целью выполнения заранее составленной оперативно скорректированной программы работы системы смазки. С другой стороны, технологический цикл управления – информационно и логически связанная, упорядоченная во времени совокупность макроопераций управления, содержащая указания об их продолжительности, определенная на интервале планирования в привязке к выбранной шкале времени, начинающаяся операциями контроля и завершающаяся выдачей командно–программной информации на следующий интервал планирования. Таким образом, в технологическом цикле управления системой смазки можно выделить следующие основные этапы: 1) получение извне информации, инициирующей процесс управления; 2) поиск, сбор, извлечение информации, необходимой для принятия решения по осуществлению управления; 3) формирование управляющего воздействия; 4) доведение управляющего воздействия до исполнителей; 5) контроль исполнения с последующим оформлением отчетного документа по результатам реализации технологического цикла управления.

К настоящему времени известна достаточно широкая разновидность различных технологий управления: однопунктная через бортовой компьютер (БК); многопунктная с микропроцессорами в самой СС; однопунктная с коррекцией через БК; сетевая

с динамическим изменением топологии.

На структуру технологических циклов управления влияют характер и содержание типовых операций.

К числу типовых операций технологического цикла принято относить: 1) определение текущего вектора состояния СС как динамической системы по результатам измерений (скорость сдвига смазочного материала, вязкость, температура и др.); 2) расчет данных для операций управления системой смазки; 3) расчет параметров коррекции; 4) программно–математическое обеспечение диагностики технического состояния и функционирования СС; 5) программно–математическое обслуживание командно–программного обеспечения.

Автоматизированная система управления системой смазки машины включает в себя блок научных обоснований (БНО) – это блок, отражающий постановку задачи, методов и алгоритмов их решения, комплекс технологических и вычислительных процедур, используемых при проведении всего цикла исследовательских, проектно–конструкторских и расчетных работ на этапах подготовки, планирования, анализа промежуточных и конечных результатов работы СС. БНО является составной частью технологии управления и в то же время – основной системообразующий элемент управления.

Задачи БНО разделяются на этапы: этап подготовки системы к эксплуатации; этап эксплуатации; этап послеексплуатационного анализа. Имеются два направления БНО: 1) непосредственное определение или изменение параметров СС в текущий или наперед заданный момент времени; 2) получение всех сопутствующих данных в предположении известного состояния СС.

Учитывая, что система управления смазкой является сложным комплексом многоуровневой структуры, ее модель представляют в виде совокупности двух концептуальных моделей: 1) модели обобщенной структуры СС как объекта управления; 2) модели автоматизированной системы управления (АСУ) системы смазки.

При составлении концептуальной модели СС исходят из того, что ее назначение заключается в сборе, обработке, хранении, отображении, документировании и доведении информации до соответствующих средств управления.

Постановка задачи математического моделирования процес-

са функционирования системы управления (СУ) технологического цикла (ТЦ) и технологического процесса (ТП) можно описать зависимостями

$$ТЦ = \langle \{TO_1\}, r_{ij} \rangle,$$

$$ТП = \langle \{TO_1\}, \{ТЦ_k\}, \{BO_m\}, r_n \rangle,$$

где  $r_{ij}$  – коэффициент отношения между  $i$ -ой и  $j$ -ой операциями;  $r_n$  – коэффициент, характеризующий отношения ТЦ, типовой операции  $TO$  и вспомогательной операции  $BO$ .

На самом высоком уровне рассматриваемая система может быть представлена в виде множества подсистем

$$K = \{D, \Phi, B\},$$

где  $D$  – управляющая подсистема;  $\Phi$  – функциональная подсистема;  $B$  – интеллектуальный банк данных.

Управляющая подсистема технологического цикла может быть представлена в виде

$$D = \{D_B, D_{ПК}, D_{ТЦ}, D_{ДО}, D_{БЗ}, D_D\},$$

где  $D_B$  – подсистема взаимодействия с другими подсистемами;  $D_{ПК}$  – подсистема подготовки и контроля исходных данных;  $D_{ТЦ}$  – подсистема подготовки (формирования) технологического цикла;  $D_{ДО}$  – подсистема обеспечения диалога с оператором;  $D_{БЗ}$  – подсистема запуска управления;  $D_D$  – подсистема управления данными.

$$\Phi = \{\Phi_M, \Phi_{ОВС}, \Phi_{ПО}, D_{ДО}, \Phi_{СЗ}\},$$

где  $\Phi_M$  – подсистема математической модели СС;  $\Phi_{ОВС}$  – подсистема определения вектора состояния;  $\Phi_{ПО}$  – подсистема предварительной обработки информации;  $\Phi_{ДО}$  – подсистема динамических воздействий;  $\Phi_{СЗ}$  – подсистема сервисных задач.

Таким образом, рассмотренная обобщенная модель позволяет, с одной стороны, поставить задачу ее математического описания, с другой – определить требования к системе управления ТЦ, ее составляющим, а также к принципам их разработки.

**Графическая подготовка специалистов с высшим техническим образованием в современных условиях**

Зеленый П.В.

Белорусский национальный технический университет

К особенностям графической подготовки студентов в современных условиях следует отнести, прежде всего, постоянное уменьшение учебных часов по начертательной геометрии и инженерной графике. Это характерно для всех технических вузов страны. Кафедры, обеспечивающие графическую подготовку, стремятся компенсировать последствия этого процесса за счет внутренних резервов, которые на сегодняшний день исчерпаны. Выход из складывающейся ситуации видится в более взвешенном подходе к корректировке учебных планов, которая должна вестись с учетом трудоемкости и важности дисциплины в подготовке специалистов с инженерно-техническим образованием.

Начертательная геометрия, с которой начинается графическая подготовка студентов в вузе, последующее за ней проекционное, машиностроительное или строительное черчение, изучаемые как объединенный курс под общим названием инженерная графика, вызывают затруднения при изучении по ряду объективных причин. Прежде всего, для одних студентов трудным является постижение самой основы дисциплины – развитие пространственного мышления геометрическими образами, столь необходимого инженеру. Это усугубляется ещё и пробелами в школьном образовании – полном отсутствии в общеобразовательных учебных заведениях графической подготовки в связи с исключением черчения как обязательного к изучению предмета. Больше все пагубность этого шага видится в том, что у детей своевременно не развивается способность геометрического пространственного представления. В вузе наверстывать это может даже и поздно, тем более, что тенденция к сокращению учебного времени на графическую подготовку даже в технических вузах, даже при подготовке специалистов конструкторского и механико-технологического профилей, сохраняется.

Начертательная геометрия и инженерная графика, как графические дисциплины, не могут изучаться без выполнения графических работ, получения навыков выполнения и «чтения»



чертежей. Вся методика обучения основана на том, что, получив объяснения по каждой изучаемой теме, студент должен реализовать полученные знания в виде чертежа, при постоянной консультации и помощи со стороны преподавателя, а в конце должен предъявить чертеж на проверку и подписание. Но дело дошло до того, что по ряду специальностей не предусматривается ни одной графической работы в семестр, хотя по определению инженерная графика не может изучаться иначе. При отсутствии в учебных планах времени на прием графических работ во внеурочное время, преподаватели вынуждены заниматься этим во время практических занятий за счет времени на пояснение новых тем, что недопустимо. Поэтому в недалеком прошлом на практические занятия по инженерной графике отводилось 4 часа в неделю. Сейчас от этого по ряду причин отошли. Вошло в практику, что студент, начав выполнение новой графической работы в аудитории, получив пояснения на возникшие вопросы, в основном выполняет ее в домашних условиях, и сдает на проверку, уже законченную графическую работу, защищает её на следующем занятии или исправляет допущенные ошибки. Организовать учебный процесс по графической дисциплине в сложившихся условиях по-другому не представляется возможным. При переходе с 4-х часов практических занятий на 2 часа, уменьшение вдвое времени практических занятий и было компенсировано выделением времени на проверку графических работ во внеурочное время, о чем стали забывать. Это начинает отражаться на качестве графической подготовки. Необходимо все-таки и сейчас предусматривать в учебных планах или время на прием графических работ, или вернуться к выделению на практические занятия по 4 часа подряд в неделю, с целью обеспечения возможности выполнения студентами графических работ в присутствии преподавателей в аудиториях, повышения качества подготовки студентов по специальностям конструкторской и технологической направленности. Понятно, что при общем сокращении учебного времени, необходимо чем-то жертвовать. Но полностью исключать графические работы из учебного плана на дисциплину, одно название которой говорит о том, что она по другому изучаться не может, нельзя.

Полное отсутствие в учебных планах ряда специальностей учебного времени на проверку чертежей усложняет работу с

отстающими студентами, которые пропускают занятия и накапливают выдаваемые к выполнению графические работы, предъявляя их с запозданием все сразу в предсессионный период. С этими студентами преподавателям приходится работать индивидуально, выдавать задания, проверять их. В связи с этим практические занятия по инженерной графике необходимо приравнять к лабораторным работам с обязательной регулярной отработкой пропущенных занятий, во избежание ухудшения качества графической подготовки и противодействия пропускам занятий без уважительной причины. Тем более, что студент может разобраться должным образом с заданиями только с помощью преподавателя, ведь речь, порой, идет о работе с реальными деталями и узлами сборочных единиц, их разборкой и измерениями. Только с помощью преподавателя он может грамотно определить необходимые изображения, выбрать положение детали или узла на главном виде, определить базы для нанесения размеров и т.д. В противном случае, не разобравшись, что к чему, студент идет по пути несамостоятельного выполнения выданных графических работ, и это ощущается все больше.

Исключение из учебных планов выполнения студентами графических работ при изучении графической дисциплины коснулось и заочной формы обучения. Сложившаяся система заочного образования не создает условия для получения студентами знаний. В учебных планах по ряду специальностей практически не предусматриваются консультации. Лекционные и практические занятия порой сведены к 2 – 4 часам. Более того, в некоторых семестрах не планируется ни одной рецензируемой контрольной графической работы. Студенты заочной формы обучения, ссылаясь на это, уклоняются от выполнения и предъявления на рецензирование контрольных графических работ. Качество их графической подготовки постоянно падает. Нарушается сам принцип подготовки по инженерной графике, как дисциплине, заключающийся в постоянном выполнении графических работ по каждой изучаемой теме, получении навыков вычерчивания изображений, а через них и навыков «чтения» чертежей, как бы они не выполнялись – в карандаше или на компьютере. Планирование для студентов заочной формы обучения хотя бы по одной рецензируемой контрольной графической работе в семестр позволило бы избежать этого.

Что касается норм времени на прием дифференцированных зачетов по инженерной графике, то инструкция по проведению зачетов по дисциплине, введенная в действие приказом № 188 Министерства 15.05.1962 г. и продолжающая действовать, устанавливает норму времени на прием зачета по графическим дисциплинам в 0,5 академического часа. В ней оговаривается также и то, что зачеты должны быть с дифференцированной оценкой. Прием дифференцированного зачета, когда необходимо не только установить отвечают ли знания студента приемлемому уровню, но и оценить этот уровень по десяти балльной системе, более трудоемок, чем прием обычного зачета, когда вопрос решается в основном только в плане «да» или «нет». Необходимо не только провести устный опрос студента, но и проверить выполненную им графическую зачетную работу, проанализировать выполненные изображения, указать допущенные ошибки, выяснить причину их появления и т.д. На это требуется значительно больше времени, чем при приеме устного зачета, или письменного, когда сверяется только правильность ответа.

Отмеченная практика обучения инженерной графике является устоявшейся, но реализовывать ее в условиях ежегодного сокращения учебных часов становится все сложнее. По содержанию заданий, проведению зачетов с дифференцированной оценкой она отвечает требованиям Инструкции по проведению зачетов по дисциплине (приказ Министерства № 188 от 15.05.1962 г.), которые продолжают действовать ввиду того, что Инструкция не была отменена, и не были введены другие требования.

При корректировке учебных планов надо также учитывать и ту дополнительную нагрузку на преподавателей, которая появилась в последнее время в связи с тем, что выпускники школ, как отмечалось, не имеют никакой графической подготовки. В отличие от других дисциплин, изучаемых ими с первых шагов в вузе – математики, физики, химии, начертательная геометрия – неперенный элемент высшего технического образования, для них является совершенно новой, неизведанной дисциплиной. Поэтому естественны и трудности в её изучении, преодолеть которые можно только при условии достаточности учебных часов.

## Учет успеваемости учащихся лицея

Коноплицкая И.А.

Белорусский национальный технический университет

Для повышения качества учебной работы учащихся надо вести учет успеваемости, который должен быть:

1. Индивидуальным и всесторонним, т.е. необходимо на разном материале выявлять уровень знаний, как всего учебного класса, так и каждого учащегося;
2. Систематический и своевременный, чтобы преподаватель мог вовремя заметить типичные ошибки учащихся;
3. Объективным и дифференцированным, т.е. надо исходить из более объективных критериев оценки успеваемости, соответствующих в каждом периоде обучения главной учебной цели;
4. Практическим и прикладным, т.е. нужно определить уровень фактических знаний, которые могут быть применены на практике, а не знание лишь формулировок законов и правил.

Чтобы учет знаний отвечал всем этим требованиям, необходимо проводить следующие его виды:

а) текущий, который проводится непосредственно в процессе занятий и является основным видом учета по предмету. Цель текущего учета – установить повседневную степень успеваемости каждого ученика и всего класса в целом и на этой основе получить материал для оперативного выбора наиболее рациональных в данном случае методов проведения учебной работы

б) периодический, необходимый для проверки глубины и прочности усвоения пройденного в течение четверти материала.

в) итоговый, который определяет, насколько прочно учащиеся овладели всем материалом, изложенным в учебной программе, умеют ли они применять на практике полученные знания.

Для того, чтобы учет правильно отражал состояние учебной работы, необходимо, чтобы он включал все перечисленные виды работы. Нельзя недооценивать значение письменных контрольных работ по черчению, которые необходимо проводить в каждой четверти, иначе деление курса обучения на учебные четверти превращается в пустую формальность и не используется как средство повышения успеваемости учащихся. Если в конце четверти не проводить учет знаний в виде контрольной

работы или устного опроса, то учащиеся и не замечают, что четверть кончается. Правильно проведенная контрольная работа – серьезное средство повышения успеваемости учащихся.

Контрольные работы способствуют более объективному учету фактических знаний учащихся. Они требуют тщательной подготовки и, следовательно, повторения материала изученного в учебной четверти. То, что в каждой четверти и в заключение изучения курса учащихся ожидает достаточно сложное контрольное задание, способствует более внимательному их отношению к изучению предмета.

Контрольная работа, как правило, способствует выработке у учащихся навыков быстрого выполнения чертежей, потому что она выполняется в течение строго определенного времени.

Также контрольная работа служит и для самоконтроля преподавателя. Проверка контрольных работ учащихся дает преподавателю возможность проанализировать свои ошибки и наметить пути их исправления. Например, если будут обнаружены массовые ошибки учащихся в неправильном расположении видов, в обозначении разрезов и сечений, в нанесении размеров на чертеже, значит, в этих вопросах есть недоработки и у самого преподавателя. Контрольные работы по черчению в конце каждой четверти дают положительные результаты.

При проведении контрольной работы необходимо: а) выдать всем учащимся разные задания, но примерно одинаковой сложности; б) ставить в заданиях практические задачи, чтобы выявить степень знаний учащихся и способность применять эти знания на практике.

Иногда в учебном процессе отсутствует итоговый учет успеваемости, который способствует выявлению умения учащихся применять на практике теоретические знания.

Текущий учет успеваемости состоит из оценки классных и домашних заданий, содержания конспектов учащихся и составления их тетрадей, устных ответов учащихся при беседах по проверенному чертежу, так и при фронтальном опросе учащихся по теоретическому материалу.

Итоговая оценка учащихся должна быть суммарной, включающей перечисленные виды текущего учета и данные периодического учета успеваемости.

Нельзя недооценивать фронтальный устный опрос учащихся лица как метод не только выявления знаний, но главным образом способ повторения, углубления и закрепления учебного материала. Однако учащиеся только тогда будут знать теоретический материал и готовить его к очередному уроку, когда преподаватель регулярно будет проводить устный опрос учащихся по материалу предыдущих занятий. Такой опрос лучше проводить в начале занятия, ставя вопрос всей учебной группе и после небольшой паузы, данной для размышления, называть фамилию вызываемого для ответа. Для активизации внимания остальных учащихся нужно подключать для уточнения и дополнения ответов вызванного к доске других учащихся класса.

Для понимания своих ошибок, ученикам необходимо при выставлении оценки сообщать их им и указывать, почему дается именно такая оценка, каковы положительные и отрицательные стороны ответа, над чем следует работать, чтобы добиться более высокой оценки.

УДК 681.327.1

### **Методика обучения чтению чертежа**

Киселева Н.Л.

Белорусский национальный технический университет

Обучение умению чтения чертежа является важнейшим элементом инженерной подготовки студентов. При этом проявляются в той или иной степени все знания, которые имеет студент, и становятся ясными пробелы в его знаниях начертательной геометрии, проекционного черчения, условностей и упрощений, допускаемых стандартами. Не останавливаясь на чтении чертежей простых геометрических тел и простых деталей, где важнейшим является умение разбить предмет на отдельные простые геометрические тела, остановимся на чтении чертежей сборочных единиц.

Чтобы прочитать сборочный чертеж необходимо знать не только начертательную геометрию и техническое черчение, но и обладать некоторым знанием конструкций, знать работу узлов и взаимодействие механизмов. Необходимо знать способы взаимодействия деталей и узлов, их конструктивные особенности, то есть, быть технически грамотным с точки зрения механики, де-

талей машин и других разделов институтского курса, иметь навыки в комплексном применении ГОСТ ЕСКД, в использовании справочной литературы и технике черчения.

На первых курсах этих знаний явно недостаточно, не говоря уже о том, что каждый студент имеет пробелы в знании курса начертательной геометрии и черчения. Это вызывает значительные трудности при чтении сборочных чертежей и при детализовании. С этой целью при чтении сборочных чертежей нужно построить обучение таким образом, чтобы студент имел возможность познакомиться с несколькими сборочными единицами, а вычертить несколько рабочих чертежей деталей (четыре, пять) одной сборочной единицы, так как имеет место явный дефицит времени. Это можно сделать, используя групповой метод работы (бригадный метод).

Он заключается в следующем: группа делится на подгруппы по четыре, пять человек, каждый студент получает одну сборочную единицу, которая не включает в себя все наиболее употребительные виды соединений, поэтому студент должен прочитать с помощью преподавателя свой сборочный чертеж и чертежи остальных членов подгруппы. Таким образом, он имеет возможность ознакомиться с наибольшим количеством видов соединений, знать их конструктивные особенности, назначение и принцип работы, изучить приведенные на чертеже изображения и их взаимосвязь, выявить все крепежные детали, используемые условности и упрощения, установить порядок сборки и разработки изделия. Студент должен уметь показать на сборочных чертежах членов подгруппы четыре, пять деталей, из которых состоит сборочная единица, вычертить рабочие чертежи четырех, пяти деталей своей сборочной единицы. В результате выполнения рабочих чертежей (детализования) уточняются форма и размеры деталей сборочной единицы, указываются их качественные характеристики. Чертежи, получаемые при этом, являются исходным документом для воплощения заложенной конструктором идеи в металл. Процесс детализования развивает техническое мышление и закрепляет навыки в чтении чертежей и в их выполнении. Рабочий чертеж рекомендуется выполнять в следующем порядке:

1. Найти деталь на всех изображениях чертежа сборочной единицы, изучить ее внешнюю и внутреннюю форму.

2. Выбрать главное изображение детали в соответствии с требованиями ГОСТ.
3. Определить количество изображений (видов, разрезов, сечений, выносных элементов) достаточных для полного представления формы и размеров детали.
4. Выбрать масштаб изображения и в соответствии с ним определить формат, необходимый для выполнения чертежа.
5. Приступить к выполнению изображений детали.

Каждый член подгруппы должен проверить правильность выполнения чертежа своего сокурсника, правильность выбора главного изображения и определения количества изображений, конструктивное решение, компоновку чертежа, нанесение размеров в соответствии с ГОСТ. При возникновении вопросов в ходе выполнения задания студенты подгруппы решают их коллективно, а преподаватель наблюдает за окончательным решением и если есть необходимость - вносит свои коррективы.

После того как студент выполнил задание, согласовал правильность выполнения его с членами подгруппы, поставил на чертежах свою подпись в основной надписи, и там же расписались все члены подгруппы, работы представляются преподавателю для утверждения. Преподаватель осуществляет проверку выполненных заданий в присутствии всей подгруппы с разбором допущенных ошибок и после их устранения утверждает чертеж. В основной надписи должны быть подписи всех членов подгруппы и преподавателя. Таким образом, студенты знакомятся с чертежами всех членов подгруппы.

Этот метод проведения занятий имеет ряд преимуществ перед другими методами: 1) позволяет оптимизировать содержание учебного задания за счет того, что студенты знакомятся с работами своих коллег по подгруппе и получают больше информации по изучаемой теме; 2) описанная форма проведения занятий обеспечивает более глубокое изучение ГОСТ ЕСКД, так как каждый студент выступает в роли нормоконтроля; 3) развивает навыки работы в коллективе, повышает чувство ответственности за результаты своего труда и труда членов подгруппы; 4) Приближает учебные задачи к профессиональным; 5) создает творческую атмосферу в группе; 6) способствует активному развитию технического мышления будущих инженеров.



**Особенности выполнения лабораторной работы  
по синтезу принципиальных схем в AutoCAD**

Гиль С.В.

Белорусский национальный технический университет

Реальность современного производства такова, что новейшие компьютерные технологии внедряются достаточно быстро и широко используются, начиная от проектирования до диагностики готовых узлов и агрегатов. И, следовательно, если ставится задача повышения качества подготовки будущих конкурентоспособных в условиях рынка труда специалистов-инженеров, то уже на стадии обучения в вузе необходимо закладывать первые навыки конструирования и автоматизированного проектирования у студентов и создавать такой фундамент знаний, который бы позволил в будущем на производстве молодому специалисту не только демонстрировать свободное владение освоенными программными продуктами, но и стремиться увеличить свой творческий и интеллектуальный потенциал, изучая новые компьютерные технологии.

Для этого необходимо придерживаться традиционных, классических методов в обучении начертательной геометрии и проекционного черчения, так как они, способствуя развитию пространственного представления и воображения, конструктивно-геометрического мышления на основе графических моделей пространственных форм, закладывают также фундаментальные основы понятия "чертёж", как средства выражения мысли конструктора, с одной стороны, и в то же время производственного документа. В соответствии с требованиями времени знакомить и обучать студентов новейшим компьютерным технологиям, САПР и последним разработкам кафедры в этой области необходимо на этапе освоения машиностроительного черчения. При этом важно, чтобы процесс освоения САПР и создания чертежей на компьютере был не механическим, а осознанным, и, следовательно, выполнение индивидуальных заданий надо организовать как на бумаге, так и с применением ЭВМ.

Студенты машиностроительных специальностей в соответствии с учебными программами в четвёртом семестре выполняют чертёж по специальности, состоящий из чертежей принципиальных гидropневмосхем. Процесс формирования знаний по

теме включает два этапа. На первом – перед выполнением графического задания "вручную" студенты изучают краткие сведения о принципах действия гидропневмоаппаратов, входящих в состав схем, правила выполнения схем и оформления чертежа задания. На основании личного контакта с преподавателем, познавая логику формирования чертежа, развивая на практике умения и навыки графической деятельности, студент учится читать чертежи, что и является целью курса "Инженерная графика".

На втором этапе выполняется лабораторная работа "Синтез принципиальных схем на ПЭВМ" по разделу "Компьютерная графика" с использованием новейшей современной системы конструирования SchematiCS, которая функционирует на базе AutoCAD 2004/2005, интегрированной в учебный процесс кафедры "Инженерная графика маш. профиля". Последние версии AutoCAD 2004/2005 обладают рядом достоинств и преимуществ, которые повышают качество выполненных чертежей:

- более целесообразный интерфейс, когда запускается AutoCAD и создаётся новый чертёж;
- новые команды для создания объектов;
- дополнительные возможности вставки блоков и выполнения штриховки;
- создание нумерованных и маркированных списков;
- многочисленные усовершенствования перекрёстных ссылок;
- автоматическая проверка соответствия чертежа стандартам;
- автоматическое сжатие файлов, благодаря которому размеры файлов DWG уменьшились на 10-50%;
- новые средства обеспечения безопасности чертежей при передаче их посредством Internet.

Лабораторная работа состоит из трёх уровней: на первом уровне студенты, используя команды рисования и редактирования AutoCAD выполняют графические объекты, соответствующие конструктивным элементам схем с необходимыми текстовыми надписями, применяя встроенные в AutoCAD средства и приёмы точного позиционирования и описанные ранее последние достижения системы. На втором уровне выполнения лабораторной работы студенты используют систему конструирования

ния SchematiCS. Она обладает рядом существенных преимуществ:

- удобный интерфейс, максимально использующий стандартные инструменты AutoCAD;
- удобный навигатор по модели схемы;
- интеллектуальные инструменты, способные распознавать в обычной схеме AutoCAD объекты гидropневмосистем, электротехники, технологии и т.д.

На втором уровне работы схемы, выполненные в AutoCAD, студенты преобразуют в формат SchematiCS с помощью Мастера распознавания схем, встроенного в данную систему, в ручном, полуавтоматическом или автоматическом режиме. Процесс преобразования заключается в следующем: текст контакты и связи определяются на чертеже и заменяются примитивами такими как, графический фрейм, слот, стык и связь. Графический фрейм – это графическое изображение элемента. Помимо постоянной графической части (собственно изображения), графический фрейм содержит переменную часть (слот), куда помещается информация, вычисляемая или вводимая при активации фрейма, о тех или иных параметрах элемента (позиция, функциональное обозначение, маркировка связи и т.д.), а также стыки (стыковочные узлы), описывающие контакты элемента для подключения связей.

В режиме редактирования схем система конструирования SchematiCS позволяет удалять элементы и связи, просматривать и редактировать параметры элемента, ретранслировать чертёж, т. е. распознавать его элементы, а также отсоединять стык от связи.

На третьем уровне выполнения лабораторной работы студенты используют возможности системы SchematiCS создавать перечень элементов принципиальной схемы непосредственно в формате Excel. Выполненные схемы с техническими данными можно помещать в базу как типовые и впоследствии использовать при автоматизированном проектировании или передавать в другие программы для дальнейшей работы и документирования.

При таком методологическом подходе к освоению темы "Синтез принципиальных гидropневмосхем" устанавливается связь между процессами чтения и формирования чертежей "вручную" и с применением компьютера. Это позволяет не

только закрепить знания, полученные при изучении теоретического курса, но и осознанно, не механически выполнить лабораторную работу на ЭВМ. С внедрением новых компьютерных технологий обучения по данной теме студенты получают возможность:

- расширить свои знания по AutoCAD;
- ознакомиться с принципами геометрического конструирования и графического моделирования как основы машинной графики и САПР;
- развить навыки анализа и синтеза реальных гидропневмосистем;
- применить полученные знания, умения и навыки при изучении дисциплин на специальных кафедрах;
- освоить новейшие технологии проектирования объектов, используемые на производстве.

На кафедре "Инженерная графика маш. профиля" в сотрудничестве с кафедрой "Гидропневмоавтоматика и гидропневмопривод" БНТУ разработано учебно-методическое пособие "Элементы САПР гидропневмосистем", которое апробировано и внедрено в учебный процесс. Помимо теоретического курса по данной теме в пособии приведен дидактический и справочный материал с учётом изменившихся требований соответствующих стандартов, а также включены варианты тридцати индивидуальных заданий, правила и образцы их выполнения и графического оформления. Здесь же представлены методические указания к выполнению графического индивидуального задания и лабораторной работы по синтезу принципиальных гидропневмосхем. В качестве вспомогательного средства на кафедре "Инженерная графика маш. профиля" разработан учебный стенд, отражающий основные этапы синтеза схем, а также правила оформления индивидуального задания.

Предлагаемый методологический подход к выполнению данного индивидуального задания особенно важен для будущих инженеров-конструкторов различного профиля, так как ещё на первых курсах позволяет получить им первые навыки конструирования и автоматизированного проектирования гидропневмосистем, для которых синтез принципиальной схемы является основополагающим начальным этапом.

**Эксплуатация  
автомобильного  
транспорта**

**Исследование конфликтных ситуаций при взаимодействии  
«поворотный транспорт – пешеход»**

Кот Е.Н.

Белорусский национальный технический университет

Под конфликтной понимается такая дорожно-транспортная ситуация, при которой в последующий момент времени (менее 1с) произойдет столкновение или иная коллизия, если хотя бы один из участников не предпримет экстренные уклончивые действия. В исследуемом конфликте коллизией является наезд на пешехода.

По степени опасности конфликтные ситуации разделяются на легкие, средние и тяжелые. Применительно к конфликту "поворотный транспорт – пешеход" эта классификация выглядит следующим образом:

1. *легкая* – водитель не уступил дорогу пешеходу, заставив его в последний момент (менее 1с) резко остановиться или ускориться, либо автомобиль резко остановился перед конфликтной точкой;

2. *средняя* – водитель не уступил дорогу пешеходу, заставив его в самый последний момент (менее 0,5с) резко отпрыгнуть из конфликтной точки назад, вперед или вбок, либо автомобиль резко остановился в самый последний момент уже в конфликтной точке;

3. *тяжелая* – водитель не уступил дорогу пешеходу, в результате чего произошел контакт транспортного средства с пешеходом, не повлекший, однако, расстройства здоровья.

Если водитель, конфликтуя с пешеходом, заблаговременно уступил ему дорогу, либо пешеход заранее отказался от приоритета, то такая ситуация квалифицируется не как конфликтная, а как *потенциально-опасная*.

Поворот направо по сигналу основного светофора характеризуется коэффициентом нарушений  $\eta_n = 0,21 \dots 0,28$ , при этом меньшее значение получено на перекрестках г. Минска. При движении направо по сигналу дополнительной секции светофора коэффициент нарушений возрастает более чем на 28% и достигает значений 0,36...0,41. Различия являются

статистически значимыми с уровнем значимости 0,05 (статистика нормального распределения  $U=2,82$  при  $U_{кр}=1,64$ ).

Отнесение пешеходного перехода от параллельной проезжей части увеличивает размеры зоны "накопителя" перед пешеходным переходом, улучшает условия его заполнения поворотными транспортными средствами, повышает пропускную способность правой полосы в прямом направлении. Однако при этом увеличиваются размеры перекрестка между противоположными "стоп"-линиями, и требуется соответствующее увеличение длительности переходных интервалов светофорного регулирования для обеспечения безопасности движения. В результате происходит снижение пропускной способности узла в целом и повышение уровня экономических и экологических потерь. Кроме того, удаление перехода позволяет поворотным транспортным средствам развивать на подходе к переходу более высокие скорости, при этом снижается готовность водителей остановиться для пропуска пешеходов и, как следствие, возрастает значение коэффициента  $\eta_n$ . Поэтому перед переходами, отнесенными от параллельной проезжей части на расстояние 30 м или более, для обеспечения безопасности пешеходов устанавливают выходные светофоры и организуют дополнительную "стоп"-линию. Остановки и задержки транспортных средств перед такой "стоп"-линией в связи с жестким режимом регулирования происходят независимо от наличия пешеходов на переходе.

Информационные секции и информационные таблички оказались понятными водителям и были положительно оценены ими, что подтверждено результатами социологического исследования. Положительные результаты подтвердились при исследовании конфликтных ситуаций на регулируемых перекрестках г. Минска и г. Гродно. После установки новых технических средств значения коэффициента нарушений  $\eta_n$  снизились до уровня 0,19...0,26. Различия между значениями  $\eta_n$ , полученными для условий регулирования только сигналом правой дополнительной секции светофора и таким же сигналом, дополненным информационной секцией или информационной табличкой, являются статистически значимыми с уровнем значимости 0,05 ( $U$ -статистика= 3,91).

Информационные секции и информационные таблички включены в Государственный стандарт Республики Беларусь СТБ 1300-2002 "Технические средства организации дорожного движения. Правила применения" и новую редакцию Правил дорожного движения Республик Беларусь, введенных в действие с 1.06.2003 г. По состоянию на 1.01.2005 общее количество установленных информационных секций и табличек в городах Республики Беларусь превысило 65 шт. Применение смешанных схем светофорного регулирования правоповоротного движения на перекрестках уже обеспечивает уменьшение экономических и экологических потерь дорожного движения на сумму более 1,1 млрд. белорусских рублей (более 500 тыс.\$) ежегодно. При этом на пешеходных переходах, оборудованных новыми техническими средствами, за весь период исследований с 1991 г. зафиксировано только одно ДТП с участием правоповоротного транспортного средства и пешехода.

В настоящее время выполняется анализ существующих схем светофорного регулирования на перекрестках с трехфазным или многофазным регулированием (в Республике Беларусь количество таких перекрестков превышает 200) для более широкого применения смешанных схем светофорного регулирования правоповоротных потоков с установкой информационных секций или табличек. Ожидаемый годовой экономический эффект от снижения задержек и остановок транспортных средств в целом для Республики Беларусь превысит 4 млрд. белорусских рублей.

Результаты исследований конфликтных ситуаций свидетельствуют о высокой опасности для пешеходов, исходящей от левоповоротных транспортных средств, движущихся по сигналу левой дополнительной секции светофора в конфликтном режиме с пешеходами ( $\eta_n=0,75$ ). Поэтому планируется внесение изменений в нормативные документы с целью обеспечить движение левоповоротных транспортных потоков, движущихся по сигналу левой дополнительной секции светофора, только в бесконфликтном режиме, в т.ч. и без конфликта с пешеходами.



## **Влияние дорожных условий на безопасность движения**

Леонович И.И.

Белорусский национальный технический университет

Республика Беларусь имеет развитую сеть автомобильных дорог. По состоянию на 1 января 2005 года протяженность дорог общего пользования составила 81471 км, в том числе 15441 км (19 %) – республиканские и 66030 км (81 %) – местные или более 390 км на 1000 кв. км и территории 8,3 км на 1000 жителей. С твердым покрытием протяженность дорог составила около 87 % от общего их количества, среди которых усовершенствованные капитальные и облегченные занимали доминирующее положение (55,7 %) и почти третья часть (31,4 %) – дороги с переходными типами покрытий; грунтовые дороги составили 12,9 % (10490 км).

По территории республики проходят важнейшие международные маршруты – Крицкие транспортные коридоры: II (граница Польши – Брест – Минск – граница Российской Федерации); IX (граница Российской Федерации – Витебск – Могилев – Гомель – граница Украины); IX В (граница Литвы – Минск – Гомель – граница Украины). Общая их протяженность около 1,5 тыс. км.

Кроме дорог общего пользования важную роль в обеспечении транспортных коммуникаций выполняют внутрихозяйственные, городские, рекреационные и другие дороги.

Развитие сети автомобильных дорог – процесс исторический и непрерывный. Он охватывает весь период автомобилизации и его нельзя считать законченным. Рост городов, строительство промышленных объектов, развитие агропромышленного комплекса, внутригосударственная и межгосударственная экономическая интеграция, приводят к необходимости строительства новых дорог, реконструкции и капитального ремонта уже существующих. Новые требования к дорогам предъявляет также современный автомобильный транспорт, для которого характерными являются постоянно возрастающие скорости и интенсивность движения, общий вес автомобильных поездов, габариты и осевые нагрузки автомобилей.

В нашей республике планомерно проводятся большие работы по развитию, модернизации и повышению транспортно-эксплуатационных качеств автомобильных дорог. Строятся обходы вокруг крупных населенных пунктов. В пятидесятикилометровой зоне вокруг Минска реконструируются главные автомобильные дороги с целью повышения их пропускной способности. Автодорами и Облдорстроями систематически ведутся работы по поддержанию в требуемом состоянии всех автомобильных дорог общего пользования. Значительные работы по улучшению качества дорог и улиц проводятся в Минске, в областных и районных центрах Беларуси. Некоторые строительные и ремонтные работы ведутся и на ведомственных автомобильных дорогах.

На фоне общих положительных тенденций развития дорожного хозяйства в нашей республике нельзя не учитывать и некоторые недостатки. По данным департамента «Белавтодор» на начало 2005 года на 75 % республиканских и 66,7 % местных автомобильных дорог требовалось проведение капитального ремонта. На 34 % республиканских дорог не обеспечены требования по ровности покрытия, а 41 % дорог имеют недостаточную прочность и значительную эксплуатационную дефектность. Только 440 км дорог способны пропускать транспортные средства с осевыми нагрузками 11, 5 тонн, а остальные 7056 км – 10 тонн и 1644 км – не более 6 тонн.

Фактические транспортные нагрузки превышают установленные ранее нормативы, а в результате на магистральных дорогах возникла колеиность. Протяженность участков, подверженных колеобразованию, достигла 1100 км.

Некоторые недостатки в транспортно-эксплуатационном состоянии дорог и постоянно возрастающая интенсивность движения, а также достаточно частые нарушения правил дорожного движения водителями и пешеходами приводят к возникновению дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Как показывает анализ, за период 1985-2005 гг. в среднем ежегодно в Беларуси происходит 7381 ДТП, в т.ч. со смертельным исходом 1692 (22,9 %), количество погибших 1718 и раненых 7483 человек, коэффициент тяжести ДТП – 18,7.

Причины возникновения ДТП различные, главными можно считать нарушения правил дорожного движения пешеходами и водителями транспортных средств; неисправность транспортных средств; отсутствие должной требовательности со стороны хозяйственных структур, деятельность которых связана с функционированием транспортного комплекса страны, недостатки системы управления движением и др. Однако, и дорожный фактор в обеспечении безопасности движения не является второстепенным [1]. В 2005 году на дорогах общего пользования произошло 3516 ДТП, погибло 1251 человек и 3589 ранено. По сравнению с предыдущим годом увеличение соответственно на 5,9 %, 1,0 % и 7,7 % [2]. Многие ДТП происходят из-за недостаточной ширины проезжей части, отсутствия твердого покрытия на обочинах, малых радиусов горизонтальных и вертикальных кривых и как следствие ограниченной видимости, несоответствия нормативным требованиям шероховатости, ровности, освещенности дорожного интерьера, уровня инженерного обустройства дорог, мостов и путепроводов. Под влиянием погодно-климатических факторов транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и условия движения транспортных потоков могут непредсказуемо меняться, и это повышает опасность движения на дорогах.

По погодным условиям ДТП за 2004 год распределились следующим образом: пасмурно – 50 %; ясно – 27 %; дождь – 12 %; снегопад – 8; прочее – 4 %.

Распределение ДТП по элементам дорог не имеет строгой закономерности, хотя просматриваются некоторые характерные места их концентрации. В первую очередь это нерегулируемые перекрестки, мосты и путепроводы, остановки общественного транспорта и др.

По состоянию проезжей части соответственно: сухое – 66 %; мокрое – 23 %; гололеда – 0,8 %; снежный накат – 2 %; противогололедный накат при гололеде  $\approx 1$  %; противогололедный материал при снежном накате – 4 %; рыхлый или увлажненный снег – 2 %; прочее – около 1,5 %.

Сопутствующими дорожными причинами возникновения ДТП являлись главным образом при мокром покрытии и гололеде. Из-за неудовлетворительного состояния

автомобильных дорог в 2004 году произошло 34 ДТП. 50 % из них по причине скользкости покрытия, которая было характерна для зимнего периода (с ноября по февраль месяц). Общее же количество ДТП для этих месяцев не является доминирующим.

По элементам плана и профиля дорог в 2004 году ДТП распределились следующим образом: горизонтальные прямые участки – 81 %; кривые в плане – 10 %; кривые в профиле – 1 %; спуски – 3 %; подъемы – 2 %; прочие элементы – 3 %. По данным департамента «Белавтодор» на начало 2005 года на дорогах общего пользования имелось 737 участков, на которых произошло 3676 ДТП (дороги 1-3 категории – за 3 года; 4-5 категории – за 5 лет), погибло 1361 человек и ранено 3722 человек. Протяженность этих участков составляла около 970 км, что соответствует 1,19 % от протяженности автомобильных дорог общего пользования. На такие участки в первую очередь обращается внимание дорожных организаций. В 2000 г. на 65 участков концентрации ДТП были выполнены работы по улучшению условий движения, в 2001 г. – на 102 участка, в 2002 г. – на 98 участков, в 2003 г. – на 215 участков, 2004 г. – 225 участках. Работы в этом направлении продолжаются и в 2005 году. [3]

С учетом современного состояния аварийности на автомобильных дорогах, перспектив развития дорожно-транспортного комплекса можно сделать следующие выводы.

1. Автомобильный парк в Беларуси будет увеличиваться, а, следовательно, будет возрастать и интенсивность движения на автомобильных дорогах. Эти обстоятельства выдвигают в число важнейших проблему дальнейшего совершенствования дорожных условий и организации движения.

2. Развитие сети автомобильных дорог связано с развитием межрегиональных, международных транспортных связей, уровнем экономического развития страны. В ближайшем будущем в целях транспортных коммуникаций будет использоваться существующая сеть автомобильных дорог общего пользования. Повышение транспортно-эксплуатационных характеристик и в особенности, магистральных дорог, воспринимающих основную тяжесть транспортных потоков, является задачей первостепенной важности.

3. При проведении ремонта и реконструкции дорог приоритетными должны быть меры по устранению мест концентрации ДТП, а также такие мероприятия, реализация которых позволила снизить вероятность наезда на пешеходов, лобовых столкновений транспортных средств, в целом создать условия необходимые для безопасного движения современного автомобильного транспорта.

4. Важными техническими средствами, повышающими безопасность на дорогах, является светофорная сигнализация, цветные шумовые полосы, знаки переменной информации, цветная разметка пешеходных переходов, световозвращающие маркеры, искусственное освещение пешеходных переходов, ограждение проезжей части и др. Опыт применения их на белорусских дорогах полностью себя оправдывает.

5. Повышение безопасности движения на дорогах неразрывно связано с наличием и оптимальной структурой дорожного сервиса, включающего объекты, обеспечивающие участников движения, транспортные средства, грузовые транспортные перевозки. Вопросам создания дорожного сервиса в Беларуси в последние годы уделяется большое внимание, но актуальность этого направления остается и на перспективу.

### **Литература**

1. Лытин, А.Н., Яковлев, В.А. Анализ аварийности Республике Беларусь / Сборник докладов юбилейной научно-практической конференции Межправительственного Совета Дорожников «Улучшение эксплуатационного состояния автомобильных дорог и повышение безопасности дорожного движения». М. 2005. – С. 31-34.
2. Аналитический сборник. Сведения о дорожно-транспортных происшествиях на автомобильных дорогах общего пользования Республики Беларусь в 2005 году. РУП «Компьютерный центр». Мн. – 2005. – 127 с.
3. Яковлев, А.В. Эксплуатационное состояние автомобильных дорог в Республике Беларусь. Безопасность дорожного движения / Сборник докладов юбилейной научно-практической конференции Межправительственного Совета Дорожников «Улучшение эксплуатационного состояния автомобильных дорог и повышение безопасности дорожного движения». М. 2005. – С. 44-48.

## Разработка методики применения переменных указателей скорости

Навой Д.В., Рожанский Д.В.  
УГАИ ГУВД Мингорисполкома, БНТУ

Процесс движения транспортного потока по перегону носит нестационарный стохастический характер. Существуют различные подходы к описанию процесса движения транспортного потока на перегоне, однако традиционно используются линейные модели. Предлагается модель функционирования перегона, включающая в себя регулируемый перекресток, перегон и следующий регулируемый перекресток. Предложенная модель, состоит из трех участков: рассасывания очереди перед стоп-линией; стабильного движения транспортного потока по перегону; взаимодействия со следующим светофорным объектом.

Существует несколько подходов к описанию движения транспортного потока на перегоне. Задается длительность цикла, а время проезда  $\tau$  любого автомобиля между двумя соседними регулируемы перекрестками (исключая задержку у перекрестка) принимается имеющим нормальное

распределение с плотностью: 
$$f(\tau) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} e^{-\frac{(\tau-\mu)^2}{2\sigma^2}},$$

где  $\mu$  и  $\sigma^2$  – среднее значение и дисперсия времени проезда автомобилем заданного участка дороги. Если  $\rho_d(t)$  – интенсивность отправлений на входном пересечении, а  $\rho_a(t)$  – интенсивность потока прибытий на выходном пересечении, то с учетом уравнения получаем:

$$\rho_a(t) = \int_0^{\infty} \rho_d(t-\tau) \cdot f(\tau) d\tau = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_0^{\infty} \rho_d(t-\tau) \cdot e^{-\frac{(\tau-\mu)^2}{2\sigma^2}} d\tau.$$

Кривая интенсивностей отправлений  $\rho_d(t)$  разбивается на интервалы времени  $\Delta t$  и представляется ступенчатой функцией. Если  $\rho_i$  - величина  $\rho_d(t)$  за время  $i\Delta t \leq t < (i+1)\Delta t$ , то сместив время на  $\mu$ , уравнение переписывается следующим образом:

$$\rho_a(t + \mu) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \sum_{i=-\infty}^{\infty} \int_{i\Delta t}^{(i+1)\Delta t} \rho_i \cdot e^{-\frac{(t-i\Delta t)^2}{2\sigma^2}} dz = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \rho_i \left[ P\left(\frac{(i+1)\Delta t - t}{\sigma}\right) - P\left(\frac{i\Delta t - t}{\sigma}\right) \right],$$

где  $P(t)$  – вероятность, определяемая, как

$$P(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{z^2}{2}} dz.$$

Предлагается представить нормальное распределение времени проезда автомобилем перегона с плотностью, учитывающей среднее значение времени проезда перегона и дисперсию транспортного потока, как функцию длины участка дороги, то это позволит более точно определить передний фронт размытой волны транспортного потока при подходе к следующему перекрестку и эффективный сдвиг включения зеленого сигнала. В отличие от определения линейности движения переднего фронта транспортного потока в классических моделях, зависимость времени проезда транспортного потока и дисперсии от длины перегона позволяет внести характер нелинейности в рассматриваемый процесс. Условием пропуски транспортного потока на следующем регулируемом пересечении является нахождение кривой интенсивности в границах разрешающего сигнала, с учетом потерянного времени на рассасывание очереди внепачковых автомобилей:

$$(t_{кр} + t_n) \leq f(\tau) \leq C, \quad \text{где,} \quad \text{ткр.}$$

продолжительность горения запрещающего сигнала,  $t_n$  – потерянное время,  $C$  – продолжительность цикла. Длительность зеленого сигнала  $T_n = C - (t_{кр} + t_n)$ . Тогда импульс интенсивности

на следующей стог-линии: 
$$\rho_a(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_{t_{кр} + t_n}^C \rho_i \cdot e^{-\frac{(\tau - \mu)^2}{2\sigma^2}} d\tau.$$

Использование принципа нелинейности поведения транспортного потока в предложенной модели функционирования перегона на всех трех участках позволяет более точно описать алгоритмы магистрального управления транспортными потоками и определить управляющие воздействия путем уточненной корректировки планов координации и схем организации дорожного движения на регулируемых объектах в составе автоматизированных систем управления дорожным движением.

## Критерии оценки информативности дорожных знаков

Шилов Д.А., Рожанский Д.В.

Академия МВД Республики Беларусь, БНТУ

Деятельность оператора по управлению, к которой можно отнести и деятельность водителя, начинается с приема информации об объектах управления. Восприятие дорожных знаков можно разбить на стадии: обнаружение, различение и опознание.

Обнаружение дорожных знаков – стадия восприятия, на которой водитель выделяет объект из фона, но еще не может судить о его форме и признаках, т.е. отнести его конкретно к группе знаков. Различение – стадия восприятия, на которой водитель способен выделять детали дорожных знаков и отнести его к группе знаков, или способен раздельно воспринимать два объекта расположенных рядом (два знака) и далее отнести их к группам дорожных знаков. И последняя стадия – опознания – восприятие, на которой наблюдатель выделяет существенные признаки дорожных знаков и происходит его чтение.

Длительность этих стадий зависит от сложности воспринимаемого сигнала. Знание последовательности различения признаков сигнала и динамики становления его образа важно для решения таких инженерно-психологических задач по оптимальному представлению информации оператору (водителю) в процессе управления объектом.

Процесс опознания происходит путем последовательного «разворачивания» сложных признаков. Когда в поле зрения находится несколько объектов, их опознание начинается почти одновременно. Однако пока один из них не будет опознан с вероятностью порядка 70%, опознание остальных задерживается. Восприятие как основа процесса приема информации оператором характеризуется такими свойствами, как целостность, осмысленность, избирательность, константность.

Вероятность обнаружения дорожного знака зависит от:

1. Пространственного порога восприятия минимально допустимого размера элементов воспринимаемого объекта,



который должен быть на уровне оперативного порога - не менее 15'. Это характерно для предметов простой формы, к которым можно отнести и дорожный знак. Размеры предметов в условных величинах связаны с линейными размерами следующим отношением:

$$h = 2L \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}, \quad (1.1)$$

где  $h$  и  $\alpha$  – соответственно линейный и угловой размеры предмета,  $L$  – расстояние до предмета.

С учетом типоразмеров дорожных знаков в соответствии с СТБ 1140 – 99 “Знаки дорожные общие технические условия” по данной формуле можно определить максимальное критическое расстояние до дорожного знака, на котором его угловая величина достигает не менее 15'. Результаты расчетов указанного расстояния для дорожных знаков различных типоразмеров приведены в таблице 1.

высота знака $h$	300 мм	600 мм	700 мм	900 мм	1200 мм	1800 мм
расстояние видимости, $L_{\max}$	69 м	137 м	160 м	206 м	274 м	412 м

2. Контрастности по отношению к фону. При этом различается два вида контраста: прямой  $K_{пр}$  (предмет темнее фона) и обратный  $K_{об}$  (предмет ярче фона).

Количественно это определяется

$$K_{пр} = \frac{V_{ф} - V_{дз}}{V_{ф}}, \quad K_{об} = \frac{V_{дз} - V_{ф}}{V_{дз}}, \quad (1.2),$$

где  $V_{ф}$  – яркость фона,  $V_{дз}$  – яркость дорожного знака.

При этом оптимальная величина контраста  $0,6 \div 0,95$ .

Также необходимо знать, как контраст воспринимается в данных условиях. Для его оценки водится понятие порогового контраста, который равен:

$$K_{пор} = \frac{D_{впор}}{V_{ф}}, \quad (1.3),$$

где  $D_{впор}$  – пороговая разность яркости, т.е. минимальная разность яркости предмета и фона, впервые обнаруживаемая глазом.

Для получения оперативного порога необходимо, чтобы фактическая величина разности яркости предмета и фона была в 10-15 раз больше пороговой, т.е. для нормальной видимости величина контраста, рассчитанная по формуле (1.2) должна быть больше порогового контраста  $K_{пор}$  в 10-15 раз.

#### Различение дорожных знаков.

На данной стадии происходит отнесение того или иного знака к конкретной группе дорожных знаков, прежде всего по форме в совокупности с цветовым решением. Необходимо получить количественную оценку восприятия человеком простых геометрических форм в сочетании с цветовым оформлением. Также требуется оценить сходство геометрических параметров дорожного знака и фона, на котором происходит его восприятие. Данный критерий должен определять вероятность различения дорожного знака, прежде всего в условиях городской застройки, когда возможно совпадение проекции формы знака и элементов зданий или сооружений.

#### Восприятие информации дорожных знаков.

К выбору оценки критерия по данному этапу предполагается подойти с точки зрения теории информации, т.е. изучение и выработка количественных показателей по определению объема информации, которую несет в себе дорожный знак. С учетом пропускной способности зрительного канала водителя в различных условиях внешних воздействий в процессе управления транспортным средством необходимо определить закономерности достоверного опознания того или иного дорожного знака.

С учетом изложенного, предлагаются следующие критерии оценки информативности дорожных знаков:

1. Максимальное критическое расстояние обнаружения дорожного знака  $L_{max}$ .
2. Отношение контрастности дорожного знака  $K_{дз}$  к пороговой контрастности  $K_{пор}$ , определяемое формулой

$$K_{контр} = \frac{K_{дз}}{K_{пор}} \cdot \quad (1.4)$$

3. Вероятность различения формы и основного цвета знака  $P_{фц}$
4. Вероятность восприятия информации дорожного знака  $P_v$

**Автомобильные  
дороги**

**Погодно-климатическое районирование  
территории Республики Беларусь и учет его  
в дорожной практике**

Леонович И.И.

Белорусский национальный технический университет

Проектирование, строительство и эксплуатации автомобильных дорог тесно связаны с необходимостью учета погодно-климатических факторов. Данные о климате страны систематически накапливаются на метеорологических станциях, обобщаются в виде таблиц, карт, краткосрочных и долгосрочных прогнозов. Климатологи различных стран уделяют большое внимание вопросам классификации климатов. Известны и учитываются на практике классификации климатов, предложенные В.П.Кеппенем, Б.П.Алисовым, Л.С.Бергом и другими [1]. По Кеппену и Торнтвету климаты Земли подразделяются на 10 типов: тропический влажный или экваториальный; тропический переменной влажности; тропический муссонный; жаркий пустынный; средиземноморский; субтропический; умеренный морской; умеренный континентальный; бореальный; полярный.

Республика Беларусь в соответствии с этой классификацией относится к умеренно континентальному климату. В Беларуси значительный вклад в науку о климате и его районированию внесли А.И. Койгородов, М.А. Гольберг, П.А. Ковриго, Н.И. Костюкевич, А.Х. Шкляр и др. Основой формирования науки о климате в Беларуси явилась информация, которая систематически стала накапливаться начиная с XIX века. Первые метеорологические станции были созданы в Могилеве (1809), Витебске (1810), а несколько позже в Бресте и Горках (1834), Бобруйске и Свислочи (1836), Гродно (1839), Минске (1849), Быхове (1881), Чечерске (1885), Пружанах (1886), Мозыре (1889), Калинковичах, Барановичах и Гомеле (1891), Лепеле (1893), Марьиной Горке и Борисове (1894), Волковыске (1905), Полоцке и Лиде (1909), Ошмянах и Лельчицах (1909), Толочине (1914) и других местах. Эти станции и сейчас являются главнейшими в метеорологической сети Беларуси, которая стабильно функционирует под руководством Республиканского Гидрометцентра. Накопленная за многие годы информация на различных метеорологических станциях позволила составлять карты райониро-

вания территории по всем основным метеорологическим характеристика. Последние карты включены в Национальный атлас Беларуси (2002 г.). Эти карты достаточно полно раскрывают особенности климата и позволяют удовлетворять запросы многих ведомств, предприятий и организаций. Однако, для целей узковедомственных необходимо иметь данные, отражающие специфику решаемых в этих ведомствах конкретных задач. Так, появилось агротехническое, строительное, гидротехническое и дорожное климатическое районирование. Дорожно-климатическое районирование имеет ряд направлений.

С учетом глубины залегания грунтовых вод, температуры воздуха, количества осадков, испарения, глубины и скорости промерзания грунтов территория Беларуси разделена на три района: Северный, Центральный и Южный. Северный район – влажный, находится в северной части Беларуси в пределах распространения поозерского оледенения, характеризуется холмисто-моренным рельефом, относительно прохладным климатом с суммой градусо-дней мороза 614–808, средней годовой температурой воздуха 4,4–5,3 °С, годовым количеством осадков 750–860 мм и испарения до 600 мм. Центральный район – умеренно-влажный, занимает территорию распространения сожского оледенения, климат мягкий, с суммой градусо-дней мороза 387–740, средней годовой температурой 5,3–6,5 °С, с годовым количеством осадков 650–750 мм и испарения около 635 мм в год. Южный район – неустойчиво-влажный, охватывает южную часть Беларуси (Полесская низменность) в пределах распространения днепровского оледенения, характеризуется равнинным, сильно пониженным, заболоченным рельефом, климат теплый с суммой градусо-дней мороза 319–646, средней годовой температурой воздуха 6,5–7,4 °С, годовым количеством осадков 600–650 мм и испарения 650–700 мм.

Для обеспечения морозоустойчивости дорожной конструкции, возводимой на земляном полотне из сильнопучинистых и чрезмернопучинистых грунтов на территории Беларуси выделены шесть изолиний. Они определяют толщины от 70 до 95 см для капитальных дорожных одежд и от 50 до 75 – для облегченных.

По условиям снегоборьбы на автомобильных дорогах [2] выделено четыре района: к I району по снеготаносимости относится северо-восточная часть территории Беларуси (высота снежного покрова 0,6 м), ко II – центральная (0,5 м), к III – южная и

западная (0,4), IV району – юго-западная (высота снежного покрова 0,3 м).

Число случаев возникновения гололедицы за зимний период колеблется в различных районах Беларуси в пределах от 45 до 55. Территория республики по этому показателю разделяется на районы: юго-западный, южный и западный, центральный, восточный и северный.

Вместе с тем, приведенное выше районирование территории Беларуси для целей строительства и эксплуатации автомобильных дорог не в полной мере учитывает произошедшие за последнее время погодно-климатические изменения, а методики определения расчетных величин, основанные на среднеарифметических данных, не всегда позволяют установить значения искомых метеорологических характеристик заданной обеспеченности. Повысить достоверность дорожного погодно-климатического районирования значит максимально учесть происходящие в природе изменения. За последние 120 лет среднегодовая температура повысилась на 1 °С. Как отмечает академик НАН Беларуси В.Ф.Логинов [3] потепление привело к сдвигу дат устойчивого перехода температуры воздуха через 0 °С, 5 °С, 10 °С и 15 °С и увеличению суммы температур за соответствующие периоды. Это отразилось в изменениях сроков протекания различных природных процессов и периода, позволяющего поднять урожайность ряда крестоцветных кормовых культур и др. Увеличилась опасность заморозков весной в связи с более ранним началом вегетации (особенно в южных районах). Увеличилась повторяемость оттепелей и их продолжительность и максимальные температуры, летом участились и удлинились периоды с засушливыми условиями.

Значительное повышение температуры характерно в основном для зимних месяцев. Ядро зимы – период самых низких температур, в ряде лет сдвинулось на начало зимы, а в отдельные годы (1993, 1998 гг.) даже на ноябрь. Переход температуры воздуха через 0 °С в отдельные годы, в ряде районов Беларуси, отмечен в феврале, а в 1989, 1990 и 2002 гг. – в январе. В целом для зимнего периода характерными стали оттепели, увеличилась их продолжительность.

Некоторые изменения характерны и для режима увлажнения. Первая треть XX века характеризовалась большим количеством выпадающих осадков. В конце столетия средняя сумма осадков

теплого периода (IV–X) составила 98 % от нормы, а холодного периода – 101 % от нормы. Некоторые колебания по отношению к нормам наблюдаются по областям и периодам года. Последнее может сопровождаться в отдельные периоды сильными снегопадами в зимний период и засухами в летнее время.

Наметившееся потепление климата по прогнозам будет продолжаться и в дальнейшем, к середине XXI века, повышение среднегодовой температуры можно ожидать на уровне 2 °С (3 °С в холодный период года и 1°С в теплый период). Это означает, что за этот период уменьшается континентальность климата и по средним годовым температурам территория республики как бы сдвинется к югу на 250–300 км. Изменения температуры воздуха могут усилить вероятность возникновения стихийных метеорологических явлений – градов, шквальных ветров, заморозков, засух и др.

Дорожные организации Беларуси всегда отслеживают и учитывают в своей практической деятельности метеорологические и погодно-климатические факторы [4]. Дорожное районирование приведено в стандартах, руководящих документах и методических пособиях. Однако это районирование было разработано многие годы тому назад и поэтому в настоящее время не полностью согласуется с состоянием климата в нашей республике. Для подтверждения этого положения достаточно сравнить нормы климатических характеристик, которые приведены в Белорусской советской энциклопедии, изданной в 1975 г. (том 12), и в Белорусской энциклопедии, изданной в 2004 г. (том 18).

При определении глубины промерзания грунтов могут быть использованы не только данные, получаемые на метеорологических станциях, но и карты изолиний средних максимальных глубин промерзания, и коэффициентов вероятности [5]. Для определения оптимальных размеров дорожных плит целесообразно использовать среднегодовые, среднемесячные, максимальные и минимальные температуры воздуха заданной обеспеченности, а также температуры для наиболее холодных суток и наиболее холодной пятидневки, средние температуры наиболее холодного периода в рассматриваемой точке местности.

На основании изложенного можно сделать выводы.

1. Действующие в настоящее время нормативные документы по строительству, ремонту и содержанию автомобильных

дорог Беларуси не учитывают происходящие за 4 последние десятилетия изменения климата, не в полной мере согласуются со среднестатистическими данными, которые получены Республиканским гидрометеорологическим центром и приведены в официально изданных сборниках.

2. При организации дорожно-строительных работ в большей степени необходимо учитывать региональные особенности метеорологических характеристик, возможности принятия адекватных мер при возникновении экстремальных ситуаций.

3. Для каждого района, где находится центр дорожно-эксплуатационной организации, необходимо разработать и использовать погодно-климатические графики, учитывающие как общие закономерности, так и региональные особенности погодно-климатических условий. В этих графиках следует отразить микроклимат отдельных участков дорог, и ориентацию их по отношению направления преобладающих ветров и солнечной радиации.

4. Прогнозирование состояния автомобильных дорог с максимальным учетом погодно-климатических факторов позволяет обеспечить рациональное использование материальных и финансовых ресурсов при строительстве, ремонте и содержании дорог, создавать условия для бесперебойного и безопасного движения автомобильного транспорта.

### **Литература**

1. Леонович, И.И. Дорожная климатология. – Мн.: БГПА, 1995. – 188 с.
2. РД 0219.1.18 – 2000 Зимнее содержание автомобильных дорог общего пользования Республики Беларусь.
3. Логинов, В.Ф. Уязвимость и адаптация различных отраслей хозяйственной деятельности к изменяющемуся климату.
4. Леонович, И.И. Содержание и ремонт автомобильных дорог. В 2 ч. Ч. 2. Технология и организация дорожных работ. – Мн.: БНТУ, 2003.
5. Леонович, И.И., Вырко Н.П. Механика земляного полотна. – Мн.: «Наука и техника», 1975. – Мн.: БГПА, 1995. – 232 с.



**Методика оценки ущерба  
от дорожно-транспортных происшествий**

Леонович И.И.

Белорусский национальный технический университет

Гришина Н.А.

Белорусско-Российский Университет

Развитие автомобильного транспорта сопровождается не только положительными последствиями, но и некоторыми отрицательными его проявлениями. Среди них главными можно считать дорожно-транспортные происшествия (ДТП). Ущерб от ДТП значительный. На автомобильных дорогах погибает или получает увечья миллионы людей. Только в Беларуси ежегодно погибает около 1,7 тыс. чел и получают ранения свыше 7 тыс. чел. За период 1985-2005 гг. в результате ДТП погибло более 34 тыс. чел и получили ранение около 15 тыс. чел. Коэффициент тяжести ДТП в сумме составил 18,7. Наблюдается тенденция повышения удельного веса ДТП на дорогах общего пользования (в 2005 г. он составил 48,7 %). Причем коэффициент тяжести здесь значительно выше, чем на дорогах и улицах городов Беларуси.

Дорожно-транспортные происшествия, вызывающие гибель и ранения людей, потери материальных ценностей, приносят значительный социально-экономический ущерб. По зарубежным источникам эти потери могут достигать до 5% валового внутреннего продукта государства.

Экономическая оценка ущерба от ДТП необходима для принятия управленческих решений в сфере безопасности дорожного движения. Знание размеров ущерба дает возможность объективно оценить масштабы и значимость проблемы дорожно-транспортной аварийности, определить объемы финансовых, материальных ресурсов, которые необходимо и целесообразно направить на ее решение, оценивать эффективность различных мероприятий и программ, направленных на сокращение аварийности и выбирать наиболее эффективные из них. Кроме того, оценка стоимости потерь от ДТП и доведение этой информации до населения имеет и мощный социально-психологический эффект: эта информация оказывает психологическое воздействие на людей, способствует осознанию ими значения мероприятий,

направленных на предупреждение аварийности, формированию общественной поддержки этих мероприятий.

Во всех развитых странах разрабатываются различные методики, позволяющие с определенной степенью точности определять размеры ущерба от ДТП. В этих странах подобные методы являются составной частью управления обеспечением безопасности дорожного движения и используются при оценке эффективности целевых программ и мероприятий по повышению безопасности дорожного движения.

В новых экономических условиях стало невозможным использование методик и нормативов, применявшихся для определения экономических потерь от ДТП в условиях плановой экономики. Используемые в настоящее время методики учета потерь народного хозяйства от ДТП (ВСН 3 — 69, ВСН 3 — 81) были основаны на принципах плановой экономики и соответствующих закономерностях роста национального дохода. Поэтому заложенные в них закономерности и способы расчета требуют корректировки, соответствующей современным рыночным условиям труда.

Ущерб от ДТП сегодня в Беларуси либо не оценивается совсем, либо оценивается формально. В данной работе делается попытка изменить положение. С этой целью нами предлагается методика оценки потерь в результате ДТП.

На рис. 1 представлена возможная структура учета экономического ущерба от ДТП.

Самую значительную часть ущерба от ДТП составляет ущерб от гибели и ранения людей.

Величина ущерба оценивается на основе расчета прямых и косвенных народно-хозяйственных потерь.

К прямым (непосредственным) относятся потери владельцев подвижного состава автомобильного транспорта, службы эксплуатации дорог и грузоотправителей, затраты ГАИ и юридических органов на расследование дорожно-транспортных происшествий, медицинских учреждений на лечение потерпевших, предприятий, сотрудники которых стали жертвами аварий (оплата бюллетеней, выдача пособий), затраты государственных органов социального обеспечения (пенсии) и страховые выплаты.

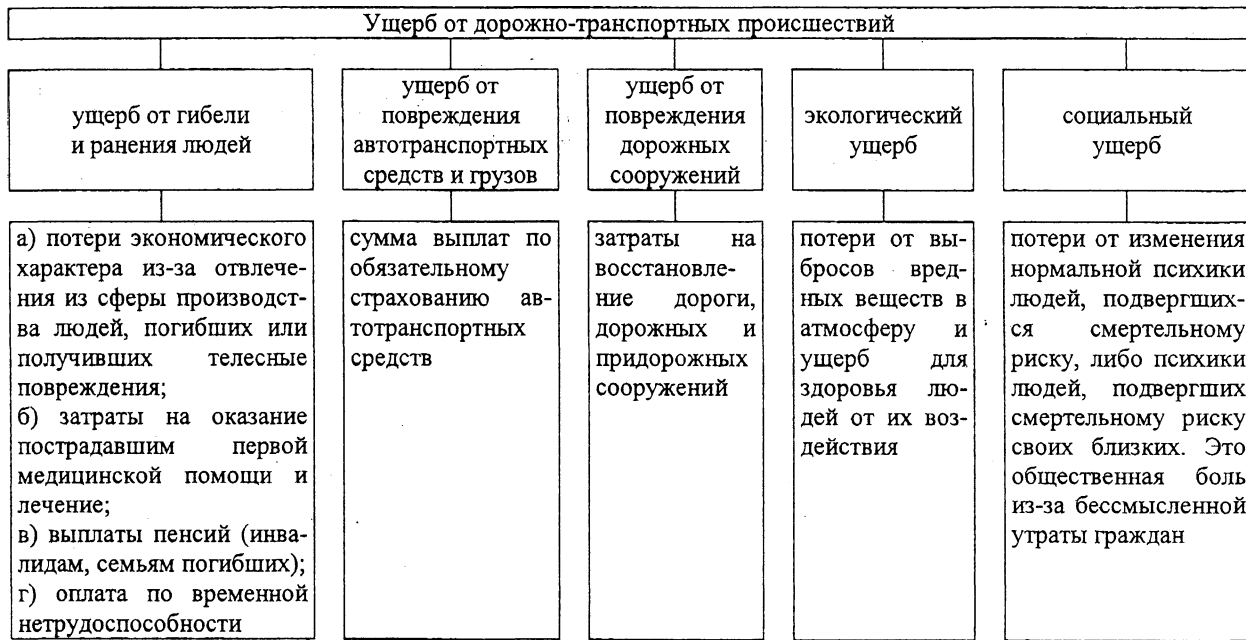


Рис. 1 – Структура ущерба от дорожно-транспортных происшествий

К косвенным относятся потери народного хозяйства вследствие временного или полного выбытия человека из сферы материального производства, нарушения производственных связей и моральные потери.

Полная оценка ущерба от гибели и ранения людей складывается из величины прямых и косвенных потерь.

Для оценки потерь из-за выбытия человека из сферы материального производства целесообразно использовать метод общих доходов. Основой этого метода является выражение в денежной форме экономической пользы, которую общество получит благодаря тому, что предотвратит гибель человека в ДТП. При таком подходе собственное потребление человека рассматривается как составная часть государственной прибыли, полученной от производственной и социально-экономической деятельности отдельных граждан.

Экономические потери в дорожном движении связаны с вынужденными задержками (снижением скорости в сравнении с нормативной), остановками и перепробегом транспорта, задержками пассажиров и пешеходов, перерасходом топлива, износом или повреждением транспортного средства из-за некачественных условий движения и т.д. Сюда же следует отнести потери прибыли участниками движения и потери в смежных отраслях из-за невыполнения принятых обязательств, например, из-за опозданий или поломок в дороге и т.д. Экономические потери характеризуются тем, что они почти равномерно распределяются на всех членов общества и маскируются, сливаясь с действительно неизбежными издержками. В результате к ним привыкают и их как бы не замечают, потому что по своим масштабам эти потери значительно превышают аварийные и экологические вместе взятые и значимо влияют на уровень нашего благосостояния.

Экологические потери — это превышающие минимально допустимые величины выбросов вредных веществ в атмосферу, загрязнение воды и почвы, воздействие шума, вибрации и электромагнитных излучений. Основными причинами повышенного уровня экологических потерь являются: перегрузки отдельных участков улично-дорожной сети; повышенный уровень маневрирования интенсивных транспортных потоков, включая торможение, остановки и разгоны; вынужденное снижение скоро-

сти и движение на неэкономичных режимах; перепробег в любых его проявлениях; неудовлетворительное техническое состояние транспортных средств и т.д. Даже, казалось бы, такие «полезные» начинания, как понижение установленного предела скорости в населенных пунктах или обязательное включение ближнего света фар в дневное время, приводят к повышенному расходу топлива и увеличению экологических (не говоря уже об экономических) потерь, что многократно перечеркивают кажущиеся «выигрыши».

В экологических потерях следует различать произведенный и потребленный вред. Одно дело, когда нагруженная городская магистраль проложена через незаселенную, например промышленную зону, и совсем другое дело, когда эта же магистраль проходит через густонаселенные жилые районы и вплотную примыкает к жилым зданиям, больницам, детским учреждениям и т.п. Очевидно, при одинаковом «произведенном» вреде «потребленный» вред во втором случае будет несопоставимо большим. Это разделение, хотя и недостаточно, но все же учитывается при определении экологических потерь. Например, стоимость ущерба от одинакового количества выбросов в атмосферу в городе оценивается почти в 2,5 раза выше, чем за городом, а при определении ущерба для здоровья человека учитывается число подвергшихся воздействию людей, удаленность застройки и т.д. [2].

Действие экологических потерь пролонгировано на довольно значительный период. В результате сегодняшнее поколение пожинает плоды экологической деятельности прошлых поколений, а плоды нашей деятельности будут пожинать потомки. Опасность заключается в том, что результаты могут оказаться непредсказуемыми, например, исчезновение озонового слоя или генетические изменения в самом человеке. Что касается денежного эквивалента, то экологические потери, по оценкам немецких ученых [3], существенно уступают экономическим, но столь же существенно превышают аварийные. Напомним, что это по сегодняшним оценкам, — завтра, как представляется, значимость экологических потерь существенно возрастет.

Под аварийными понимают все потери от аварий любых видов и любой тяжести последствий, а также судебные и иные издержки, связанные с авариями. В аварийных потерях, в отли-

чие от экономических и экологических, ущерб наносится в первую очередь отдельным участникам движения — для них именно эти потери тысячекратно важнее, чем другие виды потерь. В то же время отношение общества к аварийным потерям легко определяется по результатам, по уровню аварийности, т.е. по тому, что оно делает для снижения этих (и других) потерь, а не по тому, что оно заявляет по этому поводу.

Под социальными понимают все потери, связанные с нарушением прав и свобод человека, закононепослушанием и духовным развращением личности [1]. Они могут быть вызваны произволом, недобросовестностью или некомпетентностью властей, неподчинением участников движения установленным нормам, равно как нелепостью или невыполнимостью отдельных положений этих норм; принуждением или подстрекательством к невыполнению нормативов; бесконтрольностью или безнаказанностью отдельных лиц и т.д. Долгое время социальные потери вообще не рассматривались как факт и уж тем более как потери. Видимо, потребуется определенное время для того, чтобы осознать значимость этих потерь. Причем не только для дорожного движения, где они, как, оказалось, занимают доминирующее положение, но и для других областей социальной жизни.

Все виды потерь являются социально-экономическими и имеют две составляющие — материальную и духовную, или экономическую и социальную. Экономическая составляющая — это та часть потерь, которая имеет однозначный денежный эквивалент, например, стоимость поврежденных машин или грузов при аварии или оплата листов нетрудоспособности из-за экологических воздействий на человека и т.д.

## Литература

1. Врубель, Ю.А. Потери в дорожном движении. — Мн.: БНТУ, 2003. — 380с.
2. Автомобильные дороги: безопасность, экологические проблемы, экономика (российско-германский опыт) / Под ред. В.Н. Луканина, К.-Х. Ленца. — М.: Логос, 2002. — 624 с.
3. Дьяков, А.Б., и др. Экологическая безопасность транспортных потоков. — М.: Транспорт, 1989. — 255 с.

## Армирование асфальтобетонных покрытий как мера повышения их трещиностойкости\*

Черкас С.Н.

Белорусский национальный технический университет

Проблема применения признанной во многих странах мира технологии армирования асфальтобетонных покрытий является актуальной и для Беларуси.

Первая попытка применения ткани для армирования дорог была предпринята дорожным департаментом Южной Каролины в 1926 году. Тяжелая хлопковая ткань была уложена на основание, по которому была распределена грунтовка. Поверх ткани был разлит горячий битум и уложен слой песка. Дорожный департамент опубликовал результаты этой работы в 1935 году, представив описание восьми отдельных полевых экспериментов. Результаты показали, что до тех пор, пока ткань не разрушилась, дороги были в хорошем состоянии, и что применение ткани уменьшило трещинообразование и выкрашивание, способствовало ограничению распространения разрушений. Этот проект, по словам профессора Роберта Корнера, был, без сомнения, предшественником современных проектов с применением геосинтетических материалов для выполнения функций разделения и армирования дорожной конструкции.

В СССР геосинтетика стала использоваться более 20 лет назад, но, по известным причинам, исследования были прерваны на длительный период.

Общеизвестно, что асфальтобетон, является упруго-вязкопластичным телом, подвергается в условиях долговременной эксплуатации воздействию различных факторов. Между тем, расчет дорожных конструкций выполняется только в отношении воздействия транспортных нагрузок. Возможность образования трещин от воздействия температурных напряжений при расчете покрытия на прочность не учитывается.

---

\* Исследования студента Черкаса С.Н. по проблеме армирования асфальтобетонных покрытий ведутся под руководством профессора И.И. Леоновича

При понижении температуры происходит сжатие покрытия, возникновение в нем сквозных трещин, что преобразует монолитную конструкцию в блочную систему. Изменение температуры приводит к перемещению материала в каждом образовавшемся блоке к его центру и нарушению связей с подстилающими слоями. Поскольку трещина в покрытии уже имеется, очевидно, что трение на границе блока с основанием легко преодолевается и материал свободно перемещается без существенных напряжений. После укладки слоя усиления на трещиноватое покрытие перемещению будет препятствовать трение на границе с новым слоем, в котором будут возникать напряжения при температурном деформировании нижележащих блоков. Если принять охлаждение блока равномерным, то середину его можно гипотетически считать остающейся без движения, а максимальные перемещения будут происходить в краевых областях.

Таким образом, вероятность образования трещин в новом покрытии будет зависеть от величины перемещений блока старого покрытия, условий сцепления и силы трения между новым и старым покрытием, прочности на растяжение материала нового покрытия, особенно в его нижней части, где возникают максимальные напряжения, а также от толщин старого и вновь уложенного слоев.

П.В.Анисимов предлагает для вычисления температурной деформации блоков при низких температурах использовать следующую зависимость:

$$\delta_l = \alpha l \Delta T, \quad (1)$$

где  $\delta_l$  – температурная деформация блока покрытия;

$\alpha$  – коэффициент температурного деформирования покрытия;

$l$  – шаг трещин либо длина блока покрытия;

$\Delta T$  – изменение температуры в покрытии.

Применительно к нашим условиям, температурная деформация блока покрытия при  $\alpha = 0,00018$  град<sup>-1</sup>,  $l = 6$  м,  $\Delta T = 5$  °С, составляет  $\delta_l = 5,4$  мм. Полученная величина соответствует данным натуральных наблюдений.

В.А. Кретов указывает на возможность устройства в зоне трещины компенсационного участка для устранения сцепления нового слоя усиления и старого покрытия во избежание образо-



вания отраженной трещины. Длина этого участка, минимальное значение которой соответствует ширине раскрытия трещины, может быть определена по формуле

$$\Delta L = \frac{E_H \cdot l \cdot \alpha \cdot \Delta T}{\sigma_{рн}} \cdot \left[ 1 - \frac{\sigma_{рн} \cdot d_H}{E_c \cdot d_c \cdot \alpha \cdot \Delta T} \right], \quad (2)$$

где  $l$  - длина компенсационного участка;

$E_H, E_c$  - модули упругости нового и старого слоев, МПа;

$L$  - шаг сквозных трещин в старом покрытии или длина блока;

$d_H, d_c$  - толщины нового и старого слоев;

$\alpha$  - коэффициент температурной деформации старого покрытия;

$\Delta T$  - изменение температуры в покрытии;

$\sigma_{рн}$  - допустимое напряжение растяжения нового слоя, МПа.

Параметры  $\delta_l$  и  $\Delta L$  в формулах (1) и (2) имеют сопоставимый характер. Решая систему этих уравнений, получаем, что в усредненных условиях эксплуатации покрытия в слое усиления возникает растягивающее напряжение более 25 МПа, что примерно в 5 раз больше максимальной прочности асфальтобетона. Поэтому возникновение отраженных трещин неизбежно при условии применения в слоях усиления традиционных материалов.

Достаточно эффективным методом для предупреждения отраженного трещинообразования является применение геотекстильных материалов в сочетании с георешетками. [3], [4] Эффективность армирования покрытий основана на двух основополагающих моментах:

- перераспределение вертикальных нагрузок, перевод их в горизонтальную плоскость;
- восприятие напряжений, возникающих от температурных деформаций.

1. Армирующая прослойка позволяет перераспределить нагрузку от транспорта на большую площадь, увеличить несущую способность дорожного покрытия, предотвратить появление усталостных трещин, колеиности, полос наката и волн.

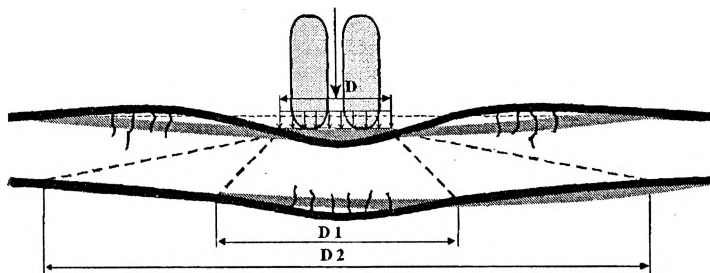




Рис. 1. Схема работы покрытия

	- неармированного
	- армированного

2. Геосетка принимает на себя растягивающие напряжения, которые для асфальтобетона, в силу его физико-механических свойств, наиболее опасны, не позволяя появляться температурным и отраженным трещинам.

Зарубежный опыт армирования асфальтобетонных покрытий показывает, что трещинообразование уменьшается в среднем в 3 раза, а затраты на ремонт возрастают в 1,5-2,0 раза.

Однако необходимо учитывать и то, что до настоящего времени в мировой практике нет теоретически обоснованных и практически проверенных методов расчета армированных дорожных конструкций, и что использование трещинопрерывающих прослоек влечет за собой и некоторые технико-организационные проблемы. Отсутствие специальной техники для выполнения этих работ приводит к увеличению трудозатрат, кроме того, в нашей стране не существует нормативной базы, регламентирующей применение подобных материалов для ремонта дорожных одежд.

Области применения геосеток при строительстве и ремонте асфальтобетонных покрытий достаточно обширны, и их можно очертить следующими основными направлениями.

### 1. Армирование участков дорог без выравнивающего слоя.

Геосетка укладывается на старый слой асфальтобетонного покрытия на ровных участках дороги, но с повышенной тре-

щинностью. Эффект консервации старых трещин достигается за счет того, что сетка принимает на себя горизонтальные напряжения, и тем самым, препятствует проникновению трещин из старого покрытия в новое.

**2. Усиление существующей конструкции дорожной одежды.**

На участках дороги с колеиностью и выбоинами укладывается выравнивающий слой асфальтобетона. Затем на выравнивающий слой укладывается геосетка. Эффект устранения или значительного уменьшения колеиности и выбоин достигается за счет того, что сетка перераспределяет вертикальные локальные нагрузки на большую площадь поверхности.

**3. Армирование швов асфальтобетонного покрытия.**

Геосетка перекрывает швы асфальтобетонного покрытия. Благодаря этому обеспечивается монолитность укладываемого верхнего слоя.

**4. Предупреждение трещин при уширении дороги.**

При уширении участков дороги в местах сопряжения старого и нового покрытия часто возникают продольные трещины. Укладка сетки на эти участки способствует предупреждению трещинообразования.

**5. Сопряжение дорожных одежд различных типов (цементобетонного и асфальтобетонного).**

При сопряжении дорожных одежд из цементобетона и асфальтобетона геосинтетики позволяют обеспечить необходимую ровность поверхности и стабильность верхнего слоя.

**6. Ямочный ремонт.**

При осуществлении ямочного ремонта поврежденные участки дороги фрезеруются с перекрытием по периметру зоны повреждения не менее, чем на 50 см. Затем укладывается сетка и асфальтобетон.

**7. Восстановление участка дороги после ремонта подземных коммуникаций.**

Трещины и выбоины часто возникают на участках дорог, проходящих над инженерными коммуникациями. Армирование сеткой устраняет или существенно замедляет разрушение этих участков дорог.

Итак, правильный выбор материала прослойки в сочетании с верным конструктивным решением и соблюдением технологии

укладки материала, позволяет в несколько раз увеличить экономический эффект от усиления дорожной конструкции.

На основании вышеизложенного можно сделать выводы.

1. Применение геосинтетиков в дорожном строительстве является перспективным направлением и экономически оправданным.

2. Геосинтетики могут быть использованы как на стадии строительства автомобильных дорог, так и при их ремонте и реконструкции.

3. Известные технологии ремонта асфальтобетонных покрытий с целью ликвидации локальных разрушений и усиления дорожной одежды в целом более эффективны, если в качестве армирующих прослоек использовать сетки из высокопрочных полимеров.

4. Правильный выбор материала прослойки в сочетании с верными проектно-технологическими решениями позволяет повысить надежность и долговечность дорожных одежд с асфальтобетонным покрытием, увеличить экономический эффект их усиления.

5. Для расширения сферы применения геосинтетиков в дорожном строительстве необходимо расширить исследования технологии производства работ и создать соответствующие машины и оборудование для их механизации.

## **Литература**

1. Ремонт и содержание автомобильных дорог. Под ред. А.П.Васильева. – М.; Информавтодор. 2005. – 507 с.

2. Леонович, И.И. Содержание и ремонт автомобильных дорог. В 2-х частях Ч. 2. Технология и организация дорожных работ. – Мн.; БНТУ. 2003 г. – 470 с.

3. Леонович И.И. Применение геосинтетиков в дорожном строительстве // Будаўніцтва, будаўніцтва, construction. – 2003 г. - № 3. – 9 с.

4. Минчукова, М.Е. Применение современных материалов и технологии при возведении объектов гидротехнического комплекса // Вестник БНТУ. – № 2. – С. 26-29.

УДК 625:630

## **Особенности проектирования и строительства дорог в лесном комплексе Беларуси**

Насковец М.Т.

Белорусский государственный технологический университет  
Леонович И.И.

Белорусский национальный технический университет

Республика Беларусь в количественном отношении по запасам древесины и площади лесов на душу населения является одной из богатейших стран Европы. По данным государственного лесного фонда на начало 2001 г. лесистость по республике составляет 37,8%, а это означает, что земли покрытые лесом занимают 7851,1 тыс. га. В свою очередь общий запас корневой древесины превышает 1,3 млрд. м<sup>3</sup> при среднем запасе на 1 га спелых и перестойных насаждений 220,1 м<sup>3</sup>. Все это позволяет в настоящее время заготавливать около 12 млн. м<sup>3</sup> древесины в год. Вместе с тем, в последние годы ежегодно в республике не осваивается в среднем 2,3 млн. куб. м. лесосечного фонда, что наносит ущерб народному хозяйству.

Среди основных причин, приводящих к снижению эффективности лесозаготовительного производства, следует выделить сведение до минимума процесса развития транспортной сети за счет строительства автомобильных дорог для освоения лесного фонда. Так, если в 1990 году Министерством лесного хозяйства было построено 100,6 км дорог круглогодочного действия, то в 2003 – всего лишь 2,84 км. К примеру, в Латвии в период с 2002 по 2003 год произведено строительство лесных дорог протяженностью 723,3 км.

Следовательно, для повышения ритмичной работы такого важнейшего звена лесозаготовительного производства как вывозка древесины, необходимо кардинально изменить отношение к проблеме строительства автомобильных дорог в лесном комплексе. Ведь уже на протяжении последних 15 лет объемы строительства дорог на лесных территориях минимальны, несмотря на ряд правительственных решений о ежегодном строительстве 50 км лесотранспортных путей всепогодной эксплуатации. Сложившаяся базовая или опорная сеть, включающая 17 тыс км дорог лишь на половину способна обеспечить в тече-

ние года решение транспортных задач лесного хозяйства и лесопромышленных предприятий. Исходя из условия обеспечения лесопокрытой площади республики оптимальным количеством транспортных путей опорная дорожная сеть должна превышать 35 тыс. км.

Вместе с тем, существующая дорожная сеть из общей своей протяженности 116 тыс. км на 91% (около 102 тыс. км) представляет собой находящиеся в неудовлетворительном состоянии естественные, проходящие через лесные массивы, проезды, имеющие грунтовые покрытия. На данного вида дорогах отсутствуют искусственные сооружения и водоотвод, не возведены насыпи в пониженных местах и не устроены покрытия. Все это делает их не проезжаемыми для автотранспорта в осенне-весенний периоды года без проведения профилактических мероприятий по ремонту и содержанию.

Наряду с недостатками в части дорожного строительства и ремонта дорог имеют место пробелы и в проектировании дорог лесного комплекса. Во-первых, следует отметить отсутствие более современных и полных инвентаризационных данных позволяющих произвести детальную оценку состояния лесотранспортных путей. Наличие такой информации позволило бы выработать более рациональные подходы к размещению трасс дорог в пределах лесных массивов, оптимизировать их прокладку по покрытой лесом территории с учетом различных факторов. К наиболее существенным из них нужно отнести погодноклиматические и гидрогеологические условия, рельеф местности, влияние на эксплуатационные качества дорог произрастающих лесонасаждений, а также факторы таксационного характера.

Одним из немаловажных факторов при проектировании дорог является наличие соответствующих ГОСТов и СН и П-ов, которые являются руководящими документами на стадии составления проекта и руководством к проведению строительных работ. В этой связи надо сказать, что ГОСТ «Требования к лесным дорогам» разработан и в настоящее время находится на стадии согласования и утверждения. Что же касается составления строительных норм и правил по лесным дорогам, то их разработка предусмотрена в рамках раздела программы Министерства лесного хозяйства, которая будет реализовываться

в 2006-2010 годах. Создание нормативно-технической основы для проектирования и строительства дорог в лесу позволит целенаправленно решить вопрос создания качественной базовой сети дорог лесного комплекса.

Следует также сказать, что решать вопросы проектирования и строительства дорог в лесном комплексе необходимо исходя и из специфики проведения транспортных работ при осуществлении процесса вывозки древесного сырья. Именно правильный учет влияния колесных нагрузок и интенсивности их воздействия на дорожное полотно, позволяют эффективно запроектировать дорогу на всем своем протяжении в лесном массиве и иметь высокие эксплуатационные показатели в процессе всего срока ее функционирования. Необходимость учета на стадии проектирования транспортной составляющей продиктована значительными осевыми нагрузками (более 10т) современных лесовозных автопоездов и разнообразием их конструктивного исполнения.

К особенностям, накладывающим определенный отпечаток на решение дорожных задач надо отнести и организационные признаки технологического процесса вывозки древесины: перевозка древесины осуществляется в виде сортиментов или хлыстов, вывозка одноступенчатая либо двухступенчатая.

Таким образом, следует сказать, что дороги в лесном комплексе, являются той основой, которая поддерживает жизнеспособность производства, как и транспортные артерии любого ведомства. Их развитие требует всестороннего анализа и учета особенностей на всех стадиях решения дорожно-транспортных задач.

## **Литература**

1. Характеристика государственного лесного фонда Республики Беларусь // Лесное и охотничье хозяйство. 2002. - №1. С. 4-5.
2. Степанченко, Н.Ф. Реформа лесного комплекса // Лесная промышленность Беларуси. 2005. - №4. С. 6-8.
3. Леонович, И.И., Насковец, М.Т., Мохов, С.П. Куда ведут нас все дороги // Лесная промышленность Беларуси. 2005. - №4. С. 4-5.

# **Транспортные сооружения**



**Свайные двухъярусные опоры автодорожных мостов**

Шкляр В.Х.  
РУП «Белгипродор»

В республике на протяжении многих десятилетий для мостовых сооружений с пролетами до 24 м опоры применялись, как правило, двух типов: свайные (однорядные и двухрядные) и стоечные, в т.ч. козлового типа для крайних опор.

Наиболее эффективным типом по показателям стоимости, материалоемкости и трудоёмкости возведения является свайная опора. Недостатком этого типа является ограниченная область их применения по высоте, особенно при наличии в основании слабых грунтов. При невозможности применить свайный тип, опоры проектируются стоечного типа с фундаментной плитой. (Рис. 1а, Рис. 2а). При этом показатели эффективности резко ухудшаются, т.к. стоимость строительства, материалоемкость и трудоемкость их возведения возрастают в 1,5-2,0 раза. В наибольшей степени это относится к крайним опорам и вызвано тем, что плита ростверка становится основным источником нагрузки, включающей вес самой плиты и грунта на ней, а также давление грунта на ее боковую поверхность. В некоторых случаях вертикальная нагрузка, особенно при пролетах 12-15 м, может превышать нагрузку от пролетного строения. В настоящее время в РУП "Белгипродор" разработан новый тип свайных безростверковых опор двух видов: крайняя двухъярусная опора для мостов и путепроводов (Рис. 1б) и промежуточная двухъярусная для путепроводов. (Рис. 2б)

Крайняя двухъярусная свайная опора состоит из групп свай, каждая из которых включает установленное расчетом необходимое количество свай нижнего яруса и две сваи верхнего яруса, располагаемых в одной вертикальной плоскости. Сваи нижнего яруса обычные, погружаются до расчетного отказа, бетон головы сваи вырубается и обнажаются выпуски арматуры.

Сваи верхнего яруса погружаются в грунт на глубину, достаточную для удержания их в проектном положении до омоноличивания всех свай группы. От обычных эти сваи отличаются наличием на одной грани боковых выпусков арматуры в верхней и нижней частях. Кроме этого поверхность свай на этих

участках выполняется с повышенной шероховатостью (с рифлением).

Сваи нижнего яруса располагаются между сваями верхнего яруса и находятся с ними в одной плоскости.

Объединение свай верхнего и нижнего ярусов осуществляется бетонированием пространства между сваями верхнего яруса на высоту 2,5-3 м, в котором располагаются выпуски арматуры из свай нижнего и верхнего ярусов, а так же необходимая дополнительная арматура.

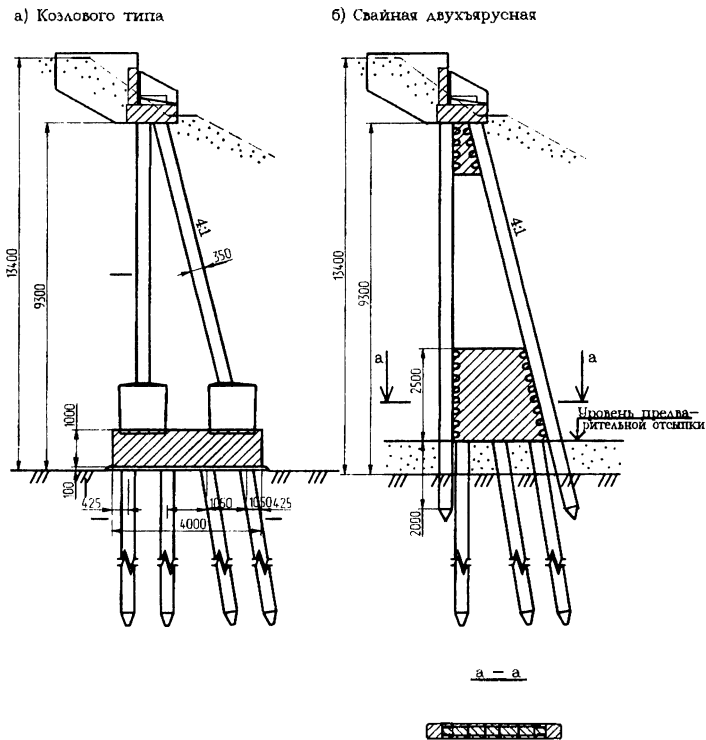
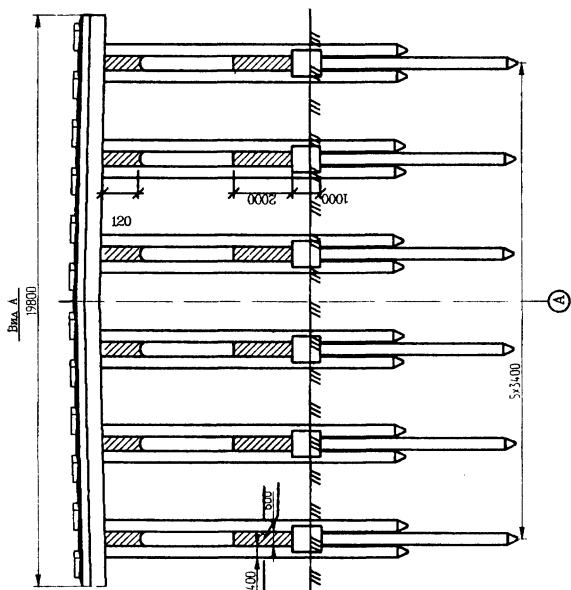
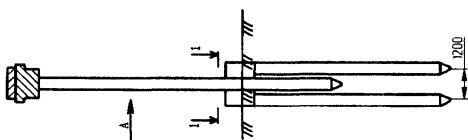


Рисунок 1. Крайняя опора



б) Свайная двухъярусная



а) Козловой типа

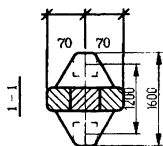
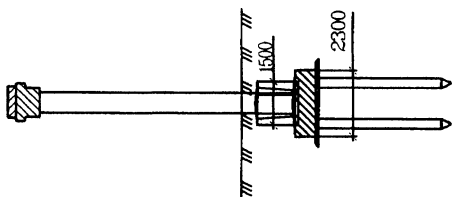


Рисунок 2. Промежуточная опора

Объединение свай с монолитным ригелем осуществляется бетонированием пространства между сваями верхнего яруса вверху на высоту 1-1,2 м, в котором располагаются выпуски

арматуры из свай и дополнительные выпуски арматуры в ригель. Головы свай верхнего яруса не срубаются.

Область применения крайних двухъярусных свайных опор эквивалентна опорам козлового типа, т.к. суммарная высота их от острия свай нижнего яруса до ригеля может достигать 25 м.

Промежуточная двухъярусная свайная опора состоит так же из групп свай и отличается от крайней тем, что она симметричная, а сваи нижнего и верхнего ярусов расположены во взаимно перпендикулярных плоскостях, причем сваи верхнего яруса и ригель расположены в одной плоскости. Это отличие согласуется с особенностями действующих на промежуточную опору нагрузок и архитектурными требованиями. Объединение свай нижнего и верхнего ярусов осуществляется бетонированием пространства между сваями верхнего яруса на высоту около 3 м, а также выпусков арматуры из свай нижнего яруса на высоту 1-1,4 м общим монолитным участком. Объединение свай с ригелем выполняется аналогично опорам крайним.

Возводятся двухъярусные опоры обычным способом с использованием имеющегося копрового оборудования: вначале погружают сваи нижнего яруса, затем – верхнего. При этом сваи нижнего яруса используются для анкеровки направляющего конструктора для погружения свай верхнего яруса.

Наибольший экономический эффект от использования двухъярусных промежуточных опор достигается тогда, когда исключается не только плита ростверка, но и необходимость выполнять ограждение котлована и водоотлив. В двухъярусных опорах узел объединения свай может располагаться полностью или частично над грунтом, что позволяет избежать устройства котлована.

Шаг групп свай определяется расчетом. Как правило, для пролетов 18-24 м наиболее оптимальным шагом является случай, когда оси каждой группы свай совпадают с осями балок пролетного строения, что существенно снижает изгибающие моменты в ригеле.

В настоящее время эксплуатируются четыре крайние опоры двух путепроводов с пролетами длиной 21 м при высоте насыпи подходов 12-13 м, и две промежуточные опоры путепровода через железную дорогу так же с пролетами длиной 21 м.

На конструкцию свайной двухъярусной опоры выдан патент.

## Применение георадаров при обследовании зданий

Мойсейчик Е.К., Мойсейчик Е.А.

Белорусский национальный технический университет

В инженерной геофизике существует много методов решения разнообразных поисковых, инженерно-геологических, гидрогеологических, дефектоскопических задач. Одним из самых развивающихся в последнее десятилетие двадцатого века стало георадиолокационное подповерхностное зондирование или георадарный метод исследования среды.

Георадарный метод основан на явлении отражения электромагнитных волн от поверхностей, на которых скачкообразно изменяются электрические свойства - электропроводность и диэлектрическая проницаемость.

Работа георадара основана на использовании классических принципов радиолокации. Передающей антенной прибора излучаются сверхкороткие, электромагнитные импульсы в единицы и доли наносекунд. Импульс отражается в среде от геологических границ или от неоднородностей. Отраженный импульс принимается приемной антенной, усиливается, преобразуется и запоминается.

Волновая картина (радарограмма) представляет собой ансамбль записей сигналов (трасс), пришедших к приемной антенне. Волновая картина может быть представлена различными способами:

- методом отклонений
- методом отклонений с зачернением
- методом переменной плотности

В имеющимся на факультете транспортных коммуникаций георадаре, используется последний из перечисленных методов представления волновой картины. Нулевой амплитуде в этом случае соответствует серый фон, положительным амплитудам соответствуют все более черные тона вплоть до черного, а отрицательным амплитудам сигнала соответствуют все более светлые тона вплоть до белого. Трасса на экране занимает вертикальную полосу шириной в одну точку, на экране компьютера размещается до 640 трасс.

Получение информации при георадарной съемке производится при перемещении блока антенн георадара вдоль профиля. При передвижении антенны георадара вдоль профиля регистрируется совокупность реализаций отраженных электромагнитных сигналов, формируется непрерывный временной разрез изучаемой среды – радарограмма. Горизонтальная ось радарограммы – ось профиля, соответствующая направлению движения георадара, а вертикальная – ось времени, которая отражает время пробега электромагнитного импульса до границы и обратно. Получается своеобразная «рентгенограмма» подземного пространства.

При обследовании ряда зданий нами использовался георадар «Око» с антенными блоками АБ1200 и АБ250. Георадар использовался для просвечивания пола и стен в промышленных корпусах старой постройки, на которые отсутствовала проектная документация. Аппаратура позволяет определить подпольные каналы, приямки, подземные коммуникации.

На рисунке 1 в качестве примера приведены радарограммы двух стен. Первая радарограмма получена на многослойной стене, со слоем утеплителя внутри, вторая - на кирпичной стене, с проходящими внутри стены швеллерами.

На рисунке 2 приведена радарограмма подпольного пространства котельной. На радарограмме отображены: граница перекрытия, приямка под котлами котельной, четыре высоковольтных кабеля, уложенных хозспособом, информации о которых также не было на сохранившихся чертежах, труба с коммуникациями.

Георадаром можно также определить уровень грунтовых вод, границы слоев с различной степенью водонасыщения.

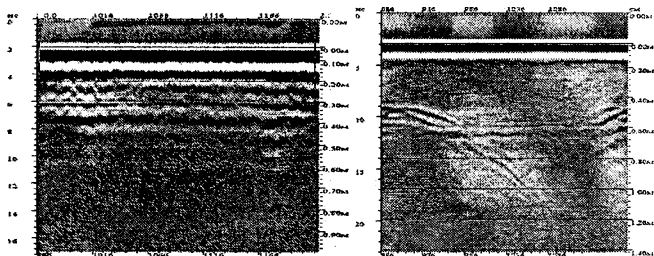


Рисунок 1. Радарограммы стен

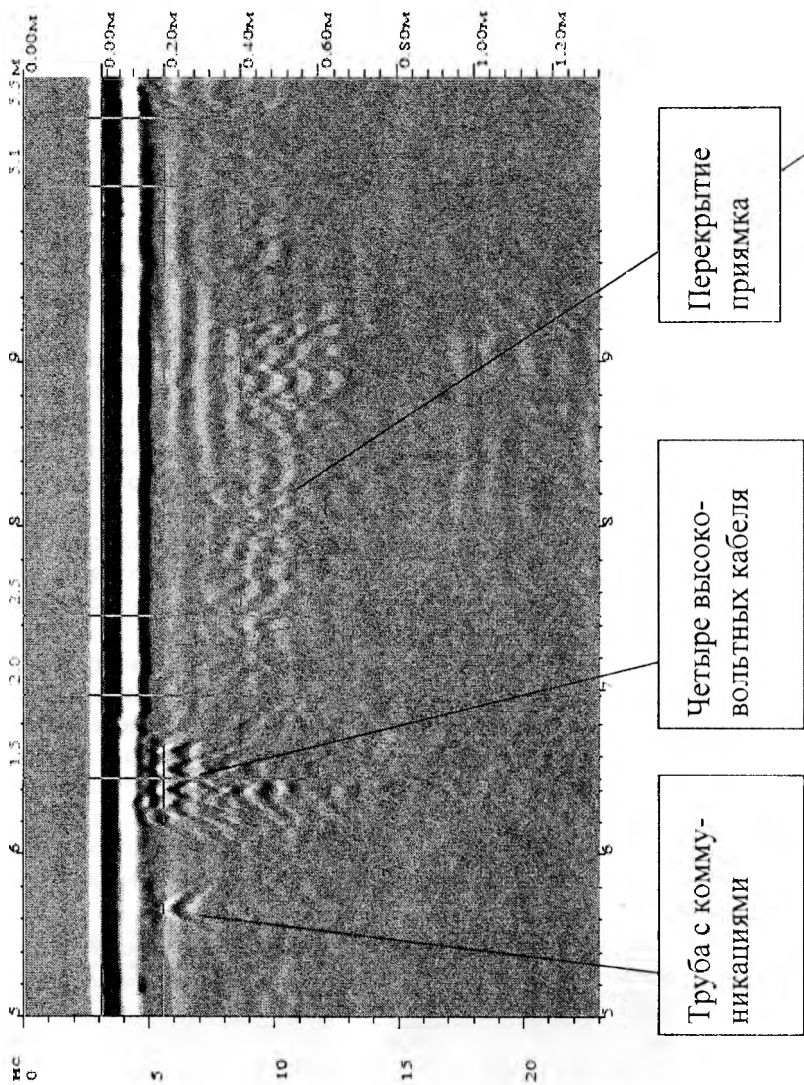


Рисунок 2. Радарограмма пространства под полом котельной

## **Особенности проектирования плиты проезжей части мостов с учетом фактора времени**

Пастушков В.Г.

Белорусский национальный технический университет

Опыт эксплуатации автодорожных железобетонных мостов в климатических условиях РБ свидетельствует о том, что под влиянием условий эксплуатации их несущая способность и долговечность значительно снижаются. Долговечность железобетонных конструкций зависит от многочисленных факторов и, в первую очередь, от силовых, тепловлажностных и агрессивных воздействий окружающей среды.

На автомобильных дорогах нашей страны эксплуатируются мосты различных лет постройки. Они проектировались по действующим в те годы нормативам и обладают различной грузоподъемностью. До 1986 г. в качестве расчетных нагрузок применялись автомобильные нагрузки Н-13, Н-18, Н-30, НГ-60, НК-80, с января 1986 г. начали применяться нагрузки АК в соответствии с действующим СНиП 2.05.03-84\*, а с 2004 г. проводится экспериментальное проектирование мостовых сооружений на дорогах I и II категорий в соответствии с требованиями автомобильной нагрузки класса А14.

Введение в белорусские нормы автомобильной нагрузки класса А14 позволит сблизить требования по нагрузкам, принятыми в странах ЕС, РФ и РБ.

Конструктивными решениями типовых проектов прошлого столетия плиты железобетонных мостов были поставлены в сложные эксплуатационные условия. Особенно следует отметить, что действующими в то время нормативными документами для железобетонных пролетных строений автодорожных мостов не требовался расчет на выносливость. Однако, плиты проезжей части подвержены непосредственному воздействию многократно повторных нагрузок с динамическим эффектом. Значительные повреждения плиты проезжей части, наблюдаемые всеми мостоиспытательными станциями при обследовании автодорожных мостовых сооружений, заставили ввести в действующие нормы поправку о необходимости расчета плит проезжей части автодорожных мостов на выносливость.



Кроме расчета на выносливость сечения должны быть рассчитаны и по другим предельным состояниям, в том числе по прочности и долговечности.

Ресурс конструкции  $Z(t)$  оценивается с тем уровнем надежности, который заложен в нормах СНиП 2.05.03-84\*, соответственно в момент технической диагностики, в начале и конце эксплуатации. Значение прочности в конце эксплуатации можно принять равным  $R_{bf}$ .

При экспериментальном определении прочностных характеристик в качестве значения прочности в конце эксплуатации принимаются параметрическая точка диаграммы состояния бетона по О.Я. Бергу [1]:  $R^{circ}$ .

Низкие уровни микротрещинообразования под нагрузкой являются характеристикой пониженной долговечности бетона. При малоцикловом нагружении сжимающей нагрузкой с разгрузкой петля гистерезиса на кривой  $\sigma - \epsilon$  при низком уровне напряжений, меньшим  $R^{circ}$  сужается и очевидна стабилизация размеров дефектов структуры, хотя и наблюдается дополнительное растрескивание бетона при разгрузках.

Растрескивание нарастает с увеличением числа циклов, что проявляется в кривизне диаграмм на цикле разгрузки: петля диаграммы не возвращается в начало координат, накапливаются остаточные деформации. Модуль деформаций заметно снижается.

В соответствии с кривой выносливости, предложенной В.П. Чирковым [2] срок службы можно определить в зависимости от количества циклов в год  $n_1$

$$T = N(\sigma, \sigma_n) / n_1 = (N_1 / n_1) [0,595 R_{bu} (\sigma - \sigma_n) / (\sigma^2 - \alpha_1 R_{bu} \sigma_n)]^m,$$

где  $R_{bu}$  – призмная прочность бетона;

$\alpha_1$  – отношение длительной прочности бетона к призмной ;

$N_1 = 2 \cdot 10^6$ ;

$m = 20$  – характеристика кривой выносливости.

Ресурс вычисляется с учетом изменения прочностных характеристик элементов составного сечения, деформационных свойств бетона и арматуры, образования поперечных трещин, нарушения связей между элементами пролетного строения и др.

При современном состоянии вычислительной техники возможно определение напряжений, как в любой точке бетонного сечения, так и в любом арматурном стержне. Для анализа напряженно деформированного состояния удобно пользоваться моделью, базирующейся на так называемом деформационном расчете для сечений с принятием трансформированных диаграмм деформирования материалов. Сечение общей формы может быть представлено в виде элементарных площадок, описывающих материалы, входящие в сечение, а распределение нормальных напряжений в пределах каждой элементарной площадки с достаточной для практики точностью может быть принято равномерным или изменяющимся по линейному закону.

Как показывают многочисленные испытания мостовых сооружений в стадии эксплуатации, слои ездового полотна активно участвуют в работе пролетного строения при действии временных транспортных нагрузок.

Поэтому при оценке и прогнозировании долговечности мостового сооружения необходимо определять и напряженное состояние также слоев дорожной одежды и гидрозащиты плиты проезжей части.

И в этом случае можно использовать изложенную расчетную методику, распространив ее на многослойные конструкции из различных материалов с соответствующими диаграммами деформирования.

В последние годы возросли требования СНиП 2.05.03-84\* к величине защитного слоя бетона в плитах проезжей части, что привело к необходимости при новом проектировании увеличения их толщины на 20...30 мм.

Таким образом, толщина плиты по прежним проектам оказывается недостаточной по формальным признакам и не удовлетворяющей современным требованиям обеспечения долговечности конструкции, что предопределяет более скорый срок достижения фронтом коррозионных процессов рабочей арматуры плиты.

Переход на вероятностный расчет конструкций в нормативных документах на данном этапе развития теории расчета представляет известные трудности, однако, и при используемом в настоящее время полувариантном методе расчета по пре-

дельным состояниям необходимо проводить обязательный расчет долговечности конструкции по различным критериям [3].

С целью повышения надежности и долговечности плит проезжей части необходимо проведение следующих мероприятий:

1. Следует возродить сборно-монолитную конструкцию балочных пролетных строений и предпочитать устройство монолитных предварительно напряженных железобетонных плит по сборным балкам.

2. Рекомендовать для монолитных плит применять модифицированные бетоны нового поколения с повышенными важнейшими показателями долговечности: марка по водонепроницаемости не ниже W8, водопоглощение не больше 4.2% по массе, малая усадка, морозостойкость с маркой не ниже F400, обеспечение требуемой трещиностойкости.

3. Требуется применение методов расчета конструкций с использованием расчетных схем, учитывающих появление и развитие в процессе эксплуатации дефектов и повреждений различного вида, изменение механических характеристик материалов, воздействий агрессивных эксплуатационных сред и т.п.

#### **Литература**

1. Берг, О.Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона – М.: Госстройиздат, 1961-61 с.
2. Бондаренко, В.М., Иосилевский, Л.И., Чирков, В.П., Надежность строительных конструкций и мостов – М.: Российская академия архитектуры и строительных наук., 1996 -220 с.
3. G.Pastushkov, V.Pastushkov. Durability of reinforced concrete bridges - the major problem of road branch: Proceedings of the International Conference "Construction and Architecture"/ Edited by Khroustaliyev B.M. and Leonovich S.N.- Minsk, 2003, pp. 322-332.

УДК 625.42

#### **Статический расчет конструкции станции метрополитена, сооружаемой поточным методом строительства**

Пастушков Г.П., Радкевич Е.И.

Белорусский национальный технический университет

Одним из основных направлений научно-технического прогресса в проектировании инженерных сооружений является широкое использование вычислительной техники для выполнения

расчетов. При этом конструктор имеет возможность детально проанализировать несколько вариантов проектных решений и выбрать из них наиболее рациональный вариант. Наибольший эффект в применении ЭВМ достигается в том случае, когда инженер осуществляет выбор путей решения поставленной задачи и творческое осмысление полученных результатов, производя необходимые проверочные расчеты на ЭВМ по готовым апробированным программам [1].

С точки зрения реализации на ЭВМ расчеты условно можно разделить на три класса. К первому классу относятся расчеты, решение которых достигается вычислением искомым параметров, выраженных в явном виде некоторым набором формул. Примерами таких задач являются так называемые «инженерные методы» расчета конструкций.

Ко второму классу можно отнести задачи, которые не имеют решения в замкнутом виде (точного решения). При этом точное решение задачи представляется в виде некоторого множества чисел, позволяющего получить интересующую инженера информацию. В этом случае говорят о численном решении задачи, а методы, с помощью которых достигается это решение, обозначают термином «численные методы».

Третий класс задач составляют оптимизационные задачи, суть которых сводится к отысканию наилучшего варианта решения, отвечающего определенным требованиям.

К наиболее распространенным в строительной механике численным методам можно отнести методы: конечных элементов, конечных разностей, граничных элементов.

Рассмотрим метод конечных элементов. Пусть имеется какая-либо континуальная система (система с бесконечным числом степеней свободы) - рама, упругая полуплоскость, трехмерное тело, на которую действуют внешние или внутренние силы. Напряженно-деформированное состояние (НДС) системы описывается функциями напряжений и функциями перемещений, которые определены в области, занимаемой системой. Между напряжениями и деформациями существует однозначная прямая и обратная зависимость — это предположение справедливо для весьма широкого класса задач. Задача отыскания НДС континуальной системы является, за исключением простых случаев, статически неопределимой. Для решения статически неопреде-

лимых задач в строительной механике разработан метод сил, метод перемещений, смешанный метод.

Зачастую аналитическое решение задачи об отыскании НДС континуальной системы не может быть получено из-за неоднородности материала, сложности граничных условий и т. д. В этих случаях прибегают к решению задачи численными методами, одним из которых является метод конечных элементов. Идея метода конечных элементов заключается в следующем. Континуальная система заменяется (аппроксимируется) системой с конечным числом степеней свободы, т.е. производится дискретизация системы на отдельные элементы, соединенные между собой в узлах. Предполагается, что работа конечного элемента точно или приближенно изучена, например, установлена зависимость между перемещениями узлов элемента и внутренними усилиями в узлах. Работа дискретизированной системы будет определяться взаимодействием отдельных конечных элементов. Решением задачи определения НДС континуальной системы методом конечных элементов будет являться такое НДС дискретизированной системы, при котором удовлетворяются условия совместности и равновесия.

Точность расчета методом конечных элементов при прочих равных условиях будет тем выше, чем большее количество степеней свободы (узлов) будет иметь аппроксимирующая система. Это связано с тем, что условия совместности деформаций выполняются только в узлах дискретизированной системы, а по линии соприкосновения конечных элементов деформации могут испытывать разрывы.

Метод конечных элементов применен в таких расчетных программах как ЛИРА, SCAD. Ниже приведен расчет несущей способности станции метрополитена поточного метода строительства, выполненный на ПК SCAD Office 7.29.

Конструкция станции поточного метода строительства имеет принципиальные различия от конструктивных типовых решений станций открытого способа работ. В конструкцию станции входят разомкнутая обделка путевых тоннелей, что усложняет работу всей конструкции.

Платформенный участок станции, представленный для расчета, запроектирован по конструктивной схеме двухуровневой станции колонного типа (рис. 1). В нижнем ярусе расположена

пассажирская платформа шириной 12,6 м, в верхнем – блок служебных помещений. Два центральных ряда колонн представлен в виде свай-колонн, проходящих насквозь с шагом 6 м. Консольные части станции опираются на сваи с ростверком. Покрытие выполнено в виде монолитной трехпролетной плиты. Перекрытие и лоток также выполнены из монолитного железобетона. Общая высота конструкции 10,430 м, ширина – 22,7 м.

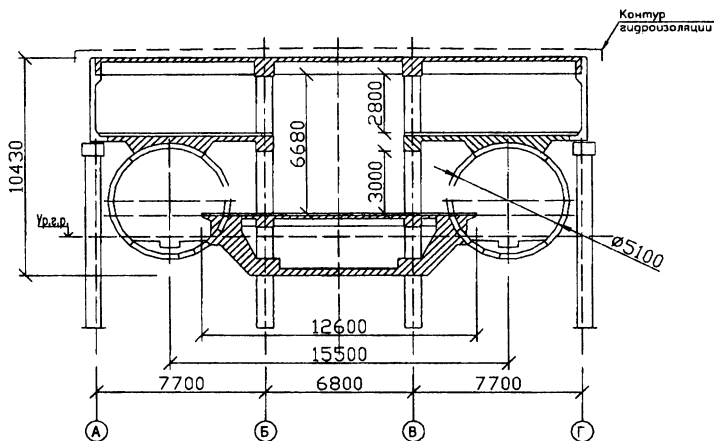


Рисунок 1. Конструктивная схема платформенного участка станции, сооружаемой поточным методом принятая для расчета

Расчет производится на основное сочетание нагрузок согласно СНБ 5.03.01-02. Расчетная ширина рамы  $b_p = 6.0$  м, отметка уровня головки рельса принят за относительный ноль, уровень верха покрытия – 8.580, уровень земли принят 10.080, засыпка составляет 1.50 м.

При расчете учитываем коэффициенты упругого основания, для этого задаемся толщиной слоя равной 10 м, модулем упругости  $E = 11000$  кН/м и коэффициентом Пуассона  $\nu = 0.1$ . Грунтовые связи моделируются упругими связями конечной жесткости (КЭ-51).

ПВК SCAD реализует численный метод дискретизации сплошной среды методом конечных элементов. Этот метод хорошо адаптирован к реализации на ЭВМ.

В таблицах 1, 2 представлены результаты статического расчета.

Таблица 1. Максимальные перемещения узлов расчетной схемы

Мак перемещения узлов расчетной схемы от комбинаций, мм, рад*1000						
	MAX+			MAX-		
	Значение	№ узла	№ комб.	Значение	№ узла	№ комб.
X	.437	51	1	-.437	34	1
Z	0.	54	1	-2.34	10	1
Уу	.000	33	1	-.000	52	1

Таблица 2. Максимальные усилия элементов расчетной схемы

Максимальные усилия элементов расчетной схемы, т, м								
Наименование	MAX+				MAX-			
	Значение	Номер эл-та	№ сечения	Номер комб.	Значение	Номер эл-та	№ сечения	Номер комб.
N	12.36	17	3	1	-434.75	2	1	1
M	293.48	1	3	1	-293.49	7	1	1
Q	219.97	7	1	1	-220.38	9	3	1

Ниже приведены деформационная схема и эпюра моментов.

Как показал статический расчет, наибольшую нагрузку испытывает покрытие и конструкция сопряжения расчлененной обделки с перекрытием станции. Эти элементы требуют более детальной разработки.

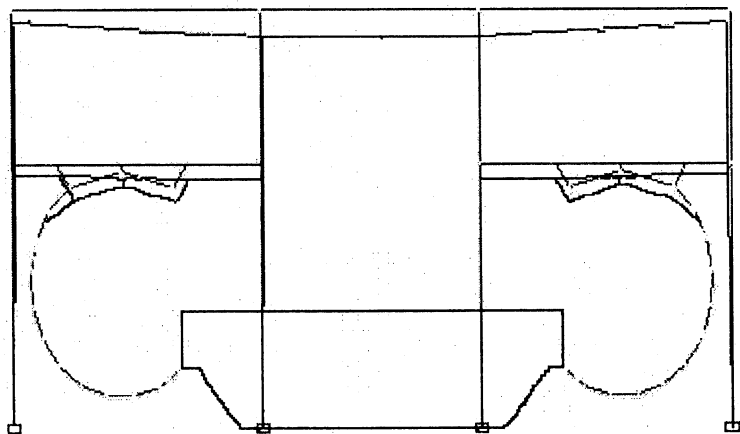


Рисунок 2. Деформационная схема поперечного сечения

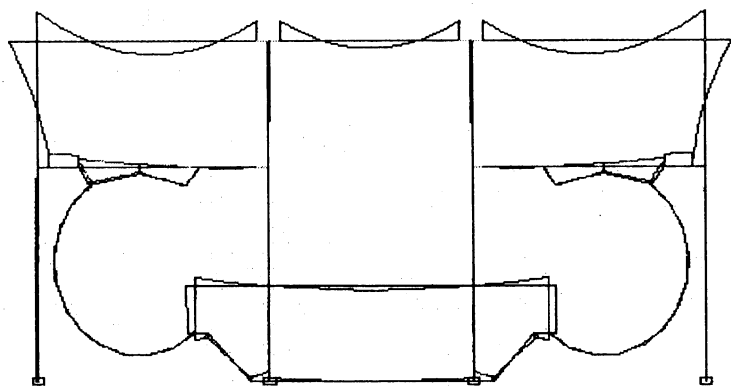


Рисунок 3. Эпюры моментов

### Литература

1. Основания и фундаменты: Справочник / Г. И. Швецов, И. В. Носков, А. Д. Слободян, Г. С. Госькова; Под ред. Г. И. Швецова. – М.: Высшая школа, 1991. – 383 с.  
СНБ 5.03.01. Конструкции бетонные и железобетонные. Нормы проектирования.



**Экспериментальное исследование  
металлического пролетного строения висячего  
моста**

Горошко Г.А., \*Бусько В.Н., \*Венгринович В.Л.,  
Белорусский национальный технический университет  
\*Институт прикладной физики НАН РБ

При обследовании эксплуатируемых мостов возникает задача оценки фактического напряженного состояния элементов и конструкций, которая во многих случаях для простых систем успешно решается с использованием расчетных методов. Техническое состояние сооружений часто не соответствует в точности проектным характеристикам вследствие развития дефектов и коррозионных процессов. Поэтому возникает необходимость уточнения расчетных предпосылок на основе диагностических способов. Для оценки технического состояния сложных систем, таких как висячие конструкции, необходимо знать фактическое распределение напряжений в элементах системы.

При обследовании висячего пешеходного моста с пролетом длиной 80 м было обнаружено, что подвесные элементы системы - стрингеры имеют недостаточное или очень слабое натяжение. Так как диагностика выявленного дефекта была визуальной, возникла необходимость более качественной оценки напряженного состояния стрингеров висячей системы. Для получения картины распределения напряжений был использован метод эффекта Баркгаузена (МЭБ). Параметры этого метода связаны с кристаллической структурой магнитного металла и, поэтому, являются чувствительными к изменению напряжений в ферромагнетиках. Данное обстоятельство позволяет при определенных условиях считать этот метод одним из наиболее достоверных.

В процессе исследований производились замеры параметров магнитного шума в двух сечениях балки жесткости по верхнему поясу и во всех стрингерах системы. Измерения выполнялись при загрузке моста специальным грузом весом 18 кН (первый режим) и при отсутствии груза, т.е. при действии постоянной нагрузки (второй режим). Контрольные сечения балки жесткости находились в середине и в четверти пролета моста.

В процессе измерений было установлено, что при двух режимах действия нагрузки магнитошумовые параметры в контрольных точках различны. Воздействие нагрузки в первом режиме приводит к значительному изменению показаний прибора. В результате измерений установлено, что натяжение стрингеров в двух плоскостях висячей системы неодинаково. В то же время можно отметить некоторое подобие графиков для левого и правого полупролетов, что показано в верхней части рисунка 1. Сплошная линия соответствует измерениям при расположении датчика параллельно направлению элемента. Пунктирная линия соответствует измерениям при перпендикулярном расположении датчика относительно стрингера. Аналогичный характер имеют графики при воздействии специального груза. В этом случае наблюдается увеличение ординат, т.е. напряжений в стрингерах, в области расположения нагрузки. Подобие графиков и в этом случае сохраняется.

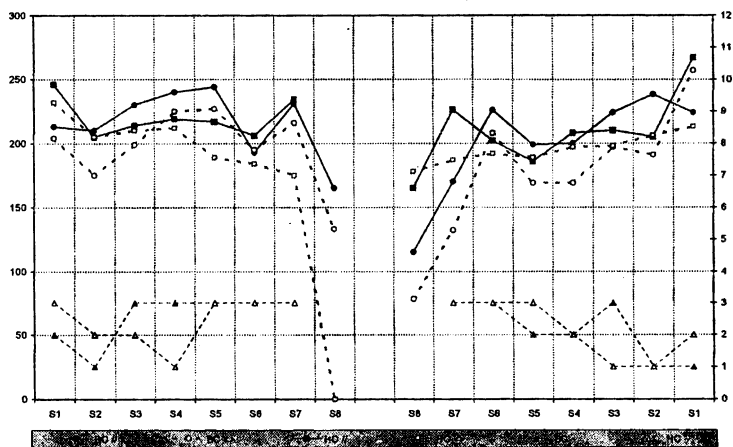


Рисунок 1. Распределение относительных напряжений в стрингерах висячей системы при воздействии собственного веса конструкции

В нижней части рисунка расположены графики, построенные по результатам визуальной оценки степени натяжения стрингеров. В данном случае степень натяжения условно оцени-

валась по трехбалльной шкале (правая ось): 1 – отсутствие натяжения; 2 – слабое натяжение; 3 – сильное натяжение. Данные графики показывают, что визуальная оценка степени натяжения коротких стрингеров (S4-S8) не дает объективных результатов и ее использование ограничено.

На рисунке 2 показаны результаты измерения относительных напряжений в верхнем поясе балки жесткости. Здесь также заметно изменение чувствительности магнитошумовых параметров при небольшом изменении нагрузки, которая значительно меньше нормативной (примерно в 50 раз).

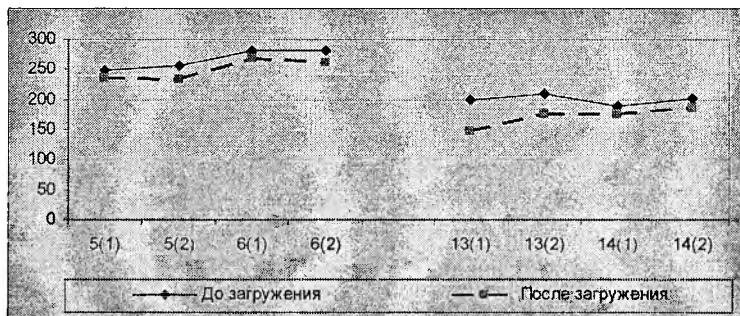


Рисунок 2. Распределение относительных напряжений в верхнем поясе балки жесткости в четверти пролета между стрингерами (S5-S6)

Полученные распределения относительных напряжений в элементах рассматриваемой конструкции позволяют уточнить расчет висячей системы путем ввода в разрешающие уравнения численного метода модифицированной матрицы нагрузок.

Результаты проведенных исследований показали принципиальную возможность применения диагностического метода, основанного на использовании параметров МЭБ. Высокая чувствительность магнитного шума к изменению механических напряжений для строительных сталей позволяет использовать данный метод для диагностики напряженного состояния конструкций из ферромагнетиков.

# **Инженерное обеспечение строительства**

## Оптимизация прямоугольных железобетонных плит кусочно-постоянного сечения методом градиентного спуска по границе

Вербицкая О.Л., Шевчук Л.И.

Белорусский национальный технический университет

Рассмотрим прямоугольную нелинейно деформируемую железобетонную плиту, разделенную на  $n$  частей. Пусть эти части плиты отличаются только толщиной и процентом армирования, которые и являются параметрами оптимизации  $x_i$ . В качестве целевой функции, также как и в работе [1], взята стоимость материала  $C(\bar{X})$ . На параметрах оптимизации строим многомерное пространство  $R_n$ , в пределах которого определяется минимум целевой функции.

$$C(\bar{X}) = \min C(\bar{X}), \quad \bar{X} \in R_n, \quad (1)$$

где  $\bar{X}$  – вектор (точка)  $n$ -мерного пространства  $R_n$

Параметры оптимизации ограничены только снизу

$$x_i \geq x_{lim}, i = 1, 2, \dots, n. \quad (2)$$

Кроме того, поставлены ограничения, выражающие условие прочности

$$R_d - s_d \geq 0 \quad (3)$$

и условия жесткости

$$a_{lim} - a_k \geq 0, \quad (4)$$

где  $x_{lim}$  – конструктивно допустимая толщина плиты и площадь арматуры;  $R_d$  – предельное усилие для плиты;  $s_d$  – внутренней усилие, вызванное расчетной нагрузкой;  $a_{lim}$  – предельно допустимый прогиб плиты;  $a_k$  – максимальный прогиб плиты от расчетной нагрузки.

Так как напряжения  $s_d$  и прогибы  $a_k$  плиты нелинейно зависят от параметров оптимизации  $x_i$ , то для решения задачи оптимизации плиты кусочно-постоянного сечения, как и в ра-

боте [1], могут быть использованы только численные методы. Общая схема решения задачи реализуется следующим образом.

Пусть для сформулированной выше задачи в процессе поиска оптимального решения точка  $\vec{X}$  многомерного пространства  $R_n$ , построенного на параметрах оптимизации, находится вблизи границы, представленной в виде плоскости  $S_g$ , полученной по условиям ограничений (2), (3) и (4).

Для совершения очередного шага требуется найти такую точку из геометрического места точек многомерного пространства  $R_n$ , удаленных от точки  $\vec{X}$  на расстоянии  $r$  и расположенных на границе  $S_g$ , в которой значение целевой функции

$C(\vec{X})$  принимало бы самое минимальное значение. В окрестности точки  $\vec{X}$  многомерного пространства  $R_n$  расположим сферу малого радиуса  $r$  с центром в этой точке и гиперплоскость границы

$$x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2 = r^2, \quad k_1 x_1 + k_2 x_2 + \dots + k_n x_n = k_0. \quad (5)$$

Геометрическое место точек в многомерном пространстве  $R_n$ , равноудаленных от точки  $\vec{X}$  на расстоянии  $r$  и расположенных на плоскости  $S_g$ , образуют линию пересечения  $G$ . Такое геометрическое место точек можно определить по условию принадлежности их обоим геометрическим объектам, которое можно записать следующим образом

$$k_{n-1} x_{n-1} + k_n x_n = K; \quad x_{n-1}^2 + x_n^2 = D, \quad (6)$$

где

$$K = k_0 - (k_1 x_1 + k_2 x_2 + \dots + k_{n-2} x_{n-2}); \quad D = r^2 - (x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_{n-2}^2).$$

В уравнениях системы (6) две компоненты  $x_n$ ,  $x_{n-1}$  вектора  $\vec{X}$  многомерного пространства  $R_n$  связаны с другими параметрами оптимизации следующим образом

$$x_{n-1} = \frac{K \cdot k_{n-1} \pm \sqrt{K^2 k_{n-1}^2 - (k_{n-1}^2 + k_n^2) \cdot (K^2 - Dk_n^2)}}{k_{n-1}^2 + k_n^2};$$

$$x_n = \frac{K \cdot k_n \pm \sqrt{K^2 k_n^2 - (k_{n-1}^2 + k_n^2) \cdot (K^2 - Dk_{n-1}^2)}}{k_{n-1}^2 + k_n^2}.$$
(7)

Зависимость (7) при любых значениях координат  $x_1, x_2, \dots, x_{n-2}$  обеспечивают расположение исследуемых точек на пересечении сферы в окрестности точки  $\vec{X}$  и границы  $S_g$ , построенной по условиям ограничений. Для поиска оптимального решения на поверхности пересечения использован метод градиентного спуска [2]. Учитывая сложность выражения целевой функции  $C(\vec{X}) = \varphi(\vec{X})$ , частные производные вычисляются численным методом:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x_1} = \frac{\varphi(x_1 + \Delta x, x_2, \dots, x_{n-2}) - \varphi(x_1, x_2, \dots, x_{n-2})}{\Delta x};$$

$$\dots \dots \dots$$
(8)

В найденную точку переносится текущее решение и описанный выше процесс повторяется. По предложенному нами алгоритму составлена программа *CROSS* и получены результаты оптимизации прямоугольных железобетонных плит.

### Литература

1. Вербицкая, О. Л. Оптимизация прямоугольной пластинки методом градиентного спуска с навигацией направления поиска вблизи границ. Рефераты докладов международной научно-технической конференции “Наука — образованию, производству, экономике”, т.2. — Мн. 2003, С. 10.
2. Вербицкая, О. Л. Алгоритм оптимизации прямоугольных пластинок методом градиентного спуска с навигацией направления поиска вблизи границ. Научно-технический журнал “Вестник БНТУ” № 2, Мн. 2004, С. 15-21.

**Способы использования геодезических и программных средств при исполнительной съемке зданий и сооружений**

Позняк А.С.

Белорусский национальный технический университет

Проектные работы по реконструкции зданий и сооружений выполняют по результатам исполнительной съемки и обследования строительных конструкций. Исполнительная съемка, позволяющая получить пространственные координаты точек и цифровую трехмерную модель объекта, является достаточно трудоемким процессом геодезических работ и требует значительных затрат времени и средств. В настоящее время при исполнительных съемках широко используют обычные или безотражательные электронные тахеометры, есть экспериментальный опыт использования лазерных сканирующих систем, иногда передают условные координаты с пунктов вспомогательного базиса на контур здания с помощью теодолита, нивелира, уровня и рулеток, выполняют боковое нивелирование с целью определения отклонений от вертикали.

Поиск рациональных способов и приемов геодезических работ при исполнительной съемке проведен на основе необходимости съемки в кратчайшие сроки 5-этажного общественного здания длиной 120 м в стесненных условиях городской застройки, сложного рельефа местности и неблагоприятной для высокоточных геодезических измерений погоде.

Исполнительная съемка была выполнена в несколько этапов. Сначала были разбиты с помощью высокоточного теодолита и рулетки базисы параллельно фасаду здания и закреплены исходные пункты, координаты которых определены в условной системе координат. При этом координатные оси ориентированы посредством компьютерного подбора примерно параллельно основным осям здания с целью последующего определения величин и направлений смещений точек, расположенных по проекту на одних вертикальных (отвесных) линиях (углы здания, оконные проемы и т.п.). На втором этапе работ было выполнено геометрическое нивелирование исходных пунктов и около 50 замаркированных опорных точек, расположенных на всех входах в здания, прямых и некоторых подоконниках первого эта-



жа. На заключительном этапе полевых работ от опорных точек выполнены необходимые линейные измерения геометрических параметров и обмеры конструктивных элементов здания. Уравненные высоты опорных точек получены относительно максимальной отметки пола первого этажа, принятой за нуль. Дополнительно, на оконных и вентиляционных проемах верхних этажей и крыше здания были выбраны опорные точки, плановые координаты которых получены посредством решения прямой угловой засечки по формулам Юнга, а их высоты – из тригонометрического нивелирования. В качестве исходных плановых координат были использованы условные координаты и высоты исходных пунктов.

Контроль плановых координат опорных точек  $X$  и  $Y$  выполнялся по сходимости высот этих же точек, определяемых дважды независимо с двух исходных пунктов. Как правило, разности высот не превышали 10 мм.

Полевые геодезические работы заключались в измерениях и правильном заполнении журналов специальной формы, позволяющем контролировать результаты измерений по величине коллимационной погрешности и месту зенита теодолита при наведении на каждую опорную точку. Камеральные работы свелись к вычислениям пространственных координат исходных пунктов и опорных точек, составлению сводных таблиц координат и горизонтальных смещений опорных точек, расположенных по проекту на одних вертикальных линиях (углы здания, оконные проемы и т.п.). Для этого успешно применены специально разработанные программы на алгоритмическом языке Турбо Паскаль 7.0 с файловым вводом данных и выводом результатов в виде таблиц.

Итак, в этой работе при исполнительной съемке здания в стесненных условиях городской застройки использованы высокоточный теодолит и традиционные геодезические приборы и принадлежности, современные компьютерные технологии при вычислительной обработке результатов полевых измерений. При грамотной их комбинации можно в несколько раз повысить производительность труда при проведении камеральных работ и оптимизировать использование геодезических приборов и принадлежностей.

**Результаты натуральных испытаний шпалы-механизма  
и отрезка ленточного трамвайного пути**

Суходоев В.Н., Юреня Р.С., Коробан В.В.

Белорусский национальный технический университет

В докладе изложены результаты натуральных испытаний шпалы-механизма (Ш-М) и отрезка ленточных трамвайных путей (ЛТП) воздействием статически прикладываемой нагрузкой.

Теоретические исследования ЛТП представляют собой скорее лишь рабочие гипотезы, т.к. наши знания об осредненных физических и механических характеристиках грунтов в основании, о соотношении параметров и перераспределении НДС в основании и слоях ЛТП и о работе ЛТП под нагрузкой пока недостаточны из-за отсутствия практического опыта. Поэтому при проверке теорий или оценке пределов их применимости наиболее убедительны натурные исследования.

Пока отсутствует единая методика определения ряда величин рельсовых путей разных конструктивных решений, но есть главные требования при создании конструкции пути: ее рассчитывают на прочность и устойчивость, устанавливают интенсивность накопления остаточных деформаций, сроки службы основных элементов. Отметим, что два последних требования возможно выполнить лишь в процессе длительной эксплуатации ленточных путей. А вот достоверность расчетов на прочность и устойчивость должна быть проверена уже на стадии проектирования. С этой целью ТУ РБ 100649841-338-2003г. «Шпалы – механизмы железобетонные сборные» предусматривают статические испытания шпал нагружением для контроля их прочности, жесткости, трещиностойкости, которые следует проводить перед началом их массового производства.

Важным вопросом методики натуральных испытаний Ш-М является выбор рабочей схемы испытаний. Рабочей схемой называют статическую расчетную схему, которая реализуется при испытании.

В продольном направлении рабочая схема испытания Ш-М отличалась от исходной расчетной схемы шпалы хотя и упрощенной: рабочая схема – однопролетная балка на двух опорах с консолями. Расчетная схема – балка на упругом основании

(БУО). Расчеты рельсовой нитки, как БУО, и анализ результатов показали, что по ее длине  $M_{\max}$  и  $u_{\max}$  имеют практически одинаковые значения. Поэтому выбор упрощенной рабочей схемы испытания, где по величине испытательная нагрузка будет эквивалентна по внутренним усилиям и перемещениям проектной нагрузке при наименее выгоднейшем сочетании, следует признать оправданным.

В результате испытаний получена информация о перемещениях в трёх сечениях Ш-М: на опорах и в среднем сечении. По этим замерам определены величины её максимальных прогибов, как функции нагрузки.

Визуальным обследованием поверхности граней железобетонной Ш-М даже под нагрузкой 141 кН, т.е. в 2 раза больше проектной, микротрещины обнаружены не были. Это подтверждается также незначительной величиной прогибов. Прогибы оказались намного меньше расчетных. Отсюда следует, что трещиностойкость и несущая способность изгибаемой железобетонной Ш-М обеспечены на действие расчетных нагрузок с запасом.

Отметим устойчивость Ш-М и «граблей» даже при опирании на 4 точечные опоры, а не всей подошвой на упругое основание, как это будет в эксплуатационных условиях. Ш-М с вкладышем превратились в одно целое аналогично железобетонной балке с жесткой арматурой. Цельность рельсовой нитки ЛТП обеспечивается проявлением «эффекта граблей», который служит одновременно ее фактором жесткости и фактором несущей способности. В свою очередь механизм Ш-М служит фактором «эффекта граблей».

По распоряжению руководства ТКУП «Минсктранс» на территории Минского трамвайного депо построен отрезок ЛТП в предельном состоянии. Предельное состояние было создано даже не одним, а сразу несколькими факторами. Так, длина Ш-М вместо 6,15 м (например, в результате поломки автомобилем) равнялась  $l=3,12$  м, длина рельсов - до 2,85 м вместо  $l_1 = \infty$ , что привело к изменению НДС. Пазухи между рельсом и Ш-М не были заполнены упругим материалом (в эксплуатации ЛТП в результате разрушения асфальтобетона). Рельс опирается на железобетон. Так будет, если резиновые прокладки под рельсом выносились или разрушены. Балласт из песка  $\delta = 30$  см

вместо  $\delta = 46$  см под подошвой Ш-М. Балласт по бокам и под Ш-М не уплотнен, водонасыщенный. Грунт под балластом насыпной. Поперечные тяги отсутствуют. Разъем левой Ш-М больше. Увеличение обусловлено деформациями ее во время испытаний на прочность и жесткость в лаборатории ОНИЛСК. «Грабли» смонтированы с наклоном к оси Ш-М.

Перечисленные критерии предельного состояния ЛТП свидетельствуют о несоответствии натурной конструкции проектным решениям, что имеет место изменение условий работы элементов ЛТП, о том что отрезок ЛТП находится в предельном состоянии. Тем не менее, испытания показали: даже в предельном состоянии ЛТП может воспринимать расчетную нагрузку с запасом с проявлением «эффекта граблей».

УДК 528.9

### **Выбор картографических проекций для создания базовых карт ГИС**

Рак И.Е.

Белорусский национальный технический университет

Современный прогресс непрерывно развивающейся науки и техники в области геодезических измерений, геодезических съемок и картографических работ основан на компьютерных технологиях, которые обеспечивают новые эффективные возможности по созданию, накоплению и использованию картографической информации о земной поверхности и объектов на ней. Спутниковые методы определения координат опорных точек намного упростили и снизили стоимость топографических съемок, обеспечили возможности получения высокой точности координат, создаваемых плановых и высотных опорных пунктов и точек съемочного обоснования. Сочетание современных средств геодезических измерений, обрабатывающих и отображающих компьютерных технологий составляет основу формирования и использования геоинформационных систем любого назначения.

Т.к. карта является основным компонентом ГИС, то создание и применение геоинформационных систем требует разработки механизма взаимосвязи картографических моделей и компьютерных технологий. При выборе системы картографических мо-

делей ГИС следует учитывать не только необходимость обеспечения точной локализации элементов для решения исследовательских задач, но и возможность взаимодействия моделей на основе преобразований данных.

Т.к. выбор картографических проекций должен обеспечить оптимальные условия решения задач ГИС по картам, то проблему изыскания выгоднейших или наилучших проекций следует рассматривать, прежде всего, с точки зрения минимизации искажений отображаемых величин поверхности земного эллипсоида на плоскости. Тогда наилучшей (идеальной) проекцией для какого – либо региона будет являться проекция, удовлетворяющая критерию Чебышева – Граве о наилучшей проекции. Смысл теоремы Чебышева о наилучшей проекции для изображения некоторой области сводится к тому, чтобы изокола (линия равных линейных искажений) по возможности совпадала или была бы достаточно близка к контуру изображаемой области.

Поэтому проекции для многих карт выбирают в зависимости от конфигурации и положения картографируемой территории. Так для территорий, расположенных вблизи и симметрично относительно экватора и вытянутых по долготе используют цилиндрические проекции; для таких же территорий, но не симметричных относительно экватора или расположенных в средних широтах - конические проекции; для изображения полярных областей - азимутальные проекции.

Факторы, от которых зависит выбор картографических проекций можно разбить на три группы.

- факторы, характеризующие объект картографирования. Это географическое положение изображаемой территории, ее размеры, конфигурация, значимость отдельных ее частей, степень показа смежных с картографируемой областью территорий;
- факторы, характеризующие создаваемую карту. Это содержание и назначение карты ГИС в целом, способы и условия ее использования при решении задач ГИС, требования к точности их решения;
- факторы, которые характеризуют получаемую картографическую проекцию. Это условие обеспечения минимума искажений, допустимые максимальные величины искажений, характер их распределения, кривизна изображения линий меридианов и параллелей.

Выбор картографических проекций осуществляют в два этапа:

на первом устанавливают совокупность проекций (или их свойств),

из которых целесообразно производить их выбор;

на втором - определяют искомую проекцию.

Поиск таких проекций актуален в связи с необходимостью включения современных высокопроизводительных измерений, отличающихся высокой точностью и автономностью, в существующую геодезическую основу с целью ее модернизации, а также для надлежащего топографо-геодезического обеспечения различных автоматизированных систем управления и рационального использования ресурсов.

Для двух-трех из выбранных проекций, имеющих наименьшие величины искажений, выводят на экран монитора картографические сетки с изоколами (линиями равных искажений) и выбирают ту из них, в которой обеспечиваются наименьшие величины искажений, лучший и более простой вид картографической сетки, а при равных условиях – более простой математический аппарат проекции.

При создании карт ГИС стремятся к тому, чтобы исходные картографические материалы были приведены в геодезическую систему координат и картографическую проекцию базовой карты, принятые для карт данной ГИС и ее математическая основа обеспечивала бы оптимальные условия решения задач ГИС по картам. Но во многих случаях создания карт ГИС исходные картографические материалы составлены в проекциях, отличающихся от проекций создаваемых карт. Тогда возникает необходимость выполнения их преобразований и, следовательно, преобразование всего изображения карт.

Существует два основных способа решения этой задачи:

- предварительное определение геодезических координат по прямоугольным координатам точек исходного картографического материала, а затем вычисление по полученным геодезическим координатам прямоугольных координат создаваемой карты;

- при отсутствии данных о проекциях исходного картографического материала устанавливают непосредственную связь между прямоугольными координатами проекции исходного картографического материала и создаваемой карты.

Первый способ имеет ряд преимуществ по сравнению со вторым, так как обеспечивает высокую точность преобразований.

## Картографическая экстраполяция – способ прогнозирования природных явлений и процессов

Михайлов В.И.

Белорусский национальный технический университет

Все известные методы прогнозирования не могут обойтись без помощи карт, когда дело касается природных явлений и процессов. Карты сопровождают любое прогнозирование, начиная с накопления фактических данных и кончая разработкой итоговых прогнозных документов.

Под картографической экстраполяцией, как специфического и общего способа прогнозирования (Берлянт, 1976), в данном случае понимается распространение закономерностей, полученных в ходе картографического анализа какого-либо явления или процесса, на неизученную часть этого явления или процесса, на другую территорию, на будущее время. При этом выделяются следующие виды прогнозов по картографической экстраполяции.

Прогноз во времени связан с экстраполяцией закономерностей, выявленных по разновременным картам. Состояние прогнозируемого явления  $\bar{Z}_{t_{n+m}}$  с заблаговременностью  $m$  рассматривается как функция  $\bar{Z}_{t_{n+m}} = (Z_{t_1}, Z_{t_2}, \dots, Z_{t_n})$ , которая может быть аппроксимирована алгебраическими, корреляционными и другими уравнениями.

Прогноз в пространстве «по вертикали» предполагает экстраполяцию взаимосвязей между явлениями, изображенных на картах разной тематики. Если на одной карте изображено явление  $A$ , имеющее в каждой точке значение  $Z_A$ , а на других картах – явления  $B, C, \dots, N$  со значениями  $Z_A, Z_B, \dots, Z_N$ , то изучение взаимосвязи между ними сводится к отысканию зависимостей типа  $\bar{Z}_A = F(Z_B, Z_C, \dots, Z_N)$ .

Прогноз в пространстве по «горизонтали» осуществляется посредством экстраполяции данных, полученных при изучении карт-аналогов. Формула прогноза «по горизонтали» может быть записана в следующем виде

$$\begin{aligned} (a, b, \dots, n) \in A; \quad (\alpha, \beta, \dots, \nu) \in B; \\ (a \cong \alpha; b \cong \beta; \dots, n \cong \nu) \supset (A \cong B), \end{aligned}$$

где  $a, b, \dots, n$ ;  $\alpha, \beta, \dots, \nu$ ) – абсолютные и относительные значения и любые другие параметры явлений, взятые с сопоставляемых карт;  $\in$  – символ, показывающий принадлежность этих параметров к явлениям  $A$  и  $B$ ;  $\cong$  – обозначение приближенного равенства или подобия;  $\supset$  – символ, соответствующий выражению «если ..., то ...».

Пространственно-временной прогноз совмещает в себе экстраполяцию по разновременным картам и по картам разной тематики. Конкретные математические модели картографической экстраполяции многообразны.

Рассмотрим некоторые из этих приемов на конкретном примере. На рис.1 показано использование корреляционных карт для прогноза буроугольных залежей в Старобинском районе. В качестве исходных взяты структурные карты поверхности соленосных (А), меловых (Б) отложений и карта базисной поверхности (В), характеризующая основные орографические черты современного рельефа.

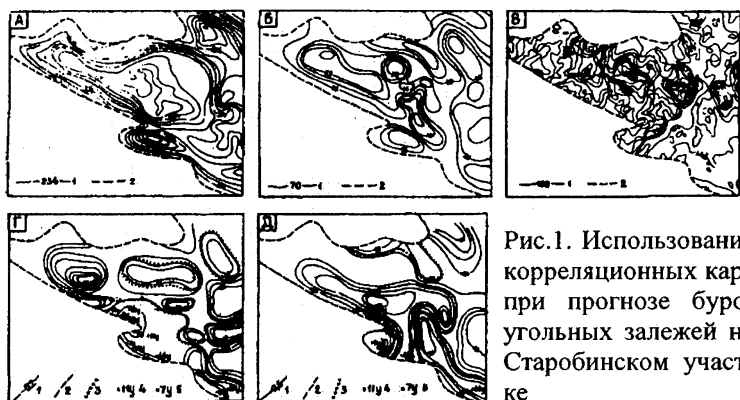


Рис.1. Использование корреляционных карт при прогнозе буроугольных залежей на Старобинском участке.

А. Поверхность соленосных отложений: 1-изогипсы соленосных отложений; 2-граница соленосных отложений. Б. Поверхность меловых отложений: 1-изогипсы кровли меловых отложений. В. Базисная поверхность: 1-изобазиты и их высоты. Г. Корреляционная карта, отражающая связь между поверхностью соленосных отложений и базисной поверхностью: 1-изокорреляты и их значения; 2-граница соленосных



отложений; 3-участки перспективные для поисков угля; 4-скважины, вскрывшие бурый уголь; 5-скважины, не вскрывшие бурый уголь. Д. Корреляционная карта, отражающая связь между поверхностью меловых отложений и базисной поверхностью (обозначения те же, что и на карте Г)

Указанные карты использованы для прогнозирования по соленосной толще мульд оседания и приуроченных к ним месторождений бурого угля.

Корреляционные карты позволили обнаружить сложные соотношения между структурными поверхностями и проследить их изменения от места к месту. Так, обратные соотношения наблюдаются между базисной поверхностью и кровлей меловых отложений (Д), располагающихся вдоль южной границы распространения соленосных отложений. Именно в этих районах инверсии структурных планов пласты бурого угля были обнаружены скважинами, что свидетельствует о достоверности прогнозной концепции.

Таким образом, картографическая экстраполяция как средство реального прогноза, может стать очень эффективным методом в комплексе других исследований, используемых для составления прогнозов. Для успешного применения картографической экстраполяции необходимо наличие возможно более длинных серий карт, отражающих прошлые состояния явления или смену ситуаций в пространстве.

### **Литература**

1. Берлянт, А.М. Использование карт для целей прогнозирования. -В сб.: Итоги науки и техники. Картография. Т.7.М., ВИНТИ, 1976.

**Принципы построения и методическое обеспечение  
курса «Компьютерная графика»  
для студентов строительных специальностей**

Садовский Ю.И., Тарасов В.В., Шуберт И.М.  
Белорусский национальный технический университет

Одним из разделов курса «Начертательная геометрия. Инженерная и машинная графика» кафедры ИГСП является компьютерная графика. Основная цель этого раздела - обучение студентов средствам и способам создания изображений при решении задач архитектурно-строительного проектирования. С 1992 года студенты изучают систему автоматизированного проектирования AutoCAD (в настоящее время версии 2002 – 2005).

Основной акцент в обучении делается на возможности создания и редактирования изображений как основного компонента строительной документации, разработкой которой занимается большинство проектировщиков, ведущих компьютерное проектирование.

Кафедрой разработаны рабочие учебные программы по компьютерной графике для разных специальностей, в зависимости от объема часов их учебной программы с максимальным учетом будущей профессиональной деятельности студентов, построенные по модульному принципу.

Накопленный за двенадцать лет работы материал реализован в курсе лекций в объеме 18 часов, практических занятий в объеме 18 часов, программе курсового проектирования в объеме 36 часов и курсах лабораторных работ – базового и расширенного в объеме 18 часов каждый. В зависимости от учебного плана специальности в рабочую программу включается соответствующий модуль. Взаимосвязь основных модулей с учебными программами специальностей показана на рис. 1.

Выполняемые в рамках лабораторного практикума работы представляют адаптированные к условиям учебного процесса фрагменты чертежей, используемых в производстве. Примеры таких работ представлены на рис. 2.



Рис. 1. Модули курса «Компьютерная графика» в рабочих программах данной дисциплины для студентов строительных специальностей

Основой методического обеспечения курса является учебное пособие по формированию изображений строительных объектов в системе AutoCAD в 3 частях [ 1 ]. В этом пособии освещены основные команды и возможности системы по работе с двухмерными изображениями (части 1и 2), даны варианты лабораторных работ базового курса (часть 3).

Подготовлен к печати и в самое ближайшее время будет издан лабораторный практикум выполнения работ расширенного лабораторного курса, учитывающий специфику большинства специальностей факультетов энергетического строительства и транспортных коммуникаций.

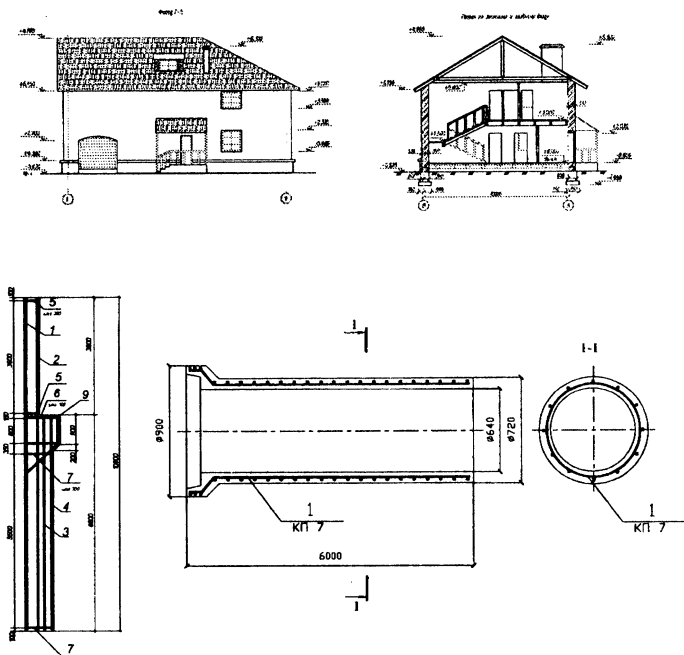


Рис. 2. Фрагменты лабораторных работ для различных специальностей

Параллельно с существующим пособием при проведении занятий используются методические карты новых лабораторных работ, не вошедших в пособие, а также электронные презентации по некоторым разделам курса.

Одновременно на кафедре ведется работа по внедрению элементов трехмерной графики в учебные курсы, в первую очередь у студентов специальности «Архитектура».

В основу проектирования трехмерных объектов положена реализованная в система AutoCAD технология твердотельного моделирования на базе ядра ACIS. Для отдельных элементов применяется также полигональное плоскостное моделирование.

Каркасные модели объектов создаются как средствами операций логической (Булевой) алгебры на основе комбинаций

стандартных тел (параллелепипед, сферы, цилиндра, конуса, клина, тора) либо на основе созданных форм с помощью интерактивных операций моделирования – экструзии и вращения.

Поначалу создание трехмерных графических объектов выполнялось студентами при подготовке докладов на студенческих научно-технических конференциях, а далее использовалось на кафедре как вспомогательный инструмент при обучении [ 2 ].

В настоящее время трехмерное редактирование все больше используется для создания объектов дизайна и архитектуры [ 3]. На рис. 3 показаны пример моделируемой трехмерной архитектурной оболочки.

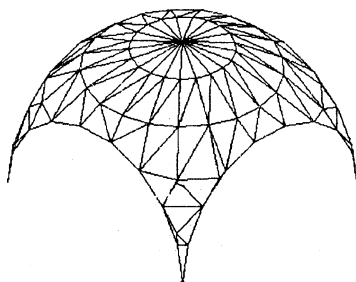


Рис.3. Пример моделируемой оболочки

### Литература

1. Садовский,Ю.И., Тарасов,В.В., Шуберт,И.М. Машинная графика. AutoCAD для строителей. Учебно-методическое пособие в 3 частях. Мн., БНТУ, 1998- 2001 гг., 107с.
2. Садовский,Ю.И., Шуберт,И.М.Твердотельное компьютерное моделирование в обучении инженерной графике. В сборнике докладов международной научно - технической конференции «Современные технологии образования». - Мн., БНТУ, 2002, с. 380-384.
3. Ю.И. Садовский. Трехмерное компьютерное моделирование объектов архитектуры и дизайна. В сборнике докладов Второй Международной научно-практической конференции « Наука-образованию, производству, экономике», Мн., 2004, т.1, с.455-458.

# **Строительные материалы и изделия**

## Проблемы транспортирования модифицированных бетонных смесей

Иванова Е.А., Батыновский Э.И.

Белорусский национальный технический университет

В практике строительства с применением монолитного цементного бетона широко используются химические добавки различных видов, с помощью которых модифицируют реологические свойства бетонной смеси или темп твердения и физико-технические характеристики затвердевшего бетона. Многие из этих веществ усложняют условия транспортирования бетонных смесей, так как активно влияют на ее технологические свойства: формуемость, расслоение, водоотделение и др. В результате могут существенно измениться (ухудшиться) физико-технические характеристики бетона.

В частности, используемые добавки-ускорители твердения бетона и, особенно, уплотняющие его структуру ( $\text{CaCl}_2$ ; ННХК;  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ;  $\text{FeCl}_3$  и др.) активизируют процесс схватывания цементного геля, сопровождающийся ускоренной потерей формовочных свойств бетонной смеси. В их присутствии активизируются процессы взаимодействия клинкерных минералов цемента с водой, проявляется эффект интенсивной дезагрегации (пептизации) цементных флокул, перераспределения жидкости сольватных оболочек за счет потенциала поверхности твердой фазы в сторону уменьшения их толщины, возрастает скорость протекания реакций с образованием новых фаз в виде микрогидрокристаллов аллюмоферритной группы. В результате создаются условия для ускоренного формирования коагуляционной структуры цементного геля и проявления эффекта «ближней коагуляции», т.е. схватывания. Как установлено экспериментально, отмеченное характерно для всех основных видов (марок) цементов, выпускаемых в Беларуси, но степень влияния различна и может быть соотнесена с их активностью либо группой эффективности при пропаривании.

В случае применения пластифицирующих добавок в бетон (особенно без корректировки воды затворения) наблюдается

обратная тенденция увеличения сроков схватывания цементного геля за счет «блокировки» активных участков поверхности цементных частиц молекулами «ПАВ», содержащихся в этих добавках. Результатом их адсорбции является эффект замедления гидратации цемента, сопровождающийся снижением темпа развития означенных ранее процессов. Одновременно снижается напряжение сдвига ( $\tau_0$ ) системы «цемент-вода» и, соответственно, снижается седиментационная устойчивость бетонной смеси как реологической системы: проявляется отрицательный эффект ее расслоения. Транспортирование таких смесей в статическом состоянии (без побуждения в пути следования) приводит к существенному ухудшению качества бетона.

При использовании комплексных добавок в бетон, например, сочетающих эффекты пластификации и ускорения твердения, имеет место наложение означенных тенденций. Экспериментально выявлены закономерности изменения реологических характеристик модифицированных бетонных смесей во времени в зависимости от важнейших факторов: вида и количественного соотношения пластифицирующего и ускоряющего компонентов, температуры смеси и окружающей среды, интенсивности механического воздействия на смесь при транспортировании.

Повышение температуры проявляется в естественном ускорении процессов гидратации и коагуляционного структурообразования системы «цемент-вода», вследствие роста кинетической энергии элементарных частиц твердой фазы (цемента) при соответствующем снижении их потенциальной энергии, благодаря которой они удерживаются в структурной решетке вещества. В результате снижается усилие, которое надо обеспечить молекулам воды как растворителя, чтобы оторвать элементарную частицу от зерна цемента и «увлечь» в раствор. А с другой стороны, возрастает активность (подвижность) молекул воды, в результате чего за единицу времени возникает большее количество ситуаций, при которой адсорбирующиеся у поверхности цемента «гроздь» поляризованных молекул воды создают усилие, превышающее то, с которым его элементарные частицы удерживаются в структурной решетке. В случае



присутствия в воде ионов добавок-электролитов (ускорители твердения, уплотняющие неорганической группы, ингибиторы коррозии стали и др.) ее «растворяющая способность» возрастает, а процессы гидратации и схватывания цемента в еще большей степени ускоряются.

Продолжительное перемешивание бетонной смеси с добавками (особенно способствующими ускорению процесса гидратации цемента) сопровождается сокращением периода сохраняемости ее формовочных свойств после выгрузки. Это связано, во-первых, с развивающимся процессом дезагрегации цементных флокул и связыванием воды открывающейся поверхностью цемента. Во-вторых, дополнительная масса пылевидных фракций удаляется с поверхности заполнителей и адсорбирует воду. В-третьих, энергия трения при продолжительном перемешивании способствует активизации поверхностных силы твердой фазы, увеличивая ее адсорбционную активность. Отмеченные эффекты дополняются постоянными нарушениями гелеобразных «каемок новообразований» цементных частиц (флокул), которые при статическом состоянии цементного теста достаточно быстро формируются вокруг зерен вяжущего и начинают сдерживать развитие процесса гидратации.

Особый случай представляет собой транспортирование бетонных смесей в зимний период, в том числе с использованием противоморозных добавок в бетон. Смеси без этих добавок должны при отгрузке характеризоваться положительной температурой, обеспечивающей уровень последней к моменту окончания укладки в опалубку (или, по условиям ведения работ, к началу прогрева) не ниже 5 °С. В случае использования противоморозных добавок (особенно наиболее дешевой и доступной – поташа) возникает проблема необходимости одновременного введения добавок-замедлителей схватывания бетона.

Полученные по означенным направлениям экспериментальные данные позволяют сформулировать требования к условию транспортирования модифицированных бетонных смесей, обеспечивающие сохранение их формовочных свойств и однородность бетона.

**Исследование влияния кольматирующих составов на гидротехнические свойства и долговечность ограждающих конструкций гидротехнических сооружений**

Галузо Г.С., Коваженкова В.И., Тамашко С.А., Кашков П.А.  
Белорусский национальный технический университет

Августовский канал относится к выдающимся гидротехническим сооружениям первой половины XIX в. и представляет собой сложную систему водных путей, рек, озер и соединенных с ним судоходных и водосбросных шлюзов. Изначальное предназначение канала, предложенного в качестве транспортной артерии, связывающей реки Висла и Неман вплоть до выхода в Балтийское море, сегодня утрачено.

Белорусская часть Августовского канала с 1950-го года практически не эксплуатировалась. Это привело к значительным повреждениям гидротехнических сооружений.

Одним из основных путей увеличения долговечности ограждающих конструкций гидротехнических сооружений, а также кирпичной и бетонной облицовок на сохранившихся участках стен реставрируемых судоходных шлюзов Августовского канала, является повышение морозостойкости и водонепроницаемости бетона, строительного раствора и кирпичной облицовки за счет использования цементных составов защитного проникающего действия.

В настоящее время в строительной практике для этих целей используется ряд таких составов, известных под названием «Кальматрон», «Кальмафлекс», «Пенетрон», «Кальмацет», «Хутофил» и др.

Они предназначены для обеспечения непроницаемости через пористые материалы воды, солевых растворов, нефтепродуктов и т.п. при высоком гидростатическом напоре, уменьшают разрушение строительных конструкций при циклическом замораживании и оттаивании, увеличивают сопротивляемость конструкции агрессивному воздействию растворов солей, повышают прочность и долговечность.

На кафедре «Строительные материалы и изделия БНТУ» выполнены комплексные исследования по определению влияния количества кольматирующих составов «Кальматрон»,

«Кальмафлекс» и «Хутофил» на технологические и гидротехнические свойства гидротехнического бетона и строительного раствора, рекомендуемых для использования при реставрации гидротехнических сооружений Августовского канала.

Оптимальные составы тяжелого гидротехнического бетона подобраны исходя из получения в возрасте 28 суток твердения в нормальных естественных условиях бетона соответствующего классу В30 и В40, маркам по водонепроницаемости W4, по морозостойкости F200. Для повышения долговечности гидротехнического бетона параллельно с контрольными образцами (без кольматирующих составов) изготавливали образцы с кольматирующими составами. Образцы изготавливали в стандартных металлических формах. Размеры образцов-кубов 150 мм и высотой 150 мм. Образцы из строительного раствора имели размеры 70,7x70,7x70,7 мм.

Для определения водостойкости и водопоглощения половинки балочек высушивали до постоянной массы, а затем половину из них насыщали в воде 48 часов, после чего определяли водопоглощение и испытывали их на сжатие в насыщенном водой состоянии. Водостойкость бетона оценивали по величине коэффициента размягчения, который вычисляли по формуле:

$$K_{\text{разм.}} = R_{\text{нас.}}/R_{\text{сух.}}$$

где  $R_{\text{нас}}$  и  $R_{\text{сух.}}$  – пределы прочности при сжатии соответственно насыщенного водой и сухого бетона.

Водонепроницаемость бетона и строительного раствора определяли на образцах-цилиндрах согласно ГОСТ 12730-84. Морозостойкость бетона и строительного раствора определяли по ГОСТ 10060.4-95 по ускоренной методике.

На основании проведенных исследований установлено, что для бетонов и строительных растворов, изготовленных с кольматирующими добавками, водопоглощение по массе уменьшается, а водостойкость (коэффициент водостойкости), увеличивается по сравнению с контрольными составами. Аналогичная закономерность отмечается также по водонепроницаемости. Практически для всех трех видов примененных составов водонепроницаемость бетона увеличивалась с марки W4 до W6, т.е. на одну марку

водонепроницаемости. Для строительного раствора М200 водонепроницаемость повысилась с 0,1 МПа (для контрольного состава) до 0,2 МПа для растворов строительных с кольматирующими добавками практически для всех трех видов на одну величину. Для образцов строительного раствора, изготовленных из цементно-песчаного состава «Кальматрон-Эконом», водонепроницаемость соответствует W4, т.е. при 0,4 МПа не отмечено появление воды на поверхности образца.

При испытании на морозостойкость по ускоренной методике установлено, что контрольный состав тяжелого гидротехнического бетона после эквивалентных 300 циклов переменного замораживания и оттаивания имел 5 % снижения прочности при сжатии. Таким образом, по этому показателю это соответствует марке по морозостойкости F200. Для бетонов с кольматирующими составами морозостойкость увеличилась до 300 циклов, т.е. на одну марку по морозостойкости.

В результате проведенных испытаний подобраны оптимальные составы гидротехнического бетона с прочностью на сжатие В30 и В40 с использованием в качестве крупного заполнителя щебня гранитного Фр. 5-20 мм. песка строительного и портландцемента марки 500.

Для повышения морозостойкости, водонепроницаемости, водостойкости и коррозионной стойкости рекомендуется цементно-песчаный защитный состав «Кальматрон» (производство ООО «Белкальматрон»), который вводится в виде добавки в бетонную смесь при ее изготовлении в количестве 3 % от массы цемента, что обеспечивает объемную кольматацию порового пространства бетона.

Определен оптимальный состав цементного строительного раствора марки 200 по прочности на сжатие для кирпичной кладки из кирпича керамического клинкерного, а также установки блоков из гранита и песчаника для облицовки реконструируемых участков стен шлюзов Августовского канала.

Подобраны кольматирующие материалы для устройства гидроизоляционного слоя по бутовой кладке и сохраняемых участков бетонных и кирпичных стен. Определены физико-технические и технологические свойства кладочного строительного раствора и бетона.

**Новый гидроизоляционный и дренажный материал  
и его эксплуатационные свойства**

Змачинский А.Э., Галузо Г.С., Коваженкова В.И.  
Белорусский национальный технический университет

Рулонный дренажный материалы “ISO-DRAIN 10 GEO” (Fondaline 10 PLUS Geotextile GD10) имеет вид профилированной мембраны с выступами и применяется в качестве защитного и дренажного слоя при контактирующих с грунтом конструкциях здания.

Он состоит из гибкого листового сверхпрочного профилированного полиэтилена (ПЭ) высокой плотности и наклеенного нетканого полотна (геотекстиль) “GEO”, который приклеен на входной (верхней) стороне дренажного элемента. Геотекстиль служит в качестве фильтрующего холста и предотвращает попадание (внос) мелких и мельчайших частиц грунта в дренажный элемент. Специально профилированный полиэтилен черного цвета имеет выступы высотой 0,9 мм и диаметром 3,5 мм в средней части выступа. Выступы на ПЭ создают плоскую дренажную систему. Общая высота дренажного элемента 10 мм, толщина нетканого полотна – 0,4 мм.

Проведенные в научно-исследовательском и испытательном центре (НИИ ЦСМ) испытания по определению физико-механических свойств полиэтилена (ПЭ) и геотекстиля дали следующие результаты: прочность при разрыве – 22,5 МПа; относительное удлинение при разрыве – 470,3 %; температура размягчения по Вика – 81<sup>0</sup>С.

Материал ПЭ обладает высокой стойкостью ко всем регулярно встречающимся химическим веществам и растворам, кислотам и основаниям, не подвергается разрушительному действию плесени и бактерий. Стабилизирующие добавки делают данную мембрану ультрафиолетовоустойчивой.

Геотекстильное полотно имеет значения разрывного усилия по длине и ширине не менее 350 Н и относительное удлинение около 59-87 % при требуемом нормативном значении не более 150 %. Значение разрывного усилия для геотекстиля в среднем в

2,7 раз превышает требования СТБ 1104 для иглопробивного геотекстильного полотна для транспортного строительства.

Так как основным назначением данного материала является защита от влаги, дренаж и санация влажных опорных стен, плоских крыш и террас, то необходимо было разработать методику определения водопропускной и фильтрующей способности дренажного элемента. Эти показатели и были определены по методике, разработанной в НИИ ЦСМ.

Сущность методики определения водопропускной (отводной) способности заключается в определении количества воды в литрах, проходящей через единицу ширины дренажного элемента в единицу времени (секунду). Дренажный элемент при прохождении воды в горизонтальном направлении через щели между выступами полиэтиленового полотна должен находиться в обжатом состоянии. Это обусловлено тем, что согласно немецких норм ДИН 4095 «Дренаж в целях защиты строительных конструкций» при деформируемых дренажных элементах за базовое состояние принимается то состояние дренажного элемента, которое получается при наличии усталостных свойств в течение времени нагружения за период 50 лет. При этом для дренажных элементов приняты следующие сжимающие усилия: для крыш эксплуатируемых –  $2 \text{ кН/м}^2$  ( $200 \text{ кгс/м}^2$ ); для крыш с автостоянкой –  $10 \text{ кН/м}^2$  ( $1000 \text{ кгс/м}^2$ ); для стены с глубиной заложения до 3 м –  $30 \text{ кН/м}^2$  ( $3000 \text{ кгс/м}^2$ ).

*Пропускная способность (отвод воды)* дренажным элементом в горизонтальном направлении определялась на установке «щелевая модель».

Образец дренажного элемента размерами  $100 \times 100$  мм укладывался в отсек между стенками (входной и выходной) так, чтобы фильтрующее геотекстильное полотно находилось сверху дренажного элемента. Прикладывалось усилие соответствующее  $10 \text{ кН/м}^2$ , т.е. 10 кг на данный опытный образец. Создавалось давление 0,001 МПа перед входящей запорной стенкой. Прошедшая через дренажный элемент вода, за счет подпорной перегородки, образовывала уровень воды за выходной (запорной) стенкой. В момент, когда вода начинала течь в мерный сосуд, включался секундомер и фиксировалось время, за которое заполняется мерный сосуд вместимостью 10 л.

Определение *фильтрующей способности* дренажного элемента через геотекстильное полотно в плоскости, перпендикулярной дренажному элементу, проводили на образцах размерами 100x100 мм. На геотекстильное полотно (входная сторона дренажного элемента) устанавливали перпендикулярно стеклянную трубку с внутренним диаметром 32 мм, герметизировали ее пластилином снаружи в зоне примыкания к геотекстильному полотну и подавали воду в стеклянную трубку, обеспечивая равномерный слив воды, с поддержанием высоты водного столба в трубке на отметке равной 100 мм, что соответствовало давлению 0,001 МПа. Затем одновременно включали секундомер и подставляли мерный сосуд под сливной лоток. В момент полного наполнения сосуда фиксировали время. Испытания проводили на 3-х образцах по 3 раза на каждом.

Исходя из площади поперечного сечения стеклянной трубки  $S$  в  $\text{м}^2$ , объема воды в литрах, времени заполнения мерного сосуда в секундах, вычисляли фильтрующую способность, которая составляла в среднем  $24 \text{ л/м}^2 \cdot \text{с}$ .

Пропускная (отводящая) способность составного дренажного элемента оценивалась в литрах за единицу времени (секунду или минуту) через метр по ширине составного элемента при горизонтальных уклонах 1, 3 и 5 %.

Оценка фильтрующей способности геотекстильного полотна проводится по количеству воды в литрах, прошедших через единицу площади ( $\text{м}^2$ ) в единицу времени (секунду).

Результаты испытаний подтвердили достаточно высокую дренажную способность в горизонтальном направлении (при уклоне перекрытия 3 % - не менее 3,01 л/с/м).

Геотекстильное полотно обладает также высоким показателем фильтрующей способности в направлении, перпендикулярном к плоскости полотна.

Высокие значения пропускной способности составного дренажного элемента и фильтрующей способности геотекстиля подтверждают, что данный материал является лучшим техническим решением для защиты внешней гидроизоляции и самой конструкции от неблагоприятных воздействий внешней среды.

**Ударная технология производства ячеистого бетона**

Сажнев Н.Н., Батяновский Э.И.

Белорусский национальный технический университет

Анализ производства ячеистого бетона по традиционной (литьевой) технологии свидетельствует об отрицательном влиянии на его свойства избыточного количества воды затворения.

При литьевой технологии процесс вспучивания смеси определяется только качеством и количеством исходных компонентов последней, а поэтому подбор исходного ее состояния является вариантом пассивного управления процессом формования. Использование динамических воздействий, например, при вибрационном формовании позволяет регулировать этот процесс с учетом изменения реологических свойств смеси.

Вместе с тем высокочастотное вибровоздействие является, как оказалось [1], одной из причин разрушения пористой (ячеистой) структуры при формовании. Теоретическая оценка скорости движения газовой поры при динамическом воздействии на смесь в процессе вспучивания и изучение влияния частоты и амплитуды такого воздействия на процесс вспучивания смеси показали преимущества перед ним низкочастотного циклического формования. То есть, формования ячеистобетонных смесей с применением ударных воздействий [2].

Это принципиально новое направление в вибрационной технологии производства изделий из ячеистых бетонов базируется: на использовании для разжижения смеси динамических ударных воздействий, более эффективных, чем вибрация; на колебаниях ячеистобетонной смеси с основной собственной частотой; на эффекте остаточной тиксотропии, что приводит к снижению интенсивности газовыделения из смеси во время ее формования (вспучивания) и обеспечивает получение высококачественной макро- и микроструктуры ячеистого бетона [3]. В этом случае смесь в течение одного ударного цикла последовательно находится в трех состояниях:



покоя; свободного падения в форме; жесткого удара (после чего форму со смесью вновь поднимают на заданную высоту).

В состоянии покоя за счет действия сил гравитации по высоте слоя смеси развивается гидростатическое распределение напряжений, а также соответствующие распределения деформаций и перемещений. При свободном падении, вследствие резкой разгрузки слоя смеси у поддона формы, в смеси возникают собственные колебания как проявления прямых и обратных волн, на которые будет оказывать влияние масса формы (за счет сил адгезии смеси к поддону и бортам).

Собственные колебания, но с другими параметрами, появляются в смеси и при ударе формы о плоскость. Фронт вертикально распространяющихся при этом волн будет плоским (большая жесткость поддона формы практически исключает его прогиб), влияние краевого (пристенного) эффекта незначительное, так как горизонтальные размеры формы в несколько раз больше вертикальных. В ячеистобетонной смеси распространяются только вязкоупругие волны, поскольку возникновение пластичных и ударных волн практически невозможно вследствие того, что скорость удара меньше 0,5 м/сек. Пластическое течение смеси в условиях объемного одноосного деформирования означает разрушение макроструктуры смеси и является технологически недопустимым.

В момент удара смеси сообщается мгновенное ускорение, уровня которого в случае виброформования можно достичь только при резонансном режиме колебаний смеси. Во время пауз между ударами, смесь колеблется практически в течение 1—2 сек с основной собственной частотой, которая значительно уменьшается в период интенсивного вспучивания. Например, наибольшее значение собственной частоты колебаний смеси, находящейся в форме 6,4x1,2x0,6 м, равно 12-15 Гц, приходится на начало, а наименьшее — на конец формования (6-7 Гц), то есть частота уменьшается в 2 раза. Во время формования вязкость смеси резко уменьшается в начале воздействия и, обычно, не наблюдается дальнейшего ее понижения. Однако при низкочастотном воздействии возможен волнообразный характер ее изменения. При этом создаются

условия наиболее выгодного протекания процесса формирования пористой структуры.

Установлено, что из-за роста вязкости и вспучивания смеси, если пауза между ударами будет значительная (несколько секунд), то в стенках пор могут развиваться опасные, деструктивные процессы. В упрочняющейся структуре материала стенок пор развиваются растягивающие напряжения, вызывающие появление трещин и расслоений, отрицательно сказывающихся на прочностных показателях и долговечности бетона.

Выявлено, что формирование высоких массивов энергетически более выгодно, чем формирование низких массивов, поскольку с ростом высоты формируемых массивов период между ударами значительно увеличивается за счет увеличения длительности колебаний после удара ячеистобетонной смеси с основной собственной частотой.

Накопленный опыт работы заводов с использованием ударной технологии производства ячеистого бетона в Беларуси и странах СНГ подтвердил возможность получения материала высокой однородности и с улучшенными физико-механическими характеристиками благодаря формированию качественной макро- и микроструктуры бетона [4].

## **Литература**

1. Куннос, Г.Я. «Реологические задачи вибрационной технологии». Докторская диссертация, Рига, 1971 г.
2. Сажнев, Н.П. «Исследование закономерностей распространения колебаний вяжестобетонной смеси при виброформовании и повышение однородности ячеистого бетона». Кандидатская диссертация, Рига, 1975 г.
3. Сажнев, Н.П., Гончарик, В.Н., Гарнашевич, Г.С., Соколовский, Л.В., Сажнев, Н.Н. «Производство ячеистобетонных изделий. Теория и практика». НП ООО «Стринко», Минск, 2004 г.
4. Сажнев, Н.П., Сажнев, Н.Н. "Некоторые аспекты производства ячеистого бетона поударной технологии". Журнал "Белорусский строительный рынок" № 9-10, Минск.

**Влияние состава проникающего действия  
«Кальмафлекс» на физико-технические свойства бетона  
и строительного раствора**

Галузо О.Г., Потапова И.Л.

Белорусский национальный технический университет

В современном строительстве и ремонте бетонных и железобетонных конструкций зданий и сооружений в качестве уплотняющих и герметизирующих материалов для стыков, швов, дефектных участков или для увеличения морозостойкости пористых искусственных материалов применяются защитные составы кольматирующего действия, одним из которых является «Кальмафлекс».

Защитные свойства указанного состава базируются на его способности при затворении водой проявлять эффект цементирующего материала, который при нанесении на поверхность бетона или при введении его на стадии приготовления бетонной смеси существенно повышает непроницаемость бетона за счет кольматации пор и капилляров, дефектов и трещин.

В НИИЦСМ БНТУ проведены комплексные исследования влияния состава «Кальмафлекс» на прочностные, деформативные, физико-технические свойства и коррозионную стойкость тяжелого бетона класса по прочности на сжатие В15 и В25.

Испытания проводили на образцах кубах из бетона с ребром 100 мм, из строительного раствора – кубах с ребром 70, 7 мм и балочках размерами 40x40x160 мм.

Коррозионную стойкость защитного состава «Кальмафлекс» определяли в водном растворе, содержащем 5 %  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  и 5 %  $\text{NaCl}$ , и замораживанием-оттаиванием образцов в солевом растворе указанного выше состава, что соответствовало реальным условиям, приближенным к работе железобетонных оболочек градирен.

Защитный слой из состава «Кальмафлекс» наносили на поверхность образцов толщиной 3 мм в возрасте 28 суток после изготовления. Испытания проводили через 28 суток после нанесения защитного слоя. При введении кольматирующего

состава в бетонную смесь при изготовлении образцов количество кольматирующего состава составляло 1; 3 и 5 % от массы цемента. Контрольные образцы изготавливали без защитного слоя или без кольматирующего состава.

Изменение упругих свойств бетона и строительного раствора во времени, а также после испытания на морозостойкость оценивали по изменению динамического модуля упругости, который определяли по скорости прохождения ультразвуковых сигналов прибором УК-10Н.

Динамический модуль упругости вычисляли по формуле:

$$E_g = K \cdot \rho_0 \cdot V^2,$$

где  $\rho_0$  – средняя плотность материала в  $\text{кг/м}^3$ ;

$V$  – скорость ультразвукового импульса,  $\text{м/с}$ ;

$K$  –  $1,02 \cdot 10^{-6}$  – коэффициент, учитывающий единицу измерения динамического модуля упругости, МПа.

Проведенные исследования показали, что при использовании в качестве добавки цементного состава кольматирующего действия незначительное повышение предела прочности при сжатии на 7,3...9,1 % и прочности при изгибе на 2,6...3,7 % получено при использовании состава «Кальмафлекс». Больше повышение прочности характерно для бетонов меньшей прочности (марки), что, очевидно, можно объяснить увеличенной пористостью бетона с уменьшением его прочности. При увеличении количества добавки до 5 % повышение прочности при сжатии не отмечено. Повышение прочности строительного раствора с кольматирующимся составом составило в среднем 11,3 % по сравнению с контрольными образцами, прочность на сжатие которых составляла 21,9 МПа, что соответствует марке М200.

Интенсивность увеличения упругих свойств динамического модуля упругости к 28 суточному возрасту по сравнению с возрастом 7 суток испытанных бетонов составляет в среднем 10,7 %. По сравнению с контрольными образцами (без кольматирующего состава) модуль упругости бетона с составом «Кальмафлекс» больше аналогичной характеристики в среднем на 10,2 %.

Для бетона и строительного раствора, изготовленного с составом «Кальмафлекс», водопоглощение уменьшается, а коэффициент водостойкости увеличивается по сравнению с контрольными образцами. Такая закономерность отмечается также по водонепроницаемости. Водопоглощение по массе строительного раствора и бетона с кольматирующим составом соответственно на 42,8 и 15,1 % меньше по сравнению с контрольными образцами без кольматирующей добавки. Коэффициент водостойкости для строительного раствора без кольматирующего состава и с кольматирующим составом составляет соответственно 0,78 и 0,83, что свидетельствует о том, что с кольматирующим составом материал является водостойким. Известно, что для неводостойких материалов коэффициент водостойкости меньше 0,8. Для тяжелого бетона без кольматирующего состава значение коэффициента водостойкости составляет 0,81, а с составом «Кальмафлекс» величина этого показателя выше и составляет 0,88.

Водонепроницаемость бетона с кольматирующим составом «Кальмафлекс» увеличилась с марки W4 до W6, т. е. на одну марку по водонепроницаемости по сравнению с контрольным составом.

При испытании на морозостойкость бетона с кольматирующим составом и без него, установлено, что по этому показателю морозостойкость увеличилась до 300 циклов, т.е. на одну марку по морозостойкости.

Испытания на коррозионную стойкость после 400 циклов испытаний показали, что бетон с защитным слоем «Кальмафлекс» имеет достаточную коррозионную стойкость. Снижение прочности на сжатие составило в среднем 5 %.

Таким образом, проведенные исследования позволили определить оптимальное количество кольматирующего состава «Кальмафлекс», которое составляет 3 % массы цемента при введении его в бетонную или растворные смеси на стадии изготовления. Указанный состав улучшает гидрофизические свойства и повышает морозостойкость бетона и строительного раствора.

**Неавтоклавный пенобетон повышенной морозостойкости и стеновые блоки на его основе**

Повидайко В.Г., Галузо Г.С.

Белорусский национальный технический университет

Производство традиционных газосиликатных стеновых изделий связано с энергоемким и дорогостоящим процессом автоклавирования, вследствие чего готовые изделия имеют высокую стоимость. Кроме того, для изготовления газосиликатных изделий используется такой дефицитный и дорогостоящий компонент, как алюминиевая пудра, которая поставляется в Республику Беларусь из Российской Федерации. Несмотря на положительные физико-механические свойства газосиликатные изделия автоклавного твердения имеют также существенные недостатки. Из-за усадочных явлений на поверхности изделий может наблюдаться трещинообразование. Газосиликатные изделия имеют невысокую морозостойкость (25...35 циклов) и низкую адгезию к штукатурным покрытиям, особенно к наружным покрытиям на основе портландцемента. В процессе эксплуатации газосиликатных ограждающих конструкций значительная поверхность штукатурных покрытий может отслаиваться.

Более высокие показатели по морозостойкости и адгезии к штукатурным покрытиям имеют неавтоклавные пенобетонные изделия на цементном вяжущем. Однако по сравнению с газосиликатными изделиями автоклавного твердения неавтоклавные бетоны имеют более низкие прочностные показатели. При несоблюдении рецептуры и технологических параметров процесса производства на поверхности неавтоклавных бетонов также может наблюдаться трещинообразование.

В НИИЦСМ БНТУ проведены исследования и разработаны композиции и технология производства неавтоклавного пенобетона и стеновых блоков на его основе повышенной морозостойкости. Опробованы различные виды пенообразователей: пенообразователь, разработанный в ИОНХ АН РБ; пенообразователь, выпускаемый ПП "Поробетон" в г. Орша, смола древесная омыленная (СДО) и модифицированный

клееканифольный пенообразователь, приготовленный в НИИЦСМ БНТУ. Опыты показали, что пена, получаемая из пенообразователей ИОНХ и ПП "Поробетон", имеет низкую стойкость (10...15 мин), истечение межпленочной жидкости в пене приводит к ее быстрому разрушению и вызывает значительную усадку и расслоение пенобетонной смеси. Более устойчивая пена была получена на основе модифицированного клееканифольного пенообразователя и СДО. Пена имела кратность 6...8, плотность 76,5...152,0 кг/м<sup>3</sup>. Процессы водоотделения и усадки пены были незначительны и наблюдались лишь через 45...90 мин. Исследованы композиции с различными видами волокнистых наполнителей. Известно, что пенобетонные изделия относятся к хрупким материалам, которые могут раскалываться, выкрашиваться при транспортировке и выполнении монтажных работ и, как отмечалось выше, на их поверхности могут образовываться трещины вследствие возникающих в процессе твердения объемных деформаций.

Для устранения этих негативных явлений, а также для улучшения физико-механических свойств в сырьевую смесь вводили целлюлозные, полипропиленовые, базальтовые и другие виды волокон. Наиболее эффективными волокнами, повышающими трещиностойкость и морозостойкость изделий, оказались целлюлозные и полипропиленовые волокна. Разработаны оптимальные композиции неавтоклавного пенобетона, содержащие следующие сырьевые компоненты: портландцемент, песок кварцевый молотый, поливинилацетатная дисперсия, волокнистый наполнитель, пенообразователь (СДО, или клееканифольный модифицированный пенообразователь) и др. Технологический процесс получения неавтоклавного пенобетона включает следующие основные операции: подготовку исходных компонентов; приготовление пены; перемешивание компонентов; приготовление пенобетонной смеси; формование изделий; выдержку изделий в форме; распалубку формы и извлечение пенобетонных изделий. Разработанная технология позволяет изготавливать как монолитные ограждающие конструкции, так и штучные стеновые блоки. Особенность разработанной технологии состоит в том, что изделия получают

энергосберегающим неавтоклавным способом. При изготовлении стеновых блоков в заводских условиях может применяться низкотемпературная (40°C) тепловая обработка, позволяющая ускорить распалубку изделий. При более высокой температуре тепловой обработки (более 50°C) может происходить чрезмерное расширение пенобетонной смеси, что может приводить к деструктивным процессам в ячеистой структуре материала.

Получены конструкционно-теплоизоляционные стеновые блоки, имеющие среднюю плотность 890 кг/м<sup>3</sup>, предел прочности при сжатии – 4,07 МПа, коэффициент теплопроводности – 0,21 Вт/(м·К), морозостойкость – более 100 циклов. Стеновые изделия отвечают требованиям СТБ 1117-98 "Блоки из ячеистых бетонов стеновые. ТУ". Рекомендуется их применять для устройства несущих и самонесущих, наружных и внутренних ограждающих конструкций преимущественно в малоэтажном строительстве.

Стеновые блоки с пределом прочности при сжатии 0,5...1,5 МПа, средней плотностью 597 кг/м<sup>3</sup> целесообразно применять для устройства самонесущих ограждающих конструкций.

Неавтоклавный пенобетон превосходит по морозостойкости в 3...4 раза традиционные газосиликатные стеновые блоки и по адгезии к цементно-песчаной штукатурке превосходит их на 22 %.

В композиции неавтоклавного пенобетона входят в качестве волокнистого наполнителя недорогие и недефицитные волокна, которыми располагает отечественная промышленность. Благодаря дисперсному армированию неавтоклавного пенобетона снижается вероятность образования трещин на его поверхности при возникновении объемных деформаций, повышается стойкость к воздействию ударных нагрузок при транспортировке и монтаже стеновых изделий на строительной площадке и повышается морозостойкость готовых изделий.



**Исследование влияния добавок отходов производств  
на процессы структурообразования  
в дисперсных системах**

Воеводов О.В. УП «Минскоблдорстрой»,  
Бусел А.В. РУП «БелдорНИИ»

Главное направление в укреплении покрытий местных дорог – это широкое использование местных грунтов как исходного, дешевого сырья, обеспечивающего в результате соответствующей его технологической обработки получение полноценных материалов для дорожного строительства. Грунты после их обработки способны выдерживать значительные напряжения, возникающие при проходе автомобилей по дороге. При этом эксплуатационные характеристики покрытия могут изменяться в широких пределах и зависеть как от метода обработки, так и от свойств обрабатываемого грунта, добавляемого вяжущего материала и вида химических реагентов.

Задачей проведенных исследований являлась разработка эффективных составов реагентов для интенсификации процессов структурообразования в дисперсных системах на основе доступных местных материалов с целью улучшения качества гравийных и грунтовых покрытий.

В качестве объектов исследования использованы:

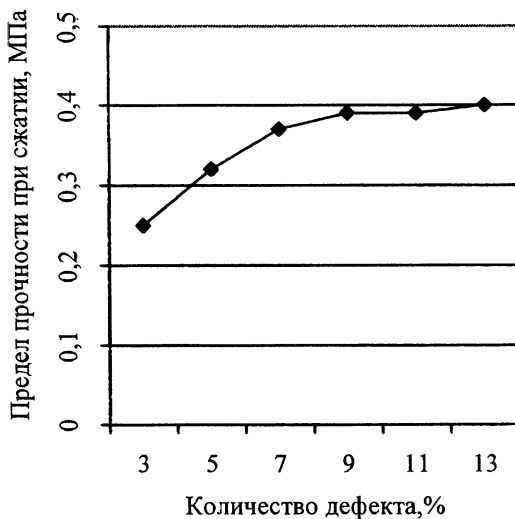
Осадок фильтрационный (дефекат) ТУ РБ 37602662.630-99 — отход сахарного производства, содержащий в своем составе углекислый кальций и углекислый магний. Суммарная массовая доля карбонатов в пересчете на  $\text{CaCO}_3$  (по сухому веществу) не менее 70%.

Концентрат минеральный – галит ТУ РБ 600122610.016-2002 — натрий хлористый технический. Его получают в процессе переработки сильвинита. Массовая доля хлористого натрия не менее 94%.

Цемент – гидравлическое вяжущее, получаемое тонким помолом цементного клинкера, минеральных добавок и природного гипса. Содержание оксидов (масс.%):  $\text{CaO}$  - 62-67;  $\text{SiO}_2$  – 20-24;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 4-8;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 2-6.

Проведены лабораторные исследования по изучению влияния добавок дефеката, технической соли и цемента на прочностные показатели дисперсных систем на примере песчано-гравийных смесей ПГС и грунтов. Установленные зависимости предела прочности при сжатии образцов от количества введенного структурообразователя и времени приведены на рисунках 1, 2.

Рисунок 1. Зависимость предела прочности при сжатии ПГС от количества дефеката: цемент 2%

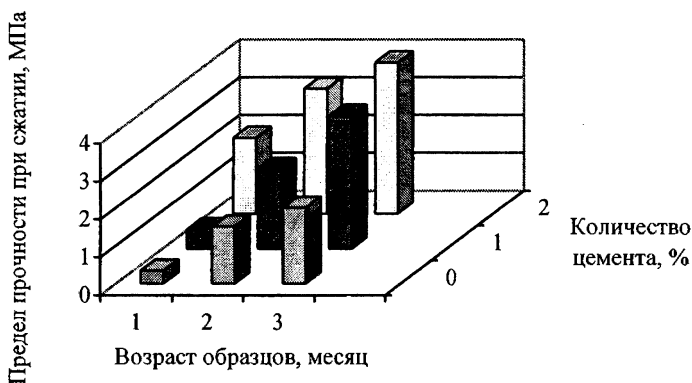


Максимальное увеличение предела прочности при сжатии достигается при введении дефеката - 10% и цемента - 2% . Добавление цемента в больших количествах экономически нецелесообразно. Введение технической соли в количестве менее 2% не оказывает отрицательного влияния на прочностные показатели, но приводит к уменьшению пылеобразования покрытия в сухое и жаркое время года, поскольку хлористых натрий является гигроскопическим веществом и используется в качестве пылеподавителя.

Использование отходов сахарного производства для стабилизации глинистых грунтов позволяет не только уменьшить водопоглощение грунтов, но и обеспечить полный процесс гидратации клинкерных минералов цемента. Частицы дефеката служат центрами кристаллизации при формировании новообразований в последующий эксплуатационный период. При изучении глинисто-известковых композитов в возрасте 90 суток установлено наличие рентгеноаморфных глобулярных образований, что приводит к переходу конденсационной структуры смеси в конденсационно-кристаллизационную структуру композита [1].

Все исследования, посвященные укреплению грунтов проводились с использованием больших добавок вяжущих с целью получения покрытий, обладающих высокой прочностью. Введение небольших количеств цемента (1-2%) также приводит к росту прочностных показателей системы (рисунок 2).

Рисунок 2. Зависимость предела прочности при сжатии грунта от количества цемента и времени твердения: дефекат 10%, техническая соль 1,5%



В этом случае можно говорить о переходе коагуляционной структуры в кристаллизационную лишь в локальных областях, а не в общей массе.

Проведены опытные работы по укреплению дорожных покрытий на дорогах с грунтовым и гравийным покрытием, которые подтвердили основные полученные закономерности:

- добавление в ПГС дефеката приводит к нарастанию прочностных показателей, происходит увеличение модуля упругости покрытия;

- добавление технической соли к смеси дефеката и ПГС не улучшает прочностных показателей покрытия, но обеспечивает его обеспыливание;

- наибольший модуль упругости покрытия получен на смеси ПГС + дефекат + цемент, причем с ростом содержания цемента от 1 до 2 % модуль упругости увеличивается с 688 до 717 МПа;

- требуемые модули упругости достигаются при толщине слоя покрытия 10 см, тогда как на необработанном покрытии толщина слоя составляет 15 см.

Таким образом, проведенные лабораторные исследования и опытно-технологические работы позволяют сделать вывод о перспективности использования отходов белорусских предприятий в смеси с цементом для укрепления грунтовых и гравийных покрытий автомобильных дорог.

### **Литература**

1. Гридчин, А.М., Строкова В.В., Щеглов А.ф. Роль известь содержащего компонента в процессах формирования микроструктуры грунтобетона // Строит.материалы. 2002. №8. С.24-25.

# **Судостроение и гидравлика**

**О подготовке инженеров по специальности 1-37 03 02  
«Кораблестроение и эксплуатация внутреннего водного  
транспорта (КЭВВТ) в БНТУ»**

Богославчик П.М., Качанов И.В., Чернобылец А.Н.  
Белорусский национальный технический университет,  
Департамент ВВТ Мин. транспорта и коммуникаций РБ

Начиная с 1.09.04 г. в БНТУ начата подготовка инженеров по КЭВВТ. В основном подготовка инженеров по указанной специальности обусловлена потребностью производства: в настоящее время в РБ работают 4 судостроительно-судоремонтных завода (Гомельский ССРЗ, Петриковский ССРЗ, Речицкий ССРЗ, Пинский ССРЗ). На заводах осуществляется строительство новых судов и технологического оборудования, текущие и капитальные ремонты. В период до 90-х годов подготовка инженерных кадров для этих заводов осуществлялась в специализированных учебных заведениях СССР (Ленинградский и Николаевский кораблестроительные институты, Волжская академия водного транспорта и др.). Однако, после распада СССР эта схема подготовки кадров не действует и поэтому в отрасли уже сегодня ощущается ежегодный дефицит молодых специалистов (25÷30 чел), который, учитывая возрастные характеристики персонала, в дальнейшем будет нарастать.

В настоящее время и в организациях водного транспорта (в РБ имеется 10 речных портов) ощущается дефицит специалистов по эксплуатации судов и механизмов (механиков по флоту), где также могут работать выпускники специальности 1-37 03 02.

Следует отметить, что определенные перспективы для инженеров – корабелов раскрываются в связи с планируемым развитием сферы туристических услуг на внутренних водных путях РБ. В первую очередь речь идет о специалистах, способных создавать маломерные суда, плавучие дома отдыха, суда на воздушной подушке, предназначенные для использования на водном туристическом кольце: Августовский канал – р.Неман – р.Щара – Агинский канал – р.Ясельда – Днепро-Бугский канал – г.Брест.

Расширение рынка труда для специалистов по КЭВВТ может дать проект, связанный с восстановлением водно-транспортного сообщения между реками Даугава и Днепр, благодаря которому Республика Беларусь может стать одним из основных транспортных звеньев между Черным и Балтийским морями. Факультет энергетического строительства и кафедра «Гидравлика» БНТУ, на которой осуществляется подготовка инженеров по специальности 1-37 03 02 провели большую организационно-подготовительную работу, направленную в первую очередь на обеспечение качества учебного процесса. При выполнении этой работы кафедре была оказана большая помощь со стороны Санкт-Петербургского Государственного Морского Технического Университета (СПбГМТУ), головного вуза РФ по подготовке специалистов в области кораблестроения и океанотехники. БНТУ при содействии руководства СПбГМТУ был избран ассоциированным членом УМО российских вузов по образованию в области кораблестроения и океанотехники. На основании рабочей программы сотрудничества между БНТУ и СПбГМТУ, кафедре гидравлики была передана безвозмездно учебно-планирующая и методическая документация, используемая для подготовки морских инженеров.

На основании этой документации с учетом требований отрасли были разработаны базовый и рабочий учебные планы, по которым производился набор в сентябре 2004 г. студентов 1-го курса специальности 1-37 03 02.

Кафедра надеется, что и при создании лабораторной базы специальности 1-37 03 02 ей также будет оказана реальная помощь со стороны организаций водного транспорта РБ, заинтересованных в подготовке высококвалифицированных специалистов.

В завершение хотелось бы отметить, что коллектив кафедры «Гидравлика», понимая всю сложность стоящих перед ним задач в связи с открытием новой специальности, нацелен на их выполнение, опираясь в первую очередь на свои собственные силы, а также на поддержку со стороны руководства БНТУ, департамента и предприятий Минтранса РБ и, конечно же, наших коллег в вузах РФ в первую очередь, в СПбГМТУ.

**О профессиональной подготовке кадров для  
судостроительной промышленности в современных  
условиях**

Андрющенко Р. С., Проценко Г.В., Смольников А.В.  
Санкт-Петербургский государственный морской  
технический университет

Проблема кадров остро стоит в судостроении, а с учетом складывающейся демографической ситуации и конкуренции других отраслей экономики в привлечении трудовых ресурсов уже принимает необратимый характер.

Аналогичные процессы проходят в системе профессионального образования. Осознавая тяжесть последствий этих процессов для судостроения и, как следствие, для национальной безопасности и обороноспособности России, судостроители Санкт-Петербурга предприняли серьезные шаги в решении этой проблемы.

Признано необходимым воссоздать в новых экономических условиях систему непрерывной подготовки и переподготовки кадров для судостроения, причем, всего спектра образовательных уровней (школа, техническое училище, колледж, ВУЗ, послевузовское образование).

Считается целесообразным, учитывая непрерывность, взаимосвязанность ступеней образовательного процесса, сосредоточить работу по подготовке – повышению квалификации – переподготовке специалистов с высшим профессиональным образованием в высших учебных заведениях. Очевидно, что ведущая роль в обеспечении научно-технического прогресса в промышленности и в частности в судостроении, как и ранее, будет принадлежать молодым инженерам (подготовка инженерных кадров должна быть безусловно сохранена), свободным от рутинных традиций прошлого, получившим в ВУЗе хорошую фундаментальную подготовку и в достаточной мере располагающими знаниями достижений науки, техники и практики.

За основу такой перестройки принято следующее: интеграция высшего образования с производством и наукой, переход к новым принципам их взаимодействия. Новый тип



взаимоотношений между ними должен базироваться на договорных обязательствах, предусматривающих целевую контрактную подготовку инженеров при частичном или полном возмещении затрат на эти цели предприятиями и организациями отрасли;

перенесение части учебного процесса на производство путем создания учебно-научно-производственных комплексов в различных формах. Это должно послужить надежной предпосылкой для сочетания фундаментального образования кадров с подготовкой их к работе в условиях конкретной практической деятельности.

Следует отметить, что только целевая контрактная подготовка позволяет наиболее полно удовлетворять требованиям Заказчика к уровню подготовки специалистов, а выпускнику достаточно быстро (уже на стадии обучения) адаптироваться к условиям работы. И, что немаловажно, наиболее эффективно (адресно) использовать финансовые средства, выделяемые предприятиями на подготовку специалистов, при более чем скромных госбюджетных ассигнованиях. Таким образом, замыкается цепочка спроса-предложения при консолидации средств государственного бюджета и предприятий отрасли, позволяющая реально улучшить качество подготовки специалиста и его адаптации в промышленности.

Решение кадровых проблем судостроительной промышленности должно быть комплексным, позволяющим обеспечить промышленность специалистами всех образовательных уровней.

По инициативе ряда судостроительных предприятий и организаций Санкт-Петербурга, морского технического университета и профсоюза судостроителей совместно с администрацией города разработана целевая "Программа подготовки и переподготовки кадров для судостроительной промышленности на 2004-2008 годы" В основе этой программы положены выше изложенные принципы. В программе заложена потребность предприятий в специалистах различного уровня образования, трёхуровневая система профессионального образования, мероприятия по улучшению качества подготовки, внедрение информационных технологий в образовательный

процесс, развитие материально-технической базы учебных заведений, поддержка молодых специалистов, ученых, учащихся технических лицеев, колледжей, школ; мероприятия по закреплению молодых специалистов на предприятиях, развитие системы повышения квалификации, переподготовки кадров предприятий и организаций различного уровня, образования, повышения квалификации профессорско-преподавательского состава учебных заведений.

В настоящее время по заказам предприятий судостроительной промышленности Санкт-Петербурга, Северо-Западного федерального округа и других регионов страны в рамках целевой контрактной подготовки, на Факультете целевой контрактной подготовки специалистов с высшим образованием и дополнительного профессионального образования (повышения квалификации) специалистов с высшим образованием (ФЦКПС и ДПОС) Санкт-Петербургского государственного морского технического университета по различным формам обучения учатся более 600 студентов, на условиях софинансирования. На очной форме обучения студенты разделены на две категории: выпускники колледжей и выпускники школ. Выпускники колледжей учатся 4 года, по индивидуальным учебным планам составленным на базе стандартных учебных планов со сроком обучения 5,5 лет, с учетом их среднего профессионального образования. Начиная со второго семестра учебного года, учебный процесс для выпускников колледжей построен так, что они по два дня в неделю стажировются на предприятиях – заказчиках подготовки, работая в качестве техников. Такая форма стажировок дает возможность будущим инженерам адаптироваться к условиям производства уже на стадии обучения.

По заказу предприятий открыты новые специализации. Образовательные программы специализаций учитывают реальные аспекты научно-технических и производственных задач стоящих перед предприятиями. В учебный процесс широко внедряются информационные технологии. Тематика дипломного, а в ряде случаев и курсового проектирования направлена на решение конкретных технических задач поставленных заказчиком.

Для более глубокого взаимодействия с промышленностью, в рамках целевой контрактной подготовки в СПбГМТУ создан совместно с ФГУП «Адмиралтейские верфи» Институт морской техники и технологий (ИМТиТ) с филиалом на предприятии. ИМТиТ осуществляет обучение студентов по основным и дополнительным образовательным программам. Дополнительные образовательные программы направлены на углубленное изучение информационных технологий применяемых при проектировании и постройке кораблей, судов и морской техники. Кроме этого, в рамках программ студенты изучают вопросы экономики, права, социальной психологии, управления персоналом, иностранный язык. Для реализации таких программ привлекаются как преподаватели вузов, так и специалисты промышленности, ученые.

Развитие образования, очевидно, может иметь перспективу только при активной поддержке и непосредственном участии бизнес-сообщества, органов государственной власти различного уровня и общественности.

**Основные направления совершенствования  
технологической подготовки морских инженеров**

Александров В.Л., Вебер А.В., Догадин А.В., Роганов А.С.  
Санкт-Петербургский государственный морской  
технический университет

Историю судостроения России принято отсчитывать с 1696 года, когда боярская дума приняла историческое решение «российскому флоту быть».

Так что российское судостроение уже более 300 лет служит отечеству.

Уровень развития судостроения, которое интегрирует в своей продукции результаты работы большого количества смежных отраслей, является для страны важным показателем ее научно-технического развития и промышленного потенциала.

Судостроения всегда решало и решает и важные социальные задачи, обеспечивая большое количество рабочих мест и загрузку смежных отраслей. Для России кораблестроение играет и важную роль в обеспечении оборонного потенциала страны.

Сложность продукции судостроения требует и комплексного подхода в обеспечении ее развития. На рис. 1 показаны основные элементы, обеспечивающие производство судов.



Рис. 1. Структура обеспечения производства судов

В настоящее время в России достаточно большой объем всех показанных на рисунке задач решают на судостроительных заводах, создавая соответствующие подразделения.

В настоящее время в России подготовка морских инженеров осуществляется в соответствии с Государственным стандартом, определяющим основное содержание учебного процесса.

Подготовка осуществляется на принципе многоуровневости и включает этапы, показанные на рис. 2.

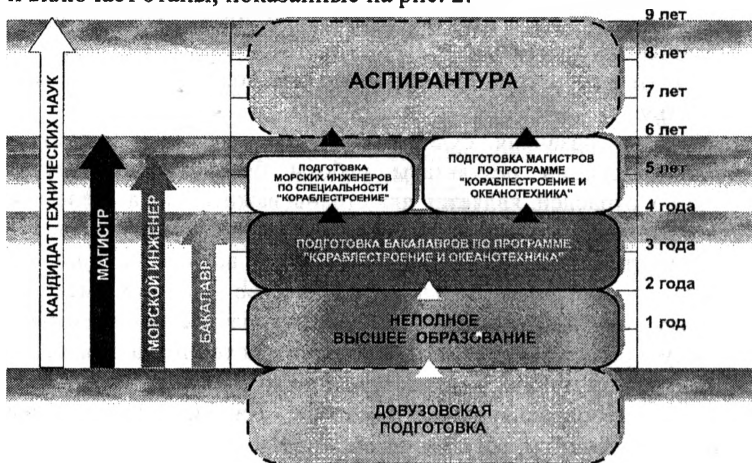


Рис. 2. Структура специалистов для судостроения

По-нашему мнению, такая система позволяет (при надлежащем государственном финансировании) за 5,5–6 лет осуществить подготовку специалистов с достаточным объемом инженерной и специальной подготовки. Конечно, значительно более эффективна специальная подготовка специалистов по заказам промышленности, с разработкой индивидуальны учебных планов, включающих ряд дисциплин, практик, курсовых работ, связанных с будущим рабочим местом выпускника.

Важным условием качественного образования для морских инженеров технологической специализации является обеспечение непрерывно подготовки по следующим направлениям – рис.3

Базовая подготовка в соответствии с Госстандартом по специальности 140100 «Кораблестроение»	Непрерывная компьютерная подготовка
	Непрерывная математическая подготовка
	Непрерывная подготовка по машинной графике
	Непрерывная языковая подготовка
	Непрерывная технологическая подготовка
	Специальные виды подготовки
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• управление проектами</li> <li>• АСТТП (Tribon, РИТМ...)</li> <li>• маркетинг и менеджмент</li> </ul>

Рис. 3. Схема непрерывной подготовки морских инженеров

Многолетний опыт кафедры технологии судостроения СПбГМТУ по подготовке морских инженеров технологических специализаций показал большую эффективность работы совместно с предприятиями отрасли.

Кафедрой технологии судостроения были созданы ряд филиалов. И, в первую очередь, на ФГУП «Адмиралтейские верфи», ООО «Северная верфь», ФГУП «ЦНИИТС». Это позволило интегрировать в учебный процесс ресурсы предприятий, как производственные, так и кадровые.

Тесная связь с ФГУП «Адмиралтейские верфи» позволило далее создать совместный центр «ПРОТЕЙ».

Успешный опыт работы завода и кафедры ТС в этом направлении позволил в 2004 году образовать ИМТиТ (институт морской техники и технологий) расширяющий границы совместных работ СПбГМТУ и ФГУП «Адмиралтейские верфи» рис. 4.

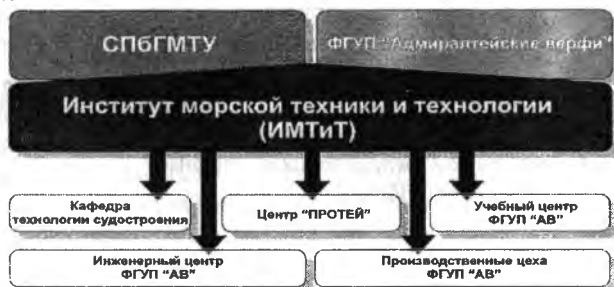


Рис. 4. Схема целевой подготовки на базе ИМТиТ

Следует отметить, что в этом году состоялся второй выпуск морских инженеров для ФГУП «Адмиралтейские верфи», обучение которых финансировалось дополнительно заводом. Подбор абитуриентов, разработка Учебного плана и учебных программ велись совместно кафедрой и учебным центром завода.

Для обеспечения завода кадрами высшей квалификации осуществлялось и осуществляется обучение в заочной аспирантуре ряда сотрудников завода. Результатом такого обучения является защита кандидатских диссертаций по технологическому направлению, что несомненно поднимает и рейтинг завода.

В заключении этого краткого сообщения хотелось бы сформулировать основные направления возможного сотрудничества в области судостроения:

- Определение качественного и количественного состава флота Республики Беларусь
- Подготовка кадров для судостроения по различным специальностям
  - *рабочих*
  - *инженеров*
  - *исследователей*
  - *преподавателей (стажировки)*
- Разработка проектов различных судов, необходимых для Республики Беларусь
- Разработка проектов модернизации существующих или строительства новых заводов
- Участие в организации поставки оборудования

Участниками совместных проектов являются:

- Белорусский национальный технический университет
- Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
- ФГУП «Адмиралтейские верфи»
- ФГУП «ЦНИИТС»

**Дипломное проектирование -- важный этап подготовки  
морских инженеров**

Догадин А.В., Роганов А.С., Соколова И.А.

Санкт-Петербургский государственный морской технический  
университет

Дипломное проектирование является важным элементом подготовки морских инженеров и может начинаться на 4 – 5 курсах обучения студентов с участия в выполнении НИР кафедры или работе СНПО.

Результаты этих работ, как правило, являются потом частью дипломных проектов и работ.

На рис. 1 дана структура дипломного проектирования по кафедре технология судостроения.

<b>Квалификация МОРСКОЙ ИНЖЕНЕР</b>	Защита дипломного проекта
	Работа над дипломным проектом
	Государственный экзамен
	Преддипломная практика
	Эксплуатационная практика
	Индивидуальная работа студента (СНПО, НИРС)

Рис. 1. Структура дипломного проектирования по кафедре  
технология судостроения

Особенностью тематики дипломного проектирования по нашей кафедре является большое разнообразие тем проектов и работ. Это затрудняет, с одной стороны, создание единой методики выполнения дипломного проекта, с другой стороны дает возможность решать конкретные задачи производства.

Исходя из структуры судостроительного производства, темы дипломных проектов или работ, могут быть связаны с заготовительным производством (КОП), сборочно-сварочным (ССП), корпусостроительным (КСП), достройкой.

В дипломных проектах могут разрабатываться и другие вопросы, представляющие интерес для предприятий отрасли или научных интересов кафедры.

Источники тем показаны на рис. 2.



<b>Дипломное проектирование</b>			
<b>Дипломный проект</b>		<b>Дипломная работа</b>	
Тематика:		Тематика:	
По основным видам корпусных работ	КОП	Применение информационных систем в судостроении и технологии судостроения	
	ССП	Индивидуальные темы	Измерительные системы
	КСП		Модернизация производства
	Достройка		
Задачи производства	НИР	Кафедральные разработки	Инициативные темы
Источники тем дипломных проектов (работ)			

Рис. 2. Виды дипломного проектирования на КТС

С нашей точки зрения в дипломных проектах должны быть использованы по возможности знания студентов, полученные ими в ходе всего времени обучения в университете.

В последнее время ряд тем включают освоение дипломниками отдельных модулей САПР технологического назначения. Ниже будут приведены отдельные примеры.

Исходя из опыта кафедры на рис. 3 дана структура базового дипломного проекта, посвященного разработке технологии постройки судна в условиях конкретного завода или разработка проекта модернизации отдельного производства.

Введение	Пояснительная записка 100-120 листов +8-9 листов чертежей
Анализ объекта производства	
Анализ условий производства	
Анализ существующих технических решений по технологии изготовления объекта производства	
Разработка новой технологии изготовления объекта производства	
Оценка трудозатрат	
Определение технико-экономической эффективности	
Оценка условий труда и выработка предложений по обеспечению безопасности работ	

Рис.3. Структура дипломного проекта (работы)

Большинство студентов при разработке дипломных проектов используют вычислительную технику и стандартное программное обеспечение (как правило, графические пакеты AutoCAD, КОМПАС), MS Project.

В отдельных проектах используются модули специализированных САПР, например TRIBON, FORAN и других.

В этом году стипендиаты ФГУП « Адмиралтейские верфи» защищали дипломные проекты в учебном центре завода.

В состав ГАК входили как преподаватели СПбГМТУ так и сотрудники завода. Председателем Государственной комиссии был генеральный директор предприятия профессор В.Л.Александров.

Это несомненно повышало ответственность дипломников, т.к. темы проектов были связаны с насущными или перспективными задачами производства, которые им и предстояло решать после окончания университета.

Пример разработки отдельных корпусных конструкций с использованием систем САПР дан на рисунке 4.

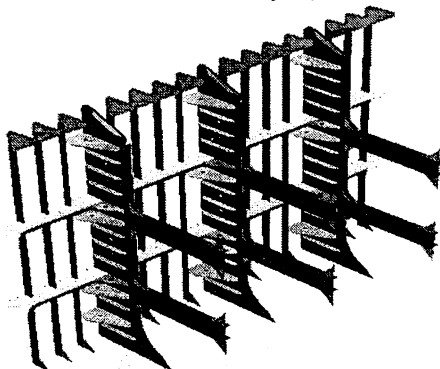


Рис. 4. Пример бортовой секции танкера

Индивидуальная работа с дипломниками над проектом позволяет формировать у студентов навыки самостоятельной постановки и решения инженерных задач, анализировать имеющиеся решения, формировать критерии отбора вариантов и осуществление отбора рациональных или оптимальных решений.

**Алгоритм проектирования специальностей и квалификаций**

Олекс О.А.

Республиканский институт высшей школы

Современное белорусское общество характеризуется развитием видов экономической деятельности, которые многие годы считались нетрадиционными для нашей страны: туризм и гостеприимство, физическая культура и спорт, водный транспорт и другие. Возникает потребность в специалистах не столько по диплому, сколько по их профессиональным возможностям. Наиболее эффективна оценка профессионалов не по знаниям, а по уровню их компетентности и способности обеспечить развитие стратегически важных для страны отраслей экономики. Требуются люди инициативные, способные к рефлексии, проблематизации, прогнозированию, к работе в команде и, одновременно, к принятию самостоятельных ответственных решений, с высоким уровнем внутренней культуры. Системе образования предстоит «откликнуться» на вызов времени. Прогностическое представление о будущем, влияние на будущее состояние образовательной системы и окружающей ее среды (на примере развивающегося в Республике Беларусь водного транспорта) может быть достаточно четким и эффективным при внедрении проектного способа педагогической деятельности. Становится очевидной необходимость проектирования отраслевой образовательной системы. Проектирование предполагает: определение особенностей современного состояния и тенденций развития конкретной образовательной системы, разработку ее модели и проекта, управление проектом до его внедрения в учреждениях образования, организацию мониторинга функционирования и развития системы. Управление проектом отраслевой образовательной системы направлено на создание необходимых условий для развития персонала в сфере водного транспорта. Таким образом, цель педагогического проектирования – положить начало изменениям, как в сфере образования, так и в окружающей ее действительности. Но для этого необходимо переосмыслить строение, организацию и даже смысл педагогической работы, освоить функции прогнозирования и

планирования изменений в тех отраслях экономики, на развитие которых нацелена подготовка кадров. Возникает потребность в проектировщиках образовательных систем.

Мера социальной эффективности образования определяется полнотой участия человека в конкретном виде экономической деятельности и жизни общества – «жесткий» критерий и точный ориентир при проектировании специальностей и квалификаций высшего образования. Проектируя специальность, мы создаем проект будущей профессиональной деятельности, для реализации которого требуются определенные знания, навыки и компетенции. Проектируя квалификацию, мы прогнозируем характеристики личности специалиста, моделируем его пригодность к решению разнообразных проблем будущей профессиональной деятельности.

Проектирование – сложное управленческое искусство, рождается в мышлении и обеспечивается: рефлексией, обращением к реальности будущего, направленностью целевых усилий на заранее спланированные преобразования. Через технологию проектирования происходит совмещение требований к результату и процессу его достижения: от модели профессиональной деятельности и модели специалиста – к проекту – комплексу нормативной документации по внедрению и функционированию образовательной системы (по конкретной специальности). Особенностью «мягкой» технологии является корректирующее управление с обеспечением обратной связи. При этом не исключается вероятность коррекции и модели специалиста и модели его деятельности. Проектирование происходит в условиях неопределенности не только образовательного процесса, но и ожидаемого результата. Претворяя в нормы и цель, и процесс, необходимо осознавать, что это – гибкие нормы, взаимно корректируемые под влиянием внешних обстоятельств (субъектов и объектов).

Проектируя систему подготовки по специальности с последующей реализацией проекта, мы вносим определенные ограничения на основе принципов и условий самоорганизации, несвойственные стихийному, неуправляемому процессу преобразований. Речь идет о технологическом обеспечении данного процесса, где центральным звеном образовательной

системы являются субъекты сферы образования и их социальные партнеры.

Алгоритм такого проектирования состоит из 4-х этапов:

Этап 1. От идеи – до комплексной дидактической цели проектирования; отражает принятие заказа или осуществление самозаказа на проектную деятельность, когда нормы деятельности не соответствуют требованиям социокультурной ситуации; формулируется прогнозируемая цель на основе принятых проектировщиками подхода и принципов.

Этап 2. От комплексной дидактической цели проектирования – до сбора, обработки, анализа информации и корректировки вышеуказанных моделей. Комплексную дидактическую цель предлагается представить во взаимосвязи модели профессиональной деятельности и модели специалиста. Обобщается и используется «расширенное общественное мнение», анализируется информация практического и теоретического характера о становлении и развитии данной системы подготовки специалистов с высшим образованием, с учетом всех факторов, осуществляется маркетинг соответствующих образовательных услуг, выявляются источники финансирования.

Этап 3. Разработка и принятие решений – проектирование образовательной программы достижения прогнозируемых результатов подготовки специалистов в соответствии с пирамидой дидактических целей. Определяются интегрированные дидактические цели в последовательности от специального цикла обучения – к циклу общенаучных, общепрофессиональных дисциплин и социально-гуманитарных включительно; устанавливаются частные дидактические цели в пределах каждого цикла обучения. Дисциплины по выбору определяются в соответствии с интегрированными и частными дидактическими целями. Необходимо представить весь путь: от исходного состояния системы подготовки до конечного. Последовательность достижения промежуточных результатов закрепляется в учебном плане по специальности.

Этап 4. Анализ и оценка результатов выполнения принятых решений. Модель профессиональной деятельности и модель специалиста, реализованные в проекте учебного плана по специальности, проходят соответствующую экспертизу.

Осуществляется преобразование проектов в нормативную документацию, выявляются и фиксируются целесообразные ресурсы, корректируются проекты документов до момента их утверждения.

Проектирование завершено, если в рамках установленных подходов и принципов разработаны все нормативные документы и зафиксированы необходимые ресурсы. Наличие документов позволяет перейти к созданию программы их выполнения, созданная образовательная система начинает функционировать.

Таким образом, представленный алгоритм проектирования специальностей и квалификаций характеризуется совокупностью целенаправленных действий: от прогнозирования и планирования целей развития системы подготовки специалистов до технологического обеспечения образовательного процесса, оформления нормативных документов, определяющих структуру и механизм функционирования специальностей и квалификаций, выявления и применения необходимых ресурсов, преобразования в программу действий по реализации разработанного проекта.

Применение проектного способа решения управленческих задач на этапе прогнозирования и планирования процесса подготовки специалистов водного транспорта позволит оптимизировать образовательный процесс, снизить вероятность субъективного подхода к определению номенклатуры необходимых учебных дисциплин, обеспечить их дидактическую взаимосвязь, интенсифицировать процесс подготовки кадров и, в итоге, – создать необходимые условия для управления развитием персонала стремительно развивающейся в Республике Беларусь отрасли.

**О технологическом обеспечении системы подготовки  
инженеров внутреннего водного транспорта**

Недашковская И.В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время перед БНТУ стоит задача – сделать все возможное для подготовки профессионалов, способных обеспечить развитие водного транспорта, решать перспективные задачи отрасли. Педагогическому коллективу предстоит принять активное участие в прогнозировании деятельности предприятий водного транспорта на ближайшую перспективу, в формировании спроса на новое качество образования. Общими усилиями необходимо создать условия для закрепления молодых специалистов по месту распределения. Начинать эту работу целесообразно с эффективной профессиональной ориентации молодых людей и обеспечения качества их образования.

Возникает вопрос: как интенсифицировать образовательный процесс подготовки специалистов к решению проблем развития отрасли в кратчайшие сроки?

На наш взгляд, представляется целесообразным организовать индивидуально-массовое педагогическое «производство» востребованных специалистов с ориентацией на конкретные рабочие места, вероятнее всего, в качестве руководителей подразделений предприятий водного транспорта, с четко выраженной готовностью работать в инновационном режиме. В учебный план необходимо вводить вариативные блоки и модули. Целесообразно разработать технологическую документацию «гибкого, перенастраиваемого» учебного процесса, возможно, создать условия для дополнительного образования выпускников в области менеджмента с целью воспроизводства недостающих кадров среднего и высшего руководящего звена в развивающейся отрасли.

Приступая к обучению, студенту следует ознакомиться с его будущей специальностью и квалификационной характеристикой. Траектория обучения в ВУЗе должна быть «прозрачной». Целесообразно на этапе поступления «видеть» ожидаемый результат и прогнозируемое качество образования.

Абитуриенту неплохо ознакомиться с характеристиками личности специалиста по выбранной специальности. Ему необходима четкая профессиональная ориентация «с первых шагов» в профессию, осмысленное саморазвитие, чтобы по окончании ВУЗа соответствовать новым потребностям общества, быть функционально грамотным и востребованным.

Для наглядного изучения специальности необходимо разработать маршрутную карту обучения на весь период учёбы, в которой будет расписано, что необходимо изучить студенту, какие знания, умения и компетенции он должен приобрести на каждом этапе обучения, каким дидактическим целям обучения они будут соответствовать.

Маршрутная карта обучения представляет собой документ, предназначенный для поэтапного описания процесса подготовки специалистов, включая контроль на «входе» и «выходе» и перемещение по всем этапам обучения в определенной технологической последовательности. Предполагается дидактическая взаимосвязь учебных дисциплин и фиксация ожидаемого результата на каждом этапе обучения.

На основе маршрутной карты обучения целесообразно обеспечить модульное построение учебных программ. Маршрутная карта может быть разработана и для каждой дисциплины учебного плана с обеспечением дидактической взаимосвязи составляющих ее тем, операционного их «прохождения», с ориентацией на определенные компетенции личности на каждом этапе образовательного процесса.

Дополнительно к маршрутной карте конкретной дисциплины предлагается разрабатывать технологические карты каждого занятия, с указанием темы, цели, задач, контроля знаний по предыдущей теме, рассматриваемых вопросов, взаимосвязи с последующими темами и промежуточным контролем усвоения знаний.

Система технологического обеспечения процесса подготовки специалистов позволит повысить качество образования с ориентацией на запросы потребителя. Такие разработки должны быть нацелены на оптимизацию и интенсификацию учебного процесса относительно потребностей заинтересованных в образовании субъектов и со стороны государства, и со стороны личности.



**Методы интенсификации разрушения и растворения  
кольматирующих отложений**

Ивашечкин В.В., Ледян Ю.П., Шейко А.М., Кондратович А.Н.,  
Губин В.В.

Белорусский национальный технический университет

Для изучения процессов интенсификации разрушения кольматирующих отложений проводились опыты с использованием лабораторной модели, имитирующей водозаборную скважину. Модель представляла собой емкость, в которую был помещен закольматированный фильтр, извлеченный из скважины водозабора «Неманица» г. Борисова. С целью разрушения и удаления кольматанта применялось последовательное импульсно-реагентное воздействие на фильтр скважины.

На первом этапе проводилась регенерация фильтра импульсами давления, создаваемых в результате взрыва водородно-кислородной газовой смеси. После серии обработок с использованием манжетных и пневматических пакеров удалось повысить удельный дебит всего в 2,3 раза по сравнению с полностью закольматированным фильтром. Также низкое качество импульсных обработок показал визуальный осмотр извлеченного из емкости фильтра.

Второй этап предполагал регенерацию интервала фильтра соляной кислотой 20% концентрации с добавлением «Дескама» в режиме реагентной ванны. Спустя 16 часов после начала реакции реагент был удален, и произведены гидравлические испытания. Удельный дебит увеличился в 137 раз по сравнению с закольматированным фильтром. Визуальный осмотр показал, что степень декольматации поверхности фильтра составила (75-80)%, что указывает на необходимость интенсификации процесса растворения и проведения дополнительных восстановительных работ.

С целью более полного растворения кольматирующих отложений был изучен температурный фактор, а также фактор гидродинамического воздействия в виде перемешивания соляной кислоты с кольматантом. Растворение кольматирующих образований проводилось в растворе соляной

кислоты 20% концентрации при температуре  $t = 15^{\circ}\text{C}$ ,  $34^{\circ}\text{C}$  и  $43^{\circ}\text{C}$  в режиме реакгентной ванны, а также при помощи электромагнитной мешалки с числом оборотов 150 об/мин и при температуре  $17^{\circ}\text{C}$ . Изучаемый кольматант содержал 79,5% оксида трехвалентного железа. Интенсивность растворения определялась по концентрации общего железа, которое перешло из кольматанта в раствор кислоты за период растворения  $T$ . Концентрация общего железа в пробе определялась фотометрическим методом при помощи прибора ФЭК-56М. По результатам исследований построен график эффективности растворения кольматирующих отложений (рис. 1).

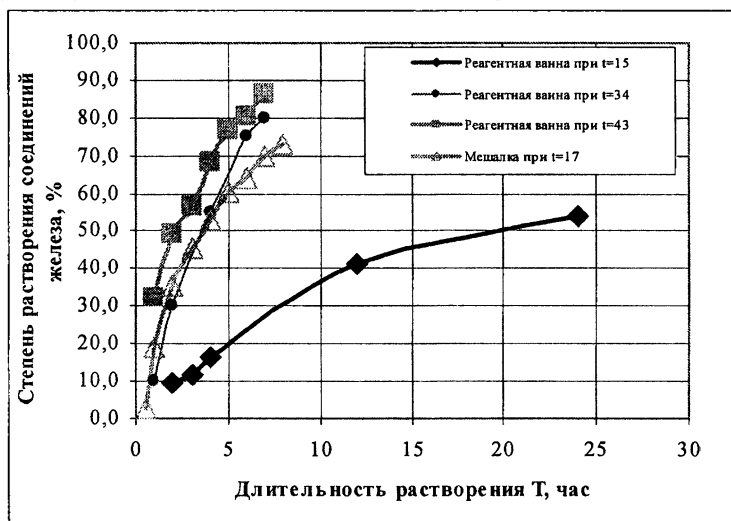


Рис. 1. Кривые растворения кольматирующих отложений

Анализ построенных кривых показывает, что нагрев реагента в режиме реакгентной ванны до  $t=34^{\circ}\text{C}$  и  $43^{\circ}\text{C}$  обеспечивает растворение соединений железа за семь часов до значений 81,2 и 86,3% соответственно. Степень же растворения при  $t=15^{\circ}\text{C}$  составило всего 25% к семи часам взаимодействия соляной кислоты с кольматантом. Фактор гидродинамического воздействия также увеличил степень растворения железа, что составляет 70% к семи часам реакции при  $t=17^{\circ}\text{C}$ .

## Решение вариационной задачи по минимизации потерь напора в конфузоре

Качанов И.В., Веремеиук В.В., Филипчик А.В.

Белорусский национальный технический университет

В данной работе приводится решение вариационной задачи по минимизации потерь напора в потоке жидкости, проходящем через конфузор. Очевидно, что минимизировать потери, можно за счет использования оптимального угла конусности конфузора  $\alpha_{opt}$ . При расчете конфузора, в соответствии с рекомендациями [1],[2], сделаем ряд допущений, считая полную потерю напора  $\dot{h}$  без учета интерференции, и принимая коэффициент гидравлического трения  $\lambda$  постоянным.

Для определения оптимального угла конусности  $\alpha_{opt}$ , при котором потери напора будут минимальными, возьмем производную  $\frac{d\dot{h}}{d\alpha}$  и приравняем ее нулю. Тогда при  $\alpha \in (0; 180)$  и  $n > 1$

$$\alpha_{opt} = 2 \arcsin \left( \frac{0,06\lambda(n^2 - 1)(0,67n - 0,57)^2}{n^2(0,43n - 0,43)^2} + 0,0066 \right)^{\frac{1}{4,45}} \quad (1)$$

Результаты расчета  $\alpha_{opt}$  формуле (1) для различных условий течения приведены на рис. 1, 2.

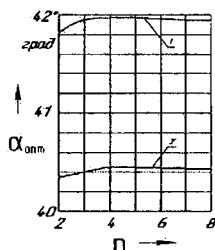


Рис.1. Зависимость оптимального угла конусности  $\alpha_{opt}$  от степени сужения конфузора  $n$  при постоянном коэффициенте трения  $\lambda$ : 1 - при  $\lambda = 0,015$ ; 2 -  $\lambda = 0,025$ .

Анализ, приведенных на рис.1 данных, показывает, что при изменении степени сужения конфузора  $n$  от 2 до 8 и коэффициента трения  $\lambda$  от 0,015 до 0,025 оптимальный угол конусности принимает значения от 40,3° до 41,9°.

Для значений степени сужения конфузора  $n=2...4$  и коэффициента трения  $\lambda = 0,01 \div 0,04$  оптимальный угол конусности  $\alpha_{opt}$  находится в пределах от 39,5° до 43,9° (рис.2).

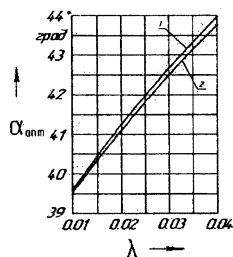


Рис.2. Зависимость оптимального угла конусности  $\alpha_{opt}$  от коэффициента трения  $\lambda$  при постоянной степени сужения конфузора  $n$ : 1 - при  $n=2$ ; 2 -  $n=4$

Следует отметить, что результаты, полученные по зависимости (1) удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными ряда авторов [1],[3].

#### Выводы

1. Впервые получена математическая зависимость для определения оптимального (по потерям напора) угла конусности конфузора  $\alpha_{opt}$  с учетом степени сужения  $n$  и коэффициента гидравлического трения  $\lambda$ .

2. На основании полученной зависимости построены кривые изменения оптимального угла конусности конфузора  $\alpha_{opt} = f(n)$  и  $\alpha_{opt} = f(\lambda)$ , которые согласуются с результатами ряда исследователей [1],[3].

#### Литература

1. Альтшуль, А.Д. Гидравлические сопротивления. — М.: Недра, 1982. — 224с.
2. Башта, Т. М. и др. Гидравлика, гидравлические машины и гидравлические приводы. — М.: Машиностроение, 1970. — 504с.
3. Куколевский, И.И., Подвидз, Л.Г. Задачник по гидравлике. — М.: Госэнергоиздат, 1972. — 440 с.

**Анализ особенностей поверхностной деформации лент при  
волочении между вращающимися валками**

Шиманович И.М.

Белорусский национальный технический университет

В последнее время все большее распространение находят технологические процессы создания материалов с особым комплексом свойств на поверхности (высокой износостойкостью, прочностью, жаростойкостью и коррозионной стойкостью). Данный комплекс физических, механических и химических свойств характерен для мелкодисперсных структур металлов. Существующие методы получения микрокристаллических металлов и сплавов можно разделить на три группы - охлаждение расплавленного металла с высокими скоростями (закалка из жидкого состояния); - осаждение металла из газовой (паровой) фазы; - введение дефектов в кристалл (разрушение кристаллической структуры твердого тела за счет внешних воздействий). К последним методам относят интенсивную обработку кристаллического тела механическим путем. К таким процессам можно отнести и ряд способов поверхностной деформации лент волочением.

В Белорусском национальном техническом университете разработаны способы поверхностной деформации лент волочением между вращающимися валками с заданной скоростью относительного перемещения поверхностей лент и валков.

Данные способы основаны на реализации интенсивного сдвига в поверхностных слоях и на том, что работа деформации при любом волочении повышает энтальпию металла. В результате происходит нагрев, с одновременным пластическим деформированием и последующим быстрым охлаждением за счет отвода тепла из относительно тонких поверхностных слоев вглубь металла. При этом на обрабатываемой поверхности образуются мелкодисперсные слои, имеющие микроструктуры мелкоигльчатого (мелкопластинчатого) мартенсита и остаточного аустенита с высокодисперсными карбидами. Дисперсность мартенсита (средний размер игл) в среднем на 2...3 балла выше, чем дисперсность мартенсита обычной

закалки. Размер зерна аустенита в среднем на порядок меньше величины зерна аустенита обычной закалки, а размеры карбидов – в 2...3 раза меньше. При этом в доэвтектоидных сталях дисперсность меньше, в эвтектоидных и заэвтектоидных, а также в легированных сталях дисперсность больше.

Полученные данным методом поверхностные слои имеют высокие микротвердость, коррозионную стойкость, благоприятные электрохимические характеристики и остаточные напряжения сжатия, повышенные вязкость и сопротивление зарождению и росту коррозионных трещин.

Установлено, что в зависимости от условий протекания процесса, свойства получаемых слоев могут отличаться между собой, а также отличаться от свойств исходного металла. Таким образом, изменяя параметры обработки, можно получать поверхностные слои с заданными свойствами.

Процесс традиционного волочения и волочения между вращающимися валками имеют между собой ряд существенных отличий. Так составляющая работы сил трения, в общем балансе работы деформации при обычном волочении составляет порядка 30%. Исследование энергосиловых параметров процесса волочения лент между вращающимися валками показало, что величина усилия необходимого для преодоления сил трения составляет более 90% от общего усилия волочения.

Следует подчеркнуть, что деформация металла при волочении неоднородна. Трение на контактной поверхности и геометрия очага деформации приводит к трехосной схеме напряженного состояния. При неблагоприятном сочетании условий деформирования возможно образование трещин в осевой зоне металла, которое наиболее вероятно при малых обжатиях.

Большой интерес представляет возможность определения предельного коэффициента вытяжки  $n = h_1/h_2$ , где  $h_1$  и  $h_2$  – толщины ленты до и после деформации. Для случая волочения между вращающимися валками, вследствие значительных сил трения, коэффициент вытяжки не должен превышать 1,1...1,25. В противном случае резко возрастает вероятность обрыва ленты. При традиционном способе волочения коэффициент вытяжки значительно выше (в среднем на 25%) и может достигать значений 1,5 и более.

## **Гидромеханические методы повышения эффективности систем пожаротушения и гидродинамика открытых потоков при чрезвычайных ситуациях на сооружениях напорного фронта**

Карпенчук И.В. [1 – 8], Кузнецов А.В. [1,6],  
Красовский А.И. [2], Аушев И.Ю. [3], Стриганова М.Ю. [4],  
Петуховский С.Г. [5], Лосик С.А. [7], Пармон В.В. [8]  
Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь  
Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и  
проблем чрезвычайных ситуаций

УДК 614.842

### **1. Пожарные аварийно-спасательные машины для ликвидации чрезвычайных ситуаций на водных объектах**

МЧС Республики Беларусь для ликвидации последствий ЧС на водных объектах и проведения неотложных аварийно-спасательных работ использует инженерную технику и специальные технические средства. Они предназначены для доставки боевого расчета, пожарного оборудования и средств пожаротушения к месту пожара на объектах и для тушения лесных и торфяных пожаров, куда невозможен подъезд пожарных автомобилей.

Находит применение армейская инженерная техника: плавающие гусеничные транспортеры К-61 и ПТС, буксирно-моторные катера БМК-150 и БМК-Т.

По суше катер БМК-150 перевозится как прицеп за специально переоборудованным автомобилем Зил-157 или Зил-131. Катер для транспортирования по суше имеет собственный колесный ход. Катер БМК-Т перевозится загруженным на специально оборудованном автомобиле Краз-255В. На базе буксирно-моторного катера БМК-Т создан пожарный катер «ИСКРА».

Широкое применение находят моторные катера типа "Прогресс-2М", «Крым», надувные лодки типа НЛ-8, предназначенные для перевозки личного состава, спасательного оборудования и оказания помощи на воде

В настоящее время разработаны специальные аварийно-спасательные устройства: сверхлёгкий амфибийный аппарат на воздушной подушке «Стрелец-5» с двигателем «Rotax» и два

типа колесных вездеходов на пневматиках сверхнизкого давления, предназначенные для проведения аварийно-спасательных и патрульных работ в заболоченных зонах, на водоемах и в условиях бездорожья.

- вездеход аварийно-спасательный «Радиян - 1»;
- вездеход патрульный «Радиян - 2».

УДК 614.842.62(076)

## 2. Сопротивления пожарных стволов

Пожарные стволы представляет собой конический сходящийся канал, который заканчивается распылителем, формирующим струю. В некоторых случаях выполняется сменный распылитель, получивший название «насадка». Зависимость между основными параметрами пожарного ствола – напором  $H$  и расходом  $Q$  – имеет вид

$$H = sQ^2; \quad s = \frac{1}{2g\mu^2\omega^2},$$

где:  $s$  – сопротивление;  $\mu$  - коэффициент расхода насадка;  $\omega$  - площадь поперечного сечения насадка (распылителя).

В настоящее время применяют значения сопротивлений, которые посчитаны при  $\mu = 1$  (см. табл.). Но следует заметить, что на практике значения близкие к единице (0,97...0,99) получены только для конoidalного насадка. С другой стороны, в гидравлике насадком называется присоединенная к отверстию в стенке короткая трубка, длина которой составляет 3...4 диаметра. В то время как пожарный ствол слишком длинный, а его сменный распылитель слишком короткий, чтобы считать их вместе или отдельно полноценным насадком с точки зрения гидравлики. Поэтому действующие значения сопротивлений  $s$  нуждаются в уточнении.

Ствол	$d$ насадка, мм	Действующие значения $s$	Уточненные значения $s$
ПЛС-20	28	0,135	0,15
РС-50	13	2,890	3,086
РС-70	19	0,634	0,730
РСК-50	12	-	5,487

Используя государственные стандарты на изготовление пожарных стволов, в которых указаны минимальные расходы



при рабочем давлении, были уточнены значения сопротивлений  $s$  (см. табл.), близкие к практическим результатам.

УДК 532:654.924.5

### 3. Возможность применения элементов струйной техники в автоматических установках пожаротушения

Для автоматического пуска установок пожаротушения традиционно применяют электрическую систему. Однако при аварийном отключении электроэнергии в чрезвычайных ситуациях в системах пожаротушения ту же задачу можно решать с помощью гидродистанционного управления на основе струйных управляющих устройств. Нагнетательная магистраль 1 (рис. 1) подсоединена, например, к пневмобаку и в обычном состоянии перекрыта нормально закрытым электроклапаном. При отключении электроэнергии клапан открывается, и система дистанционного управления начинает функционировать.

Струйный элемент типа «сопло-сопло» обладает важным свойством – односторонней проводимостью сигналов, проходящих через него. Это свойство является следствием того, что энергия потока на участке между приемным и питающим соплами превращается в кинетическую энергию струи, поэтому любые изменения расхода или давления в приемном канале не влияют на работу питающего сопла.

Используя это свойство, расположим в трубопроводе 1 по которому нужно передать информацию два струйных элемента 2 и 4 типа «сопло-сопло», один из них на входе в трубопровод, а второй на выходе из трубопровода у потребителя, например, в виде сервоцилиндра 5.

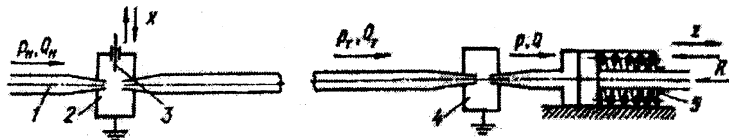


Рис.1. Схема дистанционного управления одинарного действия на основе проточных струйных элементов

Система предполагается, как аварийная, дублирующая. В случае отсутствия сигнала (при отключении электроэнергии) от

пожарных извещателей и невозможности включения электрозадвижки - можно применить предлагаемую гидравлическую схему на основе струйных элементов для дистанционного открытия клапана узла управления дренажной автоматической установки пожаротушения.

УДК 532. 628. 843

#### 4. Расчет времени опорожнения водохранилища при разрушении сооружения напорного фронта

При расчете времени опорожнения водохранилища принят самый неблагоприятный случай – то есть перелив начинается по всему фронту плотины с учетом того, что длина плотины в динамике размыва будет уменьшаться по высоте и длине.

Форма зеркала водохранилища может быть произвольной, но пропорциональной площади при последовательном опорожнении. По фронту плотина делится на три участка по высоте, площадь которых принимается прямоугольной.

Известная формула для определения времени опорожнения водохранилища при переменном напоре и переменной площади горизонтального сечения резервуара в рассматриваемом случае будет иметь вид:

$$t = \int_0^H \frac{\Omega dz}{m \varpi \sqrt{2gz}} .$$

Коэффициент расхода определяем как для трапециидального профиля, причем на каждом участке интегрирования коэффициент расхода будет различным в зависимости от соотношения оставшихся при размыве напора и высоты плотины

Проведя интегрирование и преобразования общее время опорожнения водохранилища или прохождения волны прорыва через створ разрушенной плотины равно

$$t = \frac{75\Omega_{\text{зепк}}}{B\sqrt{2gH}} .$$

До настоящего времени опорожнение водохранилища при разрушении плотины не рассматривалось при условии неустановившегося движения, с учетом изменения коэффициента расхода.

Предложенные расчеты могут быть использованы в отечественной практике по определению основных параметров «волны прорыва» при прогнозировании последствий ее прохождения по водотоку при разрушении гидродинамически опасных объектов на территории Республики Беларусь.

УДК 614. 842. 615

### **5. Повышение эффективности распыливания при пожаротушении мелкодисперсной водой**

Применение эффективных и экономичных технологий тушения пожаров является актуальной задачей в практике подразделений МЧС. Несмотря на то, что в области разработки новых огнетушащих веществ и технологий пожаротушения в последние годы заметен значительный прогресс, вода еще длительное время будет оставаться основным огнетушащим веществом. Для повышения его огнетушащей эффективности используется подача воды в очаг пожара в виде распыленной струи, дисперсность которой может быть различной в зависимости от ряда факторов: устройства и условий работы распылителя, параметров распыливания, а также химического состава огнетушащего вещества. Мелкодисперсная вода с диаметром капель менее 100 мкм является эффективным средством объемного пожаротушения. Распыливание жидкости, вытекающей из некоторого насадка в пространство, заполненное газом, является результатом взаимодействия потока жидкости с окружающей газовой средой. Это взаимодействие носит весьма сложный характер, так как распадается не только струя, но и отдельные капли. При гидравлическом распыливании основным энергетическим фактором, приводящим к распаду жидкости на капли, является давление нагнетания. Одним из путей повышения эффективности распыливания является применение поверхностно-активных веществ (ПАВ). Даже небольшие концентрации, порядка 0,02–0,03 % снижают поверхностное натяжение воды на 50% и более, что может быть использовано при получении мелкодисперсной воды для целей пожаротушения. Следует отметить, что хотя

гидродинамические параметры при распыливании остаются достаточно высокими для обычных стволов, использование добавок ПАВ в совокупности со специальными стволами-распылителями, является перспективным направлением при использовании мелкодисперсной воды для целей пожаротушения.

УДК 614.842

## 6. Применение методов газодинамики для охлаждения огнетушащего аэрозоля при его генерировании

Оптимальное очертание улитки спирального подвода, обеспечивающее максимальную эффективность очищающегося устройства, выполненного в виде суперциклона, оказывает существенное влияние на структуру потока и эффективность работы устройства в целом. Поэтому целесообразно получить обоснованное с гидромеханической точки зрения очертание улитки спирального подвода методами теории струй, комплексного потенциала и теорией конформных отображений.

Задача нахождения координат криволинейной границы улитки решается из условия постоянства местной скорости вдоль нее. Такое условие обеспечивает максимально-теоретическую работу рассматриваемой конструкции устройства при минимизации гидравлических потерь.

Интегрируя область комплексного потенциала и разделяя действительную и мнимую части, получим расчетные формулы для оптимальных координат улитки спирального подвода.

Расчет параметров циклона с оптимальными параметрами для очистки воздуха от продуктов сгорания определенной фракции осуществляется численными методами на ЭВМ. Задавая значение угла входа потока в циклон и вспомогательных переменных вычисляется значение относительного радиуса циклона по формулам (1) и (2).

$$\frac{R_B}{\alpha} = \frac{1}{\pi} (\sqrt{d+a} + \sqrt{1+d})^{2\alpha} \cdot (\sqrt{a+1})^4 \cdot \int_0^a \frac{t(d+t)^\alpha dt}{(\sqrt{d(1-t)} \cdot \sqrt{a-t})^4 \cdot (\sqrt{(1+t)(1-t)} + \sqrt{(a-t)(d+t)})^{2\alpha}}, \quad (1)$$

$$\frac{R_D}{\alpha} = \frac{1}{\pi} (\sqrt{d+a} + \sqrt{1+a})^{2\alpha} \cdot (\sqrt{a+1})^4 \cdot \int_0^a \frac{t(d+t)^\alpha dt}{-d(\sqrt{d(1-t)} + \sqrt{a-t})^4 \cdot (\sqrt{(d+t)(1-t)} + \sqrt{(a-t)(d+1)})^{2\alpha}}, \quad (2)$$

### 7. Движение по системам пожаротушения и рукавным системам растворов с пенообразователем

Возможность направленного изменения характеристик работы противопожарной техники путем введения в поток воды растворов высокомолекулярных полимеров, снижающих гидродинамическое сопротивление, является одним из перспективных путей повышения эффективности ее работы в экстремальных ситуациях. Исходя из модели турбулентного потока, предложенной Прандтлем, можно записать:

$$\tau/\rho l^2 = - \left( dU/dy \right)^2; - dU/dy = \sqrt{f(\tau)}$$

Принимая, что скорость у стенки  $v_r = 0$ , можно записать:

$$- \int_0^U dU = \int_r^R \sqrt{f(\tau)} dy; - \int_0^U dU = \left( r/\tau_r \right) \int_r^R \sqrt{f(\tau)} d\tau$$

Для неньютоновских жидкостей получим следующее распределение скорости:

$$f(\tau) = \left( r/k \right)^{\frac{1}{n}}, U_y = \frac{2n}{(1+2n)} \left( \frac{\Delta p}{2lk} \right)^{\frac{1}{2n}} \left[ r^{\frac{2n+1}{2n}} - y^{\frac{2n+1}{2n}} \right]$$

Аналогично получаем выражение для определения расхода, потерь и коэффициента гидравлического трения

$$Q = \frac{2n\pi r^3}{6n+1} \left( \frac{\tau_r}{k} \right)^{\frac{1}{2n}}; \Delta p = \left[ \frac{(6n+1)Q}{2n\pi} \right]^{2n} \frac{2lk}{r^{6n+1}}; \lambda = \left( \frac{6n+1}{2n} \right)^{2n} \frac{8k}{\rho g^{2(1-n)} r^{2n}}$$

Для определения применимости предлагаемой методики строилась зависимость  $\lambda = f(Re')$  и сравнивалась с зависимостями, построенными по другим источникам при течении растворов полиэтиленоксида различной концентрации в трубе. Максимальное отклонение расчетных данных в пределах  $Re' = 1000 - 6000$  составило менее 9%.

Рассмотренная математическая модель турбулентного движения неньютоновских жидкостей, подчиняющихся степенному реологическому закону, и полученные расчетные зависимости могут быть использованы для расчетов стационарных систем пожаротушения насосно-рукавных систем при работе в экстремальных условиях с использованием высокомолекулярных водорастворимых полимеров.

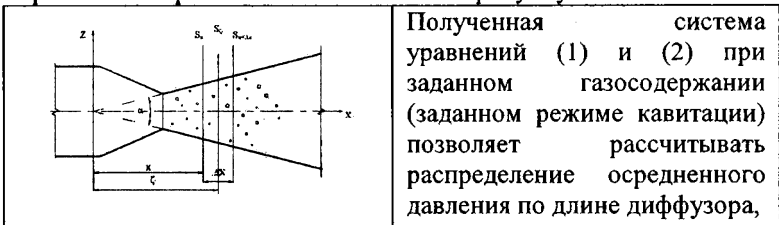
### 8. Уравнения движения кавитационного двухфазного потока в диффузоре пеносмесителя ПС-5

Пеносмеситель ПС-5 работает как эжектор-смеситель, смешивая и растворяя пенообразователи с рабочей жидкостью – водой. Качественное взаиморастворение указанных сред гарантирует эффект пенообразования с максимальной кратностью пены. Эффективное растворение, диспергирование и перемешивание может достигаться созданием в эжекторах-смесителях, выполненных по типу трубы Вентури (как, например, пеносмеситель ПС-5), кавитационного режима течения, замыкание которого происходит в выходном сечении диффузора. Поставленная задача требует методики определения гидродинамических параметров вдоль проточного тракта диффузора. С этой целью получены уравнения (1) и (2) осредненного одномерного двухфазного потока при неравномерном течении.

$\frac{dp}{dx} + \frac{p}{x} = \frac{1}{2} \rho_1 (1 - \varphi) (g - \vartheta_1 \frac{d\vartheta_1}{dx})$	(1)	$\pi g^2 \frac{\alpha}{2} (1 - \varphi) \vartheta_1 \rho_1 x^2 = Q$	(2)
--	-----	---	-----

где:  $\varphi$  – газосодержание;  $\vartheta_1$  – скорости жидкой фазы;  $\rho_1$  – плотности жидкости;  $p$  – давление в нормальных к оси  $Ox$  сечениях.

При выводе уравнений движения газо-жидкостной смеси принималась расчетная схема согласно рисунку:



т.е. рассчитывать параметры течения, обеспечивая максимальный эффект растворения пенообразователей.

**Спортивный тренажер для армрестлинга  
на основе пневмогидропривода**

Бельский И.В., Качанов И.В., Павлович А.Э., Шелег А.А.  
Белорусский национальный технический университет

Спортивный тренажер для армрестлинга на основе пневмогидропривода предназначен для совершенствования тренировочного процесса в таком доступном и зрелищном виде спорта как армрестлинг. Тренировочный процесс данного вида спорта недостаточно обеспечен техническими средствами.

Биомеханика в армрестлинге имеет свою специфику. Она заключается в том, что в ходе борьбы возникают быстротечные изменения векторов скоростей и усилий, создаваемых биозвеньями спортсменов друг на друга, вследствие чего происходит смена режимов работы нервномышечной системы спортсмена. Эта специфика армрестлинга задает определенные условия к проектированию тренажеров для этого вида спорта.

Один из вариантов конструкции тренажера, учитывающих эти условия, приведен на рис.1. Данное устройство содержит рукоятку 1, закрепленную на рычаге 2, который соединен с приводным валом 3. Приводной вал 3 соединен, в свою очередь, со штоком 4 силового цилиндра 5. Вход 6 силового цилиндра 5 сообщен через регулятор давления, образованный регулируемыми дросселями 7, 8, и обратный клапан 9 с источником текучей среды, которым может быть компрессор 22, при использовании сжатого воздуха, или насос (на рис.1 не показан), если применяется капельная жидкость. С помощью шарнирного зажима 10 рукоятка 1 закреплена на рычаге 2, который, в свою очередь, с помощью шарнирного зажима 11 закреплен на приводном валу 3. Рычаг 2 состоит из двух частей, расположенных друг в друге с возможностью регулировки общей длины рычага 2, например, при помощи резьбового соединения этих частей. Рычаг 2 снабжен также осью 12, в которую запрессован штифт 13. Ось 12 пропущена сквозь стойку 14, в которой выполнены отверстия 15 для избирательной установки в них ограничителя 16 перемещения рычага 2. Приводной вал 3 соединен со штоком 4 силового цилиндра 5 посредством тросо-блочной системы, состоящей из

закрепленного на приводном валу диска 17 и троса 18. Регулируемый дроссель 8 снабжается глушителем 19 в случае использования в системе сжатого воздуха. Если же будет использоваться капельная жидкость, то регулируемый дроссель снабжается трубопроводом для ее слива в гидробак (на рис. 1 не показан). Перед регулируемым дросселем 7 установлен манометр 20, а перед регулируемым дросселем 8 установлен манометр 21.

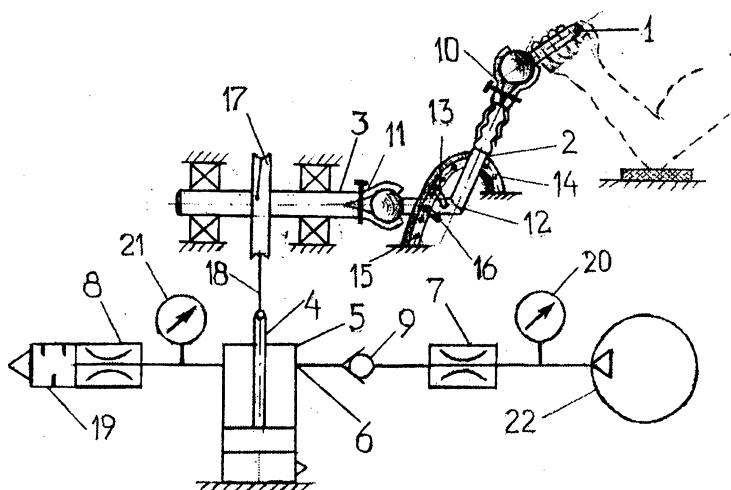


Рис.1. Спортивный тренажер для армрестлинга на основе пневмогидропривода



**Параметры кривых распределения максимальных  
дождевых осадков разной продолжительности на  
территории Республики Беларусь**

Юхновец В.Н., Шаталов И.М., Артамонов И.А.  
Белорусский национальный технический университет

К основным параметрам кривых распределения указанных в заголовке докладе осадков разной продолжительности относятся среднее значение слоя осадков  $\bar{H}$ , коэффициент вариации  $C_v$  и коэффициент асимметрии  $C_s$ . Эти параметры нужны при определении расчетных расходов паводков.

К настоящему времени имеется значительное количество формул, методик, по которым определяют расчетные расходы дождевых паводков, сильно различающиеся по значениям для одних и тех же условий формирования стока. В связи с этим кафедра «Гидравлика» выполняет исследования, направленные на упорядочение и усовершенствование расчетных методик с возможным вариантом разработки новых предложений по данному вопросу. Одним из элементов этой работы является исследование  $\bar{H}$ ,  $C_v$  и  $C_s$  по заголовку доклада.

Для исследования использовались данные записей дождевых осадков самописцами (плювиографами), т.е. плювиограммы на всех гидрометеорологических станциях страны, оснащенных плювиографами (10 гидрометеостанций) с регулярными записями, начиная с 1970 г. по 2000 г. Этот большой массив измерений подвергся соответствующей расшифровке и математической статистической обработке с использованием наиболее научно обоснованных теоретических кривых распределения – кривых трехпараметрического гамма-распределения и метода их подбора – метода приближенно наибольшего правдоподобия.

Выполненное исследование позволило получить значения указанных параметров на территории РБ, часть из которых для примера представлена в таблице.



# **Студенческий спорт и здоровый образ жизни**

## **Здоровый образ жизни как объект теоретического осмысления**

Бельский И.В., Кононов А.Н., Лаврова Л.Г.

Белорусский национальный технический университет

Теоретико-методический анализ литературы Н.М. Амосова, А. Каневска, А. Климберг, Е. Мартиновски, С.Д. Лаптенка и прикладные исследования авторов дают научное обоснование о здоровом образе жизни как категории, охватывающей диалектическую совокупность устоявшихся типичных форм и способов жизнедеятельности личности, которые укрепляют и совершенствуют резервные возможности организма, обеспечивая тем самым успешное выполнение своих социальных и профессиональных функций независимо от политических, экономических и социально-психологических ситуаций.

В контексте данного теоретического определения наиболее рельефно выражена диалектическая взаимосвязь объективных и субъективных факторов формирования здорового образа студенческой молодежи.

По мнению ряда ученых именно образ жизни формирует здоровье, занимая от 50 до 55% удельного всех факторов, обуславливающих здоровье общества. В эту модель входят экологические факторы (20-25%), наследственность (20%), недостатки здравоохранения (10%).

Экологи, изучающие влияние различных факторов среди (природных и социальных) на здоровье человека, отводят им до 40-50%. То есть, по их мнению, именно экологический фактор есть главный источник ухудшения состояния здоровья человека. Например, в связи с нарушением экосистемы, особенно с высокой плотностью радиоактивного загрязнения, отмечается некоторый рост заболеваемости бронхитами, астмой, эмфиземой легких. Данные не требуют опровержения, но необходимы новые весомые доказательства, подтверждающие нарушение генной структуры человека, проживающего в различных неблагоприятных районах.

Итак, теоретические обобщения физкультурно-оздоровительной деятельности и конкретные исследования позволяют оценить факторы, оказывающие положительное влия-

ние на здоровье человека, и отрицательные факторы, которые не благоприятствуют здоровью. На рис. 1 представлены две сферы, характеризующие здоровый и нездоровый образ жизни.



Рис. 1. Характеристики образа жизни

В заключение следует отметить, что активность, проявленная, прежде всего индивидуумом по сохранению здоровья с учетом вышеназванных факторов, отразится на состоянии здоровья семьи (микросреды), студенческого (производственного) коллектива (макросреды) и на показателях общественного здоровья.

УДК 796092

### **Психологические средства в соревновательной деятельности спортсменов**

Кононов А.Н.

Белорусский национальный технический университет

Многолетние наблюдения выявили бесспорную зависимость между результатами деятельности человека и его психологическим состоянием. Угнетение или радостное возбуждение сразу же сказываются на качестве работы. В сложном процессе строительства собственного тела малейшие нюансы психического состояния мгновенно отражаются на результатах.

Ни для кого не секрет, что такое вдохновение — состояние необычайной легкости и подъема, когда без особого труда решаются самые сложные задачи, исчезают пределы возможного. Без этого состояния любое творчество невозможно.

Спорт — это тоже творчество, а высокий уровень мастерства в спорте граничит с искусством. И нет человека, достигшего больших результатов, который никогда не чувствовал "крыльев за спиной".

Но если вдохновению в искусстве присуща некая эфемерность, неуловимость, то в спорте это состояние более конкретно. Мало того, исследования доказали возможность его сознательного вызова.

Синонимом вдохновения в спорте стало понятие оптимального боевого состояния (ОБС) — наилучшей спортивной формы. Специальная психофизическая подготовка позволяет за считанные минуты мобилизовать все ресурсы, но эта видимая легкость основана на многолетней кропотливой и упорной работе.

ОБС глубоко индивидуально. Различают три его основных компонента: физический, эмоциональный и интеллектуальный.

Физический компонент — это совокупность силовых, скоростных и скоростно-силовых качеств и соответствующих физических способностей. Чем выше уровень подготовки спортсмена, тем обширнее его возможности.

В каждом виде спорта свои особенности, а значит, ОБС связано с определенными физическими ощущениями и параметрами. Так, в культуризме это хорошо развитые мышцы, пропорциональное, красивое тело, чувство "мышечной радости" в процессе тренировки, постоянная концентрация внимания и т.д. Знать это состояние мало, нужно его помнить и уметь сознательно вызывать. Физические ощущения легче уловить и

запомнить, чем психические. Кроме того, память бывает коварна и в нужный момент может подвести — не "поднять" из своих глубин требуемые сведения. Ведение записей своих ощущений значительно облегчает работу.

Вторым компонентом является эмоциональное состояние спортсмена. Для его обозначения принят термин "уровень эмоционального возбуждения", то есть сила волнения. В зависимости от силы волнения дифференцируется и уровень эмоционального возбуждения: высокий — низкий, повысился — понизился и т.д.

Как и в физическом аспекте, здесь существует оптимальное состояние. Самым простым методом контроля уровня эмоционального возбуждения является подсчет частоты сердечных сокращений (ЧСС) непосредственно перед выполнением упражнения. ЧСС — объективный фактор, в отличие от субъективной оценки, которая может быть ошибочной. На соревнованиях по культуризму спортсмен перед выходом на сцену может считать себя готовым к выполнению соревновательных упражнений, в то время как пульсовые данные показывают завышенный уровень возбуждения или, наоборот, недостаточную готовность психофизических сил. Лишь немногие очень опытные атлеты способны контролировать свое состояние, основываясь на чисто субъективных ощущениях, но и они приходят к этому методом проб и ошибок. Тогда как снятие пульсовой пробы само по себе легко осуществимо и весьма информативно даже для начинающих.

Особую важность эмоциональный фактор приобретает во время соревнований. Если спортсмен перед выходом на сцену

ощущает беспредельную взволнованность, почти растерянность, не способен собраться, сконцентрироваться, нечего надеяться на положительный результат, независимо от физических данных.

Нельзя начинать соревновательную программу, думая о ее концовке, - выступление будет сорвано. Необходимо сосредоточиться на формуле «Здесь и сейчас!», анализировать и контролировать свои чувства в данный момент.

Эта способность не дается от рождения, а приобретается только путем напряженных тренировок. Атлет должен уметь полностью "выключаться" из окружающего мира, чтобы для него реально существовали только работающие мышцы, только действие, которое его тело производит в данный момент.

Нельзя путать сосредоточение с психической напряженностью, которая влияет скорее отрицательно, закрепощая, зажимая мышцы.

Каждый атлет должен знать время, необходимое ему для сосредоточения. Проследить за этим процессом достаточно легко — при помощи секундомера необходимо зафиксировать время сосредоточения перед несколькими десятками попыток и сравнить результаты.

Факторы, свидетельствующие о наступлении оптимального уровня эмоционального возбуждения, как и физический компонент, строго индивидуальны, и желательно фиксировать их не только в памяти — чтобы методом психической саморегуляции можно было сознательно вызвать у себя требуемое состояние в нужный момент.

Мы подошли вплотную к последнему компоненту психофизического "трио" — интеллектуальному. Без четкой программы действий даже при "пиках" всех прочих состояний высокого результата быть не может. Любую неудачу человек склонен приписывать влиянию ряда внешних факторов, а не своему состоянию и поведению: слишком яркий свет при выступлении, необъективность судей и т.д.

Чтобы меньше зависеть от случайностей и даже заставить их служить себе, и необходима методика овладения личным ОБС. Для этого нужно зафиксировать свои ощущения накануне особенно удачного выступления или в процессе тренировки перед упражнением, после которого вы почувствовали, что хорошо "проработалась" та или иная группа мышц. Или выберите сами



состояние, которое бы соответствовало вашей цели и запомните его. Например: "Я легок и подвижен, настроение у меня отличное, мышцы реагируют мгновенно, я вижу, как сокращается мышца и т.д.". По возможности фразы должны быть четкими и лаконичными. Затем разделите написанное по направленности и определите, к какому компоненту ОБС относятся отдельные фразы. Так как все психофизические процессы строго индивидуальны, каждому спортсмену присуща своя личная комбинация компонентов ОБС, один из которых, как правило, превалирует.

На фоне вышесказанного особую значимость приобретает деятельность тренера. Используя весь арсенал физической и технической подготовки, он помогает спортсмену обрести необходимый эмоциональный и интеллектуальный настрой.

Личная формула ОБС становится тайным и очень действенным оружием атлета в борьбе с внешними обстоятельствами, помогает создавать внутренний комфорт.

Разминка дает возможность реализовать физический компонент ОБС — добиться легкости, быстроты реакции, чувства крепости и упругости всех мышц, она также благотворно влияет и на эмоциональное состояние. Включение идеомоторных процессов задействует интеллектуальный компонент.

Такая методика требует регулярного применения. Кроме того, данное однажды самому себе слово должно стать непререкаемым законом.

Будет воля – будет сила!

Нельзя забывать о том, что с ростом спортивного мастерства формула ОБС конкретизируется и изменяется, т.к. спортсмен накапливает опыт, корректирует ощущения и т.д. С течением времени меняется уровень самооценки, веры в свои силы, улучшается физическая подготовка. Отсюда и изменения, вносимые в формулу ОБС.

Хотелось бы остановиться подробнее на некоторых методах регуляции психического состояния спортсменов. Они подразделяются на медицинские и педагогические.

Медицинские методы можно применять только после консультации с врачом. Их лучше использовать в качестве восстановительных в послесоревновательный период, так как любая химиотерапия иногда оказывает непредсказуемое воздействие

на возбужденный организм спортсмена. Например, в некоторых ситуациях даже кофе может дать расслабляющий эффект.

Педагогические методы — это внушение и самовнушение. Опытные психологи работают с командами и отдельными спортсменами. Но зачастую сильная личность психотерапевта воздействует на спортсмена неадекватно поставленной задаче. Например, у А.М. Кашпировского были трудности при работе с некоторыми атлетами сборной СССР по тяжелой атлетике. Поэтому наиболее доступным и приемлемым является метод самовнушения (аутогенная тренировка), предложенный более 50 лет назад берлинским невропатологом И.Г.Шульцем.

В культуризме аутогенная тренировка, являясь психологическим компонентом разминки, позволяет спортсмену быстрее войти в тренировочный процесс, стимулировать разогрев отдельных групп мышц или всего тела. Кроме того, способность осмысленно руководить процессом расслабления и напряжения сокращает энергозатраты и предупреждает травматизм.

Основой психологической установкой в любом начинании должна быть уверенность в успехе — малейшие сомнения неминуемо отразятся на результате, сведут на нет месяцы напряженного труда.

С помощью аутогенной тренировки можно "программировать" свое подсознание на успех, на целенаправленную работу, на достижение намеченной цели. Результаты в культуризме настолько же зависят от психики, насколько от крепости мышц! Но не следует забывать о так называемом "парадоксе воли" — предохранительной реакции организма: чем больше психофизическое напряжение, тем сильнее тормозящие импульсы. Поэтому психологи предупреждают о вреде волевых установок типа: "Надо!", "Я обязан!", "Любой ценой!" и заикливания на подобных формулах. Необходимо очень чутко прислушиваться к своему состоянию, чтобы не допустить нервного срыва. Нужно помнить, что фанатизм, как всякая крайность, имеет свои минусы.

Как правило, упражнения аутогенной тренировки проводятся в максимально расслабленной позе. Классическим вариантом является поза "кучера", но возможны и любые другие положения, при которых удастся добиться эффективной мышечной релаксации.

Приводим наиболее распространенную формулу самовнушения.

"Я абсолютно спокоен.

Рука теплая.

Рука тяжелая.

Сердце бьется роено и спокойно.

Дыхание ровное и спокойное.

Солнечное сплетение ощущает тепло.

Лоб приятно прохладен."

Самой сложной в процессе аутогенной тренировки является способность выключиться из окружающей обстановки и сосредоточиться только на собственных ощущениях и образах. На первом этапе основное внимание нужно уделять ощущениям тепла и тяжести. Напряженная и, по ощущениям, холодная мышца плохо питается, так как из-за сужения сосудов циркуляция крови менее интенсивна. Спортсмены, владеющие регуляцией "внутреннего отопления", способны произвольно направлять энергию на работающую группу мышц.

Для постоянного контроля за состоянием и с целью анализа результатов аутогенной тренировки необходимо вести дневник. Записи должны быть краткими и максимально информативными. Например:

1-й день: "После занятий почувствовал усталость, тяжесть в ногах".

2-й день: "Вчера вечером уснул неожиданно быстро. Проснулся с ощущением легкости. Есть желание тренироваться".

3-й день: "Выполняя упражнение на бицепс, ощущал легкое покалывание, иногда жжение, особенно в правой руке".

4-й день: "Посоветовавшись с тренером, выяснил, что нагрузка на руки была несколько завышена. Подкорректировал технику выполнения упражнений для мышц рук. После тренировки — ощущение мышечной радости. Настроение хорошее".

В индивидуальную систему аутогенной тренировки следует вводить ряд формул с положительной доминантой тренировочного процесса: "Тренировка доставляет мне радость! Тренироваться приятно!"

Так как способность к концентрации внимания является навыком, его необходимо постоянно тренировать и поддерживать, выводя себя на более высокий уровень восприятия.

В период работы над уменьшением жировой прослойки и рельефом мышц рекомендуется применять следующую формулу:

"Я спокоен, сдержан в еде и совершенно сыт.

Я равнодушен к жирной пище.

Я равнодушен к сладкому и жирному".

И еще одну важную проблему можно успешно разрешить с помощью аутогенной тренировки — сон. Каждый второй человек страдает бессонницей, а каждый третий спортсмен недоволен своим сном. Помимо общеизвестных средств — прогулки, теплый душ или ванна, ранний ужин и т.д. — аутогенная тренировка также дает ощутимый эффект.

"Голова свободна от мыслей.

Чувствую душевный покой.

Хочется отдохнуть.

Придет время, и я спокойно усну.

Сон будет глубокий и крепкий.

Мне хорошо спится.

Я лежу и спокойно сплю".

Еще раз хотелось бы напомнить, что организм каждого человека индивидуален, и способы достижения целей или состояний также исключительно индивидуальны. Все рекомендации, приведенные выше, — только руководство, ориентируясь на которое, спортсмен сам должен выбрать формулы и способы воздействия. И не забывайте при этом особое внимание уделять самоконтролю, внимательно вслушиваться в собственный организм.

УДК 796092

### **Роль двигательной активности в формировании здорового образа жизни**

Бельский И.В., Кононов А.Н.

Белорусский национальный технический университет

Проблема двигательной активности подробно анализируется в работах С.Д. Бойченко, А.Н. Леонтьева, С.Л. Рубинштейна.

Комплексный анализ этих работ четко фиксируется тот факт, что одним из обязательных факторов здорового образа жизни является систематическое, соответствующее полу, возрасту,

состоянию здоровья использование физических нагрузок. Они представляют собой сочетание разнообразных двигательных действий, выполняемых в повседневной жизни, в организованных и самостоятельных занятиях физическими упражнениями и спортом, объединенных термином «двигательная активность». По данным ученых С.Д.Бойченко и И.В.Бельского, у большого числа людей, занятых в сфере интеллектуального труда, двигательная активность ограничена. Это присуще и студентам, у которых соотношение динамического и статического компонентов жизнедеятельности составляет по времени в период учебной деятельности 1:3, а по энергозатратам 1:1, во внеурочное время соответственно 1:8 и 1:2.

Результаты лонгитюдных исследований показывают, что в среднем двигательная активность студентов в период учебных занятий (8 месяцев) составляет 8000 – 11000 шагов в сутки, в экзаменационный период (2 месяца) – 3000 – 4000 шагов, а в каникулярный период – 14000 – 19000 шагов. Очевидно, что уровень двигательной активности студентов во время каникул отражает естественную потребность в движениях, так как в этот период они свободны от учебных занятий.

Исходя из этого, можно отметить, что уровень их двигательной активности в период учебных занятий составляет 50-65%, в период экзаменов – 18-22% биологической потребности. Это свидетельствует о реально существующем дефиците движений на протяжении 10 месяцев в учебном году.

В связи с этим возникает важнейшая социально-педагогическая исследовательская задача – определить оптимальные, а также минимально и максимально возможные режимы двигательной активности.

Минимальные границы должны характеризовать тот объем движений, который необходим человеку, чтобы сохранить нормальный уровень функционирования организма. Этому уровню должен отвечать двигательный режим оздоровительно-профилактического характера. Оптимальные границы должны определить тот уровень физической активности, при котором достигается наилучшее функциональное состояние организма, высокий уровень выполнения учебно-трудовой и социальной деятельности. Такой режим носит оздоровительно-развивающий характер. Максимальные границы должны предохранять от

чрезмерно высокого уровня физических нагрузок, который может привести к переутомлению, перетренировке, к резкому снижению работоспособности в учебно-трудовой деятельности. Назовем такой режим адаптированным к максимальным возможностям человека.

УДК 796092

### **Фармакологические и физиотерапевтические средства восстановления спортсменов**

Бельский И.В.

Белорусский национальный технический университет

#### **Фармакологические средства восстановления**

При интенсивной тренировочной деятельности восстановительные процессы в организме можно активизировать различными фармакологическими средствами. Существуют препараты, стимулирующие адаптацию организма к экстремальным условиям и ускоряющие процессы восстановления. К ним относятся экстракт и настойка женьшеня (принимается по 10-12 капель 3 раза в день в течение 10-15 дней), экстракт элеутерококка (принимается по 2 мл ежедневно за 30 мин. до еды в течение 3 недель). После 10-дневного перерыва можно проводить повторный курс. Аналогичными препаратами являются экстракты аралии, левзеи и заманихи; кроме того, они оказывают возбуждающее действие на нервную систему.

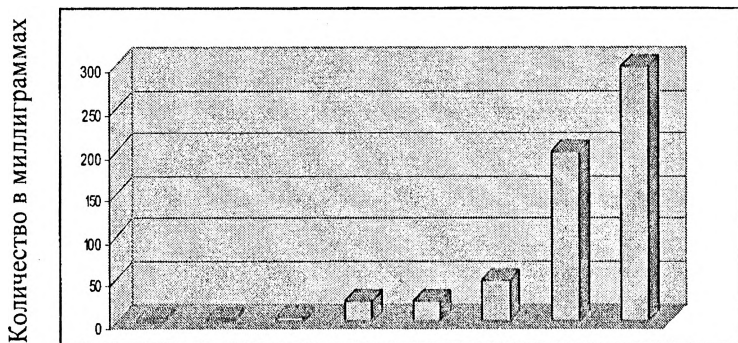
Адаптационными свойствами обладает дибазол — синтетический препарат (принимается по 0,01 г ежедневно в течение 7 дней с последующим недельным перерывом).

При больших тренировочных нагрузках для нормализации обмена веществ и повышения работоспособности рекомендуется употребление витаминов, обладающих большой восстановительной силой.

Приводим суточную потребность в витаминах (в мг) для спортсменов, занимающихся культуризмом.

Очень эффективными с точки зрения восстановления организма показали себя витаминные комплексы, выпускаемые отечественной и зарубежной промышленностью, — такие, как "Ундевит", "Квадевит", "Мегагрисевит", "Супрадин РОШ",

"Юникап М" и др. Кроме поливитаминов эти комплексы содержат минеральные вещества и микроэлементы, необходимые для метаболических процессов. Принимать следует только один из указанных комплексов, так как избыточное употребление витаминов может оказывать отрицательное воздействие на организм.



ВИТАМИНЫ

При интенсивной тренировочной деятельности, независимо от систематического приема витаминных комплексов, можно принимать и ряд отдельных витаминов. Прежде всего это витамины С, РР и В 15. При заметном утомлении нервной системы с лечебной целью рекомендуют витамины В1, В6, В12 (С.Я. Вайнбаум).

Некоторые атлеты пользуются препаратами, обладающими анаболическими свойствами. Их применение допустимо только по рекомендации врача. В первую очередь, следует выделить "Инозин" (производство Японии). Отечественная промышленность выпускает аналог "Инозина" — "Рибоксин". Исследователями установлено, что "Инозин" увеличивает содержание АТФ в клетках, способствует сократительной функции сердечной мышцы, интенсифицируя кровоток и поставку кислорода к мышцам. Препарат положительно влияет на энергетический и белковый обмены. Принимают "Инозин" от 6 до 12 таблеток в день, перед едой, в три порции. Курс составляет 30 дней.

Оправдано применение "Инозина" в комплексе с оротатом калия (оротовой кислотой). Этот препарат используется как с

профилактической целью, так и для устранения нарушений деятельности сердца при повышенной нагрузке на организм. Оротовая кислота показана также при нарушении функции печени (вызванном сердечно-сосудистой недостаточностью). В период усиленных тренировок атлеты принимают по две таблетки три раза в день, за час до еды.

Близкой по своему действию к "Инозину" является АМФ (аденозинмонофосфорная кислота). Анаболизм у АМФ выше, чем у "Инозина". Принимается после тренировки перед едой по 0,025 г 2 раза в день в течение трех недель. С той же целью, что и оротат калия, применяется метилуроцил. Терапевтическая доза составляет 2-3 таблетки в день в течение 3 недель. Атлетам весовой категории свыше 90 кг дозу можно увеличить в 2 раза.

Усиливают процессы восстановления и повышают работоспособность следующие препараты: МАП (мышечно-адениловый препарат) — способен заменить "Инозин", принимается по 1 столовой ложке 2 раза в день, желателно в комплексе с оротатом калия; АТФ (1% раствор в ампулах) — инъекции через день в течение 2 недель; фосфоден (аденозинмонофосфат) — по 2 таблетки 3 раза в день; глютаминовая кислота — до 2 г в сутки за 15-30 мин до тренировки; метионин — по 0,5-1,5 г три раза в день, курсами по 10 дней, за 0,5-1 час до еды. Глютаминовая кислота и метионин, кроме нейтрализации продуктов метаболизма, образующихся в результате тренировки и обмена веществ, способствуют выведению стероидов и образованию конъюгатов (А.М.Воробьев).

Для нормализации метаболизма показан прием аминокислот. Они являются пластическим материалом для синтеза белка. "Старкпротейн" (Швеция) — наиболее эффективный препарат, содержащий комплекс аминокислот. Принимают по 2 капсулы, 2-3 раза в день, в течение 20 дней.

Активно влияет на энергетические процессы, обеспечивает повышенную работоспособность, предупреждает нарушения сердечного ритма панангин. Принимают препарат по 1-2 таблетки, 2-3 раза в день, в течение 3 недель.

К препаратам, способствующим энергонакоплению, относятся: церебралецитин (3-6 таблеток в день); липоцеребрин (1-2 таблетки, 3 раза в день, в течение 10-20 дней). В своей книге



"Развитие максимальных мышц и их очертаний" А. Шварценеггер рекомендует в предсоревновательный период, при тренировке на рельеф, принимать лецитин.

"Эсенциале форте" содержит в своем составе фосфолипиды, усиленные комплексом витаминов группы В и Е. Принимают препарат по 1-2 капсулы, 3 раза в день, во время еды. Продолжительность курса — до 20 дней.

В настоящее время для стимулирования восстановительных процессов и повышения работоспособности используются различные фармакологические комплексы. Приведем несколько наиболее распространенных сочетаний, применяемых при больших по объему и интенсивности нагрузках.

В период тренировок на развитие силы и мышечных волокон:

1 комплекс:

Инозин или рибоксин, МАП, метионин, оротат калия, липоце-ребрин, Юникап М или Супрадин РОШ, протеиновый концентрат, два раза в день по 100-150 г.

2 комплекс:

метионин, фосфоден, эсенциале форте, витамин Е, оротат калия, витамин В15, протеиновый концентрат, два раза в день по 100-150 г.

В период тренировок на совершенствование рельефа:

1-й комплекс:

рибоксин, лецитин, оротат калия, Юникап М, фолиевая кислота АТФ

2-й комплекс:

панангин, лецитин, глютаминовая кислота, ундевит, витамины В1, В6, В12, В15.

3-й комплекс:

метионин, МАП, лецитин, рибоксин, витамины В1, В6, В12, В15, квадевит, протеиновый концентрат, два раза в день по 100г.

### **Физиотерапевтические средства восстановления**

Для ускоренного восстановления организма после интенсивной тренировки полезны многие световые и тепловые терапевтические процедуры. Под воздействием тепла улучшается кро-

воснабжение и соответствующим образом ускоряется восстановление мышц. Аналогичный эффект оказывает и ультрафиолетовое облучение в зимнее время года; летом естественнее и полезнее солнечные и воздушные ванны.

С целью скорейшего восстановления некоторые атлеты применяют электростимуляцию мышц. Однако в этом случае следует строго соблюдать длительность и силу воздействия на определенные участки тела.

Высокоэффективным средством восстановления является баня. Влияние бани на организм человека многогранно. Под воздействием горячего воздуха за 30 минут выделяется до 1500г пота, что способствует удалению из организма шлаков и других продуктов жизнедеятельности. В процессе банной процедуры гибнут микробы на теле человека. Кожа после бани молодеет, становится эластичной, упругой, улучшаются ее функциональные возможности. Коже, как и мышцам, необходимы постоянные упражнения, и баня в этом смысле является прекрасным средством.

Горячий воздух бани оказывает значительное влияние на органы дыхания — дыхание становится учащенным и более глубоким. Финскими учеными выявлено, что после бани потребление кислорода повышается на одну треть, а жизненная емкость легких возрастает в среднем на 7,5%.

Исследования, проведенные Ф. Тальшевым в группе нетренированных мужчин в возрасте 30-40 лет, свидетельствуют о том, что после еженедельного посещения парной бани по истечении одного месяца у них произошло снижение пульса в среднем на 4 удара в минуту и частоты дыхания на 3 цикла.

Под воздействием повышенной температуры происходит активизация процесса кровообращения, изменяется кровяное давление, повышается частота сердечных сокращений (от 120 ударов в минуту до 170 при использовании веника). Однако после парной пульс в течение 8-10 минут приходит в норму.

Исследования австрийских и отечественных врачей доказали, что банная процедура может быть приравнена к физическим упражнениям. Так, пребывание в бане в течение 12 минут при температуре 90 градусов заменяет, по нагрузке, бег на 300 метров.

Особое внимание ученых, тренеров и спортсменов привлекло воздействие парной бани на утомленные после тренировки мышцы. Установлено, что на восстановительные процессы, в основном, влияют температура и влажность воздуха, а также время нахождения в парильном отделении. Лучшие результаты отмечались у атлетов, которые после тренировки использовали баню с незначительной влажностью (до 30%) и температурой воздуха до 120 градусов. При этом мышечная сила увеличивалась на 1,3 н, выносливость — на 15%. В результате банной процедуры работоспособность не только восстановилась, но у 80% испытуемых увеличилась в среднем на 120 кгм/мин.

Когда же атлеты пользовались баней с повышенной влажностью — до 100% — и температурой воздуха около 80 градусов, то они чувствовали после процедуры усталость и депрессию. Показатели силы после такой процедуры были ниже, чем до нее.

УДК 796092

**Физическое самовоспитание  
как доминирующий компонент  
в структуре здорового образа жизни**

**Бельский И.В., Кононов А.Н.**

**Белорусский национальный технический университет**

В исследовании мы опирались на гипотезу о том, что физическое воспитание и образование не дадут долговременных положительных результатов, если они не активизируют стремление человека к самовоспитанию. В качестве эмпирического показателя самовоспитания студентов была взята воля. В основу исследования положена модель физического самовоспитания, включающая три основных этапа (А.Г. Асмолов, Н.С. Мансуров).

Первый этап исследования связан с самопознанием собственной личности, выделением ее положительных психических и физических качеств, а также негативных проявлений, которые необходимо преодолеть. К методам самопознания мы отнесли самонаблюдение, самоанализ и самооценка. Самонаблюдение — универсальный метод самопознания, глубина и адекватность которого зависят от его целенаправленности и умения субъекта

видеть, систематически наблюдать на основе выделенных критериев за качествами и свойствами личности. Самоанализ требует рассмотрения совершенного действия, поступка, причин, вызвавших это. Действенность самоанализа обусловлена адекватностью самооценки как средства организации личностью своего поведения, деятельности, отношений с окружающими, отношения к успехам и неудачам. Самооценка тесно связана со степенью трудности достижения целей, которые человек ставит перед собой. Самооценка зависит от ее качества (адекватная, завышенная, заниженная). Первый этап завершается решением поработать над собой.

На втором этапе определяется цель и программа самовоспитания, а на ее основе личный план. Цель, по нашему мнению, может носить обобщенный характер и ставится, как правило, на небольшой отрезок времени. Примерная программа-ориентир физического самовоспитания, на наш взгляд, может быть представлена следующим образом.

Цель – формирование своей физической культуры. Задачи деятельности: 1) включиться в здоровый образ жизни и укрепить здоровье; 2) активизировать познавательную и практическую физкультурно-спортивную деятельность; 3) овладеть основами методики самовоспитания; 4) улучшить физическое развитие и физическую подготовленность в соответствии с требованиями будущей профессиональной деятельности. На основе программы формируется личный план физического самовоспитания.

Третий этап связан непосредственно с его практическим осуществлением. Он базируется на использовании способов воздействия на самого себя с целью самоизменения. Методы самовоздействия – самоприказ, самовнушение, самоубеждение, самоупражнение, самокритика, самоободрение, самообязательство, самоконтроль, самоотчет.

Таким образом, в проведенном исследовании мы получили подтверждение того положения, что способность каждого человека отмечать даже самые незначительные изменения в работе над собой имеет важное значение, так как подкрепляет уверенность в своих силах, активизирует, содействует дальнейшему совершенствованию программы самовоспитания, реализации здорового образа жизни.

# Содержание

## Технические и прикладные науки

Секция «Электроэнергетика»	3
Секция «Теплоэнергетика»	49
Секция «Энергетическое строительство»	87
Подсекция «Водохозяйственное строительство»	88
Подсекция «Теплогасоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна»	108
Секция «Энергоэффективные технологии»	124
Секция «Разработка месторождений полезных ископаемых»	141
Секция «Горные машины»	152
Секция «Порошковая металлургия, сварка и обработка материалов давлением»	171
Секция «Строительные и дорожные машины»	198
Секция «Информационно-измерительная техника и технологии»	216
Секция «Информационные технологии и автоматизация»	239
Подсекция «Робототехника и автоматизация производства»	240
Подсекция «Информационные технологии в проектировании и производстве»	255
Секция «Опико-электронные и лазерные приборы и системы»	268
Секция «Автотракторостроение»	285
Секция «Эксплуатация автомобильного транспорта»	344
Секция «Автомобильные дороги»	358
Секция «Транспортные сооружения»	379
Секция «Инженерное обеспечение строительства»	399
Секция «Строительные материалы и изделия»	417
Секция «Судостроение и гидравлика»	440
Секция «Студенческий спорт и здоровый образ жизни»	478

Научное издание

НАУКА –  
ОБРАЗОВАНИЮ,  
ПРОИЗВОДСТВУ,  
ЭКОНОМИКЕ

Материалы Третьей международной  
научно-технической конференции  
В 2 томах

Том 1

Ответственный за выпуск Л.Э. Ляшенко

Компьютерная верстка Л.Э. Ляшенко

---

Подписано в печать 08.03.2006.

Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 28,81. Уч.-изд. л. 22,53. Тираж 150. Заказ 119.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0131627 от 01.04.2004.

220013, Минск, проспект Независимости, 65.