



# НАУКА –

ОБРАЗОВАНИЮ,  
ПРОИЗВОДСТВУ,  
ЭКОНОМИКЕ



# 1

Материалы Второй  
международной  
научно-технической  
конференции



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

**НАУКА –  
ОБРАЗОВАНИЮ,  
ПРОИЗВОДСТВУ,  
ЭКОНОМИКЕ**

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

**Том 1**

**Минск  
2004**

УДК 001:[37+658+338](063)

ББК 72я431

В сборнике представлены материалы Второй 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, Ф.А. Романюк – д-р техн. наук, профессор, А.С. Калиниченко, д-р техн. наук, профессор.

Рецензенты:

*Технические и прикладные науки*

канд. техн. наук, доцент И.В. Новаш, канд. техн. наук, доц. С.В. Донников, д-р техн. наук, проф. В.А. Анищенко, канд. техн. наук, доц. А.А. Тишечкин, канд. техн. наук, доц. М.И. Полуянов, канд. техн. наук, доц. О.И. Александров, д-р техн. наук И.И. Сергей, канд. техн. наук, доц. Л.Л. Червинский, д-р техн. наук, проф. М.И. Фурсанов, канд. техн. наук, доц. Е.Г. Мигущий, д-р техн. наук, проф. Н.Б. Карницкий, д-р техн. наук, проф. Р.И. Есьман, д-р физ.-мат. наук, проф. В.Г. Баштовой, д-р техн. наук, проф. Н.И. Березовский, д-р экон. наук, проф. Л.П. Падалко, канд. техн. наук, доц. Г.А.Фадеева, канд. техн. наук, доц. М.И. Лабовкин, ст. науч. сотр. НАНБ О.В. Красько, канд. техн. наук, доц. А.А. Москаленко, канд. техн. наук, доц. В.В. Романов, канд. техн. наук В.А. Скачек, канд. техн. наук А.В. Самойленко, д-р техн. наук, проф. В.А. Сычик, канд. техн. наук, доц. Н.А. Разореноv, д-р физ.-мат. наук, проф. И.Е. Зуйков, канд. техн. наук, доц. Е.Г. Зайцева, д-р физ.-мат. наук Н.В. Кулешов, канд. техн. наук, доц. В.П. Луговой, канд. техн. наук, доц. Н.Т. Минченя, канд. техн. наук, доц. В.О. Кузнечик, канд. техн. наук, проф. Л.А. Молибошко, канд. техн. наук Н.В. Путееv, канд. техн. наук, доц. Ю.В. Климов, д-р техн. наук, проф. В.П. Бойков, д-р физ.-мат. наук, проф. В.В. Яцкевич, канд. техн. наук, доц. А.Ю. Лешкевич, д-р техн. наук, проф. В.К. Ярошевич, канд. техн. наук, доц. Д.В. Капский, канд. техн. наук, доц. Л.Н. Поклад, канд. техн. наук, доц. П.В. Цыбуленко, д-р техн. наук, проф. Г.Д. Ляхевич, д-р техн. наук А.В. Бусел, канд. техн. наук, доц. А.С. Назаров, канд. техн. наук, доц. Н.Д. Банников, канд. техн. наук, доц. Ю.Г. Бабаскин, д-р техн. наук, доц. А.Н.Орда, канд. техн. наук И.И. Тулупов, канд. техн. наук Т.П. Минченя, канд. техн. наук, доц. С.И. Матиек, канд. техн. наук, доц. В.Н. Суходоеv, д-р техн. наук, проф. С.В. Босаков, д-р техн. наук, проф. Т.М. Пецольд, д-р техн. наук, проф. Г.П. Пастушков, канд. техн. наук Н.И. Лемеш, д-р техн. наук, проф. Э.И. Михневич, канд. техн. наук, доц. В.Н.Ануфриев, д-р техн. наук, проф. В.А. Веренько, д-р техн. наук, проф. В.П. Лысов, д-р техн. наук, доц. Э.И. Батыновский, д-р техн. наук В.Н. Яромко, канд. техн. наук, доц. Л.В. Нестеров

ISBN 985-479-194-7 (Ч.1)

ISBN 985-479-193-9

© Белорусский национальный  
технический университет, 2004

**Технические и прикладные  
науки**

**Электроэнергетика**

**Алгоритмизация задачи расчёта и анализа  
установившихся режимов сложнотокмкнутых электрических  
сетей энергосистем**

Золотой А.А.

Белорусский национальный технический университет

Важнейшей задачей службы режимов электросетевых предприятий является расчёт и анализ установившихся режимов основных электрических сетей имеющих, как правило, сложнотокмкнутую топологию. Традиционно в Республике Беларусь такие расчёты выполняются с использованием зарубежных программных продуктов высокого уровня таких, как, например, пакета RASTR, разработанного в УПИ (г. Екатеринбург), который много лет успешно эксплуатируется в энергосистемах стран СНГ. При этом на обновление и сопровождение импортных программных продуктов, поддержание их работоспособности неоправданно тратятся государственные валютные средства, в то время как рассматриваемая проблема может быть успешно решена собственными силами и средствами. Кроме того, возникают проблемы при адаптации импортных комплексов в энергосистеме с учётом её структурных особенностей. Следует также добавить, что перечень задач, решаемых на базе расчётов стационарных режимов основных электрических сетей, реализованный в зарубежных программах, не всегда соответствует запросам эксплуатации. Поэтому представляется целесообразным и перспективным разработку собственного программного продукта, способного решать не только задачи расчёта режимов, но и другие технологические задачи электрических сетей. Эксплуатация такой программы, несомненно, будет гораздо дешевле любого импортного аналога.

Автором разработаны и апробированы усовершенствованные алгоритм и программа для расчёта и анализа установившихся режимов сложнотокмкнутых электрических сетей, основные положения которого приведены ниже. В основу алгоритма положен расчёт напряжений в узлах электрической сети методом Ньютона по параметру. Программная реализация выполнена на языке PASCAL в среде визуального программирования Delphi под Windows и занимает 350К дисковой памяти. Алго-

ритм ориентирован на расчёт электрических сетей больших объемов. Предельный объём рассчитываемой схемы ограничивается исключительно возможностями используемой ЭВМ. Хранение слабозаполненных матриц в процессе расчёта производится в блочно-компактной форме. Решение системы линейных алгебраических уравнений на каждом шаге выполняется методом двойной факторизации с применением оптимальной стратегии исключения неизвестных. Расчёт выполняется без предварительного приведения элементов электрической сети к одной ступени напряжения. Расчёт напряжений нагрузочных узлов проводится как с учётом, так и без учёта статических характеристик нагрузок. Предусмотрена возможность задания статических характеристик нагрузки для каждого узла схемы в виде полинома четвёртой степени или использования типовых характеристик. Если статические характеристики не учитываются, то в расчётах участвуют нагрузки узлов, заданные в исходных данных.

Линии в процессе расчёта представляются полной П-образной схемой замещения, трансформаторы — полной Г-образной схемой замещения с возможностью задания комплексных коэффициентов трансформации.

Система нелинейных уравнений, описывающая стационарный режим работы основной электрической сети, записывается в форме баланса активных и реактивных мощностей в декартовой системе координат. Переменными являются действительные и мнимые составляющие напряжений в узлах электрической сети.

На основании принципиальной схемы электрической сети составляется её эквивалентная схема замещения, содержащая  $p+1$  узлов и  $m$  ветвей. Обозначим множества узлов и ветвей соответственно как  $N$  и  $V$ . Множество узлов  $N$  состоит из трёх подмножеств  $B \cup N$ ,  $P \cup N$  и  $Q \delta \in N$  генераторных узлов, на которые работают электростанции или регулируемые источники реактивной мощности (ИРМ), а также подмножества  $RQ \in N$  нагрузочных узлов. Подмножества  $B \cup$ ,  $P \cup$  и  $Q \delta$  отличаются между собой способами моделирования генераторных узлов. Узлы подмножества  $B \cup$  моделируются заданием модуля и фазы напряжения. Зависимыми переменными будут генерации активных и реактивных мощностей. Узлы подмножества  $P \cup$

моделируются заданием модулей напряжений и генерациями активных мощностей. В качестве зависимых переменных для PU-узлов принимаются генерации реактивных мощностей и фазы напряжений. Узлы подмножества Q $\delta$  моделируются заданием фаз напряжений и генерациями реактивных мощностей. Зависимыми переменными здесь будут генерации активных мощностей и модули напряжений. Узлы с заданными  $P_i$  и  $U_i$  и принадлежащие подмножеству PU, называются узлами *опорными* по напряжению.

Множество ветвей  $V$  состоит из подмножества трансформаторов  $T$ ,  $T \in V$  и подмножества линий  $L$ ,  $L \in V$ .

При эксплуатационных расчётах установившихся режимов электрической сети параметры схемы обычно известны. Исключения в отдельных случаях составляют коэффициенты трансформации трансформаторов и автотрансформаторов, допускающие их регулировку, которая должна определяться в процессе расчёта режима. Режим работы сети при заданной схеме и её параметрах полностью определяется параметрами режима.

При расчёте установившегося режима электрической сети со схемой, содержащей  $n+1$  узлов, заданными величинами являются  $2n+1$  независимых параметров режима. Остальные параметры будут зависимыми и определяются через заданные независимые. Для расчёта режима в схеме должен быть задан хотя бы один Q $\delta$ -узел, *балансирующий по активной мощности*, т.е. не имеющий ограничений на генерацию активной мощности, и хотя бы один PU-узел, *балансирующий по реактивной мощности*. Кроме того, по крайней мере, в одном узле необходимо задать модуль напряжения. Такой узел называется *базисным по напряжению*. Очевидно, что в данном случае базисный узел будет совпадать с PU-узлом, балансирующим по реактивной мощности. Обычно в качестве базисного узла и узлов, балансирующих по активной и реактивной мощностям, выбирается один и тот же узел. Такой узел называется *балансирующим* (БУ). В общем случае в схеме может быть задано несколько балансирующих узлов, составляющих подмножество BU множества  $N$ . Активная  $P_{бу}$  и реактивная  $Q_{бу}$  мощности балансирующего узла определяются из условия баланса мощностей в сети, включая потери в ней, которые заранее неизвестны. Поэтому в качестве балансирующего узла необходимо выбрать такой узел, на ко-

торый работает электростанция системы, имеющая мощность, достаточную для покрытия ожидаемой активной и реактивной нагрузок  $P_{бу}$  и  $Q_{бу}$ .

Математически задача может быть описана на основании узловой или контурной модели электрической сети. Исследования ряда научных организаций ближнего и дальнего зарубежья показали, что для моделирования подобных задач наиболее предпочтительной, с разных точек зрения, является узловая модель сети. При математическом моделировании решаемой задачи данная модель была принята автором в качестве основной.

Таким образом, расчёт установившегося режима основной электрической сети сводится к решению системы уравнений установившегося режима (УУР) при следующих исходных условиях:

1) PQ-узлы (нагрузочные)

$$\begin{cases} P_p - \bar{P}_p = 0; \\ Q_p - \bar{Q}_p = 0; \\ \forall p \in PQ; \end{cases} \quad (1)$$

2) PU-узлы (опорные)

$$\begin{cases} P_p - \bar{P}_p = 0; \\ U_p - \bar{U}_p = 0; \\ \forall p \in PU; \end{cases} \quad (2)$$

3) Qδ-узлы

$$\begin{cases} Q_p - \bar{Q}_p = 0; \\ \delta_p - \bar{\delta}_p = 0; \\ \forall p \in Q\delta; \end{cases} \quad (3)$$

4) балансирующие узлы

$$\begin{cases} U_p - \bar{U}_p = 0; \\ \delta_p - \bar{\delta}_p = 0; \\ \forall p \in BU, \end{cases} \quad (4)$$

где  $\bar{P}_p$ ,  $\bar{Q}_p$ ,  $\bar{U}_p$ ,  $\bar{\delta}_p$  — заданные значения параметров режима.

Кроме этого должны быть заданы коэффициенты трансформации всех трансформаторов, входящих в расчётную схему.

**Учет ограничений.** Найденные в результате решения УУР зависимые параметры режима могут не удовлетворять условиям допустимости режима. Поэтому при расчёте установившегося режима предусмотрен учёт ограничений в форме неравенств, наложенных на реактивные мощности генераций в PU-узлах, и на активные мощности генераций в Qδ-узлах. Эти ограничения имеют вид:

$$Q_{p \min} \leq Q_p \leq Q_{p \max}; \quad \forall p \in \text{PU}; \quad (5)$$

$$P_{p \min} \leq P_p \leq P_{p \max}; \quad \forall p \in \text{Q}\delta. \quad (6)$$

В случае нарушения ограничений, например по реактивной мощности, реактивная мощность закрепляется на нарушенном пределе, а узел передаётся в подмножество PQ.

Часто при решении УУР бывает необходимо учитывать ограничения в форме неравенств, накладываемые на модули напряжений в узлах электрической сети вида

$$U_{p \min} \leq U_p \leq U_{p \max}. \quad (7)$$

Строго говоря, для устранения нарушений этих ограничений должно предусматриваться изменение коэффициентов трансформации трансформаторов и автотрансформаторов в соответствующих ветвях схемы. Однако поскольку устранение таких ограничений строгими методами обеспечивается при решении задачи *оптимизации режима*, то на данном этапе работы использованы более упрощенные подходы. Одним из них является способ, основанный на закреплении напряжения на нарушенном пределе, и передачи узла в подмножество PU. Если при этом в узле нарушаются ограничения вида (5), то реактивная мощность узла закрепляется на нарушенном пределе и узел возвращается в прежнее подмножество с пометкой о нарушении ограничений типа (7).

Для решения нелинейной системы уравнений установившегося режима применена авторская модификация метода Ньютона по параметру, который позволяет получать решения практически при всех возможных заданных условиях, в том числе при их несовместности, с учётом ограничений, накладываемых на изменение ряда режимных параметров.

## Принципы выполнения и исследование характеристик адаптивных формирователей ортогональных составляющих микропроцессорных защит электроустановок

Рождественский А.В.

Белорусский национальный технический университет

Входные сигналы микропроцессорных защит электроустановок могут быть представлены параметрами векторов, такими как амплитуды и фазы, а также эквивалентными им ортогональными составляющими (ОС). Адаптивные формирователи ОС входных сигналов содержат необходимую последовательность операций с отсчетами их мгновенных значений, которые выполняются с помощью микропроцессорных средств. Предварительно сигналы подвергаются цифровой фильтрации с целью выделения основных гармоник.

Поступающий на вход микропроцессорной защиты сигнал обрабатывается аналоговым фильтром нижних частот (ФНЧ). Можно считать, что ФНЧ полностью пропускает апериодическую составляющую и задерживает высшие гармоники с порядком  $m > N$ . В этом случае сигнал на выходе ФНЧ будет.

$$u(t) = U_a e^{-\frac{t}{\tau}} + \sum_{m=1}^N U_m \sin \psi_m, \quad (1)$$

где  $\psi_m = m\omega_0 t + \varphi_m$  текущая фаза  $m$ -й гармоники

Непосредственное использование (1) в качестве модели входного сигнала затрудняет решение задачи синтеза ЦФ. Поэтому примем во внимание факт конечного времени наблюдения защитой за сигналами, которое находится на уровне периода промышленной частоты. Это дает возможность аппроксимировать апериодическую составляющую на интервале наблюдения отрезком прямой. При таком подходе модуль разности смежных дискретных значений периодической составляющей, зафиксированной на интервале  $\Delta t$ , является величиной постоянной.

Пусть на интервале наблюдения зафиксированы  $n$  значений сигнала, тогда с учетом вышесказанного можно составить систему уравнений, решение которой может быть представлено в виде

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

где  $a_i, b_i$  — постоянные коэффициенты;  $u_n$  — отсчет основной гармоники сигнала, относящийся к концу интервала наблюдения  $t_n$ .

Выражение (2) представляет собой ЦФ, выделяющий основную гармонику из сигнала  $u(t)$  с граничной частотой спектра  $f_{cp}$ .

Отсчеты мгновенных значений выходного сигнала ЦФ (2) являются отсчетами синусной ОС  $u_{s(n)} = u_n$ . С помощью (9) достаточно сформировать только отсчеты мгновенных значений косинусной ОС  $u_{c(n)}$ .

Цифровой отсчет вспомогательного сигнала, сдвинутого в сторону отставания на угол  $\alpha$  без изменения амплитуды, может быть получен как

$$u_{v(n)} = u_{vx(n-i)}, \quad (5)$$

где  $i=1v2v\dots v(n-1)$ .

Отсчеты первого и второго дополнительных сигналов формируются следующим образом:

$$u_{1(n)} = 0,5(u_{ax(n)} + u_{ax(n-i)}) \quad (6)$$

$$u_{2(n)} = 0,5(u_{ax(n)} - u_{ax(n-i)}) \quad (7)$$

где  $i=1v2v\dots v(n-1)$ .

Адаптивный принцип формирования ОС заключается в получении цифрового отсчета вспомогательного сигнала в соответствии с (8), формировании цифровых отсчетов двух дополнительных сигналов по (6) и (7), с последующим определением отсчета косинусной ОС по выражению (9).

$$u_{s(n)} = u_{1(n)} + u_{2(n)}; \quad (8)$$

$$u_{c(n)} = \frac{u_{2(n)} (u_{1(n-1)}^2 - u_{1(n)}^2) - u_{1(n)} (u_{2(n)}^2 - u_{2(n-1)}^2)}{[(u_{2(n)}^2 - u_{2(n-1)}^2)(u_{1(n-1)}^2 - u_{1(n)}^2)]^{1/2}} \quad (9)$$

В основе реализации адаптивных формирователей ОС рассмотренного принципа исполнения лежит последовательное выполнение следующих операций:

- преобразование входного сигнала тока или напряжения в пропорциональный сигнал напряжения;
- предварительная аналоговая фильтрация полученного сигнала напряжения активным фильтром нижних частот;
- аналого-цифровое преобразование и фиксация последовательных отсчетов мгновенных значений выходного сигнала активного фильтра;
- цифровая фильтрация полученных отсчетов и определение отсчета мгновенного значения синусной ОС основной частоты, относящегося к концу интервала наблюдения;
- фиксация двух последовательных значений синусной ОС, разделенных шагом  $\Delta t$ , и определение по ним отсчета косинусной ОС.

Для преобразования входного сигнала тока или напряжения в пропорциональный сигнал напряжения наиболее эффективно использование промежуточных трансформаторов с теми же техническими решениями, которые широко применяются в защитах микроэлектронного исполнения.

Адаптивные формирователи ортогональных составляющих (ФОС) должны обеспечивать независимость амплитуд сигналов и углов сдвига фаз между ними от изменений промышленной частоты. При этом они должны обладать соответствующими частотными и динамическими свойствами, обеспечивая четкое выделение сигнала основной частоты и высокое быстродействие. Указанные свойства могут быть оценены на основе анализа амплитудно-частотных (АЧХ) и переходных характеристик ФОС, которые полностью отражают их уровень технического совершенства.

Характеристики ФОС определяются как их отклики на некоторые сигналы специальной формы. Для получения характеристик ФОС методом вычислительного эксперимента используются их математические модели.

Для нахождения точек АЧХ, соответствующих заданному значению частоты  $f$ , необходимо знать при этом значение амплитуды входного и выходного синусоидальных сигналов. Для этого производится расчет ФОС с использованием уравнений его модели на временном интервале, обеспечивающем наступление установившегося режима. По отсчетам мгновенных значений сигналов определяются их амплитуды и соответствующие

щие точки АЧХ. Для построения АЧХ вычисления повторяются для заданных точек всей шкалы частот.

В рамках настоящей работы были получены адаптивные ФОС, использующие 14, 16, 18 отсчетов мгновенного сигнала. Затем методом вычислительного эксперимента определялись характеристики указанных ФОС.

Следует отметить, что ФОС, при использовании для выделения составляющей основной частоты цифровых фильтров с коэффициентами  $b_i$  имеют несколько худшую избирательность, чем при использовании ЦФ с коэффициентами  $a_i$ . Амплитудно-частотные характеристики ФОС полностью определяются частотными свойствами ЦФ и совпадают для синусной и косинусной ОС.

Анализ полученных АЧХ показывает, что с увеличением  $n$  избирательность ФОС повышается, причем АЧХ сохраняют нули в гармониках, кратных основной. Наилучшую форму АЧХ имеет ФОС при 18 отсчетах мгновенного сигнала. Такой формирователь хорошо подавляет низкочастотные составляющие и лучше других высшие гармоники.

В результате выполненных расчетов также установлено, что все реализации ФОС имеют линейные фазочастотные характеристики в диапазоне частот 45-55 Гц. При этом угол сдвига фаз

между ОС не зависит от частоты и равен  $\frac{\pi}{2}$ .

Переходный процесс в ФОС включает две стадии. На первой стадии устанавливаются процессы в ФНЧ. Её продолжительность зависит от частоты среза фильтра. Известно, что с уменьшением указанной частоты инерционность ФНЧ возрастает. На второй стадии устанавливаются процессы в ЦФ. Очевидно, что с увеличением числа  $n$  продолжительность данной стадии увеличивается. В целом с увеличением  $n$  быстродействие ФОС растет за счет увеличения требуемой частоты среза ФНЧ. Следует отметить, что наиболее приемлемый характер переходного процесса в ФОС обеспечивается в том случае, когда все коэффициенты ЦФ  $a_i$  и  $b_i$  по модулю меньше единицы.

Предложенные адаптивные ФОС входных сигналов для микропроцессорных защит отличаются более высокими показателями технического совершенства, чем ранее рассматривавшиеся аналогичного исполнения.

## Электретный источник тока с секторными электродами

Сычик В.А., Ермакова О.А.

Белорусский национальный технический университет

Электретная структура является источником квазипостоянного электрического поля и используется как главный элемент, с помощью которого на внешних электродах генератора формируется электрическое напряжение. При синтезе электретных генераторов электроэнергии используются те электреты, которые имеют внутреннюю остаточную поляризацию и свободный заряд. Одним из известных методов генерации электрической энергии с помощью электретных структур является способ, предусматривающий изменение электрического поля электрета, действующего на металлические электроды, вследствие введения в зазор между поверхностью электрета и электродом металлической пластины. Также используется методика генерирования тока электретом путем воздействия на внешнее электрическое поле электрета и электрический заряд его электродов.

Указанные методы генерирования тока с помощью электретных структур не позволяют получать значительные величины тока и мощности в выходной цепи.

Разработанный нами генератор электрической энергии с секторными электродами содержит сложную электретную структуру, включающую дисковый статор с электродами и дисковый ротор с электретами. Структура генератора - на рис.1.

Генератор электрического тока состоит из входящего в систему генерирования металлического дискового ротора 1, закрепленного на валу 2, с установленными на нем парами разнополярных электретов 3 (рис. 1а), и из дискового электрического статора 4 системы генерирования, на котором размещены металлические электроды 5 внешней индуктивной цепи в виде трансформатора 6 (рис. 1б).

Электреты с разноименными зарядами попарно размещены на поверхности металлического ротора, который посредством вала соединен с приводным двигателем и заземлен. Площадь электрета определяется размерами дискового ротора. Важным условием является то, чтобы ширина каждого сегментного электрета

трета соответствовала ширине свободной части ротора между двумя однополярными сегментными электретами (рис.1а –  $l_1 = l_2$ ).

**Структурная схема электретного генератора электрической энергии с секторными электродами:** а) сечение металлического статора, б) сборочный чертеж генератора

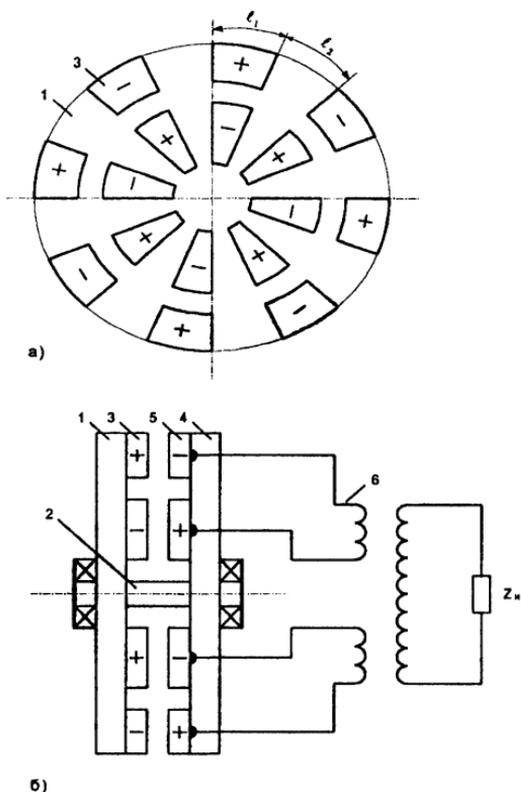


Рис.1: 1-металлический дисковый ротор; 2-вал генератора; 3-электреты; 4-диэлектрический статор; 5-металлические электроды; 6-внешняя индуктивная цепь

Толщина электретов  $L$  и зазор  $l$  между ними и металличе-

скими электродами выбирается из условия обеспечения максимальной ЭДС в каждой паре металлических электродов по коэффициенту  $D$ :

$$D = S/(\epsilon \cdot l/L + 1), \quad (1)$$

где  $D$  - коэффициент, зависящий от геометрии системы электрет-электрод и диэлектрической проницаемости электрета;  $S$  - площадь электретов, равная соответствующей площади металлических электродов.

Толщина электретов выбирается  $L = 0.5-1$  мм, а зазор  $l = 0.1-0.2$  мм.

Число пар противоположных электретов для получения синусоидального напряжения составляет четное число 8, 10, 12... и определяется размерами металлического дискового ротора и величиной поверхностного заряда электрета  $\sigma$ . Площадь каждого из противоположных электретов, как показали результаты эксперимента, должна быть одинаковой  $S_1 = S_2 = S$ .

Заземление ротора исключает искажение формы кривой напряжения, вследствие возможности появления на нем вихревых токов при действии на этот ротор индуцированных на металлических электродах зарядов.

При запуске двигателя дисковый ротор системы генерирования посредством вала приходит во вращение с угловой скоростью  $\omega$ . На каждом из металлических электродов индуцируется под действием поля электретов заряд, изменяющийся во времени. В каждой паре металлических электродов, связанных с парой электретов, индуцируемые переменные заряды имеют обратную полярность. В результате через каждую изолированную секцию первичной обмотки трансформатора течет переменный ток

$$I_c = 2 \cdot D \cdot \omega \cdot \sigma \cdot \cos \omega \cdot t, \quad (2)$$

который создает в этой секции ЭДС самоиндукции:

$$E = -L \cdot dI/dt = 2 \cdot D \cdot L \cdot \omega^2 \cdot \sigma \cdot \sin \omega \cdot t, \quad (3)$$

где  $L$ -индуктивность секции,  $\sigma$ -поверхностный заряд.

Во вторичной обмотке ЭДС составит

$$E_2 = d\psi/dt = N \cdot d\psi_1/dt = NU_{21}. \quad (4)$$

Здесь  $\psi = \sum \psi_i$ ,  $U_{2i} = d\psi_i/dt$  - составляющая суммарной ЭДС вторичной обмотки  $E_2$  от каждой секции первичной обмотки;  $\psi_1$  - приращение магнитного потока в сердечнике, вызванное про-

течением электрического тока  $I$  в каждой секции с числом витков  $W_c$  от ЭДС секции  $E_c$ ;  $N$  – число секций первичной обмотки трансформатора, т.е. число пар электрет-электрод.

Как следует из (4), ЭДС вторичной обмотки определяется результирующим действием ЭДС всех изолированных и согласованно включенных секций –  $E_c$ .

Степень повышения КПД синтезированного устройства в сравнении с прототипом определяется в предположении, что создаваемые во внешней цепи токи устройством-прототипом и предлагаемым генератором при условии равенства потребляемых мощностей от приводного двигателя одинаковы. С учетом того, что электрическая мощность электретного генератора  $P_1=U_1 \cdot I$ , а прототипа –  $P_0=U_0 \cdot I$ , имеем степень повышения КПД:

$$\Delta \eta = \eta_1/\eta_0 = P_1/P : P_0/P = P_1/P_0 = U_1 \cdot I / U_0 \cdot I \approx U_1 / U_0 \quad (5)$$

Экспериментально созданный генератор электрического тока содержит насаженный на вал двигателя дисковый ротор, выполненный из электротехнической стали диаметром 200 мм, толщиной  $d = 5$  мм; восемь пар сегментных противопололярных электретов из полиметилметакрилата, каждый из которых площадью  $S = 7 \text{ см}^2$  и толщиной 1 мм. Статор системы генерирования, диаметром 200 мм и толщиной 6 мм, также содержит восемь пар сегментных металлических электродов  $S = 7 \text{ см}^2$  и толщиной 5 мм.  $\sigma$  электретов равен  $2 \cdot 10^{-4}$  Кл,  $L = 50$  мГн, циклическая частота вращения двигателя  $f = 50$  Гц, зазор между электретами ротора и электродами статора – 0.1 мм.

Расчет показал, что степень повышения КПД такого генератора составит

$$\Delta \eta \approx 7 \text{ раз.}$$

Созданный электретный генератор с секторными электродами обладает высоким КПД и может эффективно использоваться как источник электрической энергии в автономных электронных аппаратах.

### Литература

1. Авт. свид. СССР 978329, МКИ<sup>4</sup>, НОЗ К 3/45. Способ генерирования тока электретом / Сычик В.А.
2. Электреты / Под ред. Сесслера Г. - М.:Мир, 1983. - 487 с.

**Семантические методы достоверизации и повышения  
точности учета электрической и тепловой энергии  
в энергосистемах**

Анищенко В.А., Козловская В.Б., Радкевич В.Н.  
Белорусский национальный технический университет

Реструктуризация и переход энергетики на рыночные отношения привели к резкому повышению требований к достоверности и точности учета электроэнергии и в первую очередь - электрической, что вызвано формированием оптового рынка электрической энергии и мощности.

Поскольку поверка счетчиков энергии производится с интервалами, исчисляемыми годами, велика вероятность их длительной эксплуатации с необнаруженными грубыми, т.е. превышающими расчетные значения, погрешностями измерений.

Оперативный контроль достоверности измерений может быть обеспечен синтаксическими и семантическими методами. При синтаксическом контроле результаты измерений рассматриваются как последовательность символов, связанных конструктивными правилами в рамках формализованной системы, примером чему может служить программно-аппаратурное диагностирование информационно-измерительных систем, осуществляющих сбор и обработку измерительной информации.

При семантическом контроле измеряемые потоки энергии анализируются на основе взаимных связей, отражающих топологию электрических соединений или трубопроводов, по которым транспортируются энергоносители. Взаимные связи контролируемых переменных являются источником информационной избыточности, которая позволяет дополнять на содержательном уровне, с учетом технологического смысла решаемой задачи, результаты синтаксического контроля. Круг распознаваемых недостоверных данных расширяется [1].

Типовая инструкции [2] предписывает сравнивать значения фактического и допустимого небалансов электроэнергии уравнений связи. Для электростанции составляется одно уравнение, связывающее выработку электроэнергии генераторами и поступление от других источников с расходами электроэнергии на станции и отпуском ее в энергосистему. Учет электроэнергии в

электрических сетях должен организовываться применительно к подстанциям, а также к структурным подразделениям энергосистемы. Превышение фактического небаланса допустимого значения означает наличие недостоверных показаний одного или нескольких электросчетчиков. Но это не гарантирует выявление всех недостоверных измерений, поскольку грубые погрешности измерений одних счетчиков могут компенсироваться в уравнении связи грубыми погрешностями измерений других счетчиков. При наличии грубой погрешности измерения возникает неопределенность с локализацией счетчика, показание которого привело к недопустимо большому небалансу. Указанные недостатки можно устранить путем совместного анализа разностей фактических и допустимых небалансов во всех узлах схемы электрических соединений станции и системы в целом [3,4]. Рассмотрим такой подход на примере одного энергоблока электростанции (рис.1). Система уравнений связи имеет вид

$$W_1 - W_2 - W_3 - W_4 - \Delta W_{1T} = \delta_{1\phi}, \quad (1)$$

$$W_4 - \sum_{i=5}^{15} W_i - W_{16} - \Delta W_{2T} = \delta_{2\phi}, \quad (2)$$

$$W_{16} - \sum_{i=17}^{25} W_i - \Delta W_{3T} = \delta_{3\phi}, \quad (3)$$

$$W_1 - W_2 - W_3 - \sum_{i=5}^{15} W_i - W_{16} - \Delta W_{1T} - \Delta W_{2T} = \delta_{4\phi}, \quad (4)$$

$$W_1 - W_2 - W_3 - \sum_{i=5}^{15} W_i - \sum_{i=17}^{25} W_i - \Delta W_{1T} - \Delta W_{2T} - \Delta W_{3T} = \delta_{5\phi}, \quad (5)$$

$$W_4 - \sum_{i=5}^{15} W_i - \sum_{i=17}^{25} W_i - \Delta W_{2T} - \Delta W_{3T} = \delta_{6\phi}, \quad (6)$$

где  $W_1$  - выработанная электроэнергия;  $W_2$  и  $W_3$  - отпущенная в систему электроэнергия;  $W_4$  - суммарная электроэнергия, потребленная на собственные (с.н.) и хозяйственные (х.н.) нужды;  $W_5, \dots, W_{15}$  - электроэнергия, потребленная отдельными электроприемниками с.н. и х.н. с шин 6 кВ;  $W_{16}$  - суммарная электроэнергия, потребленная на с.н. и х.н. на напряжении 0,4 кВ;  $W_{17}, \dots, W_{25}$  - электроэнергия, потребленная отдельными электроприемниками с шин 0,4 кВ;  $\Delta W_{1T}$  - потери электроэнергии в

повышающем трансформаторе;  $\Delta W_{2(3)T}$  - потери электроэнергии в трансформаторах собственных и хозяйственных нужд.

Условие отсутствия недостоверных измерений

$$|\delta_{j\phi}| \leq \delta_{jл}; \quad j = 1, \dots, 6; \quad (7)$$

где допустимые небалансы  $\delta_{jл}$  определяются в функции классов точности счетчиков, расчетных погрешностей измерительных трансформаторов тока, напряжения, каналов передачи информации и результатов измерений.

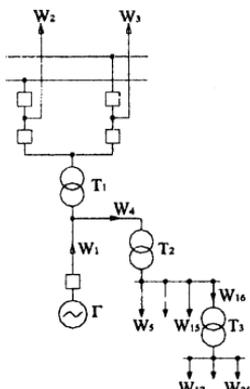


Рис. 1. Схема электрических соединений энергоблока

Согласно действующей инструкции [2] для контроля достоверности достаточно ограничиться уравнением (1).

При этом грубые погрешности измерений, например,  $W_1$  и  $W_4$  могут взаимно скомпенсироваться и остаться невыявленными. Если же учесть все взаимные связи, то недостоверное измерение  $W_1$  будет выявлено по недопустимо большим небалансам уравнений (4) и (5), а  $W_4$  - по небалансам уравнений (2) и (6).

Существенно повышается и точность локализации недостоверных данных. Например, если уравнение (7)

нарушено для уравнений (1) и (4) и (или) (5), то подвергается сомнению измерение  $W_1$ . Если же указанное условие нарушено для уравнений (1) и (2) и (или) (6), под сомнение попадает измерение  $W_4$ . Предложенный в [5] алгоритм локализации недостоверных измерений основан на их ранжировании на подмножества, располагаемые по мере убывания вероятностей грубых погрешностей с учетом присутствия или отсутствия подозреваемых в недостоверности измерений в уравнениях связи, для которых условие (7) соблюдается или не соблюдается, а также знаков фактических небалансов.

Уравнение связи (1-6) являются также одним из источников информации для определения наиболее вероятных замещающих значений недостоверных показаний электросчетчиков [6].

При отсутствии грубых погрешностей измерений собранная информация может быть использована для уточнения показаний

электросчетчиков расчетным путем методами статистического оценивания [7].

Семантический контроль достоверности и повышение точности измерений методами статистического оценивания в полной мере применимы также в задаче учета тепловой энергии. В [8] рассмотрены некоторые алгоритмы контроля и оценивания расходов тепла и материальных потоков (пара, воды, газа, мазута) для блочных ТЭЦ и ТЭЦ с поперечными связями.

### Литература

1. Анищенко В.А. Контроль достоверности измерений в энергетических системах на основе теории статистических решений // Энергетика...(Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объедин. СНГ).-2003.-№6.-С.5-15.
2. Типовая инструкция по учету электроэнергии при ее производстве, передаче и распределении. РД 34.09.101-94 // Правила учета электрической энергии.- М.: Главгосэнергонадзор России, 1998.- С.306-342.
3. Анищенко В.А., Казанская Т.Н. Учет электроэнергии на электростанциях как задача АСУ ТП // Ред. журн. Энергетика...(Изв. высш. учеб. заведений).- Деп. в ВИНТИ 17.05.1983. - № 2595 -83.
4. Учет расхода электроэнергии на производственные нужды ТЭЦ / В.А.Анищенко, В.Б.Козловская, В.Н.Радкевич., Ю.М. Шнайдерман // Энергия и менеджмент.- 2004.- №1.- С.18-19.
5. Анищенко В.А. Оценивание состояния энергетического объекта с предварительной идентификацией грубых и систематических ошибок измерений // Энергетика...(Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объедин. СНГ).- 1994.- №7-8.- С.29-34.
6. Анищенко В.А., Горош А.В. Выбор замещающих значений при обнаружении недостоверных измерений аналоговых переменных // Энергетика...(Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объедин. СНГ).-2001.-№1.-С.25-31.
7. Гамм А.З. Статистические методы оценивания состояния электроэнергетических систем.- М.: Наука, 1976.-220с.
8. Повышение достоверности используемой в АСУ ТП информации путем коррекции результатов измерения / В.А.Анищенко, В.И.Щербич, Т.Н.Казанская, В.И.Крамаренко // Теплоэнергетика.- 1982.- №7.- С.31-33.

**Метод комплексной оптимизации режима  
электроэнергетической системы**

**Бакановский А.М.**

**Белорусский национальный технический университет**

В настоящей работе рассматривается задача оптимизации режима электроэнергетической системы (ЭЭС) по активной и реактивной мощности электростанций (ЭС) с учетом надежности функционирования. В качестве критерия при реализации задачи комплексной оптимизации принят минимум суммарных издержек в ЭЭС связанных с расходом топлива на ЭС и недоотпуском электроэнергии за рассматриваемый период.

Структурная схема реализации задачи комплексной оптимизации представлена на рис.1.

Реализация задачи оптимизации режима ЭЭС предполагает декомпозицию общей комплексной задачи на следующие подзадачи: оптимизацию режима по активной мощности ЭС, оптимизацию по реактивной мощности ЭС, анализ надежности функционирования ЭЭС, дооптимизацию режима с учетом надежности.

В качестве основного математического метода оптимизации принят метод динамического программирования (МДП). Применение данного метода предоставляет следующие возможности для реализации задачи оптимизации режимов: определение глобального оптимума; использование реальных расходных характеристик энергетического оборудования ЭС; учет всех основных ограничений наложенных на зависимые и независимые параметры режима; строгий учет энергетических характеристик выделенного балансирующего объекта; получение множества оптимальных режимов для исследования по критерию надежности функционирования ЭЭС.

При реализации задачи оптимизации по активной мощности выполняется учет потерь в электрической сети; условия баланса активной мощности, пределов генерации активной мощности, ограничений наложенных на пропускные способности линий электропередач (ЛЭП) и учет характеристик выделенного балансирующего объекта. Учет потерь при применении МДП осуществляется посредством использования элементов



Рис.1. Структурная схема реализации задачи комплексной оптимизации

теории возмущений совместно с методом последовательных приближений (МПП). В качестве характеристик электрической сети, применяемых в данной задаче, используются относительные приросты потерь активной мощности по активным мощностям ЭС и коэффициенты потокораспределения. Задача оптимизации представляет собой итерационный процесс, где на каждой итерации выполняется расчет режима<sup>1</sup> и уточнение значений относительных приростов потерь мощности. В качестве критерия окончания оптимизации принята заданная величина относительного изменения целевой функции (суммарных издержек) на смежных итерациях. По окончании итерационного процесса выполняется учет ограничений на пропускную способность ЛЭП при помощи одновременного применения с вышеназванными методами метода множителей Лагранжа. Результатом выполнения данной подзадачи является вектор оптимальных мощностей ЭС. На его основании для конденсационных электростанций выполняется внутривыпускная оптимизация (применяется МДП) с целью определения нагрузок энергоблоков и дальнейшего нахождения диапазона регулирования реактивной мощности генераторов (на основании характеристик  $Q(P)$ ) и электростанции в целом<sup>2</sup>. Пределы регулирования реактивной мощности служат исходной информацией для реализации задачи оптимизации по реактивной мощности.

При оптимизации режима по реактивной мощности ЭС осуществляется минимизация потерь в электрической сети. В задаче учитывается условие баланса реактивной мощности в ЭЭС, реализуется учет напряжений в узлах сети и выполнен строгий учет характеристик балансирующего объекта (для случая его выделения). Математический аппарат применяемый для реализации данной подзадачи аналогичен применяемому для оптимизации по активной мощности. Разработанный для данной задачи метод является также итерационным. Здесь после каждой итерации рассчитывается установившийся режим ЭЭС, оценивается относительное изменение потерь активной мощности на

---

<sup>1</sup> Расчет режима выполняется методом Ньютона-Рафсона.

<sup>2</sup> Для теплофикационных электростанций внутривыпускная оптимизация не выполняется. Пределы регулирования по реактивной мощности считаются известными.

смежных итерациях, уточняются относительные приросты потерь активной мощности.

Алгоритм комплексной оптимизации представляет собой итерационный процесс последовательной реализации задач оптимального распределения активной и реактивной мощности, критерием окончания которого служит заданная величина относительного изменения целевой функции издержек. При окончании итерационного процесса дополнительно выполняется оптимизация по активной мощности (с параметрами соответствующими последней итерации) для формирования множества оптимальных (либо близких к оптимальному) режимов для последующего анализа надежности. В качестве интегрального показателя, характеризующего эксплуатационную надежность ЭЭС, принят недоотпуск электроэнергии за рассматриваемый период. В общем случае множеству оптимальных режимов работы ЭЭС может соответствовать различные значения недоотпуска электроэнергии. При выполнении дооптимизации режима указанный показатель надежности, выраженный в денежном эквиваленте, вводится в целевую функцию издержек. Так как принятый показатель надежности не однозначно определяет показатели надежности отдельных узлов (районов) потребления, то дополнительно введена возможность задания приоритета покрытия нагрузок потребителей (относительные единицы, ущербы).

Согласно изложенной методике разработана программа для комплексной оптимизации режимов ЭЭС. Проведенные многочисленные расчеты показали эффективность соответствующего алгоритма. Программа может использоваться в оперативно-диспетчерском управлении для планирования и исследования краткосрочных режимов работы энергосистем.

УДК 614.841.415

**О возможности применения жидких огнетушащих средств для тушения пожаров в электроустановках, находящихся под напряжением 110 кВ**

Красько А.С., Протас А.М.<sup>\*</sup>, Сороко Д.М.<sup>\*</sup>

Белорусский национальный технический университет

<sup>\*</sup>Учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций»

МЧС Республики Беларусь

В качестве огнетушащих составов при тушении электрооборудования используется: вода, воздушно-механическая пена, углекислый газ, порошки. Каждое из этих средств имеет свои преимущества и недостатки. Например, вода и водные растворы пенообразователей являются дешевыми и наиболее доступными средствами тушения, но обладают высокой электропроводностью, а применяемая углекислота имеет более высокие диэлектрические свойства по сравнению с водой, но при этом значительно дороже.

Вода – наиболее распространенное и достаточно эффективное средство. Наибольший огнетушащий эффект достигается при подаче воды в распыленном состоянии. Вода электропроводна. Проводимость ее тем больше, чем больше электролитов, т. е. диссоциируемых солей, кислот или оснований растворено в воде. Поэтому при введении пенообразователей, ионогенных смачивателей и особенно диссоциируемых солей электропроводность воды значительно повышается.

В рамках выполнения задания «Разработать метод тушения жидкими огнетушащими средствами пожаров электроустановок под напряжением до 110 кВ и соответствующую нормативно-методическую базу» Государственной научно-технической программы «Чрезвычайные ситуации» были проведены исследования по электропроводности водных растворов водных растворов пенообразователей и воды, взятой из различных водных источников. Результаты исследований приведены в таблице 1.

В соответствии с требованиями правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок в электроустановках находящихся под напряжением можно использовать сплошные струи воды с удельной проводимостью 667 мкСм/см

(14,99 Ом·м). Как видно из таблицы 1 вода, взятая из водных источников, соответствует этим требованиям.

Таблица 1 – Результаты исследований удельного объемного сопротивления огнетушащих веществ

Наименование огнетушащего вещества (наименование местности водозабора)	Объемное сопротивление огнетушащего вещества $R$ , Ом	Удельное объемное сопротивление огнетушащего вещества $\rho$ , Ом·м
Артезианская вода (Советский район г. Минска)	$1,2 \cdot 10^5$	34,86
Чижовское водохранилище (г. Минск)	$0,9 \cdot 10^5$	26,15
Водохранилище г. Несвиж Минской обл.	$1,0 \cdot 10^5$	29,05
Минское море г. Минск	$1,1 \cdot 10^5$	31,96
Водохранилище г. Солигорск Минской обл.	$0,84 \cdot 10^5$	24,4
р. Днепр г. Могилев	$0,9 \cdot 10^5$	26,15
р. Днепр г. Речица	$1,02 \cdot 10^5$	29,63
р. Неман г. Столбцы Минской обл.	$0,98 \cdot 10^5$	28,47
<b>6%-ный раствор пенообразователя</b>		
«Барьер» с водой из р. Днепр г. Речица	$1,75 \cdot 10^4$	5,08
«ПО-6К» с водой из р. Днепр г. Речица	$2,0 \cdot 10^4$	5,81
<b>Не разведенный пенообразователь</b>		
Пенообразователь «Барьер»	$1,8 \cdot 10^3$	0,52
Пенообразователя «ПО-6К»	$1,3 \cdot 10^3$	0,38

Как отмечалось выше, вода электропроводна, поэтому тушение пожаров электрооборудования и электрических сетей, находящихся под напряжением, связано с опасностью поражения людей электрическим током. Поражение электрическим током может наступить в результате непосредственного прикосновения человека к токоведущим частям, находящимся под напряжением, или попадания под напряжение шага.

Однако наиболее вероятным и частым случаем поражения является тот, при котором в процессе тушения струя воды, пены и другого огнетушащего средства достигает частей электроу-

тановки, находящихся под напряжением. При этом по телу человека в землю пойдет ток, значение которого зависит от сопротивления струи огнетушащего средства, сопротивления тела человека, сопротивление между телом человека и землей, сопротивление пожарных рукавов и сопротивление между пожарными рукавами и землей. Для практических целей большое значение имеет определение величины тока, протекающего через разные струи при различных напряжениях.

Специалисты НИИ ПБиЧС МЧС Беларуси совместно с сотрудниками МОУ МЧС Республики Беларусь, ИППК МЧС Республики Беларусь и РУП «Белэнергосетьпроект» провели эксперименты на учебном полигоне ИППК МЧС Республики Беларусь по определению электрических параметров компактных струй воды. Как показали эксперименты, при амплитудном значении напряжения 134 кВ величина тока составила 0,1 мА. В результате экспериментов установлено, что величина тока, протекающего через струю воды, зависит от напряжения, скорости движения воды, величины капель воды при распылении ее (дисперсности водяных струй), площади распыления и покрытия объекта, равномерности заполнения этой площади каплями воды, а также расстоянии между стволом и объектом, находящимся при тушении под напряжением электрического тока.

С увеличением давления воды на выходе из ствола, а, следовательно, с увеличением скорости движения ее, увеличивается токопроводимость струи за счет увеличения насыщения ее каплями при данном расходе воды. Увеличение размера факела распыления воды при сохранении постоянства давления на стволе, благодаря уменьшению насыщения струи каплями воды, вызывает уменьшение тока, протекающего через струю.

Различают три фазы компактной струи воды. При выходе из ствола на расстоянии 15 см струя компактная. В следующей фазе (зона развертывания) струя сохраняет диаметр компактной струи на большом расстоянии, но ее структура разрыхляется (электропроводность снижается). Попадая в третью фазу (зона разбрызгивания) вода разделяется на отдельные капли и, насыщаясь воздухом, при этом значительно теряет электропроводность. При увеличении диаметра насадка ствола или напряжения, должно увеличиваться расстояние между стволом и горящим объектом.

В [1] предлагается подавать воду снизу на объект, находящийся под напряжением: сила тяжести капель воды благоприятствует разрежению компактной струи.

Тушение пожаров в электроустановках может производиться: при полном снятии напряжения; с частичным снятием напряжения; без снятия напряжения вблизи токоведущих частей, находящихся под напряжением; без снятия напряжения вдали от токоведущих частей, находящихся под напряжением.

В рамках выполнения задания «Разработать метод тушения жидкими огнетушащими средствами пожаров электроустановок под напряжением до 110 кВ и соответствующую нормативно-методическую базу» ГНТП «Чрезвычайные ситуации» проводились научные исследования по отработке тактических приемов, обеспечивающих безопасное и эффективное тушение электроустановок под напряжением.

Исследование токов утечки и напряжений прикосновения на испытательной установке проводились на территории учебно-тактического полигона УО «Институт подготовки и повышения квалификации» МЧС Республики Беларусь. Исследования проходили как при наличии атмосферных осадков (снег, дождь), так и при отсутствии их.

Как показали экспериментальные исследования потенциал, выносимый на насадку пожарного ствола по струе воды, является величиной случайной. Поэтому для обработки результатов исследований применялись методы математической статистики, то есть определялась вероятность возникновения максимального напряжения на насадке пожарного ствола в зависимости от расстояния от насадки до очага пожара и давления.

Исследования показали, что максимальное напряжение прикосновения составило:

– при заземленной насадке пожарного ствола на расстоянии 1 м, подаче воды с давлением 6 атм. и расстоянием от ствола до мишени, находящейся под напряжением, 8–10 м. –  $U_{пр} = 155$  мВ;

– при заземленной насадке пожарного ствола на расстоянии 10 м, подаче воды с давлением 6 атм. и расстоянием от ствола до мишени, находящейся под напряжением, 10 м.  $U_{пр} = 114$  мВ.

При заземлении насадка ствола в пределах 1–10 м.  $U_{пр}$  не превышает указанных ранее величин.

При незаземленном насадке ствола, подаче воды с давлением 6 атм. и расстоянием от ствола до мишени, находящейся под напряжением, 8 м максимальное  $U_{пр}$  составило величину 14,61 В, что не соответствует п. 1.5 ГОСТ 12.1.038.

Полученные результаты испытаний при заземленном стволе не превышают величины, рекомендуемые п. 1.4 (предельно допустимого уровня напряжения прикосновения 65 В) и п. 1.5. (предельно допустимые значения напряжения прикосновения 12 В и тока утечки 2 мА) ГОСТ 12.1.038-82 (ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов).

Полученные результаты испытаний при не заземленном стволе превышают величину допустимого напряжения прикосновения рекомендуемого п. 1.5 ГОСТ 12.1.038-82. Следовательно, подача воды при не заземленной насадке пожарного ствола запрещается.

Полученные результаты на испытательной установке полностью подтвердились при проведении исследований токов утечки и напряжений прикосновения на территории подстанции 110 кВ «Вишневец», ячейка ВЛ-110 кВ Столбцы, филиала РУП «Минскэнерго» Столбцовские электрические сети.

В ходе исследований установлено, что тушение пожаров в электроустановках до 110 кВ может производиться без снятия напряжения в боевой одежде пожарного-спасателя с обязательным заземление стволов и использованием диэлектрических средств (перчаток и бот).

На основе проведенных исследований был разработан проект руководящего документа по тушению пожаров в электроустановках находящихся под напряжением.

Однако для практического применения руководящего документа по тушению пожаров в электроустановках, находящихся под напряжением, необходимо создать специализированные тренажеры для психологической и технической подготовки персонала.

## Литература

1. Фетисов П.А. Тушение водой электрических устройств, находящихся под напряжением // Зарубежная пожарная техника. Информационный сборник. – 1971. – Вып. 11. – С. 58–62.

**Устройство возбуждения пьезокерамического резонатора с автоматической настройкой частоты на максимум сигнала**

Михальцевич Г.А.

Белорусский национальный технический университет

Пьезокерамические ультразвуковые излучатели (ПИ) находят все более широкое применение в различных областях промышленности и медицины [1].

Для получения высокого КПД устройства, генератор подключенный к выходу ПИ, настраивают на одну из гармоник ПИ [2]. Максимальная мощность излучения ПИ происходит при напряжении на нем, обычно, несколько сотен вольт.

Такие напряжения на ПИ можно получить при высоком напряжении питания генератора или использовании эффекта резонанса напряжений. При этом последовательно с ПИ включают дроссель(L).

Изменяя индуктивность дросселя можно добиться настройки последовательного контура ПИ-L на одну из гармоник ПИ. Обычно это вторая или третья гармоника. Амплитуда напряжения на ПИ в этом случае зависит от добротности контура, величины токоограничивающего резистора, включенного последовательно с контуром, и возможностей по выходной мощности генератора. Величина входного напряжения на входе последовательного контура может составлять всего несколько единиц или десятков вольт. Это позволяет питать генератор от источника с сравнительно низким напряжением и, при необходимости, использовать для питания аккумулятор. Чем ниже напряжение питания генератора, тем требуется более высокая добротность последовательного контура.

Длительная работа генератора вызывает нагрев дросселя и ПИ. При этом происходит изменение емкости ПИ, индуктивности дросселя, из-за изменения геометрических размеров катушки и проницаемости ферритового сердечника. Вследствие этого, изменяется резонансная частота настройки последовательного контура. Амплитуда напряжения на ПИ уменьшается, и для ее увеличения потребуются подстройка частоты генератора.



Она состоит из задающего генератора формирователя меандра ЗГФМ, подключаемого к его выходу последовательно согласующего устройства СУ и формирователя меандра ФМ, аналоговых ключей КЛ1 и КЛ2, реверсивного счетчика СТ2, формирователя импульса ФИ, цифрового ключа КЛЗ, блока управления генератора линейно изменяющегося напряжения БУ ГЛИН, генератора линейно изменяющегося напряжения ГЛИН, компараторов верхнего и нижнего уровня ГЛИН КВУ и КНУ, генераторов частоты управляемых напряжением ГУН1 и ГУН2, усилителя мощности УМ, линейного детектора ЛД и фильтра Ф.

Отдельные узлы схемы работают следующим образом. С помощью ЗГФМ, СУ и ФМ формируется цифровой сигнал в виде прямоугольных импульсов со скважностью равной двум, выходящих с прямого  $Q$  и инверсного  $\bar{Q}$  выходов, частотой  $f_1 = 100 \text{ Гц}$ . Он поступает, согласно блок схеме, на управляющие входы ключей КЛ1 и КЛ2, вызывая их поочередное открытие и закрытие. На входы ключей с ГУН1 поступают сигналы частотой  $f_2 = 150 - 300 \text{ кГц}$ , зависящей от напряжения на входе ГУН1. Ключи КЛ1 и КЛ2 своими выходами подключены соответственно к суммирующему (+1) и вычитающему (-1) входам двоичного реверсивного счетчика с коэффициентом счета 4096.

При этом счетчик работает соответственно в суммирующем и вычитающем режиме. БУ ГЛИН представляет собой Т-триггер с тремя входами R, S и C. Управляющие сигналы на входы R и S поступают в случае появления сигнала на выходе ГЛИН равного минимальному и максимальному значениям. Поэтому, если на вход C не поступает управляющий сигнал, ГЛИН работает как симметричный генератор треугольного напряжения. ГЛИН выполнен в виде интегратора на операционном усилителе, у которого между инвертирующим входом и выходом включена интегрирующая емкость.

При появлении управляющего сигнала на входе C БУ ГЛИН, полярность входного сигнала на входе интегратора ГЛИН меняется на противоположную, что вызывает, в тот же момент, не рост напряжения на выходе, а его уменьшение, или наоборот.

Напряжение с выхода ГЛИН поступает на ГУН-2. С его выхода сигнал частотой  $f_3 \pm 50\%$ , соответствующий гармонике

ПИ, поступает на УМ, выход которого подключен к резонансному дросселю  $L$  и, далее, к ПИ и токоограничивающему резистору  $R$ . Токовый сигнал с резистора  $R$  выпрямляется линейным детектором ЛД, выполненном на ОУ. С его выхода, через фильтр  $\Phi$ , сигнал поступает на управляющий вход ГУН1.

Все устройство работает следующим образом.

При включении питания устройства напряжение на выходе ГЛИН начнет повышаться, что вызовет увеличение частоты задающего генератора от  $0.5f_3$  до  $f_3$ . Счетчик СТ2 при открывающем сигнале на входе ключа КЛ1 кратковременно обнуляется с помощью ФИ и далее на его вход (+1) поступают импульсы с ГУН1. После размыкания ключа КЛ1, замыкается ключ КЛ2 и импульсы поступают на вход (-1). При повышении частоты выходного сигнала ГУН1, импульсов, поступающих на вход (-1), будет больше, чем поступающих на вход (+1). Это вызывает появление управляющего сигнала на выходе переноса  $\leq 0$  СТ2 и срабатывание одновибратора ОВ, который препятствует прохождению импульсов сброса через ключ КЛ3 на вход С БУ ГЛИН. Так будет продолжаться до тех пор, пока напряжение на резисторе  $R$  и соответственно на входе ГУН1, будет повышаться. Когда частота  $f_3$  станет больше резонансной, импульсы с выхода  $\leq 0$  СТ2 перестанут поступать на вход ОВ. Это приведет к появлению на выходе одновибратора разрешающего сигнала на включение ключа КЛ3 и прохождению импульса на входе С БУ ГЛИН. При этом сработает Т-триггер БУ ГЛИН и напряжение на выходе ГЛИН начнет уменьшаться, до тех пор, пока  $f_3$ , на выходе ГУН1, станет меньше резонансной, затем процесс повторится.

При данном соотношении частоты  $f_1$  и  $f_2$  (100 Гц и 150–300 кГц) погрешность настройки последовательного резонансного контура ПИ-L составляет меньше 0,1%.

### Литература

1. Джагутов Р.Г., Ерофеев А.А. Пьезокерамические элементы в приборостроении и автоматике. Л.: Машиностроение, 1986.
2. Губин В.П., Карпенко В.А. Источник возбуждения пьезокерамического резонатора с автоматической настройкой частоты на резонанс. ПТЭ, 1993, №6, С.145-149.

## Особенности проектирования асинхронных электрогенераторов системных ветроэнергетических установок

Олешкевич М.М., Макошко Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Асинхронные машины с короткозамкнутым ротором находят все более широкое применение в качестве электрогенераторов ветроэнергетических установок. Особенности работы электрогенератора в такой установке связаны с характеристиками ветрового потока – порывистостью ветра.

Для изучения происходящих электромагнитных процессов была разработана математическая модель системной ветроэнергетической установки (ВЭУ) с асинхронным электрогенератором [1]. Математическая модель описывает ветродвигатель, асинхронный генератор, батарею конденсаторов, линию-связи с энергосистемой и представляет собой систему нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка. Для выявления степени влияния параметров генератора и коэффициентов порывистости скорости ветра на энергетические показатели квазиустановившегося режима работы ветроагрегата было выполнено планирование регрессионных экспериментов, с использованием полного и дробного факторных экспериментов. Вычислительные эксперименты проводились на ПЭВМ в математической системе MATLAB. В качестве факторов, влияющих на квазиустановившийся режим работы, были выбраны параметры схемы замещения асинхронного генератора и средняя скорость ветра. Искомыми функциями откликов являлись действующие значения токов статора и ротора генератора как основной, так и высших гармоник и субгармоник, а также величины средних и пульсационных скольжений. Регрессионные модели были представлены в виде линейных полиномов.

Для первого планирования эксперимента в качестве функций откликов были выбраны действующие значения гармоник тока статора с частотами 49 и 51 Гц:  $I_{1(49)}$ ,  $I_{1(51)}$ . Планирование эксперимента проводилось на примере асинхронного генератора 110 кВт. Параметры генератора, трансформаторов и линий приведены в [1].

Параметры генератора, влияние которых на квазиустановившийся режим работы подлежит исследованию – это активные сопротивления обмоток статора и ротора  $R_1$  и  $R'_2$ , переходные реактивности статора и ротора  $X'_s$ ,  $X'_r$  и средняя скорость ветра  $V_{cp}$ . Для построения матрицы планирования воспользуемся дробным факторным экспериментом (ДФЭ) для пяти факторов, содержащим 16 опытов. Варьируемые факторы:  $Z_1 = R_1$ ,  $Z_2 = R'_2$ ,  $Z_3 = X'_s$ ,  $Z_4 = X'_r$ ,  $Z_5 = V_{cp}$ , где  $Z_5 = Z_1 Z_2 Z_3 Z_4$ .

Качественное исследование влияния варьируемых факторов на квазиустановившийся режим работы ВЭУ. Полиномы для гармоник частоты 51 и 49 Гц могут быть представлены в виде

$$I_{1(51)} = 29,33 - 3,028 R_1 - 14,2025 R'_2 + 10,36 X'_s + 11,33 X'_r + 12,58 V_{cp} + 3,4 R_1 R'_2 - 1,92 R_1 X'_s - 3,93 R_1 X'_r - 5,86 R_1 V_{cp} - 8,41 R'_2 X'_s - 4,42 R'_2 X'_r - 5,32 R'_2 V_{cp} + 6,99 X'_s X'_r + 5,27 X'_s V_{cp} + 4,26 X'_r V_{cp}; \quad (3)$$

$$I_{1(49)} = 27,033 - 0,52 R_1 - 11,396 R'_2 + 6,648 X'_s + 9,086 X'_r + 8,71 V_{cp} + 0,515 R_1 X'_s - 3,4862 R_1 V_{cp} - 5,00125 R'_2 X'_s - 2,9912 R'_2 X'_r - 2,54 R'_2 V_{cp} + 4,24125 X'_s X'_r + 2,0625 X'_s V_{cp} + 2,0625 X'_r V_{cp}. \quad (4)$$

Как установлено, для снижения механических вибраций и колебаний системы ветродвигатель – опорные подшипники ветроротора – генератор, а также для снижения потерь от высших гармоник и субгармоник в энергосистеме, необходимо снижение токов  $I_{1(51)}$  и  $I_{1(49)}$ . Анализ полиномов (5), (6) показывает, что с точки зрения технологии наиболее рационально для этого увеличение сопротивления  $R'_2$ . Таким образом, при получении регрессионных моделей квазиустановившихся режимов работы ВЭУ можно ограничиться варьированием двух факторов: активного сопротивления короткозамкнутой обмотки ротора  $R'_2$  и средней скорости ветра  $V_{cp}$ , таким образом достаточно матрицы плана для числа факторов  $N = 2$ , для чего необходим полный факторный эксперимент  $2^2$ , который проводится аналогично.

Оптимальная величина активного сопротивления обмотки короткозамкнутого ротора асинхронного генератора определяется с использованием целевой функции и поиска ее экстремумов:

$$P_{\text{э50}} = \frac{3R'_2(I'_{2(50)})^2}{2S} - 0,005P_{\text{гн}} \left( \frac{I_{1(50)}}{I_{1н}} \right)^2 - \Delta P_{\text{д50}} - 3I_{1(50)}^2 R_1. \quad (5)$$

Величины  $I_{1(50)}$ ,  $I'_{2(50)}$ ,  $S$  – являются некоторыми функциями  $R'_2$  и  $V_{\text{ср}}$ :

$$I_{1(50)} = f_1(R'_2, V_{\text{ср}}); \quad (6)$$

$$I'_{2(50)} = f_2(R'_2, V_{\text{ср}}); \quad (7)$$

$$S = f_3(R'_2, V_{\text{ср}}). \quad (8)$$

Функции (6)–(8) получены по разработанной методике, с проведением полного факторного эксперимента  $2^2$ . Максимум функции (5) определяется на основании соотношений

$$\frac{\partial P_{\text{э50}}}{\partial R'_2} = 0; \quad (9)$$

$$\frac{\partial P_{\text{э50}}}{\partial V_{\text{ср}}} = 0; \quad (10)$$

Для поиска максимума функции с использованием математической системы MatLab, выражения (9),(10) дополняются условием допустимого нагрева генератора:

$$\Delta P_{\text{гн}} \leq \Delta P_{\text{доп}}, \quad (11)$$

где  $\Delta P_{\text{доп}}$  – максимально допустимые паспортные потери рассматриваемого базового генератора, и условием допустимой несинусоидальности формы кривой напряжения:

$$\frac{100\%}{U_1} \sqrt{\sum_v^n U_v^2} \leq K_{\text{доп}}, \quad (12)$$

где  $K_{\text{доп}} = 5\%$  – коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения;  $U_1$  – действующее значение напряжения основной частоты.

### Литература

1. Олешкевич М.М., Макошко Ю.В. Моделирование квазиустановившихся режимов работы асинхронного генератора системного ветроагрегата // Энергетика...(Изв. Высш. учебн. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2003. – № 3.

**Опыт эксплуатации кабелей с пластмассовой изоляцией в городских сетях напряжением 6-10кВ**

Романов Р.В.

Белорусский национальный технический университет

Основная часть электрических сетей крупных городов и промышленных предприятий построена на использовании кабельных линий, поскольку они имеют ряд преимуществ перед воздушными линиями. В РБ для построения распределительной сети 6-10 кВ применяются преимущественно кабели с бумажной пропитанной изоляцией. Такие кабельные линии имеют ряд недостатков связанных с использованием данного типа изоляции.

В настоящее время все более широкое применение в распределительных сетях получают кабельные линии с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ), применяемые на различных уровнях напряжения. Европейские производители изготавливают одножильные и трехжильные силовые кабели среднего и высокого напряжения уже более 30 лет. Однако использование таких кабельных линий имеет некоторую специфику, обусловленную режимами работы и конфигурацией построения электрических сетей, стран производителей кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена.

Можно выделить ряд проблем возникающих при применении одножильных кабелей с СПЭ изоляцией:

1. Более высокая стоимость по сравнению с кабелями из бумаги замедляет их внедрение.

2. Существующая в РБ нормативная документация не позволяет четко определиться с применением одножильных кабелей, материалом их изоляции и конструкцией.

4. В связи с применением кабелей с СПЭ изоляцией в городской сети, где основными критериями их выбора являются ток КЗ и надежность электроснабжения потребителей, необходимо на стадии проектирования правильно рассчитывать сечение экрана или количество соединителей экрана по трассе, что в настоящее время не выполняется.

5. Необходимо выработать общие нормы для проведения приемосдаточных и эксплуатационных испытаний и контроля,

не зависимо от материала изоляции и производителя кабельной продукции.

6. Существует несоответствие технических характеристик для кабельной продукции, указываемых в справочной литературе с теми, что дает завод изготовитель, связанное с физико-химическими свойствами новых материалов.

7. Возникает необходимость обучения персонала работе с новыми материалами, инструментом и оборудованием.

8. Требуется значительные капитальные затраты для внедрения новых современных методов контроля качества изоляции (установки испытания сверхнизкой частотой и установки для определения интенсивности частичных разрядов).

Несмотря на указанные выше трудности, опыт эксплуатации зарубежными странами кабелей с СПЭ изоляцией как одножильных, так и трехжильных показывает их неоспоримые преимущества перед кабелями с бумажной изоляцией.

Основными преимуществами одножильных кабелей по сравнению с кабелями традиционного исполнения являются значительно более высокая надежность, повышенная пропускная способность и удобство монтажа. Важно отметить, что при применении одножильных кабелей с СПЭ изоляцией, существенно снижаются расходы на их дальнейшую эксплуатацию, время локализации повреждения и восстановления электроснабжения потребителя.

В распределительных сетях города Минска с 1977 по 2003г. проложено порядка 23км линий выполненных с применением одножильного кабеля с СПЭ изоляцией различных производителей. До настоящего времени зафиксирован лишь один отказ, вызванный порывом кабеля при проведении строительных работ. Проведенный анализ показал следующую динамику роста повреждаемости в кабельных сетях г.Минска за период с 1994 по 2003год. ( Рис.1).

Рост повреждаемости объясняется общим старением сети города и применением продукции, имеющей скрытые заводские дефекты, что показал анализ. В связи с этим в настоящее время минскими кабельными сетями на основании Правил технической эксплуатации осуществляется входной контроль за прокладываемыми в городской сети кабелями с любым типом изо-

ляции. Результаты такого контроля за период с 16.05.03г. по 11.05.04г. приведен в табл.1.



Рис.1.

Таблица 1.

Результаты проведения входного контроля кабельно-проводниковой продукции за период с 16.05.03г по 11.05.04г.		
Общее кол-во отобранных образцов	Кол-во образцов, не соответствующих ГОСТу	% несоответствия
746	76	10.2

Несоответствие взятых на пробу образцов ГОСТу обусловлено сложностью технологического процесса по выпуску кабеля с бумажно-пропитанной изоляцией и большой ролью человеческого фактора в данном процессе. Кроме того, ухудшился контроль за качеством выпускаемой продукции вследствие переориентации рынка. Большинство из существующих крупных производителей налаживают или уже выпускают кабельно-проводниковую продукцию с изоляцией из полиэтилена, сшитого тем или иным способом. Кроме того, применение новых технологий, материалов и наличие конкуренции в скором будущем ускорят вытеснение кабелей с масляно-бумажной изоляцией с рынка кабельной продукции.

## Способ трансформации электрической энергии и устройства для его реализации

Рыжкович Р.Л., Марченко А.А., Рыжкович Л.Р., Тиханович Д.В.,  
Халевич Д.В., Холупов А.Г., Хохряков А.Г., Чекан С.А.

Республиканский центр технического творчества учащихся

Трансформатором, как известно, называется устройство, позволяющее посредством магнитного поля и явления электромагнитной индукции трансформировать, т.е. изменять, напряжение в цепи переменного тока. Важно подчеркнуть, что уже в этой формулировке совершенно чётко разделены два независимых понятия – трансформатор и трансформация – и, соответственно, выделено два независимых объекта изобретения – устройство и способ. Все известные ныне трансформаторы различаются между собой лишь конструктивно, а по принципу действия (способу трансформации) они абсолютно одинаковы. Суть этого способа в том (рис.1), что на замкнутом ферромагнитном сердечнике располагают как минимум две обмотки 1 и 2. Под действием переменного напряжения  $u_1$  в обмотке 1 возникает ток  $i_x$  возбуждающий в сердечнике 3 переменный магнитный поток  $\Phi$ . Его величину (о трансформации речи пока ещё нет), зависящую, прежде всего, от величины напряжения  $u_1$ , определяют по известной формуле [1, с.245]:  $\Phi_m = u_1 / 4,44 f w_1$ , (1) где  $f$  - частота приложенного напряжения,  $w_1$  - число витков первичной обмотки.

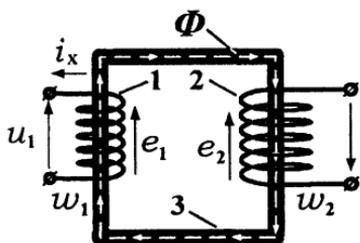


Рис.1.

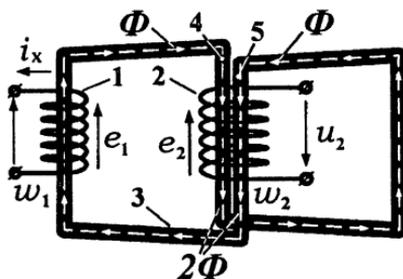


Рис.2.

Этот поток индуцирует в обмотках трансформатора соответствующие ЭДС -  $e_1$  и  $e_2$ . Для идеализированного бесшунтового трансформатора между их величинами существует однозначная зависимость [1, с.261], как раз и раскрывающая сущность известного способа трансформации:

$$e_1 / e_2 = u_1 / u_2 = w_1 / w_2 = k_{12}, \quad (2)$$

где  $u_1$  – напряжение на зажимах первичной обмотки;  $u_2$  – напряжение на нагрузке;  $w_1$  – число витков первичной обмотки;  $w_2$  – число витков вторичной обмотки;  $k_{12}$  – коэффициент трансформации. Таким образом, согласно известной уже 122 года теории трансформации величину напряжения  $u_2$  изменяют (осуществляя трансформацию) лишь путём изменения (см. формулу 2) числа витков  $w_2$ , а это неизбежно связано с расходом дорогостоящего материала обмоток трансформатора – медью.

Работа над новыми конструкциями трансформаторов привела нас, однако, к мысли, что может быть изменён сам принцип (и теория) трансформации электрической энергии и что вторичное напряжение  $u_2$  можно изменять не только путём изменения числа витков  $w_2$  во вторичной обмотке.

Суть изложенного нами в заявке на изобретение [2] нового способа трансформации электрической энергии посредством магнитного поля и явления электромагнитной индукции состоит в том, что теперь уже не витки вторичной обмотки  $w_2$  закручивают вокруг замкнутого магнитопровода, а замкнутый ферромагнитный сердечник закручивают в спираль вокруг витков  $w_2$ . Витки  $w_2$  в этом случае охватывают магнитный поток равный уже не  $\Phi$ , а  $2\Phi$ , если магнитопровод дважды проходит через обмотку (рис.2), равный  $3\Phi$ , если витки спирали трижды закрутили вокруг  $w_2$  и т.д. Следовательно, в заявляемом способе сцепленный с витками  $w_2$  рабочий магнитный поток сердечника многократно умножается и необходимое для получения  $u_2$  количество витков вторичной обмотки  $w_2$  следует определять теперь не по формуле 2, а из нового соотношения:

$$w_1 / w_2 = k_{12} \cdot m_{12}, \quad (3)$$

где  $k_{12} = u_1 / u_2$  – диктуемый нагрузкой коэффициент трансформации;  $m_{12}$  – **фактор** (фактор магнитопровода) равный числу витков спирали ферромагнитного сердечника, охватывающих витки вторичной обмотки, если через первичную обмотку магнитопровод проходит всего лишь один раз.

Отсюда вывод - способ, изложенный в заявке на изобретение [2], расширяет наши знания в области трансформации электрической энергии таким образом, что выражение 2 приобретает теперь статус всего лишь частного случая общей теории трансформации. Без учёта  $m$  – фактора (фактора магнитопровода) теперь уж никак не обойтись (см. выражение 3).

При реализации нового способа трансформации электрической энергии [2] конструкция трансформатора претерпевает значительные изменения. Вариантов может быть множество. Общим, однако, является то, что замкнутый ферромагнитный сердечник 3 (см.рис.3) необходимо выполнять в виде многовитковой спирали. Каждый виток этой спирали должен содержать как минимум один участок (4, 5 или 6) с возможностью их объединения в компактную группу – групповой стержень для размещения вторичных обмоток 2. Понятно, что, чем меньше

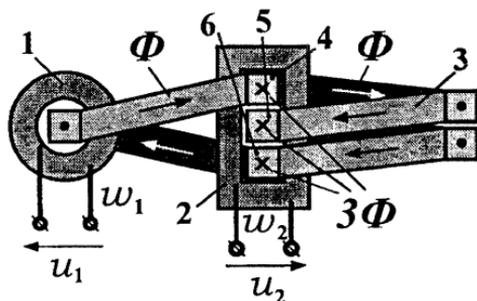


Рис.3.

периметр поперечного сечения группового стержня, тем меньше расходуется медного провода на изготовление  $w_2$ .

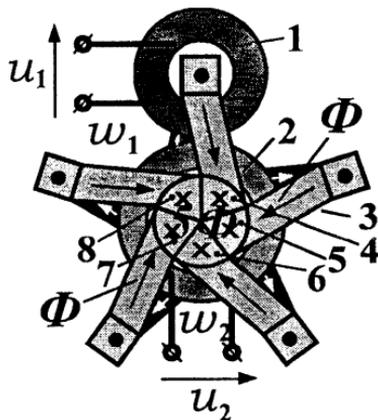


Рис.4

каждый виток этой спирали должен содержать как минимум один участок (4, 5 или 6) с возможностью их объединения в компактную группу – групповой стержень для размещения вторичных обмоток 2. Понятно, что, чем меньше

По этим соображениям вполне допустимым может оказаться, например, линейный вариант группирования витков спирали в один групповой стержень (рис.3), когда оси используемых под вторичную обмотку участков витков 4, 5 и 6 ферромагнитной спирали 3 выстраивают по одной линии.

Наибольшей экономии материала намоточных проводов  $w_2$  будет, однако, соответствовать вариант (см.рис.4), когда собранные в один групповой стержень

жень витки ферромагнитного сердечника (4, 5, 6, 7 и 8) в сечении образуют круг (круговой вариант группирования). Кроме того, конструкция сердечника 3 в этом варианте становится полностью унифицированной, поскольку он принимает вид правильной  $m$  – лучевой звезды, где  $m$  соответствует  $m_{12}$  – фактору в уравнении 2. Так как на рис.4 показан вариант, где  $m_{12} = 5$ , то это означает (см. уравнение 2), что  $w_2$  может иметь в 5 раз меньше витков по сравнению с нынешними конструкциями.

Для снижения потерь на рассеяние, первичная обмотка 1 может быть размещена соосно (см.рис.5) с вторичной обмоткой 2.

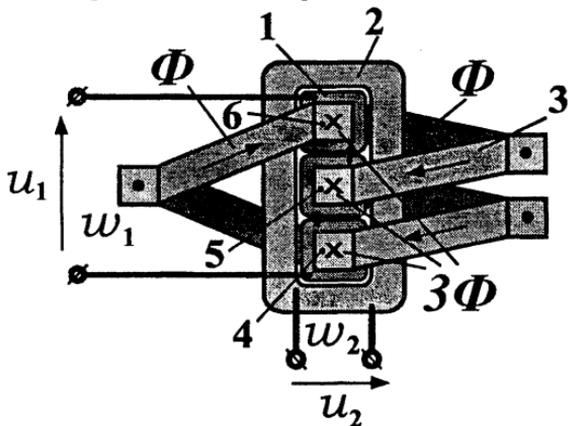


Рис.5

Поскольку данное техническое решение абсолютно новое и, следовательно, совершенно не исследованное, то нами была поставлена и осуществлена задача по изготовлению реального образца трансформатора новой конструкции и проведено испытание его работы.

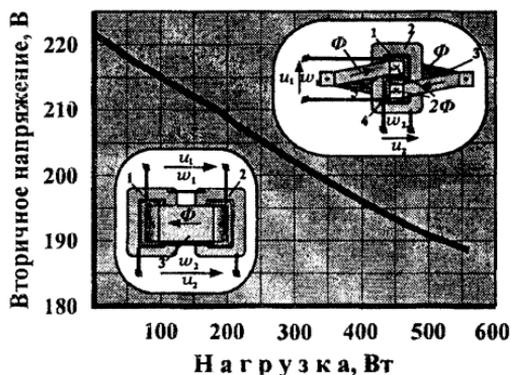


Рис.6

дует, что падение напряжения на вторичной обмотке под на-

грузкой. Важно было определить, прежде всего, как он ведёт себя под нагрузкой.

Для сравнительного исследования были изготовлены - стандартный ТС 200 и новый (на базе магнитопровода ТС 200). На рис.6 приведены данные, из которых сле-

грузкой, как для стандартного, так и для нового трансформатора, проходит практически одинаково. Это говорит о том, что новое решение вполне работоспособно, хотя вторичная обмотка и содержала в два раза меньше витков, чем прототип.

### Литература

1. Электротехника. Учеб.пособие для вузов. Под ред. В.С.Пантюшина. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Высш. Школа», 1976. - 560 с.
2. Р.Л.Рыжкович, Е.В.Войткевич, А.А.Гирель, В.С.Ерашов, С.Ю.Крайко, А.А.Марченко, Д.А.Одинцов, С.А.Парфинович, Л.Р.Рыжкович, А.С.Семёнов, Д.В.Стрельцов, Д.А.Сушко, Д.В.Тиханович, Д.В.Халевич, А.Г.Холупов, А.Г.Хохряков, С.А.Чекан. Способ трансформации электрической энергии и устройство для его реализации/ Заявка на изобретение № а 20030796. Официальный бюллетень №4, 2003, С.73.

**Проверка гибких шин ОРУ на схлестывание  
с использованием коэффициента формы провода**

Сергей И. И., Пономаренко Е. Г.

Белорусский национальный технический университет

В связи с увеличением уровней токов короткого замыкания (КЗ) усиливается их электродинамическое действие на гибкие сборные шины распределительных устройств (РУ) высокого напряжения. Это сопровождается колебаниями проводов, амплитуды которых достигают величины начальной стрелы провеса провода и даже превышают их. В проекте международного стандарта по расчету электродинамического действия токов КЗ приводятся значения предельных динамических стрел провеса проводов, которые превышают начальную стрелу на 10 – 15% [1] без учета влияния конструктивных элементов гибкой ошиновки РУ. Основными факторами, влияющими на увеличение динамических стрел провеса проводов при КЗ, являются изменение кривой провисания провода с гирляндами изоляторов, его температурное и упругое удлинение, а также смещение точек подвеса провода из-за упругой податливости опорных конструкций РУ.

Упрощенные методы расчета сближения фаз при КЗ не учитывают распределения массы проводов и гирлянд и базируются на расчетной модели провода в виде сосредоточенной массы провода, представленного физическим маятником. Поэтому расчет электродинамической стойкости гибких шин РУ при больших токах КЗ необходимо в общем случае выполнять с использованием численных методов и компьютерных программ.

В докладе излагается метод расчета сближения гибких шин РУ с натяжными гирляндами изоляторов при больших токах КЗ с использованием коэффициента формы провода  $K_\phi$ , который равен

$$K_\phi = \frac{y_{\max}}{f_0}, \quad (1)$$

где  $y_{\max}$  – максимальное отклонение провода, м;  $f_0$  – начальная стрела провеса провода до КЗ, м.

Максимальное отклонение провода, определяемое по компьютерной программе BUSEF, учитывает в совокупности все указанные выше факторы. Проведенные численные расчеты показали, что главным из них является изменение формы провода с гирляндами изоляторов при КЗ. Для определения коэффициентов формы провода с гирляндами изоляторов были проведены многочисленные компьютерные расчеты типовых пролетов ОРУ 110 и 220 кВ. Для обобщения полученных результатов были использованы:

1) Способ замены кусочно-однородной нити, которой представлен провод с гирляндами изоляторов в компьютерной программе, эквивалентной однородной нитью по методике, изложенной в [2]. На эквивалентную однородную нить действует приведенная нагрузка

$$q' = q \cdot K, \quad (2)$$

где  $q$  – удельная нагрузка, обусловленная весом провода, Н/м;  $K$  – коэффициент нагрузки, учитывающий влияние конструктивных элементов ошиновки. Формулы для вычисления  $K$  приведены в [2, с. 41].

2) Комбинация параметров КЗ с использованием интегрального принципа механики. В интегральном виде основные характеристики КЗ учитывает импульс электродинамических усилий  $S$ . Формула для вычисления импульса ЭДУ двухфазного КЗ имеет вид [3]

$$S = 0,2I^2l \frac{(t_k + T_a)}{a}, \quad (3)$$

где  $a$  – междуфазное расстояние, м;  $l$  – длина пролета, м;  $t_k$  – продолжительность КЗ, с;  $T_a$  – постоянная времени КЗ, с.

На основании теоремы динамики об изменении главного вектора количества движения механической системы устанавливается зависимость между скоростью движения провода в конце КЗ и импульсом ЭДУ [3]

$$V_k = 0,2I^2l \frac{(t_k + T_a)}{aQ'}, \quad (4)$$

где  $Q' = q'l$  – приведенная нагрузка, Н;

Так как скорость движения провода является наиболее универсальной характеристикой, учитывающей параметры проводов и

характеристики КЗ, поэтому коэффициент формы выражается в функции  $K_\phi = f(V_k)$ .

3) Геометрическое подобие пролетов. Подобные пролеты имеют одинаковую кривизну провода, которая характеризуется второй производной по его длине  $d^2\bar{R}/ds_0^2$ . Уравнение статики гибкой нити с малой стрелой провеса в относительных единицах в проекции на ось  $z$  имеет вид

$$\frac{T_0 f_0}{l_0^2 q'} \cdot \frac{d^2 z_*}{ds_0^2} = -1. \quad (5)$$

где  $T_0$  – начальное тяжение;  $f_0$  – начальная стрела провеса.

Для пролетов с одинаковой кривизной  $T_0 f_0 / (l_0^2 q') = const$ . Так как  $T_0 / lq'$  меняется мало, то приближенным условием геометрического подобия является относительная стрела провеса  $f_0$  %.

На рис. 1 приведено сравнение данных [1] и расчетов по компьютерной программе BUSEF для оценки достоверности полученных результатов.

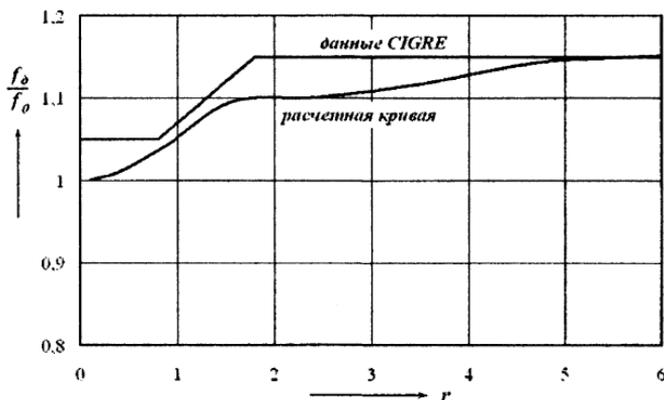


Рис. 1. Отношение динамической и начальной стрел провеса

Параметр  $r$  приближенно определяется как отношение электродинамических усилий на единицу длины, к удельному весу провода [1].

Коэффициент формы определяется в два этапа. На первом этапе расчеты проводятся для гибких проводов без учета гирлянд изоляторов. На рис. 2 представлен график для определения поправочного коэффициента  $K_{\phi 1}$ . Кривые даны для разных относительных стрел провеса. Если  $V_k < V_{k \min}$  (табл. 1), то

$$A_{\min} = A_{\phi-\phi} - 2f_0.$$

На втором этапе вводится поправочный коэффициент  $K_{\phi 2}$  для типовых пролетов, учитывающий влияние гирлянд (табл. 1). Результирующий коэффициент формы

$$K_{\phi} = K_{\phi 1} \cdot K_{\phi 2}. \quad (6)$$

Проверка гибких шин на схлестывание производится по условию

$$A_{\min} = A_{\phi-\phi} - 2 \cdot y_{\max} = A_{\phi-\phi} - 2 \cdot K_{\phi 1} \cdot K_{\phi 2} \cdot f_0. \quad (7)$$

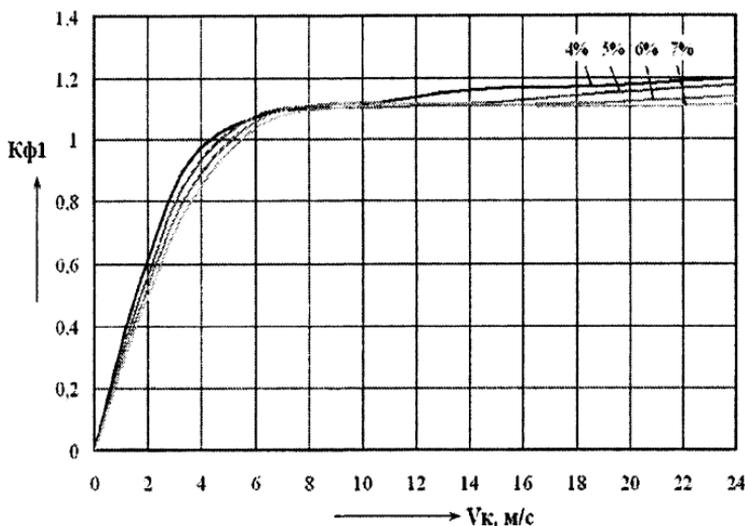


Рис. 2. Поправочный коэффициент  $K_{\phi 1}$

Таблица 1

Величина поправочного коэффициента  $K_{\phi 2}$ 

$U_{ном}$ , кВ	$l$ , м	$V_{k min}$ , м/с	$K_{\phi 2}$
110	20	3,2	1,140
	27,5	3,2	1,135
220	30,8	3,0	1,184
	40,5	3,5	1,074

В табл. 2 представлены результаты расчетов максимальных отклонений проводов для различных пролетов по формуле (7) с использованием коэффициента формы и их сравнение с результатами расчета по компьютерной программе BUSEF.

Таблица 2

$U_{ном}$ , кВ	$l$ , м	$f_0$ , %	$I_{к2}$ , кА	$У_{кп}$ , м	$У_{max}$ , м	$\Delta y_{max}$ , %
110	27,5	6%	26	2,066	2,060	< 1
	27,5	5%	30	1,775	1,720	1,7
	20	5%	30	1,261	1,220	3,0
	20	7%	28	1,706	1,708	< 1
220	30,8	5%	35	1,955	1,970	< 1
	40,5	5,9%	35	2,832	2,835	< 1

Вывод: Разработан приближенный метод оценки недопустимых сближений гибких шин ОРУ при скоростях движения проводов в конце КЗ, превышающих указанные в табл. 1  $V_{k min}$ , не требующий обращения к ПЭВМ.

### Литература

1. The mechanical effects of short-circuit currents in open air substations (rigid and flexible bus-bars). – Paris, 1996. – 90 p. – (Preprint / CIGRE; Brochure № 105. – Working Group 23–11, SC–23).
2. Бошнякович А. Д. Расчет проводов подстанций и больших переходов ЛЭП. – Л.: Энергия, 1975. – 248 с.
3. Сергей И. И., Пономаренко Е. Г., Саммур Ваиль Махмуд. Упрощенный метод расчета сближения проводов с учетом конструктивных элементов распределительных устройств при двухфазном коротком замыкании // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений). – 2004. – № 2. – С. 5 – 11.

# **Теплоэнергетика**

## Метод анализа безотказности энергетических объектов

Шичко С.Н.

Белорусский национальный технический университет

В связи со старением электростанций и низкими темпами ввода новых мощностей, возрастает актуальность проблемы поддержания технического состояния оборудования электростанций. В связи с этим возникает необходимость в дополнительном контроле технологического оборудования и максимально полном учете всех факторов влияющих на его надежность.

В условиях недостатка финансирования на ввод новых мощностей, для эксплуатирующегося оборудования должен решаться комплекс взаимосвязанных технико-экономических задач:

1) Срок эксплуатации оборудования должен быть больше времени требующегося на полную замену установленной мощности энергетического объекта либо группы объектов

2) За период эксплуатации, ежегодно, фактически располагаемая мощность оборудования должна быть больше требуемой с учетом перспектив роста потребляемой электроэнергии.

3) Экономический эффект при проведении мероприятий на поддержание надежности должен быть максимально возможным, т.е. к максимуму должен стремиться чистый дисконтированный доход.

4) За весь период эксплуатации конкретного энергетического объекта должна сохраняться высокая степень его безопасности.

Анализ данных концерна «Белэнерго» и ОАО «ОРГРЭС» по отказам оборудования показывает, что за рассматриваемый период увеличилось количество отказов из-за исчерпания ресурса. Так в 2000 году по данным концерна «Белэнерго» из 44 отказов, связанных с повреждением металла на основных электростанциях, 17 были вызваны старением. Для сравнения приведем данные ОАО «ОРГРЭС» за 2000 г. по отказам из-за исчерпания ресурса: 36 отказов на блоках 300 МВт, 6 отказов на блоках 250 МВт, 21 отказ на блоках 150—160 МВт и 3 отказа на блоках 180 МВт.

Различные парковые ресурсы составных узлов котлов и турбин позволяют производить выборочную поэтапную замену элементов и тем самым поддерживать энергетическое оборудование в работоспособном состоянии не допуская аварий. В турбинах наиболее опасными с точки зрения последствий, которые могут возникнуть вследствие разрушений, являются ротора, корпуса цилиндров и клапанов, а также лопаточный аппарат. В котлоагрегатах к таким элементам относятся коллекторы и пароводоперепускные трубы.

При прогнозировании безотказной работы энергетического оборудования возникает необходимость в оценке точности и надежности полученных результатов. Этот вопрос особенно актуален при расчете и сравнении безотказности групп однотипного оборудования. Значительная часть оборудования, однотипного установленному на белорусских электростанциях, располагается на территории России, Украины и других стран ближнего зарубежья. Это обстоятельство позволяет обобщать зарубежный опыт и экстраполировать его на белорусскую энергетику.

Рассмотрим отказы турбинного оборудования блоков К-300-240 ЛМЗ, Т-250-240 К-160-130 и Т-180-130 на электростанциях РФ за 2000 г.

**Табл. 1. Отказы турбинного оборудования**

Тип турбины	Количество установленных турбин	Количество отказавших турбин
К-300-240	52 (8)	13
Т-250-240	21 (3)	6
К-150/160-130	31 (6)	10
Т-180-130	19 (3)	5

В скобках указано количество однотипных турбин установленных на электростанциях в Беларуси.

Одним из наиболее часто используемых показателей надежности является коэффициент готовности, т.е. вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение

которых применение объекта по назначению не предусматривается. В практике анализа риска отказа традиционн оперируют не с вероятностями, а со средними интенсивностями нежелательных событий за определенное время.

При оценке неизвестного параметра одним числом в ряде задач требуется не только нахождение его численного значения, но и оценить его точность. Для этого в математической статистике пользуются доверительными интервалами и доверительными вероятностями [1]. Для указанных в табл. 1 турбин рассчитаем верхнюю и нижнюю интервальные оценки вероятности безотказной работы за год с доверительной вероятностью  $\gamma = 0,9$ . Результаты расчета приведены в табл. 2.

**Табл. 2. Интервальная оценка безотказности**

Тип турбины	Точечная вероятность безотказной работы	Верхняя интервальная оценка	Нижняя интервальная оценка
К-300-240	0,707	0,828	0,655
Т-250-240	0,613	0,843	0,547
К-150/160-130	0,607	0,790	0,543
Т-180-130	0,625	0,866	0,561

**Выводы:**

1. из рассмотренных турбоагрегатов наилучшими показателями обладает К-300-240;
2. для повышения информативности оценки вероятности безотказной работы необходимо увеличить объём исходных данных или определять закон распределения наработок до отказа, что требует новых исходных в виде наработок объектов до отказа.

**Литература**

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учеб. Для вузов.—7-е изд.стер.—М.: Высш. шк., 2001—575с.

**Использование теплоты уходящих газов в котлах**

Жихар Г.И., Закревский В.А.

Белорусский национальный технический университет

Актуальность повышения эффективности использования газа в народном хозяйстве растет вместе с увеличением его удельного веса в топливном балансе страны и с ростом его стоимости. Природный газ уже теперь занимает доминирующее место в топливном балансе Республики Беларусь.

Одним из основных источников повышения эффективности использования природного газа является полная утилизация теплоты уходящих газов котлов.

Максимальное использование топлива в газифицированных котлах возможно лишь при охлаждении продуктов сгорания ниже точки росы, составляет 50-60 °С, и утилизации не только физической теплоты, но и скрытой теплоты парообразования, содержащейся в газах водяных паров, составляющей около 12-15 % низшей теплоты сгорания топлива.

При выборе схемы утилизации теплоты и типов утилизаторов необходимо учесть, что природный газ имеет принципиальные особенности, выгодно отличающие его от всех других топлив.

Во-первых, подавляющее большинство месторождений природного газа не содержат серы, что приводит к отсутствию в продуктах сгорания  $SO_2$  и  $SO_3$ . Отсутствие серы позволяет применить глубокое охлаждение продуктов сгорания до точки росы и ниже.

Во-вторых, продукты сгорания природного газа являются чистыми, так как не содержат каких-либо загрязняющих твердых частиц.

В уходящих газах котлов, работающих на природном газе, содержится около 15 % водяных паров. Их скрытая теплота парообразования составляет до 15 % теплоты сгорания газа. На эту величину низшая теплота сгорания  $Q_n^p$  природного газа меньше высшей теплоты сгорания  $Q_v^p$  [1]. Поэтому при расчетах по низшей теплоте сгорания, КПД котла  $\eta_{ка}^{бр} = 94 \%$ , а фак-

тически его КАД  $\eta_{ка}^{пр} = 80 \%$ . Для глубокого использования теплоты уходящих газов в котлах применяются контактные экономайзеры.

Для глубокого использования теплоты уходящих газов в котлах широкое распространение за рубежом получили так называемые конденсационные котлы. Котлы Vertomal, выполненные из нержавеющей стали, позволяют использовать высшую теплоту сгорания газообразного топлива, т.е. охладить уходящие газы ниже точки росы, используя теплоту конденсации водяных паров, образующихся при горении газа в больших количествах. Такие котлы экономичнее обычных низкотемпературных отопительных котлов на 14 %. Котлы выпускаются для диапазона теплопроизводительности от 80 до 895 кВт. Температура уходящих газов в них может лишь на 10 °С превышать температуру обратной сетевой воды. Выполнение поверхностей нагрева и охлаждений котла из высоколегированных нержавеющей хромо-никелево-молибденовых сталей гарантирует защиту от низкотемпературной коррозии. Котлы в наибольшей степени подходят для отопления многоквартирных жилых домов и производственных помещений.

Переоборудование ТЭЦ в г. Гамбурге (ФРГ) мощностью 3800 кВт, состоящей из четырех мазутных отопительных котлов, на конденсационные отопительные котлы типа FSM-RK800 с дутьевыми газовыми горелками позволило сократить выбросы CO на 58,4 %, SO<sub>2</sub> – на 100 %, NO<sub>x</sub> – на 50,9 %. В Нидерландах уже в 1985 г. было 25 тысяч конденсационных котлов. Во Франции до 1985 г. в системах отопления было установлено 7500 конденсационных котлов. В Германии имеет спрос на конденсационные котлы до 50 кВт. Фирма Rupp Hanolet Essen выпускает конденсационные котлы с автоматикой, которая контролирует все процессы. За рубежом выпускается широкая номенклатура конденсационных котлов теплопроизводительностью 95-600 кВт. Ежегодно их парк увеличивается не менее, чем на 50 тысяч единиц.

В СНГ наибольшее распространение в промышленной энергетике получили блочные контактные экономайзеры ЭК-БМ конструкции НИИСТ для котлов ДКВР паропроизводительностью 2.2 и 10 т/ч. На Первоуральской ТЭЦ контактные эконо-

майзеры установлены на 5 котлах БКЗ-75-39 производительностью 90 т/ч. Расчетная теплопроизводительность каждого экономайзера составляет 5 Гкал/ч. На Московской ГЭС установлен контактный экономайзер после двух котлов паропроизводительностью по 105 т/ч каждый. Расчетная теплопроизводительность контактного экономайзера составляет 10 Гкал/ч. Контактные экономайзеры различных конструкций и теплопроизводительностей успешно эксплуатируются и на других энергетических объектах СНГ. В настоящее время только экономайзеров типа ЭК-БМ эксплуатируется более 100 единиц [2].

В последнее время Подольский завод ЗИО, который входит теперь в иностранную компанию «ЗиОМАР» приступил к разработкам установок использования скрытой теплоты парообразования в уходящих газах котлов в мощных газовых энергоблоках [1].

По мнению завода наиболее рациональным представляется использование скрытой теплоты парообразования для нагрева конденсата в системе регенерации турбины взамен ПНД-1. В газовом энергоблоке мощностью 300 МВт при температуре уходящих газов 101 °С их теплом, включая скрытую теплоту парообразования, можно нагреть конденсат с расходом  $D=639$ , 5 т/ч от 27 до 58 °С, (как в ПНД-1). При этом освободившийся отборный пар вырабатывает дополнительную безтопливную мощность  $\Delta N = 1,2$  МВт, за счет чего снижение удельного расхода топлива на энергоблок составляет  $\Delta = 0,4$  %. Если часть дымовых газов (около 6 %) байпасировать мимо РВП, то температура уходящих газов составит 85 °С. Это значение вполне приемлемо для газоходов и дымовой трубы. На Жодинской ТЭЦ установлен контактный экономайзер на котле ГМ-50-14/250 для глубокой утилизации теплоты уходящих газов. В ближайшее время будет проведено исследование работы этого контактного экономайзера.

#### Литература

1. Липец Д.У., Дирина Л.В., Кадыров И.И. Об использовании скрытой теплоты парообразования водяных паров уходящих газов в мощных энергетических котлах // Энергетик. - 2002. - № 2. - С. 19-20.
2. Аронов И.З. Использование тепла уходящих газов газифицированных котельных. - М.: Энергия, 1967. - 192 с.

Жихар И.Г.

Белорусский национальный технический университет

В последние годы проблеме защиты окружающей среды уделяется большое внимание. Тепловые электростанции, потребляющие до 30 % добываемого топлива, являются крупнейшими источниками загрязнения воздушного бассейна, прилегающих районов токсичными веществами, содержащимися в продуктах сгорания топлива в том числе и оксидов азота. Оксиды азота являются вредной примесью. Даже при минимальных дозах в воздухе оксиды раздражающе воздействуют на органы дыхания, способствуют образованию смогов и ухудшению видимости в городах.

К основным способам снижения образования оксидов азота в топочной камере относится рециркуляция дымовых газов в топочную камеру. Для организации рециркуляции дымовые газы обычно после водяного экономайзера при температуре 300-400 °С отбираются специальным рециркуляционным дымососом и подаются в топочную камеру. Ввод рециркуляционных газов в зону интенсивного образования оксидов азота позволяет забалластировать инертными газами горючую смесь и тем самым уменьшить максимальную температуру в этой зоне, а как известно, скорость реакции образования оксидов азота в значительной степени определяется максимальной температурой. Рециркуляция газов наряду с уменьшением температуры горения приводит к некоторому снижению концентрации кислорода, уменьшению скорости горения и растягиванию зоны горения и вследствие этого более эффективному охлаждению этой зоны топочными экранами. Большое значение имеет способ ввода газов рециркуляции в топочную камеру: через шлицы под горелками, через кольцевой канал вокруг горелок и подмешивание газов в дутьевой воздух перед горелками. Как показал опыт использования рециркуляции наиболее эффективным способом снижения образования оксидов азота является подача газов рециркуляции через горелки со всем воздухом.

Следует иметь в виду, что организация рециркуляции связана с некоторыми дополнительными осложнениями. Транспорти-

ровка запыленных газов повышенной температуры требует установки специальных дымососов рециркуляции связана с затратой дополнительной энергии на собственные нужды. Рециркуляция дымовых газов повышает сопротивление газового тракта и может быть вызвано некоторое ухудшение условий горения. Рециркуляция дымовых газов оказывает влияние на температуру перегрева пара и получила в свое время широкое применение именно для этих целей. Поэтому рециркуляцию дымовых газов целесообразно применять для снижения образования оксидов азота там, где одновременно решается вопрос регулирования температуры перегретого пара.

Выполненные расчеты при двухступенчатом сжигании природного газа показывают, что при рециркуляции газов в первичный воздух в количестве 40 % снижение образования оксидов азота составляет 50 %. Это указывает на то, что рециркуляция газов является эффективным способом подавления оксидов азота.

Как показывают многочисленные исследования [1, 2, 3], при двухступенчатом сжигании топлива подавляется образование не только термических оксидов азота, но и тех, которые образуются в результате окисления азотосодержащих соединений топлива. Это имеет большое значение, поскольку при сжигании азотосодержащих топлив без средств подавления до 40–65 % азота топлива переходит в  $\text{NO}_x$ , а для топлив с высоким содержанием связанного азота выход топливных оксидов азота составляет 60–80 % всего количества оксидов азота в дымовых газах.

В настоящее время для снижения образования оксидов азота еще применяется подача воды и пара в зону горения. В работах отечественных и зарубежных исследователей установлено, что ввод влаги в виде пара или воды в топочную камеру – наиболее рациональное и простое средство достижения снижения образования оксидов азота при сжигании газообразных и жидких топлив. Установлено, что впрыск 10 % влаги приводит к снижению концентрации оксидов азота на 25–30 % при полной нагрузке котла, а на каждый процент снижения нагрузки эффект уменьшается приблизительно на один процент. При сжигании мазута и газа получены близкие эффекты по снижению оксидов азота. Концентрации сажи и бенз(а)пирена уменьшается при вводе влаги в топку во всех случаях. При вводе пара и воды в топку

при сжигании мазута концентрация канцерогенных веществ и сажи уменьшается в среднем в 2-3 раза и более. Очень важным является вопрос о влиянии впрыска воды или пара на экономичность котла. Установлено, что впрыск влаги в количестве 10 % от расхода топлива приводит к снижению КПД котла приблизительно на 0,6 %. Сопоставление влияния впрыска воды в топку и наиболее распространенного способа подавления оксидов азота вводом в топку газов рециркуляции на экономичность котла ТП-47 с подовой компоновкой трех горелок при сжигании сернистого мазута показало, что ввод 10 % газов рециркуляции в горелки вызывает суммарное снижение КПД нетто котла приблизительно на 0,9 % против 0,7 % при вводе влаги в количестве 11-12 % от расхода топлива. При этом в обоих случаях снижение оксидов азота составляло 35-40 %. На других котлах ТГМ-94 получены аналогичные результаты [2]. Выполненные расчеты при двухступенчатом сжигании природного газа показывают, что ввод влаги в зону горения приводит к существенному снижению образования оксидов азота. Это хорошо согласуется с экспериментальными данными других авторов.

Могут использоваться и некоторые другие методы снижения образования оксидов азота. К ним относятся уменьшение избытка воздуха в топке и снижение температуры подогреваемого воздуха.

Перечисленные способы при комплексном их применении могут существенно снизить образование оксидов азота.

### Литература

1. Горбаненко А.Д., Крутиев В.А., Афанасьева Л.А. Уменьшение выбросов окислов азота при двухступенчатом сжигании мазута. //Электрические станции. - 1977. - № 2. - С. 12-15.
2. Образование окислов азота на газомазутных котлах с подовой компоновкой горелок / Горохова Л.Я., Еремеев В.В., Коваленко А.Л., Козлов В.Г. // Теплоэнергетика. - 1983. - № 5. - С. 32034.
3. Исследование ступенчатого сжигания природного газа в топке котла ТГМ-96Б для снижения выбросов оксидов азота. / Усман Ю.М., Филатов А.В., Енякин Ю.П., Терзиева //Электрические станции. - 1989. - № 12. - С. 23-28.

**Двухступенчатое сжигание жидкого топлива**

Карницкий Н.Б., Жихар И.Г.

Белорусский национальный технический университет

В последние годы проблема защиты окружающей среды привлекает внимание всей мировой общественности. Бурный научно-технический прогресс сопровождается быстрой перестройкой экономики и использованием топлива в больших масштабах. При сжигании топлива в атмосферу выбрасываются такие вредные вещества как пыль, оксиды серы и азота, продукты недожога (сажа, СО, канцерогенные вещества).

Топливо является основой многих видов энергии. Масштабы его потребления растут из года в год. В связи с увеличением количества сжигаемого топлива неизбежно растет количество токсичных веществ, выбрасываемых в атмосферу вместе с продуктами сгорания.

Поэтому одной из важнейших задач эксплуатации энергетического оборудования является разработка и широкое использование эффективных методов снижения образования вредных веществ и определение оптимальных режимов сжигания топлива, обеспечивающих минимальный уровень выброса токсичных продуктов сгорания.

Двухступенчатое сжигание топлива является эффективным методом снижения выбросов оксидов азота. При двухступенчатом сжигании одна зона выгорания топлива заменяется несколькими по возможности обособленными. Суть двухступенчатого сжигания заключается в том, что процесс горения ведется с недостатком кислорода в первичной высокотемпературной зоне и заканчивается при более низкой температуре в зоне с избытком воздуха.

Исследование двухступенчатого сжигания жидкого топлива проводилось на газомазутном котле ГМ-50-14, где были установлены горелки для двухступенчатого сжигания мазута и газа. Испытания проводились при работе котла на мазуте. Во время испытаний котла сжигался мазут со следующими характеристиками:

$$S^p=1,8 \%; \quad W^p=5,8 \%; \quad Q_n^p=38,33 \text{ МДж/кг.}$$

Исследования показали, что с увеличением нагрузки концентрация оксидов азота в продуктах сгорания возрастает. При максимальной нагрузке котла концентрация оксидов азота в газах за пароперегревателем при работе котла с горелками для двухступенчатого сжигания топлива в два раза ниже, чем при работе котла с заводскими горелками.

При исследовании динамика образования оксидов азота вдоль факела котла установлено, что интенсивное образование оксидов азота происходит не после завершения реакций горения, а сразу после окончания первой стадии горения, где почти полностью расходуются исходные углеводороды и образуются максимальные концентрации промежуточных продуктов горения.

Исследовано изменение концентрации сажистых частиц вдоль факела котла. Анализ полученных данных показывает, что максимальная концентрация сажистых частиц тем выше, чем выше относительная концентрация топлива и имеет место при  $\frac{L}{D_a} \approx 3$ . При дальнейшем увеличении  $\frac{L}{D_a}$  концентрация сажистых частиц в факеле резко снижается.

Расчетное исследование изменения степени выгорания топлива вдоль оси факела котла ГМ-50-14 при двухступенчатом сжигании мазута показывает, что при одной и той же нагрузке котла с увеличением доли первичного воздуха и общего коэффициента избытка воздуха процесс выгорания топлива заканчивается при меньших значениях  $\frac{L}{D_a}$ .

Исследована динамика образования серного ангидрида вдоль факела котла ГМ-50-14 при двухступенчатом сжигании мазута. Из полученных данных следует, что максимальная концентрация серного ангидрида наблюдается при  $\frac{L}{D_a} \approx 8$ , т.е. при относительно высоких температурах. Так как в области высоких температур серный ангидрид образуется при участии атомарного кислорода, то экспериментальные данные показывают на наличие в начальной зоне значительных концентраций атомарного кислорода, образовавшегося как в результате термической дис-

социации молекулярного кислорода, так и в результате промежуточных реакций горения. Следовательно, количество атомарного кислорода, находящегося в зоне горения, определяет концентрацию серного ангидрида. Поэтому при одних и тех же изменениях концентрации реагентов во времени и температуре большему количеству атмосферного кислорода будет соответствовать большая концентрация серного ангидрида.

Испытания показали, что котел работает устойчиво при отсутствии химнедожога в широком диапазоне нагрузок. КПД котла с горелками для двухступенчатого сжигания топлива повысился на 1,7 % за счет снижения коэффициента избытка воздуха и температуры уходящих газов.

### Выводы

1. Установка на котле ГМ-50-14 горелочных устройств для двухступенчатого сжигания топлива привела к снижению выхода оксидов азота в два раза.

2. Исследована динамика образования оксидов азота вдоль факела котла. Показано, что интенсивное образование оксидов азота происходит не после завершения реакций горения, а сразу после окончания первой стадии горения.

3. Показано, что максимальная концентрация сажистых частиц в факеле имеет место при  $\frac{L}{D_a} \approx 3$ . При дальнейшем увеличении этой величины концентрация сажистых частиц в факеле резко снижается.

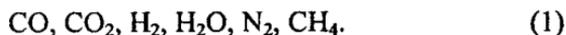
4. Выявлено, что максимальная концентрация серного ангидрида в факеле наблюдается при  $\frac{L}{D_a} \approx 8$ . При дальнейшем увеличении этой величины концентрация серного ангидрида резко снижается.

5. Исследования показали, что котел ГМ-50-14 с горелочными устройствами для двухступенчатого сжигания топлива работает устойчиво при отсутствии химического недожога в широком диапазоне нагрузок.

**Экспериментальное исследование процессов  
восстановительного науглероживания в атмосфере  
горючего газа из биомассы**

Несенчук А.П., Фоменко О.Г., Рыжова Т.В., Шкловчик Д.И.  
Белорусский национальный технический университет

Восстановительное науглероживание деталей сельскохозяйственной техники имеет исключительное значение, т.к. капитальный ремонт может выполняться в условиях мелких ремонтных мастерских. В качестве контролируемой (насыщающей) атмосферы имеется возможность использования искусственного горючего газа из биомассы



Для устранения из смеси (1) окисляющих компонентов  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{CO}_2$  используется каталитическая конверсия  $\text{CH}_4$  молекулами  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{CO}_2$  по реакциям:



Расчет науглероживания восстанавливаемой поверхности выполняется в соответствии с уравнением массопроводности (диффузии углерода в толщу науглероживаемого слоя)

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} = D \nabla^2 \rho,$$

где  $\tau$  – время науглероживания слоя на заданную глубину;  $D$  – коэффициент диффузии;  $\rho$  – концентрация углерода.

Для тех случаев, когда на поверхности обеспечивается постоянная концентрация (например, если процесс лимитируется диффузией) и размеры насыщаемого слоя пренебрежимо малы по сравнению с размерами изделия, граничные условия могут быть записаны в следующем виде (граничные условия 1 – го рода):

$$\rho(0, x) = \rho_0 = \text{const};$$

$$\begin{aligned} \rho(x, 0) &= \rho_{\Pi} = \text{const}; \\ \frac{\partial \rho}{\partial x} \Big|_{x \gg 0} &= 0, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\rho_0$  – начальная концентрация (марочная) углерода;  
 $\delta$  - глубина насыщаемого слоя.

Решение уравнения (1) с условиями (2) имеет вид

$$\frac{\rho_{x,\tau} - \rho_0}{\rho_{\Pi} - \rho_0} = \text{erfc} \left( \frac{x}{2\sqrt{D\tau}} \right), \quad (3)$$

Или в безразмерной форме

$$\Theta = \text{erfc} \left( \frac{1}{2\sqrt{Fo}} \right) = 1 - \text{erf} \left( \frac{1}{2\sqrt{Fo}} \right), \quad (4)$$

где  $\Theta$  – относительная концентрация;

$Fo$  – безразмерное время;

$x$  - глубина насыщения до концентрации  $\rho_{x,\tau}$  за время  $\tau$ .

Для граничных условий 3 – го рода решение принимает вид

$$\frac{\rho_{x,\tau} - \rho_0}{\rho_{\text{пред}} - \rho_0} = \text{erfc} \left( \frac{1}{2\sqrt{Fo}} \right) - \exp(Bi + Ti^2) \text{erfc} \left( \frac{1}{2\sqrt{Fo}} + Ti \right), \quad (5)$$

где  $Bi$  – безразмерное отношение внутреннего и внешнего сопротивлений переносу (диффузионное число  $Bi$ ),

$$Bi = \frac{\alpha_M x}{D} = hx;$$

$x$  – расчетная толщина диффузионного слоя;

$Ti$  – число гомохронности полуограниченных тел (число Тихонова)

$$Ti = Bi\sqrt{Fo} = \frac{\alpha\sqrt{\tau}}{\sqrt{D}}.$$

Из (5) следует, что концентрация углерода на поверхности детали ( $x = 0$ ) запишется

$$\frac{\rho_{0,\tau} - \rho_0}{\rho_{пред} - \rho_0} = 1 - \exp[Ti^2 \operatorname{erfc}(Ti)] = f(Ti).$$

Соответственно для шара и цилиндра:

$$\frac{\rho_{0,\tau} - \rho_0}{\rho_{пред} - \rho_0} = f(Ti) + \frac{1}{Bi} f_1(Ti); \quad \frac{\rho_{0,\tau} - \rho_0}{\rho_{пред} - \rho_0} = f(Ti) + \frac{1}{2Bi} f_1(Ti).$$

В нашем случае восстановительного науглероживания, когда задачей является процесс восстановления концентрации в тонком поверхностном слое, для решения уравнения Фурье при граничных условиях 3-го рода необходимо использовать дополнительно начальное условие, учитывающее исходную (марочную) концентрацию до науглероживания. Это условие может быть записано следующим образом

$$\rho_{x,0} - \rho_\infty = (-\rho_\infty) \exp(-Ax), \quad (6)$$

где  $\rho_\infty$  и  $\rho_{0,0}$  – соответственно концентрации углерода в необезуглероженной стали и на поверхности обезуглероженной стали;

$A$  – некоторая постоянная.

Решение уравнения Фурье с учетом (6) имеет вид

$$\rho_{x,\tau} = \rho_\infty + (\rho_{пред} - \rho_\infty) \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{D\tau}}\right) - \left(\rho_{пред} - \rho_{0,0} \frac{h}{h-A} + \rho_\infty \frac{A}{h-A}\right) \times \psi_h(x) - \frac{1}{2}(\rho_\infty - \rho_{0,0}) \left[\psi_A(-x) - \frac{h+A}{h-A} \psi_A(x)\right], \quad (7)$$

где

$$\psi_k(\pm x) = \exp(k^2 D\tau \pm kx) \operatorname{erfc}\left(\pm \frac{x}{2\sqrt{D\tau}} + k\sqrt{D\tau}\right). \quad (8)$$

По данным экспериментов многих исследователей постоянная  $A$  (7) имеет порядок  $100 \text{ см}^{-1}$ .

УДК 621.1

### Современные технологии энергоснабжения

Ярмольчик Ю.П., Ярмольчик М.А.

Белорусский национальный технический университет

Современные технологии энергоснабжения значительно отличаются от ранее принятых и до сих пор используемых на многих предприятиях, для помещений и зданий различного назначения и т.д. Наибольшие изменения претерпели системы теплоснабжения, где возможен наибольший эффект в энергосбережении. Так, современные системы управления котельными установками способны полностью управлять системой отопления практически любого здания. Они имеют большое количество дополнительных функций, способных сократить расход топлива. Рассмотрим некоторые наиболее эффективные функции современных технологий управления и регулирования системами теплоснабжения.

*Погодная компенсация или погодозависимое регулирование.*

Данная функция предназначена для автоматического определения температуры в подающей линии котла, в зависимости от температуры наружного воздуха. Если на улице  $20 \dots 30^\circ\text{C}$  мороза, то в систему отопления будет подаваться теплоноситель с температурой  $80 \dots 90^\circ\text{C}$ . А если на улице  $0^\circ\text{C}$ , тогда нет смысла подавать теплоноситель с такой большой температурой, и система управления автоматически понизит температуру котловой воды. Отсутствие этой функции приводит, как правило, к чрезмерному повышению комнатной температуры, вследствие чего происходит перерасход топлива.

*Возможность задания приоритетов между контурами.* Данная функция предназначена для оптимизации мощности котла. Например, мощность Вашей системы отопления 30 кВт, водоснабжения - 40 кВт, бассейна - 30 кВт. В этом случае Вам нужен котел мощностью  $30+40+30 = 100$  кВт. Но на отопление 30 кВт требуется только тогда, когда на улице минимальные температуры, а такое бывает не часто. К тому же можно разделить нагрев горячей воды и бассейна: если во время нагрева бассейна появляется потребность в горячей воде, нагрев бассейна прерывается и включается нагрев воды контура ГВС (горячего водоснабжения). Таким образом, можно уменьшить мощность котла до 70 кВт. В этом случае котел будет дешевле, к тому же при грамотной настройке системы он будет более равномерно загружен.

*Датчик комнатной температуры.* Предназначен для более точного регулирования системы отопления. Датчик устанавливается в одном из помещений и измеряет температуру воздуха внутри помещения. Как правило, такие датчики имеют терморегулятор, с помощью которого можно установить необходимую температуру. В сочетании с современной системой управления это может максимально увеличить комфорт и привести к экономии топлива.

*Автоматическое определение режима "лето - зима".* Данная функция в современных системах управления свободно программируется. Ее принцип работы заключается во включении/выключении котла по температуре наружного воздуха. При этом в летнем режиме помещение не отапливается, однако сохраняется функция нагрева воды ГВС. Некоторые системы управления имеют одну заданную температуру для всех отопительных контуров, по которой система управления переключает режим работы котла. В этом случае нельзя запрограммировать, чтобы зимой у Вас работали радиаторы и теплый пол, а летом - только теплый пол. В более современных системах управления температура переключения режимов программируется для каждого контура отдельно. Данная функция предназначена в основном для более комфортного отопления и дает незначительную экономию топлива.

*Единое управление всеми насосами и смесителями.* В современных системах отопления эта функция просто необходима.

Как только в системе отопления появляется неуправляемый насос, это приводит к нарушению комфортного отопления. Например: температура воздуха на улице  $+5^{\circ}\text{C}$ , и в радиаторы нужно подавать теплоноситель с температурой  $60^{\circ}\text{C}$ ; а для нагрева бойлера нужна максимально возможная температура теплоносителя  $90^{\circ}\text{C}$ . В этом случае, если насосом отопительного контура не управляет единая система управления, то в радиаторы будет подаваться теплоноситель с температурой  $90^{\circ}\text{C}$ , что приведет к значительному перегреву воздуха в помещении. Если же все насосы подсоединены к единой системе управления, то во время нагрева бойлера насосы системы отопления просто отключаются. А так как бойлер нагревается всего 20..30 минут, понижение температуры воздуха в помещении не составит более  $1..2^{\circ}\text{C}$ . При этом система управления рассчитает время нагрева бойлера и выключит горелку чуть раньше, чем вода в бойлере нагреется до нужной температуры. Это приведет к тому, что по завершению нагрева бойлера температура котловой воды составит необходимые  $62..65^{\circ}\text{C}$ , а не  $90^{\circ}\text{C}$ . Кроме того, единое управление необходимо при низкотемпературном режиме работы котла. В тех случаях, когда температура котловой воды в низкотемпературных котлах опускается ниже  $45^{\circ}\text{C}$  для дизельных, и  $55^{\circ}\text{C}$  для газовых котлов, во время запуска горелки может образовываться конденсат. Для предотвращения этого явления во время запуска горелки система управления отключает все насосы, в этом случае котел быстрее выходит на режим, и исключено образование конденсата. Этот процесс называется "логика насоса".

*Дистанционное управление отоплением.* Модуль для дистанционного управления котельной установкой (через модем по телефонной линии), как правило, покупается отдельно, как опция. Это связано с тем, что в настоящее время данная функция - редкость и стоит довольно дорого. Но у этой функции есть ряд преимуществ. Например, возможность контролировать работу котельной во время длительного отсутствия (ведь любая поломка может привести к размораживанию системы и дорогостоящему ремонту). Также можно проверить работу установки либо просто перепрограммировать систему, не вызывая для этих целей сервисного инженера, а просто обратившись в специализированную организацию, в которой есть соответствующее про-

граммное обеспечение и квалифицированный сервисный инженер. В этом случае сервисный инженер из своего офиса подключится к системе управления, просмотрит все параметры, и только если будут обнаружены неполадки, выедет на место и проведет соответствующие работы. Это сэкономит время и деньги.

*Пониженный режим работы котла.* С помощью этой функции можно запрограммировать отопительную систему таким образом, чтобы, например, ночью котел работал в пониженном режиме. А с утра котел будет автоматически выходить на нормальный режим работы. При отсутствии данной функции система отопления работает на полную мощность постоянно, в том числе и в то время, когда это никому не нужно. Наличие такой функции приводит к значительной экономии топлива.

*Энергонезависимая память.* Эта функция обеспечивает автоматическое включение котла после обесточивания котельной установки. Если данная функция не предусмотрена, то после аварийного выключения электроэнергии придется спускаться в котельную и включать котел вручную, а в случае отсутствия оператора в нужный момент может произойти размораживание системы, которое повлечет за собой необходимость дорогостоящего ремонта.

*Возможность модернизации и программирования.* Желательно, чтобы система управления могла быть модернизирована. В случае необходимости дополнения отапливаемой площади или изменения параметров отопления, не придется покупать новую. Если же ее можно модернизировать - просто докупается дополнительный блок. Кроме того, система управления должна свободно программироваться. В системе должны быть различные уровни программирования: пользовательский и сервисный. В пользовательском уровне содержатся, как правило, только настройки параметров температуры в помещениях, программы отопительных контуров и просмотр некоторых параметров, таких как: температура на улице, время работы котла. В сервисном уровне программируются такие настройки, как: тип отопительного котла, вид топлива, горелка, время работы насосов, сервоприводов. Это приводит к упрощению пользования системой управления пользователю, и предотвращает возможность

порчи оборудования вследствие нарушения пользователем сервисных настроек.

К сожалению, часто строительные или монтажные организации попытки удешевления проектной стоимости начинают именно с автоматики. Вследствие этого в котельной вместо одной качественной системы управления появляется несколько простых, которые в процессе эксплуатации могут работать некорректно и вызывать много проблем.

УДК 621.1

### **Турбинизация производственных и отопительных котельных**

Есьман Р.И., Врублевский И.И., Ярмольчик Ю.П.,  
Прокопья И.Н.

Белорусский национальный технический университет  
РУП «БЕЛНИПИЭнергопром»

В последней четверти XX века в условиях технического прогресса крупных тепловых электростанций, развития ядерной энергетики, централизованного энергоснабжения и низкой стоимости топлива мелкие ТЭЦ потеряли свою конкурентоспособность и строительство их было прекращено, хотя попытки обосновать их энергосберегающую эффективность предпринимались в начале 80-х годов.

В настоящее время, когда строительство крупных тепловых электростанций сталкивается с серьезными социальными, экологическими и инвестиционными проблемами, когда прежняя идеология развития крупной теплофикации оказывается технически и экономически проблематичной, а стоимость органического топлива приблизилась к мировым ценам, которые в условиях нестабильности топливо-добывающих стран достигли небывалых значений и не собираются останавливаться, рентабельными во многих случаях становятся и малые ТЭЦ, как показывают непредвзятые и обстоятельные обоснования их эффективности в условиях рыночной экономики. К тому же такие ТЭЦ претерпевают существенное техническое изменение в части повышения экономичности и качества основного оборудования, снижения его материалоемкости, автоматизации управле-

ния технологическими процессами, применения блочного монтажа оборудования и др. Их важными достоинствами являются быстрота сооружения, небольшие единовременные капиталовложения и возможность строительства за счет средств отраслевых министерств и ведомств.

Естественно, малые ТЭЦ не противопоставляются строительству средних и крупных электростанций (ТЭЦ, ГРЭС, АЭС), а лишь дополняют их в электроэнергетическом балансе энергосистемы и, прежде всего, они рассматриваются как источники экономии энергоресурсов.

Даже при ведомственной принадлежности быстрый разворот потенциала малой энергетики может заметно пополнить баланс мощности в энергосистеме и облегчить во времени техническое перевооружение (обновление) существующих и строительство новых крупных электростанций.

В ряде случаев небольшие теплофикационные установки могут устанавливаться на действующих и новых промышленных и промышленно-отопительных котельных.

Как показало изучение вопроса о возможной турбинизации производственных и отопительных котельных с промышленными паровыми котлами (рабочее давление пара 1,3..1,4 МПа при температуре насыщения либо при перегреве до 250°C), в их подавляющем большинстве применяется дросселирование свежего пара с целью получения пара требуемых параметров. Либо прямо на котлах держат необходимое понижение давления пара. В обоих случаях не используется возможная потенциальная энергия пара, полученная от сжигаемого топлива.

Вместе с тем при установке в таких котельных паровых противодавленческих турбоагрегатов малой мощности пропускаемый через них пар будет сбрасываться от начальных параметров на котлах до давления, нужного потребителю, и в результате бесполезно теряемый до этого потенциал пара будет использоваться для выработки мало затратной электрической энергии. При этом увеличение абсолютного расхода топлива котельной, связанное с производством электроэнергии, составляет в зависимости от мощности турбоустановки 3..7% по отношению к расходу топлива, затрачиваемому на производство тепловой энергии.

Вырабатываемая турбогенератором электрическая энергия идет на покрытие собственных нужд котельной и предприятия, а ее избыток может продаваться в энергосистему на выгодных условиях, что предусмотрено правительственным нормативным актом развития и стимулирования малой энергетики.

Развитие малой теплофикации на базе турбинизации котельных началось в Беларуси (впервые в СНГ) в 1994г., когда по инициативе белорусских энергетиков на ОАО «Калужский турбинный завод» (Россия) начали создаваться первые блочные паровые теплофикационные турбогенераторные установки мощностью 600 и 3500 кВт с производственным и отопительным противодавлением для конкретных объектов.

Турбогенераторная блочная установка состоит из смонтированных на общей раме со встроенным маслобаком - турбины, редуктора (не у всех турбоустановок), генератора, пускового масляного электронасоса. Клапан предохранительный, эжектор пароструйный, пульт управления и щит генераторный, поставляемые с установкой, устанавливаются рядом.

Удельная заводская стоимость турбогенераторов типа ТГ в зависимости от мощности составляет 240..500 тыс. руб. за 1кВт (большая для турбоустановок 500..750 кВт).

За счет комбинированного производства тепла и электроэнергии на базе существующих промышленных и отопительных котельных затраты на установку турбогенератора окупаются за 3..5 лет. При этом повышается автономность энергоснабжения котельной, что позволяет ей оставаться в рабочем режиме при отключении от энергосистемы, т.е. сохранить технологический процесс предприятий, связанных с котельной по пару и теплу.

Большинство паровых котлов существующих котельных вырабатывают пар давлением 1,0..1,4 МПа, тогда как потребителям требуется пар давлением 0,12..0,5 МПа. В большинстве случаев перепад давления срабатывается на РОУ и потенциальная энергия давления безвозвратно теряется. Турбоагрегаты могут быть включены в тепловую схему котельной и тем самым удастся получить независимый энергетический источник, превратив производственную или отопительную котельную в мини-ТЭЦ. В этой области РУП «БЕЛНИПИЭнергопром» совместно с учеными из БНТУ выполнены и ведутся исследования и технические проработки по ряду промышленных и районных отопи-

тельных котельных, которые уже получают практическую реализацию.

УДК 658.26:681.5.015

**Технологические схемы  
малоотходных источников теплоснабжения**

Седнин В.А., Шкловчик Д.И., Шимукович А.А.,  
Полякова Т.С.

Белорусский национальный технический университет

Пути повышения эффективности традиционных технологий в теплоснабжении известны: это дальнейшее развитие теплофикации (комбинированной выработки тепловой и электрической энергии), снижение тепловых потерь при транспорте тепловой энергии и создания систем автоматизированного управления технологическими процессами. Сравнительно новыми решениями для традиционной теплоэнергетики является применение парогазовых и газомоторных установок и глубокая утилизация продуктов сгорания органического топлива. Структурная и параметрическая оптимизация систем теплоснабжения в совокупности с внедрением систем автоматического управления позволяет снизить топливно-энергетические затраты в области теплоснабжения до 40% и значительно снизить выбросы в атмосферу парниковых газов.

В ходе проводимых ОНИЛ ЭТР БНТУ НИОКР по развитию теоретических основ создания высокоэффективных технологий в области теплоснабжения и управления ими и их апробация в промышленных условиях решались следующие задачи:

- разработка на базе системно-структурного подхода математических моделей теплоэнергетических установок и систем макроуровня для решения задач параметрической оптимизации и управления;

- разработка структурно-схемных решений перспективных энергоэкологоэффективных источников теплоснабжения на базе регенеративно-утилизационных схем;

Рассмотрим возможные подходы по модернизации теплоисточников с позиции глубины использования уходящих газов. Основными теплоисточниками в системах теплоснабжения на

органическом топливе являются котельные (промышленные и отопительные) и теплоэлектроцентрали (паросиловые, газотурбинные, парогазовые и дизельные). Энергетическая эффективность теплоисточников определяется коэффициентом полезного действия (КПД) или обратной ему величиной – удельным расходом топлива на выработку единицы энергии. Для более объективной оценки эффективности работы энергетических систем используют оценки методы эксергетического анализа. На первый взгляд энергетическая эффективность котельных достаточно высока (КПД около 80...85%), однако применение комбинированных энергоисточников более привлекательно, т.к. приблизительно при таком же КПД на теплоэлектроцентралях можно вырабатывать до 50...55% электроэнергии, что значительно повышает их эксергетический КПД. Таким образом, принципиально важно уменьшить эксергетические потери со стороны "горячего теплоисточника".

Тем не менее, дальнейшее повышение энергетической эффективности теплоисточников можно добиться и за счет глубокой утилизации теплоты продуктов сгорания на стороне "холодного теплоисточника". Однако, несмотря на то, что за счет использования теплоты конденсации водяных паров можно получить 15...20% дополнительной теплоты, часто возникают проблемы ее использования из-за низкого температурного потенциала. Обычно эта теплота используется для подогрева воздуха, подаваемого для горения топлива и на подогрев сырой воды для подпитки тепловых сетей. Вследствие "относительно" слабого энергетического эффекта схемы глубокого охлаждения продуктов сгорания используются на практике не в достаточных масштабах. Тем не менее современные требования к охране окружающей среды и тенденции развития техники диктуют разработку технических решений глубокой утилизации продуктов сгорания с целью достижения безотходности энергетического производства. Что становится особенно актуально в связи с необходимостью снижения выбросов в атмосферу диоксида углерода.

В качестве примера рассмотрим комбинированную схему теплоисточника с глубокой утилизацией продуктов сгорания на основе применения адсорбционных и абсорбционных систем. На рис. 1 показаны принципиальная схема промышленно-

отопительной котельной, состоящая из генерирующего блока (паровые котлы и паровые турбины), блока подготовки воды, углекислотной адсорбционной станции и абсорбционного преобразователя теплоты. На рис. 2 представлена принципиальная схема адсорбционно-абсорбционной надстройки этой котельной: системы теплообменников для охлаждения дымовых газов, адсорбционной углекислотной станции и абсорбционного преобразователя теплоты для увязки энергетических потоков.

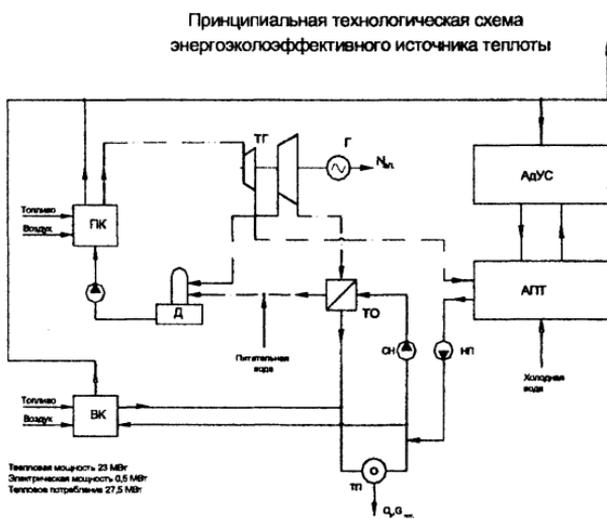


Рис. 1

Очевидно, что при применении подобной схемы на паросиловой ТЭЦ изменяются только масштабные факторы. В случае парогазовой установки в состав схемы входят: газотурбинного блока, паросилового блока, блока подготовки воды, адсорбционной углекислотной станции и абсорбционного преобразователя теплоты. Отличием будет только возможность включения в утилизационный контур дополнительно охладителей воздуха компрессорной установки.

Параметрический анализ данных схем позволяет сделать вывод о перспективности дальнейших исследований в данном направлении с целью их конструктивной реализации. Расчет энер-

гетического баланса по рассматриваемым схемам показывает, что энергетические затраты в комбинированных схемах на получение углекислоты сводятся к минимуму. Несомненно, значительный интерес представляет структурная оптимизация подобных схем с использованием эксергетического анализа и применению других технологий для разложения дымовых газов.

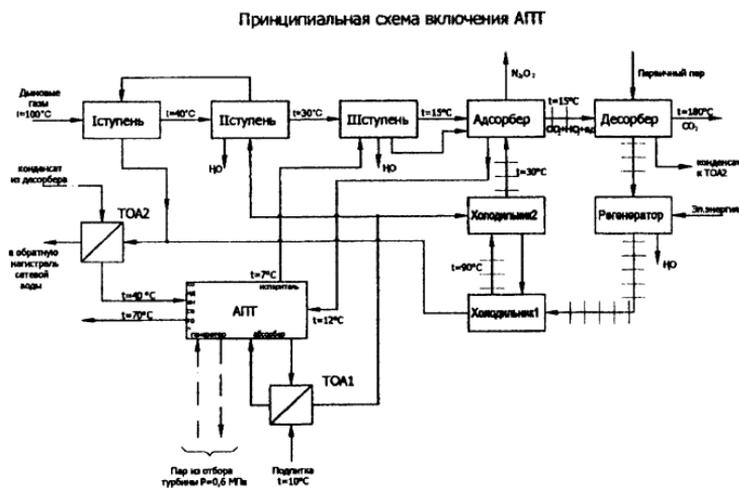


Рис. 2

Очевидно, что при применении подобной схемы на паросиловой ТЭЦ изменяются только масштабные факторы. В случае парогазовой установки в состав схемы входят: газотурбинного блока, паросилового блока, блока подготовки воды, адсорбционной углекислотной станции и абсорбционного преобразователя теплоты. Отличием будет только возможность включения в утилизационный контур дополнительно охладителей воздуха компрессорной установки.

Параметрический анализ данных схем позволяет сделать вывод о перспективности дальнейших исследований в данном направлении с целью их конструктивной реализации. Расчет энер-

гетического баланса по рассматриваемым схемам показывает, что энергетические затраты в комбинированных схемах на получение углекислоты сводятся к минимуму. Несомненно, значительный интерес представляет структурная оптимизация подобных схем с использованием эксергетического анализа и применению других технологий для разложения дымовых газов.

УДК 666.92

**Анализ работы печи для обжига извести типа ППР  
Жлобинского металлургического завода**

Седнин В.А., Кожевников А.Г., Мельников И.В.  
Белорусский национальный технический университет  
РУП «Белорусский металлургический завод»

На БМЗ установлены и функционируют две шахтные прямоточно-противоточные регенеративные печи (ППР), основным преимуществом которых являются: относительно низкий удельный расход топлива (125...136 условного топлива на 1 т продукции), высокая регенерация теплоты отходящих газов (80-85%), высокий удельный съем извести с единицы поперечного сечения печей 120...130 т/(м<sup>2</sup> сут), выпуск извести без пережога, высокая степень диссоциации сырья (96...98%), умеренные капитальные затраты при реконструкции действующих печей, возможность обжига фракционированного известняка с размером кусков, начиная с 15...20 мм и разбросом 1:3,5...1:4.

Анализ показателей действующих на БМЗ печей видно, что имеются резервы по увеличению производительности и повышения эффективности работы печи за счет частичной ее модернизации, а также оптимизации режимных параметров. Оптимизацию конструктивных и режимных параметров возможно осуществить путем применения методов математического планирования промышленного эксперимента и разработки математической модели, описывающей физико-химические процессы в печи, проведения ее идентификации и выполнения численного эксперимента.

С точки зрения математической физики процесса обжига кальцита  $\text{CaCO}_3$  относится к задачам теплопроводности, в которых материал претерпевает физические и химические превра-

щения с поглощением теплоты химической реакции. Существенной особенностью таких процессов является наличие движущейся поверхности термического разложения  $S$  между зоной кальцита  $\text{CaCO}_3$  и мела  $\text{CaO}$ . На этой границе происходит поглощение теплоты диссоциации  $L = -1780$  кДж/кг, а также значительное изменение теплопроводности и других физических свойств. Такие процессы описываются достаточно сложными нелинейными уравнениями, что сильно затрудняет их решение. До настоящего времени надежные аналитические формулы и численные алгоритмы пригодные для физически обоснованных расчетов таких процессов в литературе отсутствуют.

Процесс переноса теплоты в процессе обжига в направлении  $x$  описывается дифференциальным уравнением теплопроводности

$$c\rho \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right), \quad (1)$$

где  $t$ ,  $c$ ,  $\rho$  и  $\lambda$  - соответственно температура, теплоемкость, плотность и теплопроводность материала;  $\tau$  - время.

Это уравнение определяет скорость изменения температуры  $\frac{\partial t}{\partial \tau}$  в точке  $x$  в зависимости от изменений градиента темпера-

туры  $\frac{\partial t}{\partial x}$  и теплового потока  $q_x = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x}$  в направлении  $x$ , а

также учитывает влияние физических свойств вещества  $c$ ,  $\rho$  и  $\lambda$ . Поскольку выражение (1) является уравнением сохранения энергии при расчетах оно обеспечивает выполнение этого закона во всех точках  $x$  для различных моментов времени  $\tau$ .

Для реальных процессов часто используется трехмерные уравнения теплопроводности

$$c\rho \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda \frac{\partial t}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \frac{\partial t}{\partial z} \right), \quad (2)$$

которое учитывает дополнительно изменения потоков теплоты  $q_y = -\lambda \frac{\partial t}{\partial y}$  и  $q_z = -\lambda \frac{\partial t}{\partial z}$ .

Формулы и алгоритмы, применяемые для расчетов должны соответствовать граничному условию при радиационно-конвективном подводе теплоты от дымовых газов к поверхности обрабатываемого материала

$$\alpha_t (t_m - t_s) + \lambda t'_{sx} = 0, \quad (3)$$

$$\alpha_t = \alpha_r + \alpha_c. \quad (4)$$

Здесь  $\alpha_t$  - суммарный коэффициент теплоотдачи на поверхности материала;  $\alpha_r$  и  $\alpha_c$  - соответственно коэффициент теплоотдачи излучением и конвекцией;  $t_m$  и  $t_s$  - соответственно температура дымовых газов и поверхности материала.

Следует учитывать, что коэффициент переноса теплоты излучением  $\alpha_r$  определяется следующим соотношением с очень сильной нелинейностью

$$\alpha_r \Delta t = \left( \frac{t_m + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{t_s + 273}{100} \right)^4. \quad (5)$$

Поэтому граничное условие (3) является нелинейным, для которого эффективные методы расчета не разработаны.

Так как теплота диссоциации  $L$  оказывает очень сильное влияние на перемещение поверхности разложения  $S$ , при разработке методов расчета таких процессов всегда используется граничное условие которое учитывает действие отрицательного источника  $L$  на поверхности  $S$

$$L \rho dx = (\lambda_1 t'_{1x} - \lambda_2 t'_{2x}) dx, \quad (6)$$

где  $dx$  - перемещение зоны диссоциации за время  $d\tau$ ;  $t'_{1x}$  и  $t'_{2x}$  - градиенты температуры на поверхности  $S$  в зоне  $\text{CaO}$  и  $\text{CaCO}_3$  соответственно;  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  - коэффициент теплопроводности соответственно  $\text{CaO}$  и  $\text{CaCO}_3$  при температуре разложения  $t_h = 900^\circ\text{C}$ .

С учетом соотношения (6) расчет выполняется для двух областей (до поверхности радела и за ней), размеры которых непрерывно изменяются. При этом перемещения зоны диссоциации  $x$  значительно зависят от времени  $\tau$ . При подстановке в уравнение (6) функций, определяющих зависимость  $x = f(\tau)$ , условие (6) оказывается сильно нелинейным.

Анализ литературных источников показывает, что существующие численные схемы непригодны для расчета подобных нелинейных задач, так как доказательства сходимости численных алгоритмов к решению задачи не получены, несмотря на многочисленные попытки специалистов в области математической физики. Кроме того, расчеты с помощью различных численных алгоритмов часто приводят к противоречивым результатам, которые могут отличаться в 2 раза и более. Это означает, что численные алгоритмы, возможно, вообще не имеют сходимости к решениям нелинейного уравнения (2).

Важно учитывать, что доказательства сходимости численных алгоритмов к решению задачи (1), (3) и (5) обеспечивают выполнение закона сохранения энергии, который определяется уравнением теплопроводности (5). Поскольку указанные выше расхождения результатов свидетельствуют об очень больших нарушениях основного физического закона сохранения, применение существующих численных алгоритмов приводит к недопустимым ошибкам и оказывается невозможным.

В данном случае предложено расчет выполнять с помощью аналитически полученных точных решений и формул, которые являются наиболее надежными соотношениями и не нуждаются в проверке их пригодности экспериментальными методами. Аналитические методы требуют выбора специальных математических функций, которые удовлетворяют уравнению тепло-

проводности (2), а также нелинейным граничным условиям (3) и (6).

С учетом того, что куски  $\text{CaCO}_3$  имеют произвольную геометрическую форму, для оптимизации процесса обжига необходимо выполнить его теплофизическое моделирование для некоторой области, в пределах которой может изменяться конфигурация кусков. Такое моделирование может выполнено с помощью решений, которые получены для куба и шара [1]. Поскольку куски кальцита имеют некоторую конфигурацию, промежуточную между кубом и шаром соответствующих характерных размеров.

При одинаковом объеме  $V_s = (4/3)\pi R^3$  и куба со сторонами и куба со сторонами  $2x$   $V_c = 8x^3$ , т.е. при  $V_s = V_c$  отношение их размеров  $k_f = x/R$  составит  $k_f = 1,24$ . Если принять средний размер кусков  $x = 100$  мм, то при моделировании радиус шара с таким же объемом составляет  $R = 0,5 \cdot 100(1 + 1,24)/2 = 56$  мм. Размер куба со стороной  $2x$  и тем же объемом будет меньше в  $(1 + 1,24)/2 = 1,12$  раза:  $2x = 100/1,12 = 90,2$  мм.

С учетом вышеизложенного в дальнейшем моделировании выполняется по формулам, полученным для куба и шара [1]. При этом возможное время отжига для кусков, которые имеют средний размер  $x_c$  определяется, как среднее время для куба  $\tau_c$  и шара  $\tau_s$ ,

$$\tau = (\tau_c + \tau_s)/2.$$

Аналогичным образом определяется температура материала в различные моменты времени, если необходимо рассчитывать температурное поле в процессе отжига.

Аналитические формулы позволяют также определить значения коэффициентов теплопроводности  $\lambda$ , а также коэффициенты теплоотдачи  $\alpha_r$  и  $\alpha_s$  в процессе обжига, если имеются экспериментальные значения температуры для различных моментов времени при некоторых режимах. Поскольку значения

$\alpha$ , и  $\lambda$  могут быть ненадежными это преимущество предлагаемых формул является очень важным.

Анализ результатов численного эксперимента позволят разработать технические мероприятия по модернизации печи. Внедрение разработанных предложений должны дать следующие теплотехнологические преимущества: а) исключается пережог материала за счет возможности поддержания температуры факела в любом заведомо заданном диапазоне; б) обеспечивается равномерность распределения температуры по высоте и поперечному сечению печи; в) обеспечивается надежность и безопасность эксплуатации при изменении в широких пределах параметров самой горелки и печи. Это должно в конечном счете обеспечить увеличение производительности печи на 10-20%, снижение удельного расхода топлива не менее, чем на 5...10%, снижение выбросов окислов азота не менее, чем 10...20%.

#### Литература

1. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высш. шк., 1967.

УДК 699.86:621

### **Параметрический анализ режимов работы новых конструктивов теплопроводов**

Седнин В.А., Абражевич С.И., Аксенович А.В.

Белорусский национальный технический университет  
СП "Бел-Изолит"

При оптимизации конструктивных параметров предварительно изолированного самокомпенсирующегося теплофикационного трубопровода [1] важно определить условия потери устойчивости (состояние при котором возникают большие осевые сжимающие силы и скручивающие моменты).

При потере устойчивости ось эквивалентного бруса выпучивается и может образовать пространственную кривую. Будем считать, что концы бруса закреплены шарнирно. Рассматриваемая система является неконсервативной, но для определения критических значений осевой силы  $P$  и скручивающего момента для данной системы можно воспользоваться статическим методом [2,3].

Выберем основную  $(x, y, z)$  и скользящую систему координат  $(x_1, y_1, z_1)$ . Обозначим через  $v$  и  $w$  перемещение точки, лежащей на оси бруса  $x$ , в направлении осей  $y$  и  $z$ .

Определяя проекции вектора момента  $M$  на оси  $y_1$  и  $z_1$  для малых перемещений, получаем дифференциальные уравнения упругой кривой в плоскостях  $xOy$  и  $xOz$  [1,2]. Так как изгибная жесткость эквивалентного бруса относительно главных центральных осей одна и та же и равна  $B$ , получим

$$\begin{aligned} B \frac{d^2 v}{dx^2} + M \frac{d^2 w}{dx} + Pv &= 0; \\ B \frac{d^2 w}{dx^2} - M \frac{d^2 v}{dx} + Pw &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Полагая  $M/B = k$  и  $P/B = s^2$ , получаем систему уравнений, решение которой будем искать в виде

$$\begin{aligned} v &= A \sin r_1 x + B \cos r_1 x + C \sin r_2 x + D \cos r_2 x; \\ w &= A \sin r_1 x + B \cos r_1 x - C \sin r_2 x + D \cos r_2 x. \end{aligned} \quad (2)$$

Решая систему уравнений (1) получаем, что  $r_1$  и  $r_2$  должны удовлетворять одному и тому же квадратному уравнению

$$r^2 + kr - s^2 = 0. \quad (3)$$

Для определения постоянных  $A, B, C, D$  используем граничные условия:

$$\text{при } x = 0, x = H, \quad v = 0; w = 0. \quad (4)$$

Из условий при  $x = 0$  следует

$$A + C = 0 \text{ и } B + D = 0.$$

Из условий при  $x = H$  следует

$$\begin{aligned} A(\sin r_1 H - \sin r_2 H) + B(\cos r_1 H - \cos r_2 H) &= 0; \\ -A(\cos r_1 H - \cos r_2 H) + B(\sin r_1 H - \sin r_2 H) &= 0. \end{aligned}$$

Приравнявая нулю определитель системы, получаем

$$(\sin r_1 H - \sin r_2 H)^2 - (\cos r_1 H - \cos r_2 H)^2 = 0$$

или

$$\cos(r_1 H - r_2 H) = 1.$$

Наименьшая величина аргумента, не равная нулю, и, следовательно, не дающая тривиального (нулевого) решения системы уравнений равна:  $r_1 H - r_2 H = 2\pi$ , но из (3) следует

$$r_1 - r_2 = 2\sqrt{\frac{k^2}{4} + s^2}, \quad \text{т.е.}$$

$$\frac{\pi^2}{H^2} = \frac{k^2}{4} + s^2.$$

Отсюда получаем критические значения скручивающего момента  $M$  и сжимающей силы  $P$

$$\frac{1}{4} \left( \frac{M}{B} \right)^2 + \frac{P}{B} = \left( \frac{\pi}{H} \right)^2. \quad (5)$$

Уравнение (5) может быть использовано и для случая действия скручивающего момента и растягивающей силы. В этом случае перед силой  $P$  надо поставить знак минус. Уравнение (5) также может быть использовано и в частных случаях действия одного скручивающего момента  $M$ , тогда сила  $P = 0$ , или действия одной только сжимающей силы, тогда момент  $M = 0$ .

При  $M = 0$  из (5) получаем значение критической силы  $P$ , которая равна эйлеровой  $P_s = \pi^2 B / H^2$ ; при  $P = 0$  из (5) получаем значение критического момента  $M_{кр} = 2\pi B / H$ . Оба критических значения соответствуют случаю шарнирного опирания концов бруса.

В случае защемления концов бруса получается аналогичный результат, хотя зависимости между  $P$  и  $M$  более сложные, чем имеем в формуле (5). Но при защемлении концов бруса критическая сила  $P$  (при  $M = 0$ ), естественно, равна эйлеро-

вой  $P_s = \pi^2 B / H^2$ , а критический момент (при  $P = 0$ ) равен  $M_{кр} = 2,861\pi B / L$ .

Теперь рассмотрим возможность потери устойчивости эквивалентного бруса, когда винтовой брус изготовлен из тонкостенной трубы и подвергается нагреву при невозможности торцевых перемещений. Так как реактивный момент  $M$  связан с осевой силой  $P$  уравнением

$$M = PR \sin \varphi \cos \varphi \frac{\nu}{1 + \nu \sin^2 \varphi} \quad (6)$$

( $R$  - радиус образующего цилиндра), то уравнение (5) принимает вид

$$(GP)^2 + 4BP = \frac{4\pi^2 B^2}{H^2}, \quad (7)$$

где  $G = \frac{R \sin \varphi \cos \varphi}{1 + \nu \sin^2 \varphi} \nu$ .

Решая квадратное уравнение, найдем  $P_{кр}$

$$P_{кр} = \frac{2B}{G^2} \left( \sqrt{1 + \frac{\pi^2 G^2}{H^2}} - 1 \right). \quad (8)$$

Следовательно, максимальное значение  $P_{кр}$  будет равно  $P_s = \pi^2 B / H^2$ , что соответствует случаю, когда нет скручивающего момента.

Но при закреплении торцов винтового бруса таким образом, что запрещен и взаимный поворот и линейное (осевое) перемещение торцов будут одновременно возникать при нагреве и осевая сила  $P$  и скручивающий момент  $M$ .

Определим величину  $B$ . При малом угле подъема витка  $\varphi$  из (5)

$$B = \frac{EJH}{\pi Ri} \cdot \frac{1}{(1+\nu)}$$

и для тонкостенной трубы имеем

$$B = \frac{Ed^3 \delta H}{8(2+\nu)Ri}, \quad (9)$$

где  $i$  - число витков.

В общем случае при учете угла подъема витков получаем

$$B = \frac{\sin \varphi}{\frac{1 + \sin^2 \varphi}{2EJ} + \frac{\cos^2 \varphi}{2GJP}} = \frac{2EG \sin \varphi}{1 + \sin^2 \varphi + \cos^2 \varphi \frac{2EJ}{2G \cdot 2J}};$$

$$B = \frac{\sin \varphi Ed^3 \delta \pi}{4(2 + \nu \cos^2 \varphi)}. \quad (10)$$

Таким образом, задавшись параметрами винтового полого бруса ( $R, d, \delta, i, H, \varphi$ ), из уравнений (6,7,9,10) можно найти критическую силу  $P_{кр}$  и скручивающий момент  $M_{кр}$  для заданного сочетания параметров бруса и решить задачу потери устойчивости эквивалентного бруса. Для этого необходимо еще связать полученные силовые факторы с температурными напряжениями. В формулах предыдущей статьи [3] указаны зависимости осевой силы и скручивающего момента от  $E\alpha\Delta T$ ,  $\varphi$ ,  $k$ ,  $F$  и параметра  $C$ .

#### Литература

1. Седнин В.А., Абражевич С.И. Расчет на прочность предварительно изолированного самокомпенсирующегося теплофикационного трубопровода//Энергетика... Изв. высш. Уч. Заведений и энергетических объединений СНГ. – 2004. – с.
2. Тимошенко С.П. Сопротивление материалов. Т2. – М.: Наука, 1965, - 480 с.
3. Тимошенко С.П. Устойчивость упругих систем. – М.: Гос. изд. техн. теор. л-ры, 1986. – 568 с.

**Состояние и перспективы использования местного котельно-печного топлива в Республике Беларусь**

Кулаков Г.Т., Новак А.В.\*, Румянцева Ю.Н.\*\*

Белорусский национальный технический университет

\*Министерство жилищно-коммунального хозяйства

\*\*Институт экономики НАН Беларуси

Одной из наиболее важных и актуальных проблем для Республики Беларусь является увеличение доли собственных топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) в топливно-энергетическом балансе.

Проблема эффективного использования ТЭР, развитие альтернативной энергетики, использование местных природных ресурсов в топливно-энергетическом балансе находится под пристальным вниманием руководителей страны. Президентом Республики Беларусь А.Г.Лукашенко, Советом Министров, руководителями министерств и ведомств утверждены многочисленные программы и разработаны различные мероприятия по указанной проблеме.

Республика Беларусь ежегодно потребляет около 34,5–35 млн. т.у.т., импортируя, в основном из России, примерно 83–87 % ТЭР (газ, нефть, электроэнергия). При этом доля собственных ТЭР согласно [1–7] находится в пределах 13–17 % от валового потребления ТЭР.

Импорт энергоносителей обходится Республике Беларусь ежегодно примерно в 2–2,3 млрд. долл. США с потреблением 12 млн. т.у.т. концерном “Белэнерго” для производства тепловой и электрической энергии. Столько же ТЭР потребляет жилищно-коммунальный сектор республики. При общем потреблении 33,3 млрд. кВт.ч. электроэнергии на собственных тепловых электрических станциях (ТЭС) концерна “Белэнерго” вырабатывается 26 млрд. кВт.ч. при среднегодовом коэффициенте использования установленной мощности около 30%. Концерн централизованно производит около 31,2 млн. Гкал тепловой энергии при общем потреблении 71,2 млн. Гкал. При этом основным топливом котельных и ТЭС концерна является природный газ (90–98%), а резервным – мазут. В связи с этим актуаль-

ным является перевод части котельных и создание малых и мини-ТЭЦ на местных видах топлива.

Следует обратить внимание на большой разброс в оценках доли собственных ТЭР от его валового потребления в целом по республике по различным источникам [1–7]. Так, например, по данным [2] доля собственных ТЭР в 1999г. в Республике Беларусь составляла 17,1%, а по данным, приведенным в [5] – всего 15,2%.

Вместе с тем, если в 1990г. эта доля составляла 12,8% [3], то в 1999г. она увеличилась до 15,6%, однако снизилась до 15,1% в 2000г. [6]. Таким образом, в процентном соотношении, согласно данным [1–6], доля использования собственных ТЭР в Республике Беларусь в 2003г. увеличилась по сравнению с 1990г. на 2,3%, хотя и не достигла запланированного в [8] уровня 22–24%.

Однако если в абсолютных значениях в 1990г. было использовано 5,7 млн. т.у.т. [3], в 1994г. – 6 млн. т.у.т. [1], в 1999г. – 5,6 млн. т.у.т. [2], то в 2002г. – 5,2 млн. т.у.т. [6], т.е. по сравнению с 1990г. использование собственных ТЭР сократилось в 2002г. по данным [1–7] на 0,5 млн. т.у.т.

В связи с вышеизложенным возникла необходимость уточнения тенденций изменения потребления как местных видов топлива (МВТ), так и собственных ТЭР за последние четыре года по сравнению с базовым 1990г., а также определения реального уровня потребления местных ТЭР в абсолютных величинах по данным Министерства статистики и анализа Республики Беларусь (таблица 1).

Из анализа данных таблицы 1 следует, что потребление основных местных видов топлива (торфа топливного, брикетов топливных и попутного газа, дров для отопления, отходов лесозаготовки, деревообработки, сельскохозяйственной деятельности и горючих вторичных ТЭР) в 2003г. уменьшилось по сравнению с 1990г. с 2,87 млн. т.у.т. до 2,51 млн. т.у.т., т.е. в 1,145 раза. Это обусловлено, в основном тем, что потребление топливного торфа в 2003г. сократилось по сравнению с 1990г. в 3,75 раза, а по сравнению с 2000г. – в 2 раза. Потребление топливных брикетов уменьшилось соответственно в 2,26 и 1,34 раза [1]. Потребление дров для отопления хотя и увеличилось в 1,8 и в 1,09 раза соответственно, однако в 2003 г. составило всего 52% от прогноза на 1998 г. [1]. Потребление горючих вторич-

ных ТЭР составило в 1990г. 0,234 млн. т.у.т., в 2003г. – 0,195 млн. т.у.т.

Потребление основных МВТ в 2003г. составило всего 2,51 млн. т.у.т.

Доля потребления основных местных видов котельно-печного топлива от валового потребления ТЭР, не смотря на абсолютное снижение, увеличилась в процентном отношении с 4,55% 1990г. до 7,72% в 2000г., затем уменьшилась до 7,23%.

Так как к местным видам котельно-печного топлива следует отнести мазут, полученный из собственной нефти, то с учетом этого, а также потребления вторичных тепловых ТЭР, топлива печного бытового и электроэнергии от собственных ГЭС, переведенной в условное топливо, доля местных видов котельно-печного топлива составляла в 1990г. 8,81%, затем в 2000г. увеличилась до 12,28% и последовательно снизилась до 10,78% в 2003г.

В абсолютных величинах потребление МВТ также последовательно уменьшилось с 5,56 млн. т.у.т. в 1990г. до 3,74 млн. т.у.т. в 2003г.

С учетом нефти, добываемой в Республике Беларусь, доля собственных ТЭР от валового потребления ТЭР в стране увеличилась с 10,3% в 1990г. до 16,75% в 2000г., а затем снизилась до 16,32% в 2003г.

Вместе с тем, абсолютная величина собственных ТЭР в 1990г. составляла 6,49 млн. т.у.т., затем она последовательно снизилась до 5,55 млн. т.у.т. в 2002г., а после увеличилась до 5,67 млн. т.у.т. в 2003г.

В 2005г. планировалось [4] повысить потребление торфа и топливных брикетов до 8,66 млн. т.у.т., т.е. на 35% по отношению к 2003г.; биомассы в целом – до 1,647 млн. т.у.т., т.е. на 23,3% по отношению к 2003г. В результате общее потребление основных видов МВТ в 2005г. планировалось увеличить до 3,148 млн. т.у.т., т.е. на 25%.

Таблица 1

Использование МВТ и собственных ТЭР в Республике Беларусь по данным Минстата в 1990 г., 2000–2003 гг.  
(млн. т.у.т.)

№ п/п	Наименование	Годы					
		1990	2000	2001	2002	2003	2005
1	Газ горючий попутный	0,334	0,330	0,318	0,272384	0,284610	
2	Торф фрезерный	–	–	–	0,085039	0,084679	
3	Торф кусковой	–	–	–	0,002915	0,089679	
4	Итого: торф топливный	Σ 0,33	Σ 0,179	Σ 0,099	Σ 0,087954	Σ 0,088058	
5	Брикеты топливные	1,246	0,741	0,624	0,570837	0,552519	
	<b>ИТОГО торф и топливные брикеты</b>	<b>1,576</b>	<b>0,920</b>	<b>0,723</b>	<b>0,658</b>	<b>0,641</b>	0,866
6	Дрова для отопления	0,6102	1,003	1,108	1,067702	1,091876	
7	Отходы лесозаготовок и деревообработки	0,118	0,193	0,199	0,223436	0,243978	
	<b>ИТОГО биомасса (п.6+п.7)</b>	<b>0,7282</b>	<b>1,196</b>	<b>1,307</b>	<b>1,2911</b>	<b>1,33585</b>	<b>1,647*</b>
8	Отходы с/х деятельности и прочие виды природного топлива	–	–	–	0,044968	0,053677	
9	Горючие ВТЭР	0,234	0,219	0,211	0,182447	0,194577	
10	<b>Итого основных МВТ</b>	<b>2,8722</b>	<b>2,665</b>	<b>2,559</b>	<b>2,449728</b>	<b>2,509295</b>	<b>3,148*</b>
11	Валовое потребление ТЭР	63,109	34,516	34,691	34,339	34,721	
12.	Доля потребления основ-	4,55%	7,72%	7,38%	7,1%	7,23%	

	ных МВТ от валового потребления ТЭР в %						
13	Местный мазут из собственной нефти	1,172	0,947	0,945	0,805	0,599	
14	Тепловые ВТЭР	0,682	0,461	0,445	0,45044	0,511125	
15	Топливо печное бытовое (ТПБ)	0,828	0,1588	0,1422	0,115	0,115	
16	Производство электроэнергии от собственных ГЭС	0,0056	0,00756	0,0084	0,00784	0,008	
17	<b>ИТОГО местных видов топлива</b>	<b>5,5598</b>	<b>4,2394</b>	<b>4106</b>	<b>3,828</b>	<b>3,7424</b>	
18	Доля МВТ от валового потребления ТЭР в %	<b>8,81</b>	<b>12,28</b>	<b>11,82</b>	<b>11,15</b>	<b>10,78</b>	
19	Собственная нефть	2,937	2,6475	2,64807	2,6396	2,6398	
20	<b>ИТОГО собственные ТЭР</b>	<b>6,4968</b>	<b>5,7811</b>	<b>5,6605</b>	<b>5,5476</b>	<b>5,6682</b>	
21	Доля собственных ТЭР от валового потребления ТЭР в %	<b>10,3</b>	<b>16,75</b>	<b>16,32</b>	<b>16,16</b>	<b>16,32</b>	

\* Приложение 2 к Постановлению Совета Министров Республики Беларусь от 27.12. 2002 г. № 1820 (отчет).

В настоящее время Правительством Республики Беларусь поставлена задача существенного увеличения использования МВТ, в первую очередь – биомассы, торфа и топливных брикетов в ближайшие три года. Следует отметить, что использование торфа в республике идет по следующим направлениям:

- энергетическому,
- химико-технологическому,
- для нужд сельского хозяйства,
- сохранения равновесия в экосистемах.

В основном же добываемый торф идет как удобрение для сельского хозяйства, топливо для котельных и коммунально-бытовых потребителей. Необходимо обратить серьезное внимание на то, что торфяники в естественном состоянии являются регуляторами водного режима как рек, так и уровня грунтовых вод, выполняя роль легких Европы. Одновременно – это бесценные кладовые ресурсов. На торфяниках произрастают также лекарственные травы, обитают многие виды животных и птиц и т.д. При соответствующей организации работ по заготовке и производству древесного топлива и торфа, создания соответствующих инфраструктуры и оборудования по экспертной оценке [9] замещение импорта ТЭР могло бы достигнуть в период 2005–2010 гг. по древесно-топливному сырью 2,15–3,21 млн. т.у.т., по торфобрикетам и кусковому торфу – 3,0 млн. т.у.т.

Таким образом, поставленная задача удвоения потребления местных видов котельно-печного топлива к 2007г. вполне реальна при выделении инвестиций для создания соответствующей инфраструктуры и оборудования по добыче, подготовке и сжиганию биомассы, несмотря на наметившуюся тенденцию снижения потребления МВТ в последние четыре года. Кроме того, следует иметь в виду, что вложение требуемых инвестиций в расширенное использование МВТ требует комплексного технико-экономического обоснования с учетом технических, экономических, социальных и экологических факторов.

### **Литература**

1. Республиканская программа по энергосбережению на период до 2000г.
2. Республиканская программа энергосбережения на 2001–2005 годы.

3. Основные направления энергетической политики Республики Беларусь на период до 2010 года.
4. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 17 декабря 2002г. № 1820 “О дополнительных мерах по эффективному использованию топливно-энергетических ресурсов”.
5. Основные направления энергетической политики Республики Беларусь на 2001–2005 годы и на период до 2015 года.
6. Проект основных направлений энергетической политики Республики Беларусь на период до 2020 года.
7. Национальная безопасность Республики Беларусь. Современное состояние и перспективы. Мясникович М.В., Никитенко П.Г., Пузиков В.В. и др. – Мн., Право и Экономика. 2003.–562с.
8. Программа повышения уровня использования местных видов топлива, отходов производства, нетрадиционных источников энергии, 1996 год.
9. Возобновляемые источники энергии Беларуси: прогноз, механизмы реализации. Учебное пособие. В.Н. Ермашкевич, Ю.Н. Румянцева. – Мн. НООО “БИП–С”. 2004.–121с.

# **Энергетическое строительство**

## Снижение концентрации органических веществ в сточной воде по длине аэротенка

Аврутин О.А.

Белорусский национальный технический университет

Концентрация органических веществ в сточной воде, поступающей на очистные сооружения и выходящей из них – так называемый эффект очистки – один из главных критериев, характеризующих работу очистных сооружений. Основное количество загрязнений снимается во время прохождения биологической очистки, которая может проходить как в естественных, так и искусственных условиях. На крупных очистных станциях используются в качестве таких сооружений аэротенки, которые бывают различной конструкции. В данной работе речь идет об аэротенках-вытеснителях.

В настоящее время, когда актуальны вопросы энергосбережения, особенно в условиях Республики Беларусь, а расходы на электроэнергию для биологической очистки составляют около 60 % от общих эксплуатационных расходов, подачу воздуха на очистных сооружениях стремятся свести к минимуму. Это приводит к тому, что интенсивность аэрации существенно снижается. Как влияет недостаточная интенсивность аэрации на процессы очистки сточных вод в аэротенке-вытеснителе? Этот вопрос решено было изучить в условиях Минской очистной станции (МОС).

В контрольной секции аэротенков типовая система аэрации из фильтросных пластин была заменена на систему аэрации из волокнисто-пористого полиэтилена фирмы "Экополимир" (Харьков) в виде продольных труб диаметром 150 мм. В каждом

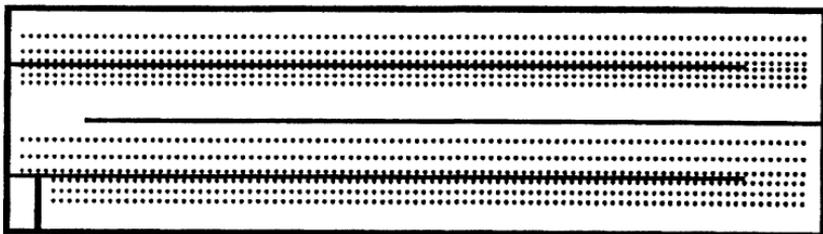


Рисунок 1. Схема расположения аэраторов третьей секции МОС

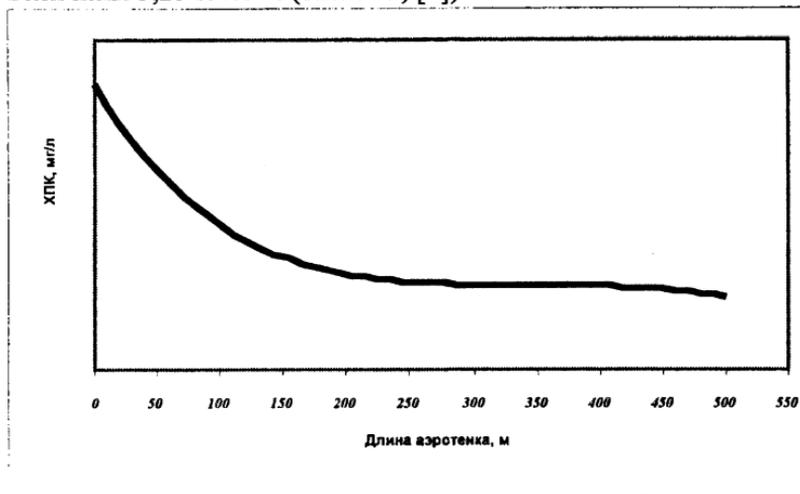
коридоре шириной 10 м уложено 3 плети. Расположение этих труб по коридорам представлено на рисунке 1. Размеры секции в плане – 40x125, таким образом площадь поверхности аэротенка составляет 5000 м<sup>2</sup>. Расход воздуха замерялся вихревым расходомером фирмы "Фотон" (Санкт-Петербург), который установлен на магистральном трубопроводе подачи воздуха в секцию.

Целью исследований явилась оценка снижения концентрации органических веществ поступающей по длине аэротенка с учетом фактического расхода подаваемого воздуха. Выполнен первый этап исследований – при расходе воздуха, сложившемся в процессе эксплуатации.

Концентрацию органических веществ можно контролировать по биохимическому потреблению кислорода (БПК) и химическому потреблению кислорода (ХПК). В зависимости от продолжительности инкубации пробы различают БПК<sub>5</sub> (анализ проводится 5 суток) и БПК<sub>полн</sub> (анализ проводится 20 суток). Таким образом, использование БПК в качестве оперативного контрольного показателя степени очистки сточных вод на станции в целом и по различным группам сооружений невозможно. Определение ХПК следует проводить арбитражным методом. Кроме него существует несколько ускоренных методов. С учетом проведенных исследований в качестве контрольного показателя выбран ХПК, определяемый по ускоренному методу. Для изучения процессов биологической очистки аэротенк был разбит на контрольные створы, которые располагаются друг от друга на расстоянии 50 м. Для определения времени прохождения поступившим объемом воды участка между контрольными точками была установлена взаимосвязь времени прохождения от поступающего расхода иловой смеси, определяемого на водосливе в конце секции, представленном тонкой стенкой.

После отбора пробы иловой смеси, для определения показателей качества очистки воды, выполнялось отделение очищаемой воды от активного ила для прекращения их контакта между собой и, соответственно, процессов очистки. Для этого в течение нескольких минут, отобранная проба отстаивалась, а надъиловая вода отбиралась для проведения анализа.

В период исследований температура окружающего воздуха изменялась в пределах  $-15^{\circ}\text{C} \div +10^{\circ}\text{C}$ . Температура сточных вод колебалась в пределах  $18,0 - 21,5^{\circ}\text{C}$ . За время нахождения в аэротенке температура иловой смеси снижалась в среднем на  $0,3 - 0,5^{\circ}\text{C}$ . Продолжительность нахождения иловой смеси в аэротенке колебалась в пределах  $3:13 - 4:46$  ч. Подача воздуха в секцию аэротенка варьировалась в пределах  $3000 - 5800 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Это соответствовало интенсивности аэрации не более  $0,6 - 1,16 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ , что в  $2,8 - 5,4$  раза ниже минимально допустимой величины  $3,25 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$  (табл. 43, [1]).



**Рисунок 2. Снижение ХПК по длине аэротенка**

Концентрация растворенного кислорода колебалась в пределах  $0 - 1,2 \text{ мг/л}$ , но чаще находилась в пределах до  $0,4 \text{ мг/л}$ . При интенсивности аэрации менее  $1,0 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$  концентрация растворенного кислорода на водосливе, как правило, была нулевой.

Концентрация органических загрязнений, оцениваемая по ХПК, в осветленной воде, подаваемой в аэротенк составляла  $150 - 380 \text{ мг/л}$ , а в биологически очищенной –  $40 - 60 \text{ мг/л}$  соответственно. Эффект очистки сточных вод по ХПК составил  $75 - 84\%$ . При этом резкое снижение ХПК (порядка  $55 - 60\%$ ) наблюдалось уже в первом коридоре аэротенка.

**Критерии оценки необходимости проведения денитрификации  
и мероприятий по дополнительному снижению  
содержания соединений фосфора в сточных водах**

**Ануфриев В. Н.**

**Белорусский национальный технический университет**

Проблемы, связанные с загрязнением природных водных объектов биогенными веществами, являются актуальными для Республики Беларусь. Значительная часть биогенных элементов, в том числе соединений азота и фосфора, поступают в водные объекты с очищенными сточными водами. В последнее время разрабатываются проекты реконструкции канализационных очистных сооружений с внедрением схем очистки с денитрификацией и удалением фосфора (Минск, Пинск), если учесть что на 205 поселений городского типа приходится 140 очистных сооружений /1/, очевидно, что осуществить строительство сооружений по доочистке сточных вод в короткие сроки повсеместно практически невозможно. Кроме того, в сравнении с эксплуатацией типовых сооружений биологической очистки обеспечение надежной работы сооружений с блоками денитрификации и удаления фосфора выдвигает новых ряд требований и соответственно требует больших затрат. В связи с чем возникает вопрос о критериях очередности строительства таких сооружений.

Решение данной задачи может быть основано на обращении к действующим нормативным документам, регламентирующим отведение сточных вод в природные водные объекты. Однако такой подход не приносит однозначных решений. По действующим нормам предельно допустимая концентрация азота аммонийного 2,0 мг/л, азота нитритного 3,3 мг/л, азота нитратного 45,0 мг/л для водных объектов культурно-бытового назначения. Концентрации фосфатов не нормируются /2/. В большинстве случаев при нормальной эксплуатации сооружений биологической очистки концентрации нитратов в очищенных сточных водах не превышают указанные выше величины, а проблемы возникают при недостаточной степени нитрификации и соответственно высокими значениями содержания аммонийных соединений в очищенных сточных водах.

Второй подход может быть основан на учете мощности очистных сооружений. Решения о очередности основываются на том, что в первую очередь система удаления фосфора и денитрификации вначале должна создаваться на самых крупных по производительности сооружениях и так далее. Такая программа логична, однако не учитывает ряд условий. Рассмотрим пример воздействия на водные экологические системы отведения сточных вод с примерно однотипных очистных сооружений различной производительности.

При отведении сточных вод с очистных сооружений мощностью 5000-6000 м<sup>3</sup>/сут. в реку Черница содержание фосфатов увеличивается 12-20 раз с 0,03-0,06 мг/л до выпуска и 0,8-1,15 мг/л ниже выпуска. В втором случае при отведении сточных вод с очистных сооружений мощностью 150000-160000 м<sup>3</sup>/сут в реку Сож содержание фосфатов увеличивается на 20-60% с 0,3-0,5 мг/л до 0,5-0,6 мг/л. Если учесть что р. Черница является притоком р. Плиса, и ниже по течению находятся несколько водохранилищ, в данной системе опасность эвтрофикации выше, чем для системы р. Сож. То есть мощность сооружений не может быть определяющим показателем, а должна учитываться наряду с другими, такими как коэффициент разбавления, скорость течения воды в водотоке после точки отведения сточных вод и т. д.

Еще один критерий, который должен учитываться экономическая эффективность. Учитывая, что природоохранная деятельность не приносит прибыли в привычном понимании этого термина, то в данном случае может применяться метод расчета основанный на снижении ущербов от отведения сточных вод. Существует методика Минприроды позволяющая оценить ущерб при сбросе тех или иных загрязняющих веществ в природные водные объекты со сбрасываемыми сточными водами /3/. Экономическим эффектом от проведения реконструкции очистных сооружений будет служить величина снижения такого ущерба за счет уменьшения концентраций биогенных соединений азота и фосфора в сбросах сточных вод. Формула для расчета срока окупаемости таких работ будет выглядеть следующим образом:

$$T = K / (\Delta U - \Delta C);$$

Т – срок окупаемости,

К – капитальные вложения для реализации мероприятий;  
руб.,

ΔУ – снижение ущерба за счет за счет уменьшения концентраций биогенов азота и фосфора в сбросах сточных вод; руб.,

ΔС – дополнительные эксплуатационные затраты при эксплуатации реконструированных сооружений; руб.

Соответственно оценка эффективности мероприятий осуществляется при анализе срока окупаемости средств, вложенных в реконструкцию.

Таким образом получают 3 группы критериев которые могли оценивать необходимость и очередность проведения работ по внедрению технологий доочистки сточных вод с целью снижения содержания биогенов:

- соответствие нормативным концентрациям загрязнителей в сточных водах;
- уровень воздействия на водные экологические системы при отведении сточных вод;
- экономическая эффективность.

### Литература

1. Состояние окружающей среды Республики Беларусь: Национальный доклад. Мн. 2001 «Лоранж-2» -96 с.
2. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения. Утвержденные Заместителем министра здравоохранения СССР. 1988. № 4630-88.
3. Методика подсчета убытков, причиненных государству нарушением водного законодательства. Утв. Министром природных ресурсов и охраны окружающей среды 06.01.1995 г. Сборник нормативных документов по вопросам охраны окружающей среды. Вып. 10, Минск 1995:181 с.

**Установка для обработки металлических поверхностей  
кавитирующими водополимерными струями**

Качанов И.В., Карпенчук И.В., Недбальский В.К.,  
Филипчик А.В.

Белорусский национальный технический университет

Задача использования струй воды высокого давления в исполнительных органах машин требует проведения разносторонних исследований направленных на изучение динамики и условий формирования струй, взаимодействия их с обрабатываемой поверхностью, включая создание струеформирующих устройств [1].

В промышленности, в основном применяются струи высокого давления, рабочей жидкостью которых является вода. В то же время, проведенными исследованиями установлено, что улучшению эффективности обработки способствует растворение в рабочей жидкости определенных веществ (например, полимеров), повышающих ее вязкость. При этом отмечается значительное снижение сопротивления трения в каналах и в насадке, повышение компактности струи. Установлено, например, что применение такого полимера, как полиакриламид (ПАА), обеспечивает повышение динамических характеристик струй и их разрушающей способности [2]. Эффективность обработки может быть повышена за счет использования двухфазных струй высокого давления. Одним из примеров таких струй являются кавитирующие струи, представляющие собой поток, содержащий парогазовые (кавитационные) пузырьки, выделяющиеся из жидкости при снижении давления. Для создания кавитирующих струй нами был разработан стенд, представленный на рис.1. Он состоит из бака 1 объемом 200 л; трех мембранных насосов 3 марки 7000 НА с номинальной мощностью на валу 2,0 кВт и максимальным рабочим давлением 24 МПа. Параллельное соединение насосов дает возможность изменять подачу в диапазоне от 5,6 до 16,8 л/мин и получать давление на входе в сопло свыше 10 МПа. Для измерений давления использовался индуктивный датчик давления ДД-10 и усилительная аппаратура типа ИД-2И. Стенд содержит также напорные линии 4 с регулируемыми дросселями 5, тройник 6 со штуцерным соединением,

манометр 7 для измерения давления на входе в сопло-кавитатор 8. Для того, чтобы изменять расход жидкости и режимы обработки используются кавитирующие сопла с различной площадью и формой поперечного сечения. С целью обеспечения детального исследования обработки металлическая поверхность 9 приводится во вращение при помощи электродвигателя 11. Бак 10 используется для измерения расхода объемным способом, а стержень 13 для регулирования расстояния от обрабатываемой пластины до сопла-кавитатора.

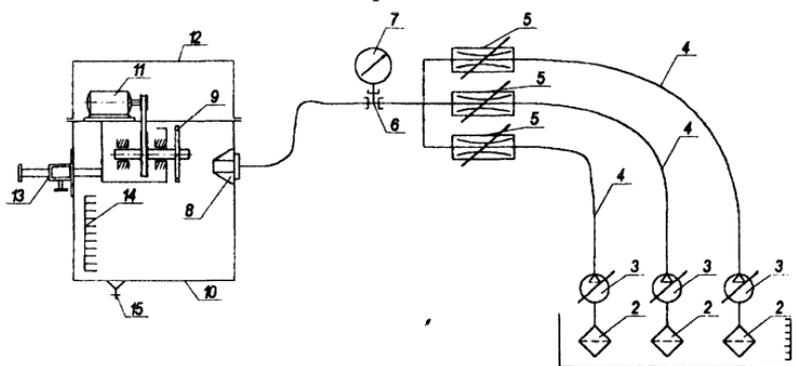


Рис. 1. Схема экспериментального стенда :

1-бак; 2-фильтры; 3-насосы высокого давления; 4-напорные линии; 5-регулирующие дроссели; 6-тройник со штуцерным соединением; 7-манометр; 8-сопло-кавитатор; 9-металлическая пластина; 10-бак для измерения расхода; 11-электродвигатель; 12-крышка бака; 13-регулирующее устройство; 14-шкала мерного бака; 15-сливной кран

В качестве рабочей среды были выбраны водные растворы бентонита с концентрацией 0,5 – 3%, и полиоксиэтилена концентрацией  $10^{-3}$  %. В качестве стабилизатора раствора применялись добавки кальцинированной соды концентрацией 0,5%. При прохождении рабочей жидкости через каналы важное значение имеет такое свойство как вязкость. Вязкость водного раствора бентонита и соды  $Na_2CO_3$ , а также бентонита, соды и полиоксиэтилена (ПОЭ) определялась вискозиметром типа ВУ. Определение вязкости проводилось при различных концентрациях бентонита в рабочей жидкости.

На основе проведенных исследований построена зависимость кинематического коэффициента вязкости  $\nu$  от концентрации бентонита  $C$ , (рис.2). Из анализа зависимости видно, что с увеличением концентрации бентонита более 4% вязкость рабочей жидкости резко увеличивается; добавление ПОЭ ( $C = 10^{-3}\%$ ) в водный раствор бентонита с содой  $Na_2CO_3$ , увеличивает вязкость рабочей жидкости в 1,1 – 1,6 раза; при изменении концентрации бентонита соответственно от 1 до 5% наблюдается стабилизация вязкости рабочей жидкости в интервале концентраций бентонита от 2 до 4%.

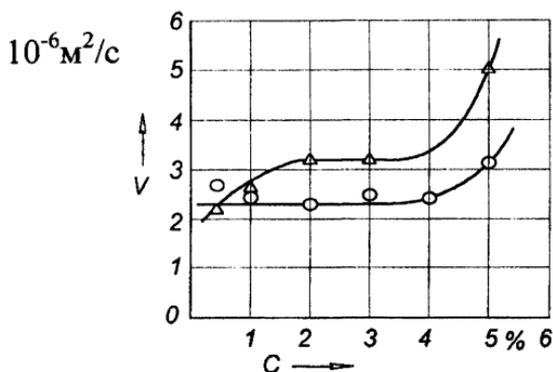


Рис. 2. Зависимость кинематического коэффициента вязкости  $\nu$  от концентрации бентонита  $C$ ;  $\Delta$  – водный раствор бентонита, соды  $Na_2CO_3$  и полиоксиэтилена ПОЭ ( $C=10^{-3}\%$ );  $O$  – водный раствор бентонита и соды  $Na_2CO_3$ .

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Разработан стенд для исследования воздействия кавитирующей многокомпонентной струи высокого давления на поверхностные слои металлических изделий.

2. Установлено влияние концентрации бентонита с содой и ПОЭ на кинематическую вязкость рабочей жидкости.

#### Литература

1. Г.П. Никонов, И.А. Кузьмин, Ю.А. Гольдин. Разрушение горных пород струями воды высокого давления. Москва 1986 г.
2. Патент RU №2155104 С1, МКИ 7В08В3/02, 3/04, В63В59/08, опубл. Бюл. №24, 27.08.2000.

## **Некоторые аспекты очистки нефтесодержащих сточных вод с применением полимерной фильтрующей загрузки**

Воронин А.Г., Грузинова В.Л.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время основной причиной загрязнения водных источников является сброс производственных сточных вод с повышенным содержанием вредных веществ в силу несовершенства существующих технологических схем очистки, а также физического износа основных сооружений.

Особую группу химических загрязнений представляют нефтепродукты, источниками которых являются сточные воды машиностроительных, нефтехимических, железнодорожных и других предприятий. Основная особенность сточных вод перечисленных предприятий заключается в том, что нефть и нефтепродукты содержатся в них в коллоидном и растворенном состоянии, в виде эмульсий и всплывшей пленки. Эта особенность затрудняет процесс удаления нефтепродуктов из сточных вод и вызывает необходимость использования комплексной системы очистки. Следует отметить, что в рассматриваемых сточных водах содержатся также суспензии различных взвешенных веществ. Однако очистка от последних вызывает меньшие трудности и обычно производится попутно с выделением эмульгированных частиц.

На предприятиях железнодорожного транспорта Республики Беларусь очистка сточных вод в основном производится по следующей схеме: отстаивание в нефтеловушке, контакт с реагентами и осветление на фильтрах. Более глубокое удаление нефтепродуктов при данной технологии осуществляется фильтрованием. В качестве фильтрующей загрузки используется активированный уголь, древесная стружка или опилки, кусковой кокс, керамзит, пенополиуретан, сипрон, стекловолокно, угольная ткань. Однако большой эффект очистки дают полимерные материалы благодаря более высокой поглощающей способности. Широкое внедрение таких материалов сдерживается недостаточным объемом их выпуска. Кроме того, основное внимание надо уделять изысканию сорбентов из дешевого сырья или производственных отходов, что и является целью данной работы.

На базе локомотивного депо Гомель, в системе очистки стоков которого применяется древесная стружка, был проведен сравнительный анализ использования загрузки на основе отходов предприятия «Химволокно». Материал представляет собой сетчатую ленту из полипропилена. При проведении испытаний в статических условиях эффект очистки сточных вод от нефтепродуктов с использованием полимерной загрузки увеличился примерно в два раза по сравнению с эффектом очистки с применением древесной стружки. Кроме того, древесная стружка не дает практически никакого эффекта очистки сточных вод от взвешенных веществ. Результаты исследований представлены в таблицах 1, 2.

**Таблица 1**

*Концентрации нефтепродуктов в сточных водах с использованием древесной стружки*

№ проб	Концентрация нефтепродуктов в воде, мг/дм <sup>3</sup>				
	Емкость смешения с реагентами	До фильтров	Эффект очистки, %	После фильтров	Эффект очистки, %
1	39,76	5,62	86	3,56	37
2	42,99	6,16	87	3,47	44

**Таблица 2**

*Эффект очистки нефтесодержащих сточных вод с применением полипропиленовой загрузки*

№ опыта	Концентрация нефтепродуктов, мг/дм <sup>3</sup>		Эффект очистки, %
	начальная	после фильтра	
1	16	4,1	74
2	10,5	3,7	65
3	10,5	2,6	75
4	5,2	2,1	60
5	8	2,2	72

При использовании древесной стружки в качестве фильтрующей загрузки происходит выделение фенолов, скипидарного масла и других вторичных загрязнителей, что приводит к до-

полнительному загрязнению воды. При использовании полимерного материала описанные негативные признаки будут отсутствовать.

При использовании полипропиленовой загрузки очистки сточных вод от нефтепродуктов происходит до концентраций, не превышающих предельно-допустимые значения при сбросе стоков в городскую канализацию. Кроме того, начальное содержание нефтепродуктов в сточных водах соответствует значениям загрязнений перед реагентной обработкой. То есть, при применении полимерной загрузки появляется возможность исключить реагентное хозяйство из схемы очистки. При этом уменьшается стоимость очистки сточных вод, упрощается эксплуатация очистных сооружений, облегчается проведение физико-химических исследований.

Эффективность процесса адсорбции зависит не только от свойств и количества сорбентов, но и от концентрации загрязнений. Чем выше концентрация вещества, тем больше его количество будет адсорбировано. Скорость процесса адсорбции обусловлена скоростью диффузии растворенного вещества к поверхности сорбента через жидкостную пленку, которая окружает сорбент и которая может быть увеличена перемешиванием. На скорость адсорбции также влияет скорость потока воды, температура, реакция среды. Так как адсорбция является реакцией изотермической и в ней имеет место снижение свободной энергии, то при понижении температуры степень адсорбции увеличивается. На скорость адсорбции также оказывает влияние реакция среды: в большинстве случаев снижение величины pH вызывает увеличение сорбции типичных органических веществ из сточных вод. Вещества, обладающие меньшей растворимостью, адсорбируются сильнее.

## Некоторые особенности применения модифицированных фильтрующих материалов

Михайлик Л.Г., Варган Н.Е.

Белорусский национальный технический университет

Источником водоснабжения городов и населенных пунктов РБ в основном являются подземные воды, отличающиеся нередко повышенными концентрациями железа и нуждающимися в связи с этим в предварительной подготовке перед подачей потребителю. В большинстве случаев обезжелезивание подземных вод осуществляется аэрационными методами, самым распространенным из которых является фильтрование с предварительной аэрацией.

Важнейшим рабочим элементом фильтров является фильтрующая загрузка, правильный выбор параметров которой имеет первостепенное значение.

Наиболее распространенными фильтрующими материалами обезжелезивающих фильтров является кварцевый песок, керамзит, антрацит, колотый гранитный щебень и др., приобретающие способность удалять железо из воды после их вработки, т.е. образования на поверхности зерен загрузки пленки из соединений железа, обладающей сорбционными и каталитическими свойствами и обеспечивающей стабильный эффект обезжелезивания воды. Период образования пленки зависит от свойств конкретной воды и может составлять от нескольких часов до нескольких дней и даже недель. В течение этого времени содержание железа в фильтрате постепенно уменьшается, достигая требуемых значений (менее 0,3 мг/л) к концу периода вработки.

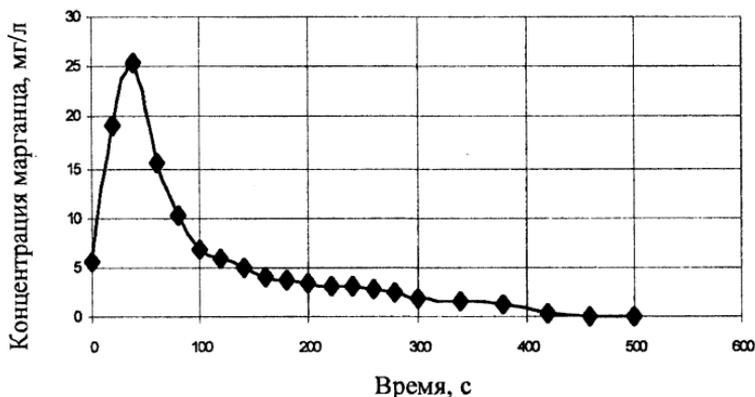
В последнее время появились зарубежные фильтрующие материалы, модифицированные нанесением на них заводским способом искусственной каталитической пленки – преимущественно из соединений марганца. К таким загрузкам относятся Greensand, Mandix, Birm, Filox, Pyrolox и др., способные окислять двухвалентное железо до трехвалентного с образованием его гидроксида. Большинство модифицированных материалов требует периодической регенерации перманганатом калия, некоторые, как, например, Birm успешно регенерируются только

обратной промывкой водой (при условии наличия в ней растворенного кислорода).

Модификации могут быть подвергнуты и традиционные фильтрующие материалы с помощью соответствующих реагентов. Для модификации кварцевого песка оксидами марганца может быть использован суточный контакт его с подщелоченным раствором перманганата калия, для модификации оксидами железа используют растворы сернокислого закисного железа и хлора. Известен способ модификации сульфоиугля, последовательно обрабатываемого растворами хлорида марганца и перманганата калия [1,2].

Исследования, проведенные на кафедре «Водоснабжение и водоотведение» БНТУ по обезжелезиванию воды фильтрованием через модифицированные материалы, показали их высокую эффективность. Установлено что обезжелезивание воды фильтрованием с использованием модифицированной загрузки Mandix практически не зависит от скорости фильтрования в интервале от 5 до 15 м/ч и может осуществляться длительное время с периодической промывкой обратным током воды.

Одновременно было установлено, что промывные воды, образующиеся в результате регенерации данной загрузки, существенно отличаются от таковых на станциях обезжелезивания с фильтрами, загруженными традиционными фильтрующими материалами. Так, промывные воды станций обезжелезивания подземных вод содержат железо до 1000 мг/л в зависимости от качества очищаемой воды и типа фильтрующей загрузки. При отстаивании промывных вод концентрация железа резко снижается в течение первого часа, затем процесс тормозится, и после 4, 6, 8, 12 и 24 часов концентрация железа составляет соответственно в среднем 25-35, 15-25, 8-12, 3-6 и 0,5-2 мг/л [3]. В промывной воде после промывки фильтра, загруженного модифицированной загрузкой Mandix, помимо железа в значительных концентрациях находится также марганец – от 6 до 12 мг/л. При этом осаждение соединений марганца протекает менее интенсивно, концентрация его через 4 часа отстаивания составляет 3 – 4 мг/л, а через 24 часа – 2 мг/л.



**Рис. 1. Изменение концентрации марганца в воде при промывке фильтра**

Таким образом, через рекомендуемые действующими нормами 4 часа отстаивания промывной воды концентрация железа, а также марганца еще слишком велика. При подаче такой воды в "голову" сооружений даже при двадцатикратном разбавлении получится значительная нагрузка на действующие фильтры. Это ещё более усложняет проблему возврата отстоенных промывных вод в голову сооружений станции обезжелезивания подземных вод и требует проведения дополнительных исследований для уточнения параметров функционирования сооружений по обороту промывных вод.

### Литература

1. Heidrich Z., Roman M., Tabernacki J., Zakrzewski J. Urządzenia do uzdatniania wody. Zasady projektowania i przykłady obliczeń. Warszawa, Arkady, 1987. Сооружения водоподготовки. Принципы проектирования и примеры расчетов.
2. Фрог Б.Н., Левченко А.П. Водоподготовка. М., Стройиздат, 1996.
3. Михайлик Л.Г. Отстаивание и оборот промывных вод на станциях обезжелезивания подземных вод. Информационный сборник «НТП ЖКХ» №4. Минск 2002 г.

## Тестирование реагентов для растворения кольматирующих отложений на фильтрах водозаборных скважин

Ивашечкин В.В., Кондратович А.Н.

Белорусский национальный технический университет

Прогноз качественного состава кольматанта по химическому составу подземной воды скважины и состоянию химического равновесия растворенных в воде солей недостаточен, так как, например, только железистая составляющая кольматанта может содержать такие минералы как гидрогётит, гематит, гётит, пирит, сидерит, сульфиды железа, для растворения которых требуются определенные реагенты.

Вид реагента и его необходимое количество для растворения кольматирующих отложений в фильтре и прифильтровой зоне скважины можно с достаточной точностью определить лабораторным путем после тестирования ряда реагентов на растворение образцов отложений, взятых непосредственно из скважины, намеченной для восстановительных работ.

Важно знать в какой мере химический состав отложений, взятых с водоподъемного оборудования, демонтируемого до реагентных обработок, соответствует составу отложений фильтра и прифильтровой зоны скважины.

Для сравнительного анализа использовались образцы отложений скв. № 8 г. Держинск, № 18 и № 19Б (в/з "Зеленовка"), № 7 (в/з "Водопой") г. Минска.

Получены следующие результаты. Химический состав образцов кольматанта скважины № 18 "Зеленовка" мало зависит от места взятия пробы по количеству окислов железа: 75,11% (соскоб с насоса), 79,51% (фильтр), но существенно отличается по количеству окислов марганца: 0,4% (фильтр), 1,7% (насос) и окислов кальция: 0,37% (фильтр), 0,74% (насос).

Минералогический состав отложений скважины № 18 (в/з "Зеленовка", проведенный на основе микроскопических исследований в иммерсионных жидкостях с удельным весом 1,64, показал, что кольматант фильтра представлен в основном гидрогётитом и, в меньшей степени, редкими зернами терригенных минералов (кварц, полевой шпат, глинистые агрегаты), которые интенсивного ожелезнены. Образец кольматанта с насоса этой

скважины состоит из окислов железа в ренгеноаморфном состоянии.

Химсостав отложений с водоподъемных труб и фильтра скважины № 8 водозабора г.Дзержинска по содержанию окислов железа в пробах практически одинаков (57,09% и 55,5%), однако есть существенные отличия по сульфатам  $\text{SO}_3$ : 1% – водоподъемные трубы и 11,8% – фильтр; окислам кальция  $\text{CaO}$ : 5,25% – водоподъемные трубы и 7,3% – фильтр.

В отложениях фильтра скважины № 7 водозабора «Водопой» г.Минска содержание окислов кальция  $\text{CaO}$  также в несколько раз превышает аналогичный показатель в отложениях, взятых с водоподъемной трубы, при примерном равенстве содержания окислов железа.

В отложениях фильтра скважины №19<sup>б</sup> водозабора «Зеленовка» при близких значениях оксидов железа (70% – фильтр и 59,23% – водоподъемные трубы) разница в содержании общей серы ( $\text{SO}_3$ ) значительно больше: (0,91% – фильтр и 0,15% – водоподъемные трубы).

Полученные сравнительные результаты химанализа проб показали, что качественно химический состав отложений, взятых с водоподъемного оборудования и фильтра скважины одинаков, наблюдаются отличия по количественному содержанию оксидов железа, кальция и сульфатов в сторону их увеличения в осадках на фильтре скважины.

Сравнительный минералогический анализ состава отложений показал, что кольматант взятый с насоса, в основном, состоит из оксидов железа в ренгеноаморфном состоянии, возраст которых определяется временем нахождения насоса в скважине до замены его другим насосом. В то же время, отложения на фильтре меняют во времени свою структуру, происходит их упрочнение, дегидратация и образование минералов.

Таким образом, для подбора реагента и определения его количества, необходимо проводить лабораторные исследования с кольматантом, взятым непосредственно из фильтра. Взятие пробы производилось газодинамическим методом при генерировании подводных взрывов водородно-кислородной газовой смеси и сбора кольматанта в специальной ловушке.

Для кольматанта скважины №18 (в/з «Зеленовка») тестировались основные реагенты, способные растворять железистые

отложения. Выявлялись наиболее эффективные, для которых определялась оптимальная концентрация, время обработки и количественный состав добавок.

Степень растворения кольматанта оценивалась по соотношению количества растворенного железа в различных реагентах и теоретически рассчитанного по уравнению соответствующей реакции. Кроме этого, учитывая сложный состав кольматанта, применялся второй вариант оценки степени растворения кольматанта – весовой метод. Этот метод заключался в сравнении веса кольматанта до взаимодействия с реагентом (реагентная ванна) и после реакции.

В опытах тестировались следующие реагенты: соляная кислота  $\text{HCl}$ , бисульфат натрия  $\text{NaHSO}_4$  (реагенты нейтрализаторы), дитионит натрия  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$  (реагент – восстановитель), триполифосфат натрия  $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$  (реагент – комплексообразователь), как наиболее сильные представители в своих группах.

Опыты показали следующее.

Дитионит натрия оказался неприемлемым из-за образования дополнительного осадка, вес которого превысил вес исходного вещества.

Триполифосфат натрия показал низкую эффективность растворения (10% для 8% раствора) даже после 70 часов обработки.

Бисульфат натрия обеспечил степень растворения (20 – 24)% кольматанта при обработке 8%-м раствором.

Для обработки была рекомендована соляная кислота концентрацией (15-20)% с добавками триполифосфата натрия со временем обработки (24-48) часов.

**Статистический анализ продолжительности работы скважин и факторов, влияющих на их старение**

Ивашечкин В. В., Шейко А. М.

Белорусский национальный технический университет

Целью статистического анализа работы скважин является выявления тех или иных факторов или закономерностей, включающих геологическое строение, конструкцию фильтра, гидрохимический состав подземных вод, режим эксплуатации, которые влияют с различной степенью интенсивности на продолжительность их работы.

Для оценки долговечности были проанализированы ликвидированные и действующие скважины 11 водозаборов г. Минска. Из 604 скважин, пробуренных с 1932 г до настоящего времени, 224 считаются полностью вышедшими из строя, остальные 380 скважин – действующими. Из 380 действующих, 337 скважин подвергались ремонту. Средний их возраст равняется 25,3 года, максимальный – 70 лет и минимальный – 6 лет. Остальные 43 скважины работают без ремонта. Средний их возраст 14,5 года, минимальный – 5 лет и максимальный – 42 года.

Скважины г. Минска каптируют воду из двух водоносных горизонтов: верхнего – днепровско-сожского водно-ледникового и нижнего – верхнепротерозойского (отложения валдайской серии). Эксплуатационные запасы подземных вод днепровско-сожского водно-ледникового водоносного горизонта более чем в 6 раз превышают запасы верхнепротерозойского горизонта. Поэтому на 11-ти водозаборах только 6% скважин каптируют воду из верхнепротерозойского водоносного горизонта.

По материалам УП «Минскводоканал» было проанализировано распределение по относительным частотам 224 полностью вышедших из строя скважин, пробуренных в 1932 – 1995 гг. Наиболее близкой к истине оказалась модель распределения гамма функции. Это позволяет предполагать наличие единого закона гамма распределения долговечности скважин, что дает возможность делать прогноз их долговечности. При этом установлено, что основное число вышедших из строя скважин имеет глубину менее 100 м и долговечность их не превышает 20 лет,

максимальное значение удельного дебита составляет  $40 \text{ м}^3/\text{ч}\cdot\text{м}$ , среднее  $18 \text{ м}^3/\text{ч}\cdot\text{м}$  и минимальное  $1 \text{ м}^3/\text{ч}\cdot\text{м}$ .

Согласно проанализированным данным, основными причинами выхода из строя скважин являются кольматация и пескование фильтров. В результате пескования наблюдался износ насосного оборудования.

При анализе зависимости первоначального удельного дебита и продолжительности работы ликвидированных скважин, наблюдается общая тенденция увеличения долговечности при высоком первоначальном удельном дебите.

Для изучения взаимосвязи долговечности скважин и наиболее широко применяемых типов фильтров были проанализированы полностью вышедшие из строя скважины и скважины, продолжающие работать после ремонта.

Результаты анализа показывают, что наибольшую долговечность имеют скважины, оборудованные сетчатыми, проволочными с гравийной обсыпкой и каркасно-стержневыми с гравийной обсыпкой фильтрами. Наблюдаемые ряды долговечности имеют в основном гамма и логнормальный законы распределения с наиболее вероятностными долговечностями соответственно (20-30) лет для сетчатых фильтров, (20-25) лет для фильтров проволочных с гравийной обсыпкой и каркасно-стержневых с гравийной обсыпкой.

Несмотря на полученную относительно высокую долговечность сетчатых фильтров, следует иметь в виду, что эти фильтры из – за малых отверстий сетчатого полотна могут работать долгое время без пескования, но с низкими удельными дебитами. Уменьшение производительности сетчатых фильтров также объясняется и тем, что они имеют большие входные сопротивления, быстро разрушаются под влиянием электрохимической коррозии и под действием агрессивных вод. Таким образом, применение сетчатых фильтров повышает себестоимость добываемой воды и снижает эффективность использования водоносного горизонта.

Химический состав подземных вод также влияет на долговечность скважин. Склонность воды выделять осадок карбоната кальция или растворять его определяется индексом насыщения, предложенным Ланжелье (J) и показателем Ризнера (Ri). Уста-

новлено, что при  $R_i < 7,0$  воды всегда склонны к выделению кольматирующих образований.

Состав подземных вод исследовался по данным химических анализов, выполняемых в УП «Минскводоканал», по 317 скважин 11-ти водозаборов г. Минска. Химический состав подземных вод гидрокарбонатный кальциево-магниевый, минерализация изменяется от 104 до 749 мг/л.

Индекс насыщения  $J$  в изучаемой воде находится в пределах  $-0,65 \div +0,39$ , показатель Ризнера колеблется от 7,12 до 8,76. При таких значениях индекса насыщения и показателя Ризнера воды способны кольматировать фильтры и прифильтровые зоны скважин главным образом соединениями железа и в меньшей степени солями жесткости. Это подтверждается исследованиями состава кольматирующих отложений.

Значение рН исследуемой воды находится в пределах 7,15 – 8,4. При таких значениях рН закисное железо мигрирует в ионной форме. Но трехвалентное железо будет в форме коллоида или преимущественно даже в виде суспензии, поскольку коагуляция коллоидальной гидроокиси железа в зависимости от солевого состава воды происходит при  $pH = 6 - 7$ . Процесс кольматации фильтров соединениями железа будет идти только в окислительной обстановке при наличии в водах кислорода, необходимого для перевода иона железа в трехвалентную форму.

Содержание сульфатов в подземных водах изменяется в пределах от 0,11 до 98 мг/л. Это указывает на то, что воды по отношению к сульфатам является слабоагрессивной ( $< 300$  мг/л). Содержание в воде сульфатов предполагает выделения осадка на фильтрах в виде малорастворимого сульфата кальция  $CaSO_4$ , а также при наличии сульфатредуцирующих бактерий еще и образование сульфидов железа.

Процессы химического кольматажа, происходящие в прифильтровых зонах скважин, интенсифицируются деятельностью железо-, марганцевых и сульфатредуцирующих бактерий. Для развития этих бактерий необходимо чтобы величина рН находилась в пределах 5,4 – 7,2, содержание железа  $Fe^{2+}$  должно находится в пределах 1,6 – 12,0 мг/л. Подземная вода должна содержать углекислоту.

**Интенсификация процессов растворения  
высокомолекулярных флокулянтов, применяемых  
для очистки промышленных сточных вод**

Лебян Ю.П., Вабищевич И.Г.

Белорусский национальный технический университет

Для очистки стоков промышленных предприятий от взвешенных мелкодисперсных частиц и осветления сточных вод в настоящее время широко применяются флокулянты, которые резко интенсифицируют процесс флокуляции твердых частиц и осветления жидкой фазы. Наиболее эффективными являются синтетические высокомолекулярные вещества, одним из самых распространенным среди которых является полиакриламид (ПАА).

Растворы ПАА широко применяются для очистки промывных вод при обогащении сырья горной промышленности, таких как каменный уголь, каменная соль, песок, гравий, глина, сильвинит, а также для обезвоживания и уплотнения коммунальных и промышленных осадков сточных вод (центрифуги, ленточные прессы, камерные пресс-фильтры и т. д.).

Осаждение глинистых шламов на калийных комбинатах осуществляется в шламовых сгустителях из пульпы, жидкая фаза которой представляет собой насыщенный по  $KCl$  и  $NaCl$  водный (маточный) раствор.

Для флокуляции глинистых шламов и осветления оборотного маточного раствора на сильвинитовых обогатительных фабриках ПО «Беларуськалий» (г. Солигорск, Республика Беларусь) используется флокулянт Праестол, раствор которого готовится в разработанной установке оригинальной конструкции по специальной технологии. Введение в шламово-глинистую пульпу водного раствора флокулянта приводит к разбавлению насыщенного хлоридами маточного раствора, в результате чего снижается извлечение хлорида калия и повышается себестоимость производящихся калийных удобрений.

Основным вопросом при выборе аппарата для перемешивания суспензии ПАА является определение условий, обеспечивающих отсутствие осадка на днище аппарата. Зависимости, описывающие процесс подъема частиц из осадка, как правило,

отражают соотношение между осреднёнными или пульсационными скоростями потока и скоростью осаждения частиц.

Обычно рассматривается баланс сил, действующих на одиночную частицу, а концентрация твёрдой фазы в суспензии вообще не учитывается, так же, как не учитывается высокая адгезия поверхности набухающей частицы, которая приводит к образованию больших комьев частиц, возникающих в результате прилипания их к днищу и стенкам аппарата, а также к слипанию их между собой.

Попытки осуществить приготовление растворов высокомолекулярных флокулянтов на маточном растворе, заменив им воду, не дают положительного результата, так как при этом резко возрастает длительность процесса растворения и его энергоёмкость, а также происходит высаливание макромолекул полиакриламида (ПАА). С целью снижения объёмов пресной технической воды, подаваемой вместе с растворённым в ней флокулянтом в технологический процесс сгущения, был разработан двухстадийный процесс растворения порошкообразного ПАА.

На первой стадии растворения на пресной воде готовится концентрированный раствор с концентрацией 1,5-2,0% с использованием разработанного способа "статического" растворения, позволяющего прекращать перемешивание находящегося в ёмкости мешалки объёма сразу же после завершения стадии загрузки флокулянта, осуществляемой с помощью специального дозирующего устройства, позволяющего за 0,2-0,3 часа подать в процесс растворения 350-400 кг флокулянта.

По мере возрастания концентрации раствора в ёмкость мешалки необходимо подавать воду. Заполнение ёмкости мешалки необходимым количеством воды осуществляется дискретно, вода подаётся несколькими порциями. В момент подачи очередной порции воды включается механизм перемешивания, который распределяет поступающую воду по всему объёму находящегося в ёмкости мешалки раствора.

Длительность всего цикла приготовления концентрированного раствора составляет 2,0-2,5 часа. При этом длительность работы механизма перемешивания не превышает 0,2-0,3 часа. Существенное сокращение длительности перемешивания не только значительно снижает энергоёмкость процесса растворе-

ния, но и повышает качество приготовленного концентрированного раствора за счёт уменьшения степени деструкции.

Приготовление раствора рабочей концентрации совмещается с транспортировкой концентрированного раствора к накопительной ёмкости. В процессе перекачки концентрированного раствора разбавляется маточным раствором по двухстадийной технологии в специальном двухступечатом устройстве разбавления. В первой ступени концентрация раствора понижается до 0,5-0,7%, а во второй ступени - до 0,1%. Раствор рабочей концентрации (0,1%) поступает в накопительную ёмкость, откуда по мере необходимости подаётся в шламовые сгустители. Эксплуатирующиеся на двух сельвинитовых фабриках ПО "Беларуськалий", разработанные в Белорусском национальном техническом университете установки приготовления имеют по две мешалки объёмом 30 м<sup>3</sup> каждая, что позволяет готовить в течение 3-4 часов до 60 м<sup>3</sup> концентрированного раствора, который при разбавлении позволяет получить до 1200 м<sup>3</sup> раствора рабочей концентрации высокого качества с минимальным разбавлением маточного раствора пресной водой. Весь цикл приготовления и подачи в технологический процесс раствора флокулянта осуществляется в автоматическом режиме. Управление установкой осуществляет компьютер.

### Литература:

1. Аксельруд Г.А., Молчанов А.Д. Растворение твердых веществ. – М.: Химия, 1977. – 272 с., ил.
2. Вейцер Ю.И., Минц Д.М. Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки природных и сточных вод. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1984. – 200 с., ил. – (Охрана окружающей среды и природных ресурсов).

**Применение устройств циклонного типа  
при очистке воздуха в системах ГДЗС**

Карпенчук И.В., Кузнецов А.В., Стешин А.Е.  
ГУО «Командно-инженерный институт»  
МЧС Республики Беларусь

Дым представляет собой аэрозоль, состоящий из мелкодисперсных частиц и образующийся жидкими, газообразными и твердыми продуктами горения в результате их неполного сгорания.

Дым уменьшает видимость, тем самым он может задержать эвакуацию людей, находящихся в помещении, что может привести к воздействию на них продуктов сгорания, причем в течение недопустимо длительного периода времени. Применение длинно-рукавных систем при очистке воздуха на пожарах связанных с горением веществ, выделяющих крупные взвешенные в воздухе, частицы, имеет ряд недостатков.

Любая работа спасательных подразделений по тушению пожаров в задымленной атмосфере проводится с применением средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения, однако дым снижает видимость и ухудшает условия ориентации личного состава. В связи с этим предполагается, что для повышения эффективности проведения работ по обнаружению и тушению пожара, необходимо улучшить условия видимости на месте проведения работ. С целью уменьшения количества дыма и сокращения времени разворачивания техники предложен способ очистки воздуха с помощью устройства типа циклона установленного непосредственно за дымососом, находящегося на вооружении отделений ГДЗС.

Целью данной работы является оптимизация конструкции улитки циклона при помощи расчета условий движения частиц дыма в потоке с постоянной скоростью.

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.

Схема течения в физической плоскости  $z=x+iy$  представлено на рис.1. Ставится задача нахождения координат криволинейной границы улитки BN из условия постоянства местной скорости  $U_B$  вдоль нее. Такое условие обеспечивает теоретически максимальную эффективность работы рассматриваемой конструкции устройства при минимизации гидравлических потерь [2].

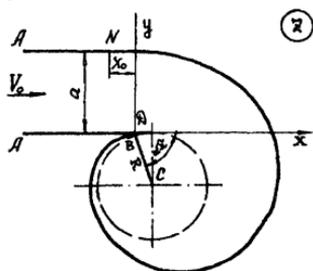


Рис.1. Схема течения в физической плоскости

В области комплексного

потенциала  $w=y+i\psi$  рассматриваемой области течения соответствует полоса шириной  $q = \frac{g}{\alpha} \cdot a$

где:  $g$  - скорость в подводе.

Решение ищется во вспомогательной плоскости, в качестве которой выберем верхнюю полуплоскость комплексного переменного  $t = \zeta + i\xi$ .

Решение данной смешанной краевой задачи осуществляется с помощью формулы Келдыша-Седова. Интегрируя область комплексного потенциала на участке BN и разделяя действительную и мнимую части, получим расчетные формулы для оптимальных координат улитки спирального подвода:

$$\frac{x}{\alpha} = -\frac{1}{\pi} \left( \frac{\sqrt{d+b} + \sqrt{1+d}}{\sqrt{1-b}} \right)^{2\alpha} \cdot \left( \frac{\sqrt{b+1}}{\sqrt{1-b}} \right)^4 \int_{\epsilon}^{t < 1} \cos \theta \frac{dt}{t} \quad (1)$$

$$\frac{y}{\alpha} = -\frac{1}{\pi} \left( \frac{\sqrt{d+b} + \sqrt{1+d}}{\sqrt{1-b}} \right)^{2\alpha} \cdot \left( \frac{\sqrt{b+1}}{\sqrt{1-b}} \right)^4 \int_{\epsilon}^{t < 1} \sin \theta \frac{dt}{t} \quad (2)$$

и координаты точки начала спирали N:

$$\frac{x_D}{\alpha} = -\frac{1}{\pi} \left( \frac{\sqrt{d+\varepsilon} + \sqrt{1+d}}{\sqrt{1-\varepsilon}} \right)^{2\alpha} \cdot \left( \frac{\sqrt{\varepsilon+1}}{\sqrt{1-\varepsilon}} \right)^4 \int_{\varepsilon}^1 \cos \theta \frac{dt}{t}, \quad (3)$$

Получаем соотношение для геометрических размеров относительного радиуса циклона

$$\frac{R_B}{\alpha} = -\frac{1}{\pi} \left( \sqrt{d+\varepsilon} + \sqrt{1+d} \right)^{2\alpha} \cdot \left( \sqrt{\varepsilon+1} \right)^4 \times \\ \times \int_0^{\varepsilon} \frac{t(d+t)^{\alpha} dt}{\left( \sqrt{\varepsilon(1-t)} \cdot \sqrt{\varepsilon-t} \right)^4 \cdot \left( \sqrt{(1+\varepsilon)(1-t)} + \sqrt{(\varepsilon-t)(d+\varepsilon)} \right)^{2\alpha}}. \quad (4)$$

Для участка ДС ( $-d < t < 0$ ) получаем аналогичное соотношение:

$$\frac{R_D}{\alpha} = -\frac{1}{\pi} \left( \sqrt{d+\varepsilon} + \sqrt{1+\varepsilon} \right)^{2\alpha} \cdot \left( \sqrt{\varepsilon+1} \right)^4 \times \\ \times \int_{-d}^0 \frac{t(d+t)^{\alpha} dt}{\left( \sqrt{\varepsilon(1-t)} + \sqrt{\varepsilon-t} \right)^4 \cdot \left( \sqrt{(d+t)(1-t)} + \sqrt{(\varepsilon-t)(d+1)} \right)^{2\alpha}}. \quad (5)$$

Если улитка спирального подвода выполнена не пространственной, а плоской то  $R_B = R_D = R$ , где  $R$  – радиус циклона.

Расчет параметров циклона с оптимальными параметрами для очистки воздуха от продуктов сгорания размерами 1 – 10 мкм осуществляется численными методами на ЭВМ.

Данная методика расчета дымоулавливающих устройств позволит обеспечить следующие условия эксплуатации:

- очистку атмосферы с высокой задымленностью до 40 – 150 г/м<sup>3</sup>;

- снижение в составе атмосферы содержание опасных для человека частиц дыма размером 1 – 10 мкм;

- работу звена ГДЗС при температуре не менее 200° С;

- улавливание частиц дыма (сажи) из газов с высоким содержанием водяных паров (20 – 200 г/м<sup>3</sup>) при наличии в них серного и сернистого ангидрида, тяжелых углеводородов, окислов азота, углерода.

**Обобщенная формула для расчетов гидромеханических процессов водоочистки: осаждения, псевдоожижения и фильтрации**

Кравцов А.М.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время прогресс в области проектирования очистных сооружений все в большей мере зависит от качества методик расчетов. Это связано с тенденцией по замене экстенсивных технологий очистки на интенсивные с применением малогабаритных установок. Очевидно, расчеты и оптимизация таких установок могут быть выполнены, если известны общие закономерности хода гидромеханических процессов водоочистки.

До настоящего времени в проектных организациях при расчетах сооружений водоочистки используются рекомендации, изложенные в нормативных документах (например, в СНиП 2.04.02-84). Как правило, такие рекомендации имеют приближенный характер и не позволяют оптимизировать расчеты. Так для расчетов отстойников используются несовершенные методики, основанные на трех эмпирических формулах Стокса, Аллена-Блазиуса и Ньютона или на так называемой "Таблице гидравлической крупности". То же самое можно сказать и о рекомендациях для расчетов скорых зернистых фильтров.

Анализ состояния исследований процессов свободного и стесненного осаждения и взвешивания тел в жидкостях, псевдоожижения зернистых слоев восходящим потоком воды, фильтрации однородных жидкостей в плотных зернистых средах, гидротранспорта зернистых материалов и т.д. показал, что за последние десятилетия в результате исследований ряда ученых получены обширные экспериментальные данные. Также предложено множество эмпирических расчетных формул, которые, однако, имеют свои недостатки и не выявляют общих закономерностей. В единой взаимосвязи эти процессы впервые стали рассматривать Д.М. Минц и С.А. Шуберт. В продолжение исследований в этом направлении другими учеными были получены общие формулы, которые, однако, являются громоздкими для практического применения и требуют более глубокого теоретического обоснования.

Все эти результаты послужили основой для проведения нами дальнейших исследований. При исследованиях процессов осаждения и взвешивания тел в жидкостях, псевдооживления зернистых слоев восходящим потоком воды и фильтрации жидкости в плотных зернистых средах ставилась задача не только получения очередной формулы для расчета того или иного процесса. Все указанные процессы рассматривались в единой взаимосвязи. В результате компьютерной обработки большого количества опытных данных и анализа существующих зависимостей с использованием положений теории подобия и анализа размерностей удалось получить новую формулу, конструкция которой позволяет производить расчеты исследованных процессов в широком диапазоне и с высокой точностью. Формула имеет безразмерный вид и включает критерии подобия, что помогает проследить влияние различных сил и лучше понять физическую природу явления. В общем случае формула имеет вид

$$\text{Re} = \frac{\frac{4}{3} \text{Kг} \varepsilon_1}{\frac{a}{\varepsilon_2} + b \sqrt{\frac{4}{3} \text{Kг}}}, \quad (1)$$

где: Re – критерий Рейнольдса; Kг – сложный критерий, учитывающий дополнительные силы, определяющие процесс;  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  – безразмерные параметры, характеризующие влияние формы тел и условий стеснения;  $a$  и  $b$  – постоянные коэффициенты.

В (1) Kг,  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  для различных случаев следующие:

свободное осаждение и взвешивание одиночных шаров

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 1, \quad \text{Kг} = \frac{d_w^3 \Delta \rho \rho g}{\mu^2} = \text{Ar} - \text{критерий Архимеда};$$

стесненное осаждение и взвешивание одиночных шаров

$$\varepsilon_1 = \left(1 - \frac{d_w^2}{D^2}\right), \quad \varepsilon_2 = \left(1 - \frac{d_w}{D}\right)^2, \quad \text{Kг} = \frac{d_w^3 \Delta \rho \rho g}{\mu^2} = \text{Ar};$$

псевдооживление зернистых слоев и осаждение взвесей

$$\varepsilon_1 = \left(1 - \frac{3}{2} \beta c\right), \quad \varepsilon_2 = \left(1 - \sqrt{\frac{3}{2} \beta_0 c}\right)^2, \quad \text{Kг} = \frac{d_w^3 \rho^2 g \Delta \rho_c}{\mu^2 \rho_c} = \text{Ar};$$

фильтрация воды через плотную зернистую среду

$$\varepsilon_1 = \left(1 - \frac{3}{2} \beta c\right), \quad \varepsilon_2 = \left(1 - \sqrt{\frac{3}{2} \beta_0 c}\right)^2, \quad \text{Kг} = \frac{d_w^3 \rho^2 g I C}{\mu^2} = \text{Gal} C, \quad C = \frac{(1-c)}{c}, \quad \text{Gal} -$$

критерий Галилея,  $I$  – гидравлический уклон.

Поиск формулы (1) осуществлялся от наиболее простого случая свободного осаждения одиночных шаров в жидкости. С использованием положений теории подобия и анализа размерностей исходная зависимость, включающая пять размерных переменных ( $v_{ш}$  – скорость установившегося движения шара,  $d_{ш}$  – диаметр шара,  $\rho$  и  $\mu$  – плотность и кинематический коэффициент вязкости жидкости,  $G_{эф}$  – эффективный вес шара), была приведена к функциональной зависимости между критерием Рейнольдса  $Re$  и критерием Архимеда  $Ar$ . Это позволило упростить поиск аналитической зависимости, описывающей исследуемый процесс.

Анализ показал, что формула (1) для случая свободного осаждения одиночного шара в предельных случаях трансформируется в формулу Стокса (при  $Ar \rightarrow 0$ ) и формулу Ньютона (при  $Ar \rightarrow \infty$ ), что доказывает корректность полученной формулы и применимость ее в диапазоне действия этих формул.

При переходе к более сложным случаям выявлялось влияние различных условий на ход исследуемых процессов. Так условия стеснения учтены через отношение диаметров шара  $d_{ш}$  и сосуда  $D$  в случае стесненного осаждения одиночных шаров, или через объемную концентрацию частиц  $c$  в случаях псевдооживления зернистых слоев и фильтрации жидкости в зернистых средах. При обтекании водой частиц произвольной формы появляются коэффициенты  $\beta$  и  $\beta_0$ , характеризующие форму частиц диаметром  $d_c$  по отношению к форме эквивалентного шара.

В ходе исследований определены значения постоянных коэффициентов в формуле (1) для случаев свободного и стесненного осаждения шаров, псевдооживления зернистых слоев и фильтрации жидкости в зернистых средах, как для частиц естественных наносов (песок и гравий), так и частиц дробленых материалов (антрацит и керамзит). Сопоставления расчетных и опытных данных дали хорошие результаты. При этом относительные погрешности между расчетными и опытными значениями не превысили 5 %.

## Определение площади поперечного сечения водосливной плотины криволинейного очертания

Коревицкий Г.А.

Белорусский национальный технический университет

В практике гидротехнических расчетов приходится часто сталкиваться с подсчетами площадей поперечного сечения водосливных плотин криволинейного очертания. Эти подсчеты необходимы, например, для определения собственного веса плотины, при статическом расчете, или для определения объемов бетонных работ.

Для подсчета площади, на миллиметровой бумаге в масштабе вычерчивается расчетная секция плотины, поперечный профиль разбивался на ряд простых геометрических фигур, площади которых затем суммируются. При этом, чем точнее необходимо подсчитать площадь, тем сильнее надо разбивать плотину на элементарные фигуры, что затрудняет вычисления.

Упростить эту задачу, можно представив криволинейную поверхность в виде кривой описываемой математической функцией и используя геометрический смысл двойного интеграла в прямоугольных координатах – подсчет площади.

Для нахождения кривой, описывающей водосливную поверхность с профилирующим напором  $H$ , воспользуемся методами математической статистики (рис. 1).

Как видно функция

$$y = (1/H) 0,3095x^2 + 0,0106x - H 0,0256$$

достаточно хорошо описывает криволинейную поверхность безвакуумного профиля, коэффициент аппроксимации  $R^2$  весьма близок к единице.

Геометрический смысл двойного интеграла  $\iint_D f(x, y) dx dy$

при  $f(x, y) = 1$  равен площади области  $D$ , т.е.

$$S_D = \iint_D dS = \iint_D dx dy$$

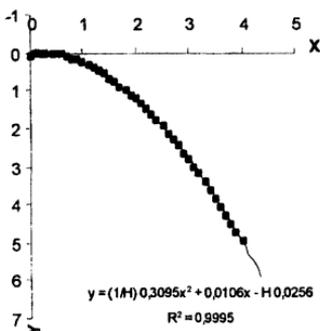
Найдем площадь поперечного сечения плотины, для этого зададимся граничными условиями (Рис. 2). Сверху область  $D$  ограничивает линия  $y = (1/H) 0,3095x^2 + 0,0106x - H 0,0256$ .

Снизу область D ограничена прямой  $y=T-H$ ;  
 где  $T$  – удельная энергия верхнего бьефа (без учета скорости потока);

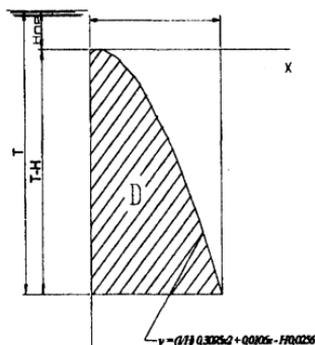
$H$  – профилирующий напор.

Со стороны напорной грани водослива (слева) область D ограничена линией  $x=0$ .

Справа область D ограничена линией  
 $T-H = (1/H) 0,3095x^2 + 0,0106x - H 0,0256$



**Рис.1** Криволинейная поверхность безвакуумного профиля



**Рис.2** Определение площади области D

Для нахождения ограничения справа необходимо решить полное квадратное уравнение

$$T-H = (1/H) 0,3095x^2 + 0,0106x - H 0,0256;$$

$$(1/H) 0,3095x^2 + 0,0106x - H 0,0256 - T + H = 0;$$

$$(1/H) 0,3095x^2 + 0,0106x + H 0,974 - T = 0;$$

найдем дискриминант

$$D = 0,0106^2 - 4 \cdot \frac{1}{H} \cdot 0,3095 \cdot (0,974 - T) = 0,0001 - 1,24 \cdot \frac{T}{H} + 1,21;$$

окончательно

$$D = 1,24 \cdot \frac{T}{H} - 1,21$$

Тогда корни уравнения можно определить из выражения

$$x = \frac{-0,0106 \pm \sqrt{1,24 \cdot \frac{T}{H} - 1,21}}{2 \cdot \frac{1}{H} \cdot 0,3095} = \frac{-0,0106 \pm \sqrt{D}}{2 \cdot \frac{1}{H} \cdot 0,3095};$$

или

$$x = H \left( -0,017 \pm 1,61 \sqrt{1,24 \cdot \frac{T}{H} - 1,21} \right).$$

Значение  $x$  для решения поставленной задачи может быть только положительным

$$x = H \left( -0,017 + 1,61 \sqrt{D} \right).$$

Таким образом, справа область  $D$  ограничена линией

$$x = H \left( -0,017 + 1,61 \sqrt{D} \right).$$

Определим площадь  $D$

$$S = \iint_D dx dy = \int_0^{H(-0,017+1,61\sqrt{D})} dx \int_{(1/H)0,3095x^2 + 0,0106x - H0,0256}^{T-H} dy$$

обозначим  $\vartheta = H \left( -0,017 + 1,61 \sqrt{D} \right)$

$$S = \int_0^{\vartheta} (T - H - ((1/H)0,3095x^2 + 0,0106x - H0,0256)) dx.$$

Взяв интеграл, можно определить площадь поперечного сечения водосливной плотины криволинейного очертания.

$$S = -\frac{1}{H} 0,3095 \frac{\vartheta^3}{3} - 0,0106 \frac{\vartheta^2}{2} + \vartheta(T - 0,974H).$$

Таким образом, подставив в полученную формулу значения профилирующего напора и удельной энергии ВБ можно получить значения площади поперечного сечения водослива криволинейного очертания без учета конструктивных элементов плотины (консоль, зуб и т.п.).

**Оценка влияния гидрогеологических параметров  
на структуру водопритоков к водозаборам подземных вод  
методом математического моделирования**

Михневич Э.И., Рыженкова Е.Г.

Белорусский национальный технический университет

Для количественной оценки влияния отдельных факторов на структуру баланса эксплуатационных запасов подземных вод и ее изменения при интенсивном водоотборе было разработано несколько геофильтрационных математических моделей, позволяющих моделировать работу водозаборов в однослойных и многослойных пластах. На модели рассматривалось влияние таких факторов, как гидрогеологические параметры водоносных горизонтов и разделяющих слабоводоносных прослоев – вертикальная и горизонтальная проводимости, гравитационная и упругая емкости; граничные условия в плане и разрезе – инфильтрационное питание, речная сеть и ее плотность; заиленность русловых отложений, транзитный расход естественного потока, изменение условий инфильтрации атмосферных осадков, дренирования и питания грунтовых вод речной сетью в разрезе гидрологического года и др.

В условиях месторождений, соответствующих рассматриваемой геофильтрационной схеме (неограниченный в плане водоносный комплекс, включающий эксплуатируемый и подпитывающие водоносные горизонты, разделенные слабоводоносным прослоем), эксплуатационные запасы формируются преимущественно за счет сработки гравитационной емкости подпитывающих горизонтов и в значительной степени упругой емкости эксплуатационного горизонта.

Следует отметить, что на структуру эксплуатационных запасов не оказывают влияние проводимости смежных пластов и величина водоотбора. В то же время структура запасов существенно зависит от вертикальной проводимости разделяющего слабоводоносного прослоя и соотношения емкости подпитывающего горизонта и упругой емкости эксплуатационного пласта. Влияние вертикальной проводимости разделяющего слабоводоносного прослоя на структуру эксплуатационных запасов изучено в широком диапазоне изменения значений

рассматриваемого параметра  $G=0,001;0,0001;0,00001$ . При вертикальной проводимости разделяющего прослоя  $G=0,001$  эксплуатационные запасы формируются практически с начального момента времени за счет сработки емкостных запасов подпитывающего водоносного горизонта.

Уменьшение вертикальной проводимости разделяющего слоя на порядок приводит к возрастанию в структуре запасов роли упругой емкости эксплуатируемого горизонта. Однако через 1 – 2 месяца роль упругих запасов снижается до 1 – 2%. При дальнейшем уменьшении вертикальной проводимости на два порядка сохраняется тенденция увеличения роли упругих запасов эксплуатируемого водоносного горизонта. Однако в рассматриваемом случае через 2-3 года работы водозабора роль упругих запасов эксплуатируемого водоносного горизонта снижается до 1,2 – 1,5%.

Что касается изучения влияния на структуру эксплуатационных запасов емкости подпитывающих горизонтов ( $\mu_1$ ) и упругой емкости эксплуатируемого пласта ( $\mu_2$ ), то анализ данных имитационного моделирования указывает на возможность использования при рассмотрении данной задачи безразмерного параметра  $\lambda=\mu_1/\mu_2$ . В процессе моделирования значения параметра изменялись в широких пределах  $\lambda=1;10;100;500$ . При  $\lambda \geq 100-500$  эксплуатационные запасы формируются преимущественно за счет емкостных запасов подпитывающего горизонта. Доля упругих запасов эксплуатируемого горизонта при  $\lambda=100$  в начальный момент работы водозабора (0,01 года) составляет 5,2%, а затем снижается до 1%. При уменьшении значения параметра до 10 роль упругих запасов эксплуатируемого водоносного горизонта существенно возрастает, составляя в начальный момент работы водозабора свыше 70,8%, а затем достаточно резко снижается до 9,1%. Аналогичная картина наблюдается при меньших значениях параметра. Из приведенных данных можно сделать заключение, что соотношение в структуре запасов емкости подпитывающего горизонта и упругой емкости эксплуатируемого пласта соответствует значению безразмерного параметра  $\lambda$ .

Установлена существенная зависимость структуры эксплуатационных запасов от удаленности водозабора от реки и степе-

ни заиленности ее русла. При значении вертикальной проводимости подрусловых отложений, равной 0,01 в первоначальный момент работы водозабора в структуре запасов преобладает гравитационная емкость подпитывающего горизонта, роль которой вначале возрастает, а затем постепенно снижается до 20% за счет пропорционального возрастания притока из реки, составляющего на прогнозный срок работы водозабора 80%. При увеличении расстояния между водозабором и рекой до 1250 м, структура запасов изменяется несущественно. Дальнейшее увеличение расстояния между водозабором и рекой до 5500 м предопределяет более длительный период сработки емкостных запасов и снижение составляющей притока из реки на прогнозный срок работы водозабора до 60%. Время работы водозабора, при котором наступает 50% баланс между притоками из реки и сработкой емкостных запасов подпитывающего горизонта составляет 3 – 5 лет, возрастая с увеличением расстояния до реки. Увеличение степени заиленности русловых отложений на один порядок приводит к снижению влияния притока из реки на структуру баланса эксплуатационных запасов. Причем 50% баланс в структуре эксплуатационных запасов между притоком из реки и за счет емкостных запасов подпитывающего горизонта наступает через 10 – 25 лет после включения в работу водозабора.

Влияние водоотбора на структуру баланса эксплуатационных запасов в начальный период работы водозабора сказывается незначительно и проявляется в ускорении темпов сработки упругих запасов при большей производительности водозабора. Однако при уменьшении соотношения между гравитационной емкостью подпитывающего горизонта и упругой емкостью эксплуатируемого пласта величина водоотбора на структуру запасов никакого влияния не оказывает.

**Методика обследования технического состояния и условий эксплуатации тепловых сетей, тепловых пунктов и систем горячего водоснабжения потребителей**

Могилат Г.А., Калиниченко Е.С.

Белорусский национальный технический университет

При обследовании тепловых сетей потребителей нарушения ПТЭ (правил техники эксплуатации) теплоиспользующих установок потребителей, которые вызывают потери тепловой энергии следующие: отсутствие или неисправность тепловой изоляции трубопроводов, арматуры, компенсаторов, фланцевых соединений, скользящих опор труб.

Потери тепловой энергии при отсутствии или неисправности тепловой изоляции на трубопроводах сетевой воды рассчитываются по формуле:

$$Q_{\text{тр}} = q_{\text{тр}} \times l \times (1 + \beta) \times \tau, \text{ Вт} \cdot \text{ч} \quad (1)$$

где:  $q_{\text{тр}}$  – удельные потери тепловой энергии неизолированными трубопроводами (подающим и обратным) сетевой воды для различных видов прокладки тепловой сети (канальная, бесканальная, на открытом воздухе) определяется по известным методикам [7], Вт/м;  $\beta$  – коэффициент, учитывающий тепловыделения опорами труб, фланцевыми соединения арматурой;  $l$  – длина неизолированного участка трубопровода тепловой сети, м;  $\tau$  – продолжительность эксплуатации тепловой сети, ч.

Тепловые пункты подразделяются на :

- индивидуальные тепловые пункты;
- центральные тепловые пункты;
- блочные тепловые пункты.

В тепловых пунктах предусматривается размещение оборудования, арматуры, приборов контроля, управления и автоматизации, посредством которых осуществляется:

- преобразование вида теплоносителя или его параметров;
- контроль параметров теплоносителя;
- регулирование расхода теплоносителя и распределение его по системам потребления тепловой энергии;
- отключение систем потребления тепловой энергии;

- защита местных систем от аварийного повышения параметров теплоносителя;
- заполнение и подпитка систем потребления тепловой энергии;
- учет тепловых потоков и расходов теплоносителя и конденсата;
- сбор, охлаждение, возврат конденсата и контроль его качества;
- аккумулялирование тепловой энергии;
- водоподготовка для систем горячего водоснабжения.

При обследовании тепловых пунктов потребителей нарушения ПТЭ, которые вызывают потери тепловой энергии следующие:

1. отсутствие или неисправность тепловой изоляции трубопроводов, запорной арматуры фланцевых соединений, водоподогревателей, баков-аккумуляторов, сборных конденсатных баков.

Потери тепловой энергии рассчитываются по формуле:

$$Q_T = q_{ту} \times F \times \tau, \text{ Вт} \cdot \text{ч} \quad (2)$$

где  $q_{ту}$  – удельные тепловые потери с  $1 \text{ м}^2$  неизолированной поверхности,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ , определяются по общеизвестным формулам [7];  $F$  – площадь поверхности теплоустановки, не имеющей теплоизоляции или часть поверхности с поврежденной теплоизоляцией,  $\text{м}^2$ ;  $\tau$  – время работы теплоустановки, ч;

2. неисправность арматуры, фланцевых соединений, трубопроводов, оборудования.

Потери тепловой энергии при утечках сети через неплотности арматуры, фланцевых соединениях, отверстия рассчитываются по формуле:

$$Q_{ут} = q_{ут} \times \tau, \text{ Вт} \cdot \text{ч} \quad (3)$$

где  $q_{ут}$  – удельные потери тепловой энергии при утечках теплоносителя в трубопроводах через неплотности,  $\text{Вт}$ ,

$$q_{ут} = 1,163 \times \left( G_{ут}^{\Phi} \times h \right), \text{ Вт} \quad (4)$$

где:  $G_{ут}^{\Phi}$  – расход теряемого теплоносителя,  $\text{кг}/\text{ч}$ ;  $h$  – энтальпия теплоносителя,  $\text{ккал}/\text{кг}$ ;

3. отсутствие приборов автоматического регулирования расхода тепловой энергии в системах теплоснабжения.

Потери тепловой энергии рассчитываются по формуле:

$$Q_T = 0,15 \times Q^{\Phi} \times \tau, \text{ Вт} \cdot \text{ч}, \quad (5)$$

где:  $Q^{\Phi}$  – фактический (паспортный) расход тепловой энергии теплотехнической установки системой отопления, вентиляции и горячего водоснабжения потребителя, Вт;  $\tau$  – продолжительность эксплуатации, ч.

При обследовании систем горячего водоснабжения потребителей нарушения ПТЭ, которые вызывают потери тепловой энергии следующие:

1. отсутствие или неисправность тепловой изоляции на стояках или на подающих и циркуляционных трубопроводах (кроме подводок к водоразборным приборам).

Потери тепловой энергии рассчитываются по формуле (1);

2. неисправность арматуры, трубопроводов.

Потери тепловой энергии с утечками теплоносителя рассчитываются по формулам (3) и (4).

Приведенная в статье методика дает возможность рассчитать потери тепловой энергии, возникающие при нарушениях ПТЭ теплоиспользующих установок и тепловых сетей потребителей.

## Литература

1. Правила технической эксплуатации теплоиспользующих установок и тепловых сетей потребителей, техники безопасности при эксплуатации теплоиспользующих установок и тепловых сетей потребителей, утвержденные приказом Министерства энергетики Республики Беларусь 11 августа 2003 г. № 31..
2. СНиП 2.04.05-89 Тепловые сети.
3. СНиП 2.04.01-85 Внутренний водопровод и канализация зданий.
4. Проектирование тепловых пунктов СП 41-101-95.
5. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей. Справочник. Манюк В.Л. и др. – М.: Стройиздат, 1988. .
6. Водяные тепловые сети. Справочное пособие /под ред. Н.К. Громова – М.: Энергоатомиздат.
7. Справочник по специальным работам «Тепловая изоляция» - М.: Стройиздат, 1984.

**Исследование воздухопроницаемости  
минераловатных изделий**

Протасевич А.М., Якимович Д.Д.,  
Коротченя М.А., Нестеров Л.В.

Белорусский национальный технический университет

Экономия энергетических ресурсов по-прежнему является одной из основных задач эксплуатации фонда жилых, общественных и промышленных зданий. Одним из направлений экономии служит повышение теплозащитных качеств ограждающих конструкций, т.е. эффективная теплоизоляция стен и покрытий зданий. Среди наиболее распространенных методов утепления ограждений выделяется перспективностью метод теплозащиты «вентилируемый фасад». Суть метода в укрытии ограждения утеплителем, защищенным тонким облицовочным экраном, размещенным на некотором расстоянии от него таким образом, чтобы была образована воздушная вентилируемая прослойка толщиной  $\delta \geq 30$  мм. По вентилируемой прослойке под действием разности давлений, вызываемых ветровым и гравитационным напорами, перемещается воздух. В качестве теплоизоляции в системе утепления используются минераловатные плиты, изготавливаемые из базальта, шлака, стекловолокна. Основное достоинство минеральной ваты – большая пористость, благодаря которой она имеет высокие теплозащитные качества, т.е. низкий коэффициент теплопроводности. Но в системе «вентилируемый фасад» минеральная вата эксплуатируется при наличии движущегося в прослойке вдоль ее поверхности воздуха, который может проникать в волокнистую структуру. Перемещение внутри утеплителя воздуха в продольном и поперечном направлениях существенно снижает его теплозащитные качества. Поэтому при выборе утеплителя систем «вентилируемый фасад» необходимо учитывать воздухопроницаемость минеральной ваты.

О воздухопроницаемости изделий из минеральной ваты, выпускаемой в настоящее время промышленностью данных практически нет. В литературных источниках есть разрозненные сведения по воздухопроницаемости минераловатных изделий выпускаемых в 60-е годы прошлого столетия.

В Республике Беларусь используются утеплители из минеральной ваты как отечественного, так зарубежного производства, имеющие различный состав и структуру и следовательно воздухопроницаемость. Цель данного исследования заключалась в определении воздухопроницаемости различных минераловатных изделий, применяемых в республике Беларусь в системе «вентилируемый фасад». Это изделия фирм Parock, Rockwool, ОАО «Гомельстройматериалы».

Для определения коэффициента воздухопроницания изделий из минеральной ваты был создан экспериментальный стенд, соответствующий требованиям ГОСТ 258991-83. Сущность метода исследований заключается в том, что через образец материала проходит поток воздуха. После установления стационарного режима фильтрации измеряется объем проходящего воздуха и разность давлений по сторонам образца. По полученным данным рассчитываются величины сопротивления воздухопроницанию и коэффициенты воздухопроницаемости материалов.

На стенде (рисунок 1) проведены исследования на образцах размером по площади 1000x1000 мм и различной толщины. Подача или удаление воздуха из камеры, для создания и поддержания пониженного или повышенного давления, осуществлялась нагнетателем. Интенсивность расхода воздуха от 0 до 75 м<sup>3</sup>/ч регулировалась воздушной заслонкой. Нагнетатель соединен с камерой через измерительный участок стабилизации потока с анемометром для измерения расхода воздуха. Измерение избыточного или пониженного давления в камере в пределах от 0 до 200 даПа (от 0 до 200 мм в. ст.) выполнялась микроманометром.

Количество однотипных образцов, подлежащих испытанию, было не менее трех. По результатам экспериментов построены зависимости воздухопроницания от разности давлений  $\ln G = f(\ln(\Delta p))$ . Разность давлений, при которой определяется коэффициент воздухопроницаемости, должна быть как можно ближе к действительной для условий эксплуатации минеральной ваты. По результатам аэродинамического расчета воздушных прослоек вентилируемых фасадов и кровель разность давлений принята средняя разность давлений  $\Delta p = 10 \text{ Па}$ .

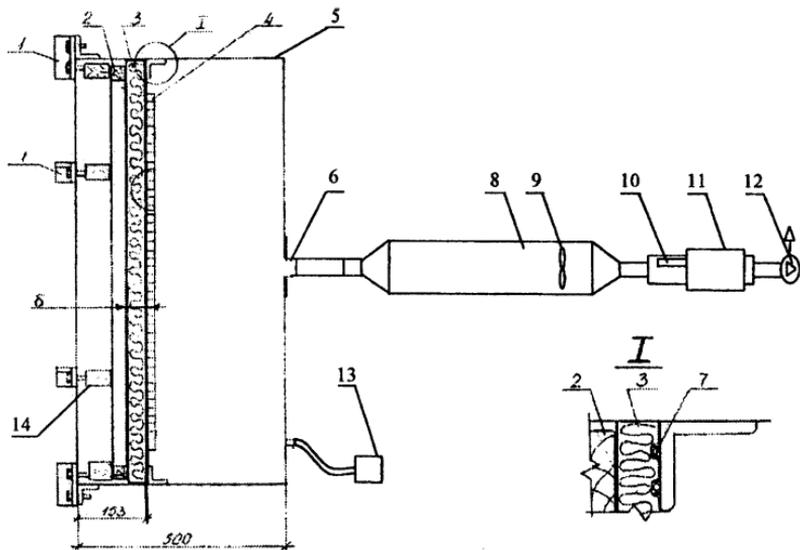


Рисунок 1. Схема стенда для проведения исследований на образцах размером по площади 1000x1000 мм  
 1. Упор; 2. Рамка; 3. Исследуемый материал толщиной  $\delta$  ;  
 4. Решетка полиэтиленовая; 5. Камера; 6. Штуцер отсоса воздуха; 7. Пористая резина; 8. Участок стабилизации потока; 9. Датчик скорости воздуха цифрового крыльчатого анемометра;  
 10. Отверстие регулятора разрежения; 11. Шибер; 12. Нагнетатель; 13. Микроманометр ММН; 14. Прижимной брусок

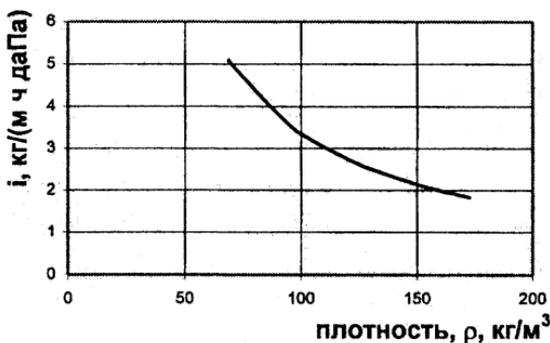


Рисунок 2. Зависимость воздухопроницаемости плит минеральной ваты ОАО «Гомельстройматериалы» от плотности

Результаты определения величины сопротивления воздухопроницанию, а также коэффициенты воздухопроницаемости минераловатных изделий представлены в таблице.

Таблица

Результаты исследований изделий из минеральной ваты

Минеральная вата	Толщина $\delta$ , м	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Воздухопроницаемость $G$ , кг	Коэффициент воздухопроницаемости $i = G \cdot \delta$ , кг	Коэффициент воздухопроницаемости $i_0 = i/3600$ , кг	Сопротивление воздухопроницанию $R = 1/(10 \cdot i)$ , м·ч·Па/кг
			м <sup>2</sup> ·ч·даПа	м·ч·даПа	м·с·даПа	
1	2	3	4	5	6	7
Parock IL	0,1	30	90	9	0,0025	0,011
Parock WAS 25t	0,03	90	55	1,65	0,00046	0,061
Ventirock $\delta = 80$ мм	0,08	102	32	2,56	0,00071	0,039
Ventirock $\delta = 50$ мм	0,05	103	33	1,65	0,00046	0,061
Fasrock	0,023	135	48	1,04	0,00031	0,096
Гомель 2	0,059	69	93	5,5	0,0015	0,018
Гомель 3	0,06	120	43	2,56	0,00071	0,039
Гомель 4	0,061	166	33	2,02	0,00056	0,05
Гомель 1	0,065	170	30	1,98	0,00055	0,051

Анализ экспериментальных данных показал, что величина коэффициента воздухопроницаемости минеральной ваты зависит от ее плотности. Это видно, например, по зависимости  $i_0 = f(\rho_{амы})$  построенной по результатам, полученным для изделий ОАО «Гомельстройматериалы» (рисунок 2).

Кроме того, из экспериментальных данных полученных для изделий различных производителей видно, что характеристики воздухопроницаемости зависят и от структуры минеральной ваты. Поэтому при выборе материала утеплителя необходимо учитывать действительные характеристики сопротивления воздухопроницанию изделий. При использовании изделий имеющих относительно невысокие характеристики сопротивления воздухопроницаемости, следует предусматривать меры защиты

их от возникновения продольной и поперечной фильтрации воздуха.

Полученные результаты по воздухопроницаемости изделий из минеральной ваты могут быть использованы при расчетах теплоизоляции ограждающих конструкций зданий, а также при анализе пригодности различных изделий для решения конкретных строительных задач.

### **Литература**

1. Р.Е. Брилинг. Воздухопроницаемость ограждающих конструкций и материалов. М.: Стройиздат.-1948. 120 с.
2. ГОСТ 258991-83. Здания и сооружения. Методы определения сопротивления воздухопроницанию ограждающих конструкций. М., Издательство стандартов, 1984.
3. Фокин К.Ф. строительная теплотехника ограждающих частей зданий. М., Стройиздат, 1973.
4. Ильинский В.М. Строительная теплофизика. М., Высшая школа, 1974.
5. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. М., Высшая школа, 1970.

### **УДК 697.1**

#### **Факторы, влияющие на величину приведенного сопротивления теплопередаче стен зданий с дополнительной наружной теплоизоляцией**

Калинина Л.С., Протасевич А.М., Крутилин А.Б.  
Белорусский национальный технический университет

Проблема экономии энергоресурсов ставит ряд задач, в том числе и увеличение уровня теплозащиты наружных ограждений зданий, что осуществляется повышением их сопротивления теплопередаче. Причем удовлетворять этим требованиям должно приведенное сопротивление теплопередаче, а не сопротивление теплопередаче участка ограждения вдали от теплопроводных включений, которое сопоставляется в ряде случаев с требованиями существующих нормативных документов.

В настоящее время в республике Беларусь эксплуатируется значительное количество зданий, построенных в 60 — 80 годах, требующих дополнительного утепления.

Утепление выполняется с наружной стороны стен зданий дополнительным слоем теплоизоляции. Слой теплоизоляции закрывается от попадания атмосферных осадков либо штукатурными составами (системы утепления с "тяжелой" и "легкой" штукатуркой), либо с защитным экраном на отnose и воздушной вентилируемой прослойкой (система утепления "вентилируемый фасад").

На сегодняшний день наименее изученными являются системы утепления по способу "вентилируемый фасад". Система кроме элементов крепления слоя теплоизоляции имеет кронштейны крепления защитного экрана. Между экраном и слоем теплоизоляции имеется воздушная вентилируемая прослойка (ВВП), назначение которой состоит в удалении диффундирующего через ограждение водяного пара.

Защитный экран может быть выполнен как из легкого алюминиевого профиля, так и из тяжелой декоративной плитки или сплошного остекления (т.н. стеклянные фасады). В зависимости от нагрузки, создаваемой весом защитного экрана различается количество кронштейнов для его крепления.

Одной из основных задач теплотехнического расчета теплоизолированных наружных стен является определение приведенного сопротивления теплопередаче.

Обзор литературы [1 – 7] показал отсутствие доступной инженерной методики расчета, учитывающей особенности переноса теплоты в системах вентилируемый фасад.

С целью определения приведенного сопротивления теплопередаче для любой конструкции вентилируемого фасада с учетом всех факторов была разработана и апробирована в натуральных условиях методика на основании расчета плоского температурного поля.

Методика основана на упрощении трехмерной задачи переноса теплоты и перехода на двухмерную, составление расчетных схем для каждого теплопроводного включения, определение зон влияния включений и сопротивлений теплопередаче по данным зонам, а затем приведенного сопротивления теплопередаче ограждения в целом.

Методика заключается в следующем.

1. Строятся расчетные схемы конструкций каждого теплопроводного включения в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Границы исследуемых фрагментов принимаются максимальными, но не более  $l_p = 2 \cdot l_{x(y)}$  (где  $l_{x(y)}$  — расстояние от оси крепления до плоскости, расположенной по центру между креплениями) для вертикальной и горизонтальной плоскостей.

2. Выполняются предварительные расчеты плоских температурных полей расчетных схем в горизонтальной и вертикальной плоскости для каждого включения. При этом задаем следующие граничные условия:

— расчетные температуры  $t_e, t_{in}$ , а также коэффициенты теплопроводности материалов выбираются по нормативным документам или в соответствии с заданием к расчету;

— средний коэффициент теплоотдачи наружной поверхности утеплителя к воздуху вентилируемой прослойки принимается в соответствии со следующими рекомендациями: для зданий высотой прослойки до 6 м коэффициент теплоотдачи следует принимать равным  $\alpha_{e.n.} = 5 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$ , для зданий высотой прослойки до 12 м —  $\alpha_{e.n.} = 8,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$ , для зданий высотой прослойки более до 12 м —  $\alpha_{e.n.} = 12 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$ ;

— коэффициенты тепловосприятия внутренней поверхности фрагмента ограждения и теплоотдачи наружной поверхности экрана выбирается в соответствии с требованием нормативных документов по строительной теплотехнике.

3. Определяются "зоны влияния" каждого теплопроводного включения для каждой из проекций. Зона влияния находится по распределению температур по толщине и по поверхностям расчетного участка ограждения. Для определения зоны влияния выбирается та изотерма, на которой влияние теплопроводного включения наиболее характерно.

При этом, по обе стороны от оси теплопроводного включения, определяется расстояние до условной линии параллельной оси, после которой изотермические линии параллельны поверхностям стены. Выбирается большее из определенных расстояний. Тогда длина зоны влияния для каждой проекции составит  $l_{z.v.} = 2 \cdot l_{p.z}$  (где  $l_{p.z}$  — большее из расстояний от оси теплопроводного включения до условной линии, м).

4. Выполняется повторный расчет двухмерного температурного поля для горизонтальной и вертикальной проекций зон влияния каждого теплопроводного включения.

Расчет двухмерного температурного поля должен представить выходные данные в виде сопротивления теплопередаче (или теплового потока) по зонам влияния каждой проекции.

5. Сопротивление теплопередаче  $i$  – го теплопроводного включения рассчитывается по формуле (1):

$$R_{\text{д}e-i} = \frac{l_{\text{с.д.}}^{\text{д}i\text{д}} + l_{\text{с.д.}}^{\text{д}i\text{д}i\text{д}}}{\frac{l_{\text{с.д.}}^{\text{д}i\text{д}}}{R_{\text{д}e}^{\text{д}i\text{д}}} + \frac{l_{\text{с.д.}}^{\text{д}i\text{д}i\text{д}}}{R_{\text{д}e}^{\text{д}i\text{д}i\text{д}}}} \quad (1)$$

где  $l_{\text{с.д.}}^{\text{д}i\text{д}}$ ,  $l_{\text{с.д.}}^{\text{д}i\text{д}i\text{д}}$  — зоны влияния теплопроводного включения по проекциям, м,

$R_{\text{д}e}^{\text{д}i\text{д}}$ ,  $R_{\text{д}e}^{\text{д}i\text{д}i\text{д}}$  — сопротивления теплопередаче по зонам влияния теплопроводного включения по наружной или внутренней поверхности для каждой из проекций,  $\text{м}^2\text{°С/Вт}$ .

6. Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции рассчитывается по формуле (2):

$$R_{\text{д}e}^{\text{пр}} = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{F_i}{R_{\text{д}e-i}} \right)} \quad (2)$$

где  $F_i$  — площадь влияния  $i$  – го включения,  $F_i = l_{\text{с.д.}}^{\text{д}i\text{д}} \cdot l_{\text{с.д.}}^{\text{д}i\text{д}i\text{д}}$ ,  $\text{м}^2$ .

7. Коэффициент теплотехнической однородности находится по формуле (3):

$$r = \frac{R_{\text{д}e}^{\text{пр}}}{R_{\text{д}e}^{\text{T}}} \quad (3)$$

Приведенная методика позволяет определить приведенное сопротивление теплопередаче любых конструкций наружных стен, в том числе и с воздушной вентилируемой прослойкой.

Некоторые результаты расчета системы вентилируемого фасада "Металлпрофиль" кирпичных теплоизолированных стен приведены в таблице. Результаты представлены в виде коэффициентов теплотехнической однородности, учитывающие снижение приведенного сопротивления теплопередаче за счет теплопроводных включений.

Таблица

Толщина слоя теплоизоляции $\delta_{yt}$ , мм	Приведенное сопротивление теплопередаче $R_T$ , м <sup>2</sup> °С/Вт	Коэффициент теплотехнической однородности $r$
50	2,126	0,959
70	2,488	0,925
80	2,598	0,890
100	2,781	0,825

Наиболее эффективным, с теплотехнической точки зрения, являются вентилируемые фасады с легким экраном из алюминиевого профиля. Вентилируемые стеклянные фасады, а также фасады с защитным экраном из декоративной плитки имеют коэффициенты теплотехнической однородности в пределах  $r = 0,50 \dots 0,70$  и их рекомендуется использовать для зданий, представляющих архитектурный облик города.

### Литература

1. К.Ф. Фокин. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. М., Стройиздат, 1973, 287 с.
2. В.М. Ильинский. Строительная теплофизика. М., Высшая школа, 1974, 320 с.
3. Богословский В.Н. Строительная теплотехника, М., Высшая школа 1992.
4. И.Н. Бутовский, Ю.А. Матросов. Расчет термически неоднородных участков стеновых панелей. Журнал "Жилищное строительство", 2001 г., №10, с. 4 – 8.
5. С.В. Корниенко. Температурный режим вентилируемых стен. Журнал "Жилищное строительство", 2002 г., №12, с. 7 – 9.
6. В.А. Езерский, П.В. Монастырев. Крепежный каркас вентилируемого фасада и температурное поле наружной стены. Журнал "Жилищное строительство", 2003 г., №10, с. 15 – 18.
7. В.Г. Гагарин, В.В. Козлов, Е.Ю. Цыкановский. Теплозащита фасадов с вентилируемым воздушным зазором (часть 2). Журнал "АВОК", 2004 г., №3, с. 4 – 8.

# **Энергоэффективные технологии**

## Гидродинамика магнитожидкостных уплотнений

Альгадал А. М.

Белорусский национальный технический университет

Магнитожидкостные уплотнения (МЖУ) являются одними из наиболее перспективных устройств уплотнительной техники. Задачей настоящей работы является изучение свойств и характеристик течений магнитных жидкостей и вязкой диссипации в зазоре МЖУ, затем планируется установить закономерности гидродинамики и теплообмена в МЖУ.

## Введение

- Основной областью приложения МЖУ является герметизация вращающихся валов при передаче движения в камеры с различным давлением, поэтому абсолютное большинство исследований ведется в этом направлении.

- Принцип МЖУ прост: в зазоре между корпусом и вращающимся или совершающим возвратно-поступательное движение валом создается магнитное поле высокой неоднородности, которое и удерживает в зазоре МЖУ (рис.1).

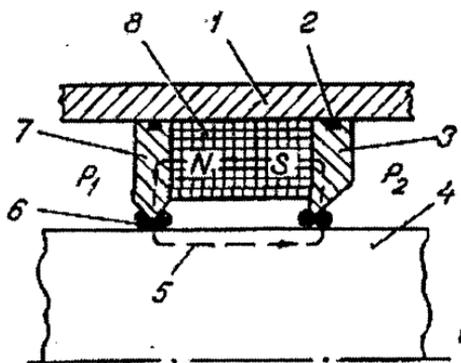


Рис. 1. Принципиальная схема магнитожидкостного уплотнения и его рабочего зазора: 1- корпус; 2- уплотнительное кольцо; 3,7- полюса с асимметричным и симметричным профилем; 4- вал; 5- направление магнитного потока; 6- магнитная жидкость в уплотняемом рабочем зазоре; 8- магнит [5]

- Основные характеристики магнитной жидкости:
  - Намагниченность насыщения – до 120 [кА/м].
  - Вязкость – от 0,001 до 1 [Па.с].
  - Плотность – от 950 до 1800 кг/м<sup>3</sup>.
- Область применения МЖУ:
  - Машиностроение.
  - Теплоэнергетика.
  - Вакуумная и космическая техника.
  - Химическая и нефтехимическая промышленность.
- Технические характеристики МЖУ:
  - Уплотняемые среды – вакуум, воздух, водяной пар, биологически активные среды, инертные газы.
  - Линейные скорости вращения вала – до 45[м/с].
  - Рабочие температуры – от –5 до +80[°С].
  - Перепад давления для газо-воздушных сред – до  $8 \cdot 10^5$  [Па].
  - Степень разрежения для вакуумных систем – до  $1,33 \cdot 10^{-5}$  Па.
  - Ресурс непрерывной работы – не менее 5000 [час.] при температуре окружающей среды до 50[°С], [1].
- МЖУ, рабочим элементом которых является магнитная жидкость (МЖ), удерживаемая в заданном положении магнитным полем, обладают рядом преимуществ перед распространенными контактными и бесконтактными уплотнениями: работают в широком диапазоне скоростей вращения вала, обладают высоким ресурсом эксплуатации [1].
- Основными достоинствами МЖУ являются:
  - Простота конструкции.
  - Высокое качество герметизации.
  - Низкий момент трения.
  - Отсутствие контактного давления.
  - Отсутствие износа вала.

### **Задачи исследования**

Известные на сегодняшний день исследования МЖУ посвящены в основном определению максимального удерживаемого ими перепада давления и оптимизации конструктивных параметров уплотнения только с этой точки зрения [1-3]. Однако увеличение линейной скорости поверхности вала свыше 10 [м/с] делает существенной другую задачу – определение теплого ре-

жима МЖУ [4]. Это связано с тем, что увеличение скорости сдвига в МЖ, заполняющей уплотняемый зазор, приводит к увеличению вязкой диссипации энергии, т.е. к разогреву жидкости.

Для исследования теплового режима МЖУ необходимо определить, во-первых, абсолютную величину тепловыделения в объеме магнитной жидкости и, во-вторых, пути теплоотвода из рабочей зоны.

## **Заключение**

Однако до сих пор нет полной картины гидродинамических и тепловых процессов в уплотнительных системах. Отсутствуют зависимости тепловыделений в уплотнениях от геометрии, характера движения, свойств жидкости. Дальнейшие исследования будут посвящены устранению этих пробелов.

## **Литература**

1. Самойлов В. Б., Рахуба В. К., Ферромагнитная жидкость в магнитожидкостном уплотнении. – в сб.: Конвекция и волны в жидкостях. Минск : ИТМО АН БССР, 1977, с.133-138.
2. Орлов Л. П., Фертман В. Е., Магнитожидкостные уплотнения вращающихся валов. – Минск, 1979, с.13-16, (Препринт №8/ ИТМО АН БССР).
3. Михалев Ю. О., Орлов Д. В., Страдомский Ю.И., исследование феррожидкостных уплотнений. – Магнитная гидродинамика, 1979, №3, с.69-76.
4. Рахуба В. К., Самойлов В.Б., Чернобай В.А., Исследование конструктивных особенностей магнитожидкостного уплотнения. – Материалы всесоюзного семинара по проблемам намагничивающихся жидкостей. Иваново, 1978 – во МГУ, 1979, с.57.
5. Краков М. С., Самойлов В. Б., Рахуба В. К., Чернобай В.А., Исследование теплового режима магнитожидкостных уплотнений – Инженерно-физический журнал, 1981. Июль, ТОМ XLI, №1, с.99-104.

## Расчёт напряжённости магнитного поля вокруг магнита цилиндрической формы

Быченя А.А.

Белорусский национальный технический университет

Магнитные жидкости, как новый класс инженерных материалов, может использоваться в технических устройствах таких, как демпферы или гасители резонансных колебаний (основные составные части: магнит, магнитная жидкость). Использование магнитных жидкостей в этих устройствах даёт несомненное преимущество в скорости гашения колебаний, в ходе которого происходит диссипация энергии. Однако широкое практическое применение требует наиболее глубокого теоретического и экспериментального изучения происходящих в демпфере процессов (диссипация энергии, смещение свободной границы магнитной жидкости и т. д.). Так, для поиска свободной границы необходим расчёт напряжённости магнитного поля. В случае использования магнита цилиндрической формы расчёт напряжённости магнитного поля можно производить по формулам Пшеничникова. Ввиду осевой симметрии, вектор напряжённости имеет две составляющих. Составляющие рассчитываются по следующим формулам:

$$H_r = \frac{M}{2\pi} \sum_{k=1}^2 (-1)^k \int_{r-R}^{r+R} \frac{x}{x^2 + z_k^2} \sqrt{\frac{R^2 - (x-r)^2}{R^2 + z_k^2 + 2xr - r^2}} dx;$$

$$H_z = \frac{M}{2\pi} \sum_{k=1}^2 (-1)^k \int_{r-R}^{r+R} \frac{z_k}{x^2 + z_k^2} \sqrt{\frac{R^2 - (x-r)^2}{R^2 + z_k^2 + 2xr - r^2}} dx;$$

$z_k = z \pm h$ , где  $h$  – полувысота магнита, а  $R$  его радиус.

В силу того, что интегралы, входящие в формулы вычисления компонент вектора – не берущиеся, то приходится прибегнуть к использованию приближённой подынтегральной функции. Функцию будем приближать многочленами Чебышева первого рода:

$$T_n(\cos \theta) = \cos(n \cdot \theta) \text{ или } T_n(x) = \cos(n \cdot \arccos x),$$

$$x_k = \cos \frac{\pi(0.5 + k)}{n}, k = \overline{0, n-1} - \text{корни многочлена}$$

$$T_0(x) = 1, T_1(x) = x, \dots, T_n(x) = 2x \cdot T_{n-1}(x) - T_{n-2}(x), n \geq 2 .$$

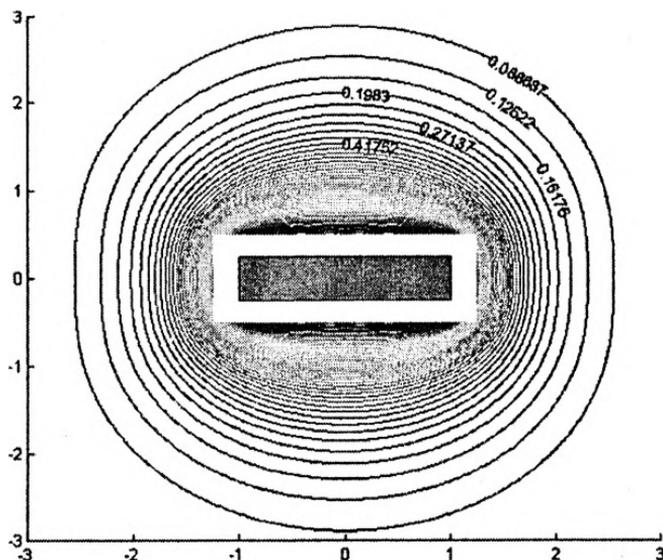
Функция представится в следующем виде:

$$f(x) \approx -\frac{c_0}{2} + \sum_{k=0}^{N-1} c_k \cdot T_j(x); c_k = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} f(x_j) \cdot T_k(x_j);$$

предварительно вводится замена интегральной переменной:

$$x = r + \xi \cdot R .$$

На приведённом ниже рисунке показаны, как результаты вычисления, изолинии напряжённости магнитного поля (линии, на которых вектор напряжённости имеет постоянную длину), в центре – постоянный магнит:



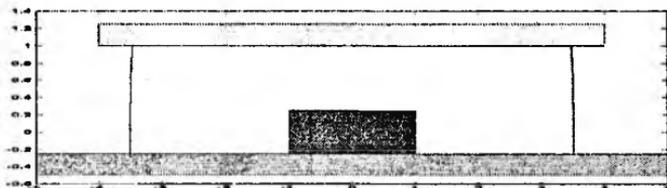
Расчёт производился в области:

$$[-3 \cdot R; 3 \cdot R] \times [-3 \cdot R; 3 \cdot R] ,$$

За исключением небольшой области вокруг магнита

$$[0.25 \cdot R; 0.25 \cdot R] \times [-0.25 \cdot R; 0.25 \cdot R] ,$$

Полученные результаты можно использовать при нахождении свободной границы магнитной жидкости в демпфирующем устройстве, используемом для гашения колебаний. При этом если учитывать, что все силы по сравнению с магнитными силами пренебрежительно малы, то граница магнитной жидкости будет лежать на одной из изолиний. На следующем рисунке приведён обобщенный вид демпфирующего устройства (постоянный магнит, окружённый магнитной жидкостью, жёстко прикреплён к нижней пластине, верхняя пластина подвижна).



Зная объём магнитной жидкости и смещение верхней пластины демпфирующего устройства можно итерационным методом найти координаты свободной границы:

$$N \approx Const, (r; z) \Rightarrow \bar{V}, |V - \bar{V}| < \varepsilon ,$$

где  $N = \sqrt{H_r^2 + H_z^2}$  - абсолютная величина вектора напряжённости (его длина). Сверяя объём полученный с исходным объёмом магнитной жидкости можно добиться некоторой определённой заранее точности в расчёте свободной границы.

**Барботаж в магнитной жидкости**

Ковалев М. В.

Белорусский национальный технический университет

В нагревательных устройствах для интенсификации процесса теплообмена зачастую применяется барботаж газа через рабочую среду. Этот процесс достаточно прост в реализации, требует невысоких дополнительных затрат энергии и позволяет значительно повысить коэффициент теплоотдачи между рабочей средой и поверхностью нагреваемого объекта. Кроме теплообмена барботаж широко применяется также в установках химической и иных отраслей промышленности. При всей широте использования такого вида устройств они обладают серьезным общим недостатком - сложность регулирования параметров процесса. На практике основным способом регулирования барботажа является изменение расхода газовой фазы посредством применения задвижек в трубопроводе или регулирования компрессора. Но такие параметры как величина образующихся пузырей, скорости и траектории их движения в среде практически не поддаются эффективному изменению вышеописанным способом. Для возможности влияния на максимальное количество параметров процесса барботажа предлагается использовать в качестве рабочей среды магнитную жидкость. При ее использовании прецизионное регулирование барботажа может осуществляться посредством изменения характера и величины прикладываемых к области теплообмена магнитных полей. Но на сегодняшний день для создания такого типа устройств необходима глубокая теоретическая проработка вопросов гидродинамики газожидкостных сред в магнитной жидкости.

С целью построения вышеуказанной теории в научно-исследовательской лаборатории "Термомеханика магнитных жидкостей" проведен ряд экспериментов, ориентированных на выяснение механизмов влияния магнитных полей на поведение немагнитной фазы внутри магнитной жидкости. Основными изучаемыми вопросами являются формообразование пузырей и капель немагнитной среды в магнитной жидкости, влияние объемной силы, возникающей в условиях приложения неоднородных магнитных полей, процессы, происходящие на границе раз-

дела магнитной и немагнитной сред, в системе магнитная среда – твердая поверхность, магнитное взаимодействие между пузырями и каплями.

В ходе проведения экспериментов, направленных на выявление воздействия однородных магнитных полей на отрыв пузыря газа от твердых поверхностей, было установлено, что горизонтальная ориентация таких полей относительно пластины отрыва приводит к уменьшению объема пузыря при увеличении напряженности поля. При этом уровень влияния поля на относительное уменьшение пузыря зависит от материала поверхности, условий смачиваемости (см. рис. 1).

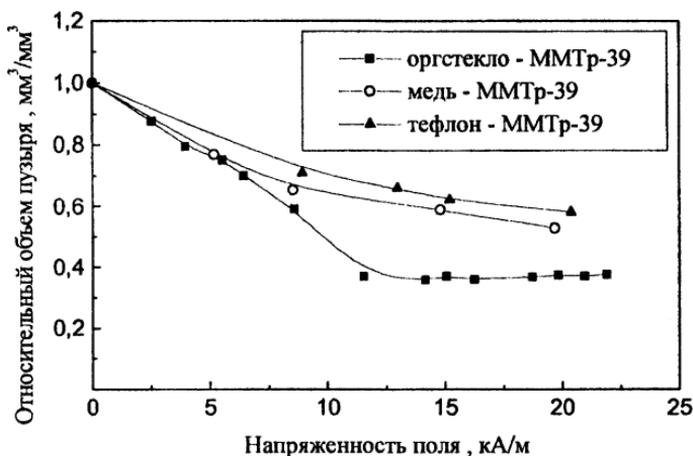


Рис. 1. Влияние горизонтального однородного поля на объем пузыря в момент отрыва от пластины

При исследовании скорости движения пузырей и капель в зазоре между двумя стеклянными пластинами также установлена обратная зависимость между напряженностью горизонтального однородного поля и скоростью всплывания.

Значительное влияние на размер пузыря оказывает приложение неоднородного магнитного поля. В частности, при использовании жидкости ММТр-39 и пластины из оргстекла в магнитном поле с градиентом неоднородности направленным верти-

кально вниз в диапазоне 0-1000 кА/м<sup>2</sup> удалось достигнуть десятикратного уменьшения объема отрыва.

При исследовании поведения цепочки пузырей и капель в щели в горизонтальном однородном поперечном магнитном поле установлены факты последовательного раздвоения цепочек из-за дипольного взаимодействия (см. рис. 2) с увеличением напряженности поля, выявлен характер влияния поля на размер, частоту отрыва, скорости образующихся капель и пузырей.

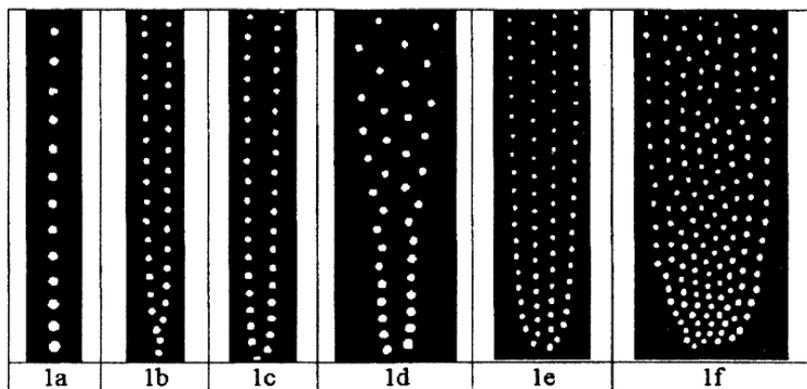


Рис. 2. Процесс деления цепочки капель в горизонтальном однородном поле: 1a – 0 кА/м; 1b – 8,5 кА/м; 1c – 9,8 кА/м; 1d – 11,4 кА/м; 1e – 13,5 кА/м; 1f – 19,2 кА/м

Дальнейшая работа в указанном направлении позволит охватить более широкий круг экспериментальных данных, построение математической модели позволит инженерам-проектировщикам создать ряд принципиально новых устройств с регулируемым теплообменом на основе использования магнитной жидкости. В условиях постоянного увеличения энергопотребления внедрение новых энергосберегающих технологий является приоритетной задачей.

Работа выполнена при поддержке ФФИ Республики Беларусь.

**Использование компьютерных технологий при преподавании специальных дисциплин**

Костюкевич Е.К.

Белорусский национальный технический университет

Проблемы ресурсо- и энергосбережения актуальны и решаются во всех странах, но при общем содержании конкретные способы и направления их решения обусловлены национальными, природно-геологическими, экономическими особенностями каждой страны. По данным Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды наиболее острой экологической проблемой для Республики Беларусь является нерациональное природопользование. Большие объемы природных ресурсов идут в отходы. Поэтому возникает потребность в подготовке специалистов нового типа, неординарно мыслящих, обладающих широким спектром прикладных знаний, способных послужить делу восстановления социально-экономического потенциала и сохранения природной среды. Природоохранные знания, глубокое понимание закономерностей и явлений природы могут дать положительные результаты при решении проблем энергосбережения, в поиске деловых решений на основе ответственности перед окружающей средой. Ведь зачастую от нравственной зрелости специалистов, людей, причастных к различным видам производства, к созданию или внедрению новых технологий зависит, какие мотивы возьмут верх при принятии существенных для природы решений. В связи с этим подготовка специалистов-инженеров-менеджеров по специальности 1-43 01 06 «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент» требует изучения спецкурса «Природные ресурсы и их использование».

Как известно, в настоящее время центральное место при преподавании специальных дисциплин в вузе занимает информационное обеспечение, т.к. наблюдается явная нехватка учебной литературы, которую можно было бы рекомендовать студентам для самостоятельной подготовки.

Анализ имеющейся учебно-методической и научно-технической литературы показал, что систематизированные учебные пособия по вышеназванному курсу отсутствуют. Име-

ются издания, освещающие лишь отдельные вопросы эффективного использования природных ресурсов, они могут быть использованы при подготовке лекций и практических занятий, однако в качестве учебных пособий по данной дисциплине малопригодны. Это обстоятельство подчеркивает необходимость наличия дополнительных источников информации, которыми мог бы воспользоваться любой студент в удобное для себя время.

Безусловно, решение обозначенной проблемы невозможно без применения современных информационных технологий, которые дают колоссальный полигон при информатизации процесса обучения, т.к. в использовании информационных средств на первый план выступает такое их дидактическое свойство, как наглядное и образное предъявление информации. Однако при этом необходимо учесть, что процесс обучения будет эффективнее, если используемые в учебном процессе элементы информационных технологий будут рационально сочетаться с традиционными образовательными технологиями и поддерживаться современными техническими средствами.

Поскольку основой образовательного процесса в очной форме обучения остаются обзорные лекции, эффективным средством, адекватным информационным технологиям, должен быть, по мнению автора, электронный конспект лекций. В отличие от электронного учебника (пособия), где процесс управления познавательной деятельностью реализуется в неявной форме (имеет место свобода выбора темпа и порядка прохождения учебного материала), электронный конспект лекций предназначен для лектора и используется лектором с учетом его индивидуальной манеры чтения лекций, специфики учебной дисциплины, уровня подготовки студентов и т.д. Электронный конспект лекций позволяет, к примеру, совместить слайд текстового и графического сопровождения (фотоснимки, диаграммы, рисунки) с компьютерной анимацией. Таким образом, в данном случае сочетаются технические возможности компьютерной техники с живым общением лектора с аудиторией. Качественное улучшение лекционного материала достигается за счет применения современных компьютерных технологий при подготовке конспекта, т.е. сканирования научной и учебной графической информации,

импорта из сети Интернет уникальных фотографий, киноклипов, подготовки графиков, диаграмм и т.д.

Практическое использование электронного конспекта лекций предполагает наличие современного компьютерного оборудования, позволяющего организовать чтение лекций с демонстрацией необходимой информации на экране. Автором подготовлены лекции-презентации по некоторым темам курса с учетом психолого-педагогических принципов построения учебного материала.

Структура электронного конспекта отдельно взятой лекции, имеет развитую гипертекстовую структуру с удобной для пользователя системой навигации, позволяющей ему легко перемещаться по конспекту, глоссарий (автономные справочные материалы) и ссылки на источники информации в сети Интернет, что не исключает вариант самостоятельной работы студента с информацией и позволяет преподавателю при необходимости проводить занятие в форме самостоятельной работы за компьютерами, оставляя за собой роль руководителя и консультанта.

Практика показала, что разработка и внедрение такого рода компонентов в процесс обучения дает преподавателю и студенту возможность сделать учебную деятельность интересной, эффективной, доступной, современной и практичной. В то же время использование инновационных компонентов преподавания предъявляет к педагогическому персоналу новые требования, т.к. значительно изменяется направленность работы преподавателей (поиск информации в Интернете, использование компьютерных технологий при обработке графического иллюстрационного материала, подготовки электронного конспекта лекций-презентаций и т.д.). Конечно, нельзя сказать, что в связи с этим работы у преподавателя стало меньше. Скорее наоборот, т.к. много времени занимает подбор, обработка и оформление иллюстративного, статистических и других материала. Однако созданные учебные материалы в виде презентаций и Web-страниц являются одним из перспективных путей решения проблемы информационной поддержки не только дисциплины «Природные ресурсы и их использование», а также они могут быть полезны при изучении других курсов, например «Основы энергосбережения», «Промышленная экология» и т.д.

**Эффективность распределенной генерации энергии**

Ми Цзянь Фэн

Белорусский национальный технический университет

Перспективным направлением развития электрогенерирующих источников является сооружение установок распределённой генерации энергии. К ним обычно относят электрогенерирующие источники на базе малых газотурбинных и парогазовых установок, топливные элементы, нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Повышенный интерес к развитию установок распределённой генерации энергии отмечается во всём мире. В США ежегодно устанавливается примерно 3,4 млн. кВт генерирующих установок небольшой мощности. В условиях либерализации электроэнергетики потребители, стремясь оградить себя от неустойчивости и слабой предсказуемости цен рынка, а также снизить свои расходы на покупку электроэнергии и зависимость от энергосистемы устанавливают у себя электрогенерирующие установки малой мощности. Стоимость производства электроэнергии такими установками может быть не ниже, или даже несколько выше стоимости электроэнергии, вырабатываемой на крупных станциях. Однако, учитывая, что в стоимость электроэнергии, вырабатываемой ими, не входят затраты на передачу и распределение, а также прибыль генерирующих компаний, их использование потребителями даёт положительный эффект.

Одним из вариантов развития распределённой генерации является установка теплофикационных паровых турбин в действующих котельных. Это обеспечивает комбинированную выработку электрической и тепловой энергии. Речь идёт о замене редукционных установок, в которых бесполезно теряемый при дросселировании потенциал пара используется в турбине для выработки механической энергии вращения, и далее в приводимом турбиной генераторе – электрической энергии. Если устанавливается противодавленческая турбина, то пар, получаемый на выходе её, направляется к потребителям. Экономический эффект достигается замещением покупки электроэнергии из энергосистемы её собственной выработкой по теплофикационному режиму.

Перспективным может быть использование газовых двигателей-генераторов (ГДГ) в котельных и газопоршневых двигателях внутреннего сгорания. Отличительной особенностью газового двигателя-генератора является то, что продукты сгорания газового топлива, имеющие высокую температуру (400-450 °С), могут быть использованы в специальном котле-утилизаторе или в обычном котле для получения пара и горячей воды. Удельный расход топлива на выработку электроэнергии при работе ГДГ без утилизации теплоты составляет примерно 330 г/кВтч. При утилизации теплоты, принимая удельный расход топлива на выработку тепла равным 160 кг/Гкал, удельный расход топлива на выработку электроэнергии составит 158 г/кВтч.

Топливные элементы производят тепло и электроэнергию в результате электрохимической реакции топлива и кислорода. Они преобразуют химическую энергию, не используя процесс внутреннего сгорания, непосредственно в тепло и электроэнергию. При комбинированном производстве двух видов энергии их КПД достигает 80 %. Однако из-за их дороговизны они пока не конкурентоспособны, хотя в долгосрочной перспективе, когда в результате технического прогресса затраты в них будут снижены до необходимого уровня, они смогут занять свою нишу на рынке энергии.

В условиях предстоящего существенного увеличения цен на импортируемые энергоресурсы весьма перспективным для Беларуси является вовлечение в энергобаланс нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Особенно перспективно для Беларуси использование биомассы для производства энергии и, в частности, древесных отходов. Особенностью Беларуси является то, что её территория на 35% занята лесами и поэтому она является одной из самых богатых стран Европы по запасам древесной массы. Можно выделить два направления применения древесной массы: замена традиционного топлива (газ, мазут, уголь) в действующих котельных на древесное топливо и сооружение на базе древесных отходов ТЭЦ небольшой мощности. Затраты по первому варианту зависят от вида замещаемого топлива, способа переработки и сжигания топлива, способа реконструкции котла. При этом перевод котла на древесное топливо может сочетаться с установкой в котельной электрогенерирующего источника.

Сооружение малой ТЭЦ возможно вблизи крупного деревоперерабатывающего предприятия, где имеются значительные отходы древесины. В Беларуси есть несколько десятков таких предприятий, количество отходов в каждом из которых достигает 30-60 тыс. м<sup>3</sup> в год. Это даёт основание рассматривать целесообразность сооружения на базе таких предприятий малых ТЭЦ. Порой они могут размещаться в уже имеющихся зданиях котельных, что способствует снижению инвестиционных затрат в их сооружение. В качестве исходного сырья могут быть использованы также отходы лесоводства. Средний годовой потенциал отходов рубок ухода одного лесхоза составляет примерно 4,5 тыс. т.у.т. в год. Учитывая, что в Беларуси имеется 88 лесхозов, этого оказывается достаточным для строительства электростанций суммарной мощности 250-300 МВт.

Развитию децентрализованных систем электроснабжения способствует все более широкое вовлечение в энергобаланс гидроэлектростанций. В настоящее время в Республике вводятся в строй там, где это позволяют условия, микро-ГЭС. Хотя энергетический потенциал гидроэнергоресурсов в Республике невелик (порядка 300 МВт), однако вовлечение в энергобаланс таких ГЭС обеспечит более стабильное энергообеспечение электроэнергией потребителей, находящихся в зоне действия этих станций. Целесообразно не только с экономических, но также и со стратегических, экологических и социальных соображений всё шире вовлекать их в энергобаланс республики.

Источники распределённой генерации могут стать существенным дополнением к большой энергетике. Они позволяют сэкономить большое количество дорогого импортируемого топлива, улучшают экологическую обстановку, повышают надёжность энергоснабжения. Эти источники не требуют сравнительно больших инвестиционных затрат для их сооружения, что в свою очередь избавляет от необходимости привлечения инвестиций извне и упрощает решение проблемы ввода новых мощностей.

**Поиск в Интернете информации  
об энергоэффективных технологиях**

Погирницкая С.Г., Янцевич И.В.

Белорусский национальный технический университет

При изучении курса «Основы энергосбережения» и дисциплин специализации специальности «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент» возникает необходимость в поиске информации, связанной с новыми техническими, технологическими, экономическими и нормативно-правовыми разработками по энергоресурсосбережению в области энергетики, жилищно-коммунального хозяйства и других отраслей народного хозяйства.

В качестве литературных источников рекомендуются учебные и научные издания, издания периодической печати, материалы рекламного характера, материалы конкретных предприятий и организаций, а также материалы Интернет. Эта информация позволяет формировать информационную базу кафедры, ресурсами которой могут пользоваться как преподаватели при проведении учебных занятий, так и студенты при выполнении рефератов, курсовых и дипломных проектов.

При использовании материалов Интернета студенты ограничиваются в большинстве случаев информацией, предоставляемой сайтами типа «Реферат», «Банк рефератов» и им аналогичными. Работа сводится к нахождению этих сайтов и скачиванию из них информации, порой даже не приведя ее в надлежащий вид. Однако, как показал обзор этих сайтов, тематика предлагаемых материалов очень ограничена. Так, при написании рефератов по дисциплине «Основы энергосбережения» излюбленными темами по самостоятельному выбору являются «Энергосбережение в быту», «Парниковый эффект», «Альтернативные источники энергии», «Топливо-энергетические ресурсы», «Проблемы экологии». Но проблемы энергосбережения этим списком не ограничиваются. Как известно, энергосбережение – это не ограничение потребления энергоресурсов, не экономия ради экономии, а эффективное использование топливо-энергетических ресурсов за счет внедрения новых, энергоэффективных, прогрессивных технологий и оборудования.

При использовании сайтов типа «Рефераты» из рассмотрения практически выпадают такие темы как «Энергоэффективные технологии» в различных отраслях промышленности.

В настоящей статье при рассмотрении вопросов поиска информации по энергоэффективным технологиям с помощью Интернета авторы предлагают:

- использовать возможности различных поисковых систем, расширенный поиск по ключевым словам;
- на основе полученной информации создавать базу ссылок.

При поиске информации по энергоэффективным технологиям имеет смысл в первую очередь обратиться на Web-сервера организаций, занимающихся этими проблемами. В настоящее время практически все периодически издаваемые журналы и организации, связанные с проблемами энергоресурсосбережения, экологии и т.п., имеют свои сайты в Интернете. Примерами периодически издаваемых журналов могут служить «АВОК», «Энергосбережение», «Энергоэффективность», «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии», «Энергосбережение и водоподготовка», «Энергия и менеджмент», «Энергетик», «Энергетика за рубежом» и многие другие. Свои сайты имеют такие организации как Белорусская ассоциация промышленных энергетиков [www.energocentre.nsys.by](http://www.energocentre.nsys.by), энергосервисная компания «Экологические системы» [www.esco-ecosys.narod.ru](http://www.esco-ecosys.narod.ru) и др.

Поиск информации в сети по ключевым словам можно осуществлять с помощью таких поисковых систем как [www.google.com](http://www.google.com), [www.rambler.ru](http://www.rambler.ru), [www.yahoo.ru](http://www.yahoo.ru), [www.yandex.ru](http://www.yandex.ru), [www.au.ru](http://www.au.ru), [www.altavista.com](http://www.altavista.com), [www.all.by](http://www.all.by) и др. Ключевыми могут быть конкретно определенные слова, соответствующие данной теме. Например, по теме «Энергоэффективность в жилищно-коммунальном хозяйстве» ключевыми могут служить слова «тепловая изоляция», «предизолированные трубы», «тепловой насос» и др. При самостоятельном выборе темы ключевыми могут быть слова «энергосбережение», «энергоэффективность», «эффективность».

В результате обработки запроса по ключевым словам различными поисковыми системами выдается огромный список аннотаций по документам, найденным на заданную тему. При этом зачастую возникает эффект «снежного кома» – одна информация «накручивает» другую, затрагиваются параллельные

темы, не менее нужные и интересные для пользователя-искателя. Большой объем информации затрудняет работу. Поэтому для удобства целесообразно всю найденную информацию сводить в таблицу с указанием названия организации или издания и основной тематической направленности, например:

Название и адрес	Тематика
<p><b>Энергосбережение</b> (журнал)  <a href="http://www.abok.ru/forma.php?en_mag">http://www.abok.ru/forma.php?en_mag</a></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• новые разработки по энергоресурсосбережению в области строительства, жилищно-коммунального хозяйства и энергетики;</li> <li>• обзорно-аналитическая и справочная информация о состоянии российского рынка товаров и услуг в области строительства, жилищно-коммунального хозяйства и энергетики;</li> <li>• и т.д.</li> </ul>

Как правило, электронные издания периодически издаваемых журналов, предлагают содержание по годам выпуска, во многих журналах есть материалы статей и возможность их скачать.

Таким образом, использование поиска по ключевым словам с использованием различных поисковых систем и создание базы ссылок на основе полученной информации позволяет:

- осуществить обзор информации по интересующей теме, предлагаемой различными источниками Интернета;
- повысить уровень новизны информации;
- мобильность Интернета позволяет получать информацию независимо от наличия ее других источников;
- схемы, рисунки, фотографии, информация по ценам и поставщикам определенной продукции, контактные телефоны и т.д. делают информацию наглядной, могут оказать помощь энергоменеджеру и другим заинтересованным лицам.

УДК 620.9

**Оценка спроса на топливно-энергетические ресурсы  
в условиях перехода к рыночной экономике**

Юмашева О.В.

Белорусский национальный технический университет

Оценка потребления энергетических ресурсов является исходным пунктом для разработки эффективной энергетической политики, а также выработки обоснованных решений многих задач энергосбережения. Оценка структуры и объемов потребления топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) необходима для прогнозирования и планирования социально-экономического развития страны, ее регионов, населенных пунктов, производственных комплексов и объектов. Прогнозирование и планирование энергопотребления, в свою очередь, определяет задачи и стратегию развития производственных мощностей энергоснабжающих систем. При этом в условиях ограниченных инвестиционно-финансовых возможностей переходного периода, весьма важно объективно оценивать и учитывать энергосберегающий потенциал, возможности и целесообразность его реализации.

Принципиальная возможность такой оценки на уровне страны связана с общностью функций, показателей и факторов, характеризующих потребление всех видов энергетических ресурсов в различных отраслях и регионах.

Целями оценки уровня и анализа динамики энергопотребления являются:

- сбор, обработка и систематизация информации о потреблении различных видов топливно-энергетических ресурсов во всех отраслях народного хозяйства страны за определенный период;
- выявление существующих тенденций и наиболее общих факторов изменения энергопотребления;
- построение и проверка моделей прогнозирования для определения перспективного спроса на энергоресурсы;
- постановка и решение задач организации мониторинга и согласованной системы сбора, контроля и учета информации об энергопотреблении в каждый момент времени.

В условиях зависимости Республики Беларусь от внешних поставок энергетических ресурсов, отслеживание, учет и прогнозирование энергопотребления позволяет оценить объемы импорта ТЭР, определить наиболее выгодные варианты удовлетворения потребности республики в топливе и энергии.

Исходя из вышеизложенного, оценку уровня текущего и перспективного энергопотребления целесообразно проводить для всех видов ТЭР на всех уровнях потребления.

При планировании национальной энергетики необходимо учитывать, с одной стороны, мировые тенденции в потреблении ТЭР, с другой – наличие собственных первичных энергоресурсов и особенности национальной экономики.

Развитие топливной базы энергетики во всем мире будет определяться следующими основными направлениями: удорожанием практически всех топливно-энергетических ресурсов; проведением активной энергосберегающей политики во всех отраслях экономики и освоением в максимально возможных масштабах нетрадиционных возобновляемых источников энергии; ужесточением экологических требований.

Энергопотребление в Республике Беларусь осуществляется по следующим основным направлениям: в качестве котельно-печного топлива (на выработку тепло- и электроэнергию, технологические нужды предприятий, снабжение топливом населения); в качестве светлых нефтепродуктов (на работу транспорта); в качестве сырья (в основном газ и нефть для производства химической и нефтехимической продукции).

В условиях перехода к рыночной экономике в значительной степени изменились задачи оценки энергопотребления на различных временных и территориально-ведомственных уровнях. Поэтому для прогнозирования потребности национальной экономики в топливе, электрической и тепловой энергии в современных условиях необходимы принципиально новые подходы и методы, обобщающие показатели социально-экономического развития страны.

Основными методами прогнозирования и планирования потребления ТЭР являются: метод статистической экстраполяции, нормативно-балансовый, экспертных оценок.

Для оценки перспективного спроса на ТЭР автором был использован метод статистической экстраполяции. Для построе-

ния многофакторной модели зависимости исследуемого объекта от влияющих на него факторов использовались встроенные функции табличного процессора Excel: ЛИНЕЙН, ЛГРФПРИБЛ, ТЕНДЕНЦИЯ, РОСТ. По статистическим данным за последние 14 лет, исследовали зависимость уровня валового энергопотребления от факторов, определяющих этот уровень.. Полученное уравнение множественной регрессии имеет вид:

$$Y = -1,79 + 0,259X_1 + 0,012X_3 + 0,00036X_4 - 0,006X_5 + 0,0856X_6,$$

где  $Y$  – валовое потребление ТЭР;

$X_1$ - $X_6$  – соответственно численность населения, потребление ТЭР на душу населения, уровень ВВП, энергоёмкость ВВП, средние тарифы на электрическую и тепловую энергию.

Для проверки адекватности найденного уравнения множественной регрессии автором рассчитаны следующие критерии: критерий Фишера, критерий Стьюдента, коэффициент детерминации, значения дисперсии зависимой переменной, оценочный уровень общей и стандартной ошибки, доверительный интервал модели. На основании расчетных значений данных критериев, делаем вывод о том, что модель является достаточно точной и пригодной для прогнозирования.

По полученной модели выполнен прогноз валового энергопотребления в Республике Беларусь на период до 2007 года. Результаты сопоставимы с прогнозами концерна «Белэнерго». Ошибка составляет не более 8%.

Изменение функций планирования энергопотребления в условиях перехода Беларуси к рыночной экономике ставит задачи: математического моделирования характеристик потребления ТЭР для целей макроэкономического прогнозирования; многоуровневого анализа и оценки спроса-предложения ТЭР на основе энергетических мониторинга и маркетинга; создания банков энергосберегающих проектов с инвестиционными обоснованиями.

# **Информационные технологии и автоматизация**

**Программирование классических задач робототехники с использованием языкоориентированной оптимизации CAS Maple 9.03.**

Герасюто С. Л.

Белорусский национальный технический университет

**Аналитическое решение для плоского двухзвенного манипулятора с вращающимися парами пятого класса**

В отличие от прямой задачи кинематики, где существует однозначное решение, в обратной задаче кинематики всегда есть множество решений. Рассмотрим плоский двухзвенный манипулятор (рис. 1).

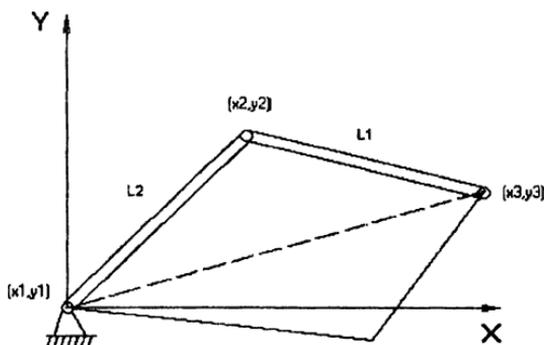


Рис. 1 Двухзвенный манипулятор с вращающимися парами пятого класса.

Обычное классическое векторное решение такой задачи предусматривает введение пространства присоединенных переменных для кинематической пары каждого из звеньев. Решение находится в виде пар углов (в данном случае две пары), которые вычисляются ЭВМ через специальную функцию  $\arctg2$ .

Аналитический подход не предусматривает дополнительного преобразования систем координат и оперирует неизвестными только в декартовой системе координат. В конечном итоге мы получаем те же наборы решений, что и в векторном методе, но

уже в виде координат точек  $x_2, y_2$  (в данном примере два). Для этого надо решить в общем виде систему уравнений (1), связывающую координаты манипулятора. Уравнения системы (1) представляют собой задачу аналитической геометрии о пересечении двух произвольных окружностей на плоскости.

$$\left\{ \begin{array}{l} x_3 - \text{задается как координата конца схвата} \\ y_3 - \text{задается как координата конца схвата} \\ l_1, l_2 - \text{длина звеньев (постоянный параметр)} \\ (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 = l_1^2 \\ (x_2 - x_3)^2 + (y_2 - y_3)^2 = l_2^2 \end{array} \right. \quad (1)$$

Полное решение (1) получено при помощи CAS Mathematica (CAS – computer algebra system) и здесь не приводится. Упрощенное решение, где манипулятор робота считается помещенным в начало системы координат ( $x_1=0$  и  $y_1=0$ ) и длины звеньев равны ( $l_1 = l_2 = l$ ) приведено ниже (2).

$$\left\{ \begin{array}{l} x_2 = \frac{x_3^4 + x_3^2 y_3^2 - y_3 \sqrt{-x_3^2(x_3^2 + y_3^2)(-4l^2 + x_3^2 + y_3^2)}}{2x_3(x_3^2 + y_3^2)} \\ y_2 = \frac{x_3^2 y_3 + y_3^3 + \sqrt{-x_3^2(x_3^2 + y_3^2)(-4l^2 + x_3^2 + y_3^2)}}{2x_3(x_3^2 + y_3^2)} \end{array} \right. \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x_2 = \frac{x_3^4 + x_3^2 y_3^2 + y_3 \sqrt{-x_3^2(x_3^2 + y_3^2)(-4l^2 + x_3^2 + y_3^2)}}{2x_3(x_3^2 + y_3^2)} \\ y_2 = \frac{x_3^2 y_3 + y_3^3 - \sqrt{-x_3^2(x_3^2 + y_3^2)(-4l^2 + x_3^2 + y_3^2)}}{2x_3(x_3^2 + y_3^2)} \end{array} \right.$$

#### Оптимизация решения для языка программирования С.

Полное или упрощенное решение (2) являются неоптимизированными математическими формулами. Для эффективного их выполнения на ЭВМ нужна языкоориентированная оптимизация. Для этой задачи применяем CAS Maple.

Неоптимизированный вариант (на примере значения x2):

restart:

with(CodeGeneration):

```
C((x3^4+x3^2*y3^2-y3*sqrt(-x3^2*(x3^2+y3^2))*(-4*1^2+x3^2+y3^2)))/(2*x3*(x3^2+y3^2)), resultname="x2");  
x2 = (pow(x3, 0.4e1) + x3 * x3 * y3 * y3 - y3 * sqrt(-x3 * x3 * (x3 * x3 + y3 * y3)) * (-(double) (4 * 1 * 1) + x3 * x3 + y3 * y3))) / x3 / (x3 * x3 + y3 * y3) / 0.2e1;
```

Оптимизированный вариант с использованием промежуточных переменных:

restart:

with(CodeGeneration):

```
C((x3^4+x3^2*y3^2-y3*sqrt(-x3^2*(x3^2+y3^2))*(-4*1^2+x3^2+y3^2)))/(2*x3*(x3^2+y3^2)), optimize);  
t1 = (int) (x3 * x3);  
t2 = (double) t1 * (double) t1;  
t3 = (int) (y3 * y3);  
t5 = (int) ((double) t1 + (double) t3);  
t7 = (int) (1 * 1);  
t11 = sqrt(-(double) (t1 * t5 * (-4 * t7 + t1 + t3)));  
t18 = (t2 + (double) (t1 * t3) - y3 * t11) / x3 / (double) t5 / 0.2e1;
```

УДК 612.9.06-529, 681.3.06

**Экспертная система для поддержки моделирования  
и проектирования производственных систем**

Шардыко П.П., Новичихина Е.Р.

Белорусский национальный технический университет

Работа относится к области компьютерного моделирования и проектирования технологических систем (ПС) в учебном процессе. Для компенсации неопытности студентов в предметной области используется технология искусственного интеллекта, а именно - экспертных систем.

Экспертная система подсказывает целесообразный для данных показателей назначения тип технологической системы, помогает правильно выбрать и идентифицировать метод моделирования, корректно интерпретировать результаты. Наглядность достигается анимационной визуализацией структуры и процесса функционирования ПС, а также работы самой экспертной системы.

Недостающие исходные данные предлагаются экспертной системой автоматически, используя статистические данные, эмпирические зависимости и знания экспертов. Интерпретация результатов моделирования и выдача некоторых заключений по ним происходит также автоматически.

ПС отличаются большим разнообразием. Каждая ПС, особенно автоматизированная, является сложной и уникальной. Впервые сталкиваемому с ними студенту трудно представить их внешний облик и процесс работы только по чертежам и описанию. Влияние различных факторов на результаты функционирования ПС предсказать умозрительно нельзя. Показать на экскурсиях каждый тип ПС «живьем», а тем более дать поэкспериментировать с ней, не представляется возможным. Т.о. альтернативы структурному и процессному моделированию ПС при их изучении нет.

Вместе с тем, первоначальное отсутствие у студента знаний в предметной области и навыков моделирования неизбежно ведет к ошибкам при формировании моделируемых вариантов ПС, при идентификации метода моделирования, при подготовке исходных данных, при интерпретации результатов и оценке их адекватности. Ошибки остаются незамеченными, а сформиро-

ванные знания оказываются искаженными или даже неверными. Постоянные подсказки преподавателя снимают текущие частные проблемы. Однако, такое пассивное восприятие, без самостоятельного постижения и углубления знаний не способствуют усвоению материала. Кроме того, у преподавателя во время группового аудиторного занятия и тем более в процессе курсового проектирования нет возможности постоянного, мелочного и индивидуального попечительства.

На кафедре робототехнических систем БНТУ разработана и успешно применяется учебная программа для изучения, моделирования и проектирования технологических систем, в значительной мере снимающая указанную проблему. Это достигается поддержкой моделирования встроенной экспертной системой и визуализацией объекта и процесса. В программу заложены следующие принципиальные решения:

- ведение пользователя в сеансе работы проводником-экспером с графическим отображением этапа моделирования, имеющихся и уже рассмотренных альтернатив, текущих результатов и результатов предыдущих итераций, направления дальнейшего движения,

- автоматическая проверка целесообразности или прямая рекомендация моделируемых вариантов ПС по показателям ее назначения (программа, номенклатура, размер партии, тип и сложность изделия),

- автоматическая рекомендация целесообразного метода моделирования (математического аппарата) по имеющимся исходным данным, интересующим параметрам, этапу проектирования и цели анализа (поиск или оптимизация варианта),

- автоматическая рекомендация среднестатистических значений для отсутствующих исходных данных,

- использование в диалоге и интерфейсе только терминов естественного языка технолога и проектировщика, независимо от применяемого в данный момент математического аппарата моделирования,

- графическое отражение структуры пс, близкое к ее планировке и анимация функционирования в соответствии с реальным алгоритмом асутп,

- автоматическое варьирование исходных данных с выдачей графиков зависимостей,

- выдача заключения по результатам моделирования и технических рекомендаций для улучшения проекта.

Программа моделирует ПС типа обрабатывающий модуль, участок или линия.

В программу входят следующие компоненты :

- комплект наиболее распространенных аналитических и имитационных моделей ПС,

- пакет статистической обработки данных Stadia (заимствуется),

- комплекс ЭС поддержки моделирования и интерпретации.

Комплект моделей представляет собой программы модули, реализующие следующие методы моделирования:

- прямой счет (модели временного баланса),

- ведение циклограммы,

- метод динамики средних (составление и решение системы дифференциальных уравнений Колмогорова для марковских случайных процессов),

- методы теории массового обслуживания (теории очередей),

- метод теории сетей массового обслуживания,

- метод имитационного (статистического) моделирования.

Для создания экспертных систем в программе использовалась «пустая» оболочка и опыт ее использования в учебном процессе [1].

Программа используется в учебном процессе для выполнения лабораторных работ, курсовых и дипломных проектов.

Использование программы показало ее эффективность. Она позволяет повысить интенсивность обучения, степень усвоения материала и заинтересованность студентов.

## Литература

1. Новичихин Р.В., Лобовкин М.И., Новичихина Е.Р. Опыт использования экспертных систем в учебном процессе. – В кн.: Наука – образованию, производству, экономике: Материалы Международной научно-технической конф., Минск, 4-7 февраля 2003г. / Под общей ред. Б.М.Хрусталева, Соломахо В.Л.-Мн.УП “Технопринт”, 2003. - В 3 т. Том 1, с.220-224.

**Исследование импульсных преобразователей  
постоянного тока, работающих в качестве силовых  
интерфейсных модулей солнечных батарей**

Абдул Мажид Аль-Хатиб, Петренко Ю.Н.

Белорусский национальный технический университет

Между солнечной батареей (СБ) и сетью переменного тока необходима установка преобразовательных устройств – силовых интерфейсных модулей (СИМ) [1]. Это может быть преобразователь постоянного тока, автономный инвертор напряжения с трансформаторным выходом или инвертор тока с конденсаторным выходом.

Схема ШИМ-преобразователя для 2-х интервалов ее работы изображена на рис. 2 (а,б). Интервалы работы схемы представим в виде таблицы 1.

**Таблица 1**

**Состояние элементов схемы рис.2**

Интервал	VT1	VT2	VT3	VT4	состояние		
					L1	L2	C
1	+	-	-	-	Н		О
2	-	+	-	-	О		Н
3	-	-	+	-		Н	О
4	-	-	-	+		О	Н

В таблице 1 знаком «+» обозначены проводящие состояния транзисторных ключей, непроводящие – знаком «-»; для индуктивностей и конденсатора: Н – накопление энергии; О – отдача энергии.

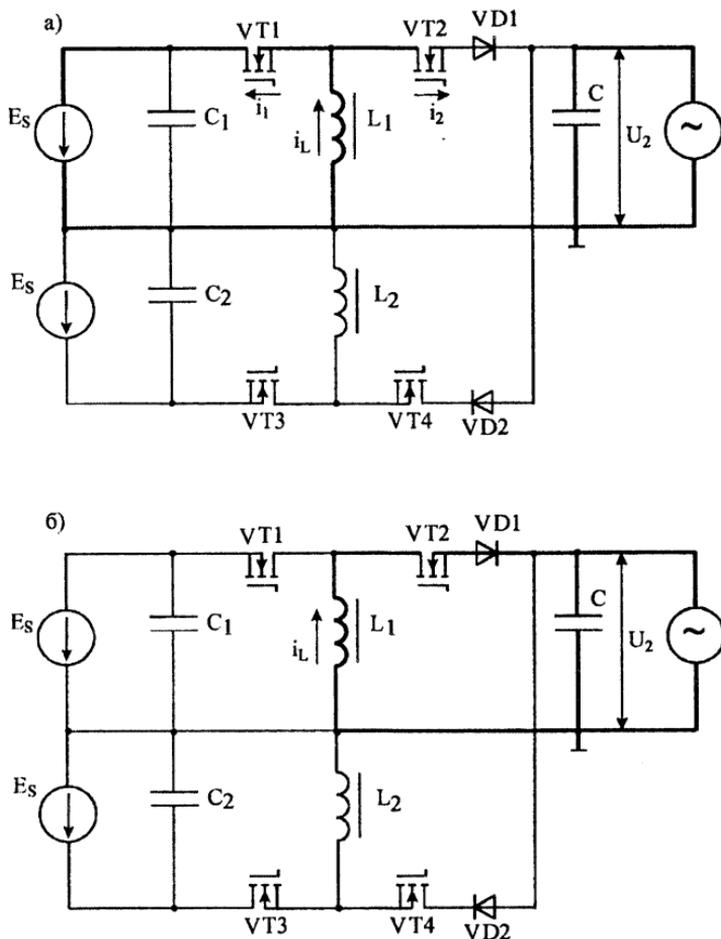


Рис. 1. Преобразование энергии солнечных батарей:  
а)- первый этап; б)- второй этап

Принимая во внимание общепринятое допущение, для схемы рис. 2 запишем уравнения:

$$L \frac{di_1(k)}{dt} + R_1 i_1(k) = U_1 ; \quad (1)$$

$$L \frac{di_2(k)}{dt} - R_2 i_2(k) = \sqrt{2} U_2(k), \quad (2)$$

где  $L = L_1 = L_2$  – индуктивность дросселя,

$R_1, R_2$  – эквивалентные сопротивления цепей в интервале I и II соответственно;  $K$  – число переключений; (номер интервала)  $U_1$  – напряжение солнечной батареи;  $U_2$  – выходное напряжение переменного тока.

Полагая  $i_1(k) = i_2(k-1)$  в (1) при  $t = 0$ , решение уравнений имеет вид:

$$i_1(k) = \frac{U_1}{R_1} + \left[ i_2(k-1) - \frac{U_1}{R_1} \right] \exp \left[ -\frac{R_1}{L} t_1(k) \right], \quad (3)$$

$$i_1(k) = -\frac{\sqrt{2}U_2(k)}{R_2} + \left[ i_1(k) + \frac{\sqrt{2}U_2(k)}{R_2} \right] \exp \left[ -\frac{R_1}{L} t_2(k) \right], \quad (4)$$

где  $t_1, t_2$  – время включенного состояния VT1 и VT2 соответственно.

Учитывая непрерывность тока в индуктивности (на интервале полупериода выходного напряжения) получим:

$$i_1(k) = \frac{U_1}{L} t_1(k), \quad (5)$$

$$i_2(k) = \frac{\sqrt{2}U_2}{L} t_2(k), \quad (6)$$

$$t_1 + t_2 = \frac{1}{2Nf} = \frac{T}{2N}, \quad (7)$$

где  $T$  – период напряжения переменного тока;

$N$  – число переключений.

Весьма важным элементом схемы является дроссель  $L$ , для определения параметров которого воспользуемся следующими уравнениями.

На интервале  $p$  проводимости VT1, когда ток дросселя  $i_1$  достигает наибольшей величины запишем:

$$i_{1\max} = \frac{U_1}{L} T_1 = \frac{\sqrt{2}U_2}{L} T_2, \quad (8)$$

На рис.3 приведена форма тока индуктивности на интервалах проводимости ключей VT1 и VT2 и значение  $i_{1\max}$ .

Продолжительность интервалов для  $p$ -го импульса:

$$T_1 = \frac{i_{1\max} L}{U_1}, \quad (9)$$

$$T_2 = \frac{i_{1\max} L}{\sqrt{2}U_2} \quad (10)$$

Для  $p$ -го интервала полагая в (3), что  $t_1 = T_1$  и  $t_2 = T_2$ , запишем:

$$i_{1\max} = \frac{\sqrt{2}U_2 U_1 T}{2NL(U_1 + \sqrt{2}U_2)} \quad (11)$$

Мощность, отдаваемая в сеть:

$$P_{\text{абс}} = U_2 \sin \theta I \sin \theta_p \frac{T}{N} \quad (12)$$

Выражение мощности  $P_c$ , запасаемой конденсатором  $C$ , есть разность между мощностями в течении  $(p-1)$  и  $p$  – интервала, и имеет вид

$$P_c = \frac{U_2^2 IT}{N} (\sin^2 \theta_p - \sin^2 \theta_{(p-1)}) \quad (13)$$

Мощность, запасаемая в индуктивности:

$$P_c = P_c + P_{\text{абс}} = \frac{U_2^2 IT}{N} (2\sin^2 \theta_p - \sin^2 \theta_{(p-1)}) \quad (14)$$

Таким образом, энергия запасаемая в дросселе должна соответствовать (10), т. е.

$$\frac{1}{2} Li_{1\max}^2 = P_L \quad (15)$$

Подставляя (10) в (11) получим:

$$\frac{1}{2} Li_{1\max}^2 = \frac{U_2^2 IT}{N} (2\sin^2 \theta_p - \sin^2 \theta_{(p-1)}) \quad (16)$$

Из (12) получим выражение индуктивности дросселя

$$L = \frac{U_2 U_1^2 T}{4NI(U_1 + \sqrt{2}U_2)^2 (2\sin^2 \theta_p - \sin^2 \theta_{(p-1)})} \quad (17)$$

На основе полученного значения индуктивности можно определить проводимость VT1  $T_1$  на  $k$ -ом интервале:

$$i = \frac{U_1}{L} T_1(k) \quad (18)$$

При этом в дросселе запасается энергия:

$$\frac{Li^2}{2} = \frac{U_2^2 IT}{N} (2\sin^2 \theta_k - \sin^2 \theta_{(k-1)}) \quad (19)$$

Используя (14) и (15), получим:

$$T_1(k) = \left[ \frac{2LU_2IT(2\sin^2\theta_k - \sin^2\theta_{(k-1)})}{NU_1^2} \right]^{1/2}. \quad (20)$$

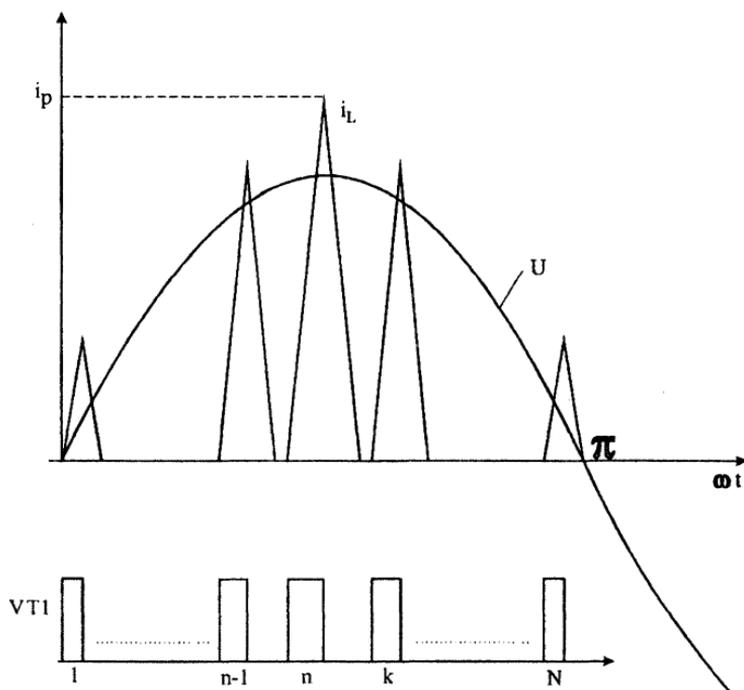


Рис.2. График тока в дросселе ( $i_L$ ), выходное напряжение ( $U$ ) и управляющие импульсы транзистора  $VT1$  в течение полу-периода выходного напряжения

Таким образом, определены основные параметры ШИМ-преобразователя электроэнергии СБ.

### Литература

1. Абдул Мажид Аль-Хатиб. Концепция электропитания жилого дома с «нулевым потреблением» в условиях Ливана. // Инновационная деятельность в системе образования, науки и производства: Мат. Респ. научно-практической конф., (26-28 ноября 2002 г. Минск) / Под ред. М.М.Болабаса, Л.К.Волченковой, В.В. Сидорика. – Мн. УП «Технопринт», 2002. – с. 300-302

## Синтез системы автоматического управления бестрансформаторным повышающим преобразователем постоянного напряжения

Миронович А.В., Примшиц П.П.

Белорусский национальный технический университет

Целью данной работы является исследование бестрансформаторного преобразователя постоянного напряжения, а также синтез системы автоматического управления им.

Электрическая схема бестрансформаторного повышающего РПН представлена на рис. 1. В данной схеме энергия накапливается в конденсаторе  $C$ . Повышение напряжения на нём достигается за счёт сложения ЭДС источника и ЭДС индукции. Нужное направление протекания токов обеспечивается с помощью ключа  $Kл$  и диода  $\Pi$

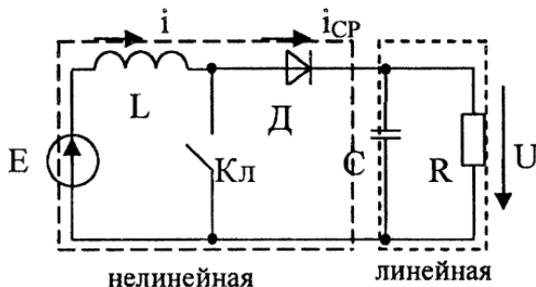


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема РПН

Математическое описание преобразователя представляет определённые трудности из-за наличия элементов, проводящих ток лишь в определённые периоды времени. Воспользуемся методом эквивалентной схемы с инъекцией тока.

Суть метода заключается в разделении схемы на две части: линейную и нелинейную. При этом считается, что нелинейная часть инжектирует в линейную определённый ток. Считая частоту коммутации полупроводникового ключа достаточно высокой (20кГц) произведём усреднение всех величин на протяжении одного периода коммутации. В результате, можно составить дифференциальные уравнения объекта управления, линеаризо-

вать их и исследовать поведение преобразователя при малых низкочастотных изменениях входных сигналов.

Система дифференциальных уравнений имеет вид:

$$\begin{cases} Lp i = E - U(1 - \gamma) \\ i_{cp} = i(1 - \gamma) \\ U = i_{cp} \cdot \frac{R}{RCp + 1} \end{cases}$$

где  $E$  – ЭДС источника питания

$\gamma$  – скважность открывающих импульсов ключа

Первые два уравнения системы являются нелинейными, так как содержат произведения переменных величин. Воспользуемся способом замены переменных их приращениями относительно точки установившегося режима.

$$\begin{cases} \Delta i L p = \Delta E - \Delta U(1 - \gamma_0) + U_0 \Delta \gamma; \\ \Delta i_{cp} = \Delta i(1 - \gamma_0) - I_0 \Delta \gamma; \\ \Delta U = \Delta i_{cp} \cdot \frac{R}{RCp + 1}. \end{cases} \quad (1)$$

На основании системы (1) составляем линеаризованную структурную схему преобразователя (рис.2). Здесь начальные

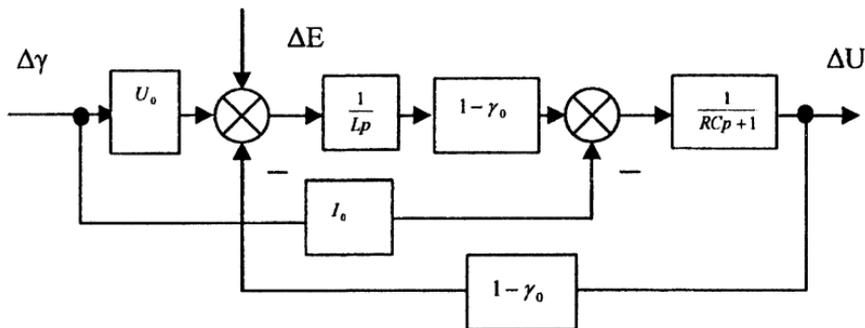


Рис. 2. Линеаризованная структурная схема

значения переменных состояния определяются из уравнений установившегося режима. В дальнейшем будем рассматривать лишь воздействия по входу задания. Наиболее удобным для синтеза САУ преобразователем представляется метод последовательной оптимизации контуров. В данном случае очевидным является выделение двух контуров: тока и напряжения.

Для упрощения синтеза принимаем нулевыми начальные значения тока и скважности, а также пренебрегаем внутренней обратной связью по напряжению.

Структурная схема контура тока представлена на рис. 3

Исследования показывают, что существенное улучшение качества переходных процессов достигается за счёт введения обратной связи по производной тока дросселя (рис. 3).

Передаточная функция замкнутого контура тока:

$$W_T = \frac{i}{U_{\text{н}}} = \frac{(T_D p + 1) \nu U_0}{L T_1 T_D p^3 + (L T_1 + k_2 \nu U_0 L T_1) p^2 + k_T k_1 \nu U_0 T_1 p + k_T \nu U_0}$$

Приняв распределение корней полинома по Баттерворду, получаем формулы для вычисления параметров  $k_1$  и  $T_1$ .

Для обеспечения возможности синтеза контура напряжения осуществим понижение порядка токового контура, пренебрегая коэффициентами при высших степенях  $p$  в виду их малости. При этом передаточная функция замкнутого контура тока принимает вид (2).

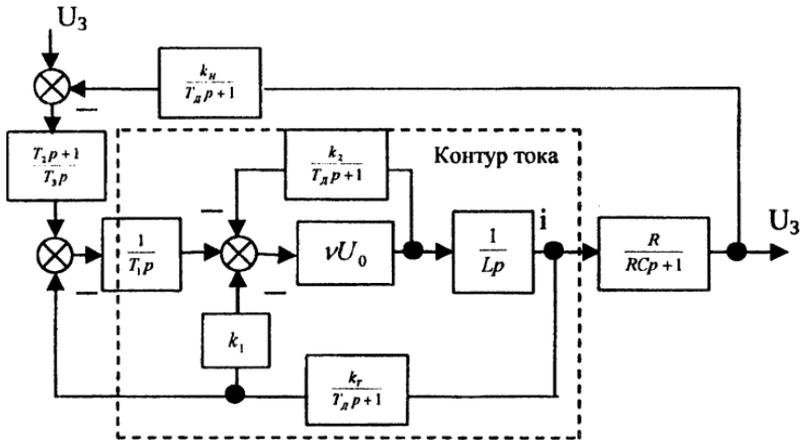


Рис. 3. Структурная схема контуров тока и напряжения

$$W_T = \frac{T_D p + 1}{k_1 T_1 p + 1} \cdot \frac{1}{k_T} \quad (2)$$

$T_D$  – постоянная времени датчиков,

$\nu$  – коэффициент перехода от напряжению к скважности.

Для повышения статической точности используем ПИ-регулятор напряжения. Передаточная функция замкнутого контура напряжения

$$W_H = \frac{U}{U_3} = \frac{(T_d p + 1)(T_2 p + 1)R}{T_1 T_3 R C k_T k_1 p^3 + (T_1 T_3 k_T k_1 + T_3 R C k_T) p^2 + (T_3 k_T + R T_2 k_H) p + k_H R}$$

Приняв распределение корней по Баттерворду, находим постоянные времени регулятора  $T_2$  и  $T_3$ .

В качестве примера рассмотрим синтез САУ повышающим преобразователем для питания компрессора системы кондиционирования воздуха пассажирского вагона. Здесь задача преобразователя – повысить напряжение от 110 В на аккумуляторе до 300 на входе инвертора. Мощность компрессора 10 кВт. Результаты моделирования переходных процессов в линеаризованной и реальной системах с помощью интегрированной системы MATLAB приведены на рис. 4.

Как видно, в целом переходные процессы являются удовлетворительными по основным динамическим показателям качества. Различия в основных показателях переходного процесса обусловлены, прежде всего, теми допущениями, которыми мы пользовались в ходе синтеза системы. Эти различия оказываются тем меньшими, чем меньшим является приращение входной величины по сравнению с установившимися значениями координат системы.

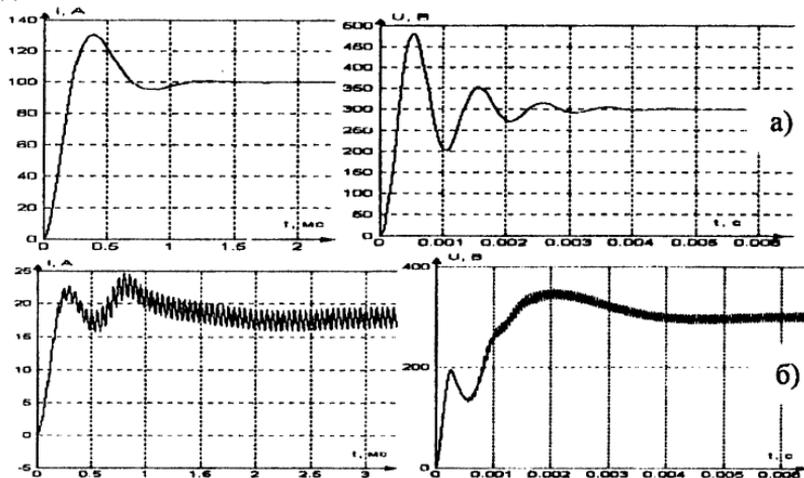


Рис. 4. Переходные процессы в линейной (а) и реальной (б) системах

**Разработка оптимизационной модели  
решения задач геомеханики**

Кураленко Ю.В., Журавков М.А.,  
Напрасников В.В., Придухо В.Т.

Белорусский государственный университет

Основными несущими элементами камерных и камерно-столбовых систем разработки являются междукамерные целики и кровля камер, размеры которых обуславливают эффективность систем. Недостаточные размеры камеры и большие размеры целиков приводят к ограничению размеров и мощности применяемых машин и значительным потерям полезного ископаемого. Наоборот, предельная ширина камер и недостаточная прочность целиков влекут внезапные или постепенно развивающиеся обрушения кровли, разрушение потолочины, трещинообразование в водозащитной толще и деформации поверхности.

Параметры систем разработки (ширина камер и размеры целиков) должны обеспечивать:

- 1) безопасность работ в забое в технологически заданное время (срок очистных и закладочных работ);
- 2) сплошность и водонепроницаемость водозащитной (налегающей) толщи;
- 3) допустимое опускание дневной поверхности;
- 4) максимально возможное извлечение полезного ископаемого.

Модель расчета напряженно-деформированного состояния массива горных пород в окрестности выработки реализована в программном комплексе FlexPDE и тщательно отработана. По результатам расчетов сделан вывод, что, устойчивость кровли и целиков определяется в основном их геометрией, прочностью горных пород и действующими нагрузками.

Таким образом, при решении этой задачи на основе численного подхода можно перейти к оптимизационной постановке, когда следует максимизировать общую площадь сечений выработанного пространства, соблюдая при этом ограничения на высоту зоны нарушенной сплошности.

Решать задачу по вычислению высоты зоны нарушенной сплошности можно различными программными средствами, такими как Nastran, Ansys, FlexPDE и т.д. Таким образом, может быть выполнена реализация одновариантного расчета. Однако оптимизационная задача требует многократного обращения к модели, и эта задача в общем случае оказывается нетривиальной. В данной работе предлагается способ ее решения с использованием FlexPDE.

Будем использовать следующую схему обмена данными между FlexPDE и оптимизационной программой (см. рис. 1).

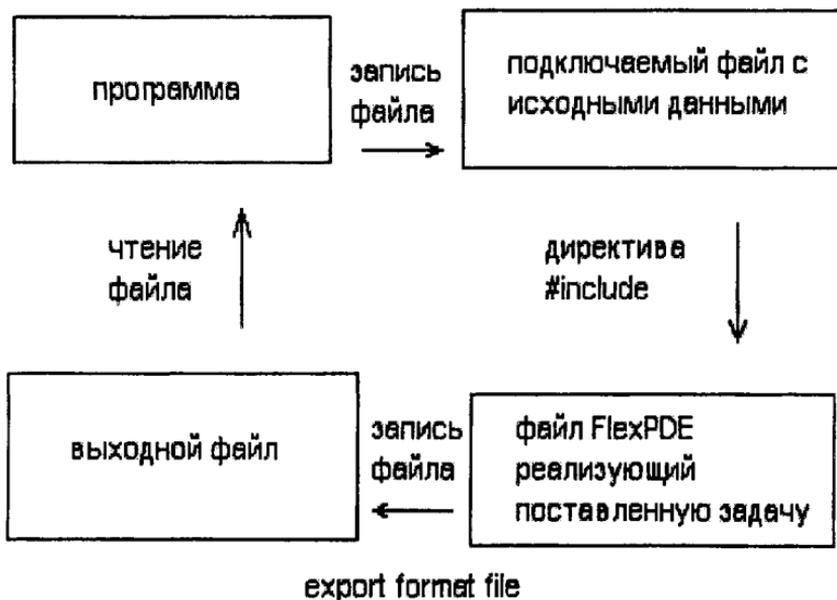


Рис. 1. Схема обмена данными

Для автоматического запуска FlexPDE на исполнение из пользовательской программы необходимо последовательно сгенерировать нажатие на кнопки *Modify* в окне отладки и *Run* в окне редактирования исходного кода.

Для реализации этих действий FlexPDE должен быть запущен. Во FlexPDE должен быть загружен файл, реализующий поставленную конечноэлементную граничную задачу. Про-

грамма пытается с помощью *Api*-функции *FindWindow* найти в адресном пространстве окна FlexPDE. Первый параметр функции это класс окна (Окно отладки класса *pdewin*, Окно редактирования класса *editwin*), второй – заголовок (в примере это *defl2* для окна отладки и *defl2.pde* для окна редактирования), результат – идентификатор окна (в примере это *h1* и *h2*). Если окна не найдены, то программа завершится аварийно. Заголовок окна (Окно отладки класса *pdewin*, Окно редактирования класса *editwin*) может редактироваться в зависимости от наименования компилируемого файла *defl2.pde*.

Если окна найдены, то программа запоминает их идентификаторы, далее программа записывает исходные данные в файл (*data.pde*), который подключен в основном файле в разделе DEFINITIONS во FlexPDE с помощью директивы *#include* (*defl2.pde*). Таким образом, данные принимают новые значения из подключённого файла (*data.pde*). Идентификаторы, записываемые в подключаемый файл, должны соответствовать идентификаторам изменяемых величин основного файла FlexPDE. Исследователь может корректировать набор входных параметров (размерность и содержание вектора *X*) в зависимости от решаемой задачи.

Далее генерируется нажатие на кнопки *Modify* и *Run* (*SendMessage*(*h1*, *WM\_COMMAND*, 201,0); и *SendMessage* (*h2*, *WM\_COMMAND*, 500,0);). Это осуществляется с помощью *Api*-функции *SendMessage*. Первый параметр функции это выше определённый идентификатор окна (*h1* и *h2*), второй – тип посылаемого сообщения (*WM\_COMMAND*), третий параметр – идентификатор кнопки ( для кнопки *Run* ID=500, для кнопки *Modify* ID=201).

Программа ждет, пока FlexPDE обновит выходной файл (*ptable.txt*). Для этого программа один раз в секунду проверяет атрибуты этого выходного файла. Если дата последних изменений файла изменилась, то FlexPDE закончил работу и можно анализировать выходные данные и запускать процесс снова (группа операторов перед последним *end*).

Изложенный подход был апробован на тестовой задаче, реализованной в файле *defl2.pde*, встроенном в примеры системы FlexPDE. Исходные данные (нагрузка и координаты узлов) определены в исполняемом файле в параметрическом виде. Эти

переменные задаются в подключаемом с помощью директивы `#include` файле `data.pde`. Подключаемый файл записывается внешней программой.

Таким образом, можно автоматизировать процесс изменения исходных данных, перезаписывая лишь подключаемый файл. Имена переменных, записываемые в подключаемый файл, должны соответствовать именам переменных, используемым в FlexPDE-программе. В Delphi-программу был добавлен алгоритм оптимизации, который был использован для минимизации площади области.

В исходном варианте объем нагруженной области составил 4 куб.ед., в оптимальном варианте при сохранении прочности объем уменьшился до 1,25 куб.ед.

#### **Выводы:**

1. Разработана и протестирована модель для расчета высоты зоны нарушенной сплошности.
2. Выполнена постановка оптимизационной задачи для увеличения объема выработанного пространства с учетом ограничений на высоту зоны нарушенной сплошности на основе программного комплекса FlexPDE.
3. Разработана программная реализация оптимизационной схемы, проверенная на тестовой задаче.

#### **Литература**

1. Зильбершмидт В.Г. и др. Технология подземной разработки калийных руд. – М.: Недра, 1977.
2. Журавков М.А., Мартыненко М.Д. Теоретические основы деформационной механики блочно-слоистого массива соляных пород. – Мн.: Універсітэцкае, 1995. – 255 с.
3. Журавков М.А., Кураленко Ю.В. (Напрасникова Ю.В.). Численное исследование напряженного состояния массива горных пород с выработкой. // Наука – образованию, производству, экономике: Материалы международной научно-технической конференции. – Мн., 2003. – Том 1. – С. 199-203.

## Автоматизированный метод обеспечения качества динамических систем на основе корневого подхода

Осипян А.И., Несенчук А. А.

Одним из важнейших направлений в исследовании динамических систем является обеспечение их качества. Параметрами качества системы являются степень устойчивости и колебательность [1]. Они определяются положением корней характеристического уравнения системы в плоскости собственных частот (плоскости корней). В данной работе рассматривается задача размещения корней в некоторой заданной области, определяющей параметры качества системы. Для решения используются плоские скалярные поля корневых траекторий кругового образа (ПКТКО) [2]. Это позволяет формировать в плоскости собственных частот замкнутые односвязанные области, ограничивающие определенные свойства системы. Таким образом обеспечиваются необходимые показатели качества.

Для автоматизации решения поставленных задач методикой описанной в [2]. Суть метода заключается в следующем. Пусть заданно характеристическое уравнение САУ

$$\Phi(p) + K\Psi(p) = 0, \quad (1)$$

где  $\Phi(p)$  и  $\Psi(p)$  – целые функции,  $K$  – неопределенный параметр системы.

Преобразуем выражение (1) и запишем его в виде

$$K = f(p) = -\frac{\Phi(p)}{\Psi(p)} = u(\delta, \omega) + jv(\delta, \omega), \quad (2)$$

где  $u(\delta, \omega)$  и  $v(\delta, \omega)$  гармонические функции двух независимых переменных  $\delta$  и  $\omega$ .  $\Phi(p)$  и  $\Psi(p)$  можно представить в виде

$$\Phi_n(p) = E_n(\delta, \omega) + j\omega F_n(\delta, \omega), \quad (3)$$

$$\Psi_n(p) = P_n(\delta, \omega) + j\omega R_n(\delta, \omega), \quad (4)$$

где  $E_n(\delta, \omega)$ ,  $F_n(\delta, \omega)$ ,  $P_n(\delta, \omega)$ ,  $R_n(\delta, \omega)$  – базовые полиномы.

Задавая образом корневого годографа в виде функции функцией  $K(u, v)$ , можно определить в аналитическом виде уравнения траекторий движения корней САУ что позволяет строить корневые годографы. Для задания полей корневых траекторий (ПКТ), необходимо определить диапазон изменения некоторого параметр уравнения образа корневого годографа (например радиус для ПКТКО) в пределах от 0 до  $+\infty$  и произвести отображение в область  $p$  с использованием (2).

Из [3] известно, что задание определенных показателей качества эквивалентно ограничению области  $\Lambda$  возможного расположения корней характеристического уравнения динамической системы линиями, изображенными на рис. 1.

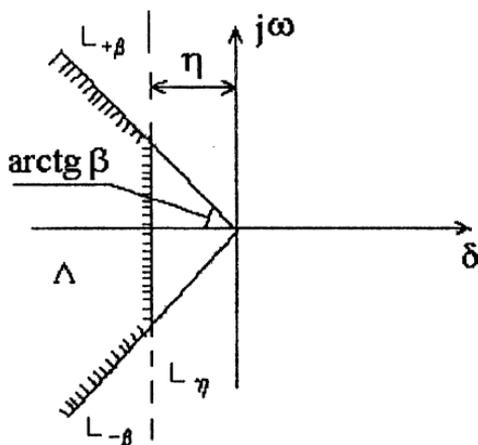


Рис. 1. Требования, предъявляемые к качеству динамических систем

Линия  $\eta = \text{const}$  определяет степень устойчивости системы, а линии  $p = \delta(1 \pm j\beta)$  – колебательность переходного процесса. Очевидно, что если центры образа кругового поля располагаются на действительной оси плоскости свободного параметра, то центры локализации ПКТКО [4] окажутся на ветвях корневого годографа Теодорчика-Эванса (КГТЭ), построенного для системы, каждый на отдельной ветви [4]. Таким образом, возникает зада-

ча определения таких координат центров окружностей-образов  $(u,0)$ , при которых центры локализации будут находиться в заданной области. Для этого найдем точки пересечения КГТЭ с линиями, ограничивающими область  $\Lambda$ . Далее для найденных пар  $(\delta, \omega)$  найдем значения  $u$  из (2) и выберем из них наименьшее  $u_{\min}$ . Т.о. центры окружностей-образов должны находиться в области  $(-\infty, u_{\min}]$ . Задаваясь центром окружности в точке  $(u_{\min}/2, 0)$  и радиусами  $r$  в интервале  $(u_{\min}/2, 0)$  можно находить уравнения корневого годографа кругового образа и определять существуют ли точки пресечения данного корневого годографа с линиями ограничивающими область  $\Lambda$ . Если пересечения существуют, то корневой годограф не принадлежит полностью заданной области устойчивости.

Для реализации описанных выше методов в среде Visual C++ разработана программа РКТ.exe. Программа РКТ состоит из следующих частей:

- 1 Базовые функции работы с динамическими векторами и матрицами комплексных чисел (сложение, вычитание умножение и др.)
- 2 Функция нахождения всех корней полинома с комплексными коэффициентами реализующая метод Лагуэра;
- 3 Функции оценки устойчивости системы;

Далее приведен пример работы программы.

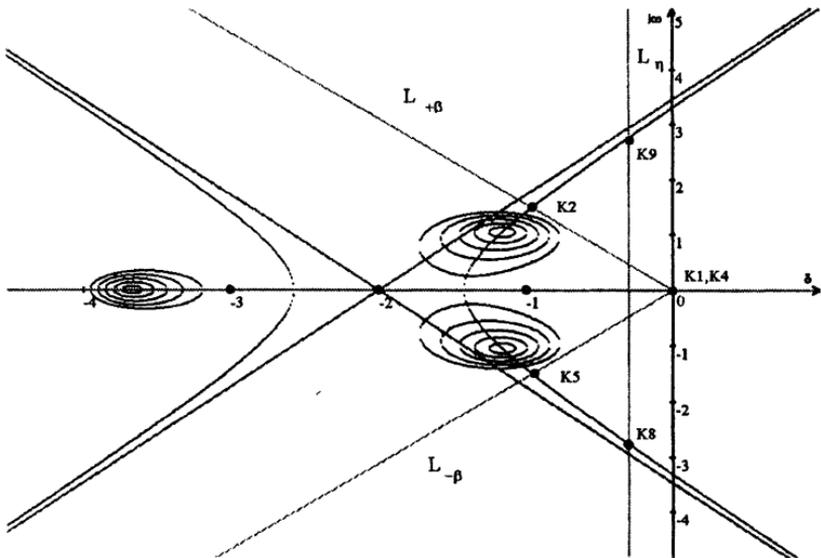
Пусть передаточная функция разомкнутой системы определяется выражением  $W(p)=1/[(p+1)(p+2)(p+3)]$ .

Пусть также для системы заданны следующие параметры качества: степень устойчивости  $\eta=-0.3$  и колебательность  $\beta=1$ .

Исходные данные и параметры качества вводятся в соответствующие диалоговые окна соответствующем диалоговом окне. После закрытия этих окон получим массив точек пересечения КГТЭ с линиями, ограничивающими область  $\Lambda$  и соответствующие значения параметра  $K$  (табл. 1.). Выбираем минимальный коэффициент усиления на положительных ветвях  $K=(6.89, 0)$ . Далее в диалоговом окне введем значения центра окружности - образа в точке  $(-3, 0)$  области свободного параметра и область изменения радиуса от 0 до 3 с шагом 0.5. В результате получим ПКТКО и КГТЭ (рис. 2).

Табл 1

$L_{+\beta}$	$(\delta, \omega)$	(0,0)	(0.96,1.49)	(19.92,31.03)
	К	(-6,0)	(6.89,0)	(-46059,0)
	точки	К1	К2	К3
$L_{-\beta}$	$(\delta, \omega)$	(0,0)	(0.96,-1.49)	(19.92,-31.03)
	К	(-6,0)	(-46059,0)	
	точки	К4	К5	К6
$L_{-\eta}$	$(\delta, \omega)$	(-0.3,0)	(-0.3,-2.76)	(-0.3,2.76)
	К	(-3.31,0)	(35.9,0)	(35.9,0)
	точки	К7	К8	К9

Рис. 2. ПКТКО вписанные в область  $\Lambda$ 

Точки пересечения К3 и К6 выходят за область рисунка.

Из рисунка что центры локализации действительно лежат на ветвях корневого годографа а ПКТКО не имеют точек пересече-

ния с линиями, ограничивающими область  $\Lambda$  полностью лежат в данной области.

В данной работе, был рассмотрен метод синтеза динамических систем на основе корневого подхода. Описана область  $\Lambda$ , определяющая требуемые параметры качества динамических систем. Предложен автоматизированный метод вписания полей корневых траекторий кругового образа в заданную область  $\Lambda$ , что позволило производить синтез динамических систем по заданным параметрам качества. Создана система автоматизированного проектирования динамических систем (PKT.exe) реализующая описанные методы. Данная система позволяет строить поля корневых траекторий кругового образа систем высоких порядков, находить точки пересечения корневого годографа Тэодорчика – Эванса с линиями, ограничивающими область  $\Lambda$ .

### **Литература**

1. Попов Е.П. Теория линейных систем автоматического регулирования и управления. М., 1989.
2. Римский Г.В., Таборовец В.В. Автоматизация исследований динамических систем, Мн., 1978
3. Теодорчик К. ДАН СССР, L, 191, 1945 ЖТФ, XVI; 845, 1946.
4. Несенчук А.А. Поля корневых траекторий динамических систем и их использование в задачах обеспечения рабастного качества. 2002. Доклады НАН Беларуси. Т.46 №11. С. 46-49.

**Принципы построения программного пакета  
моделирования и автономного программирования  
промышленных роботов и технологического оборудования**

Кустиков А.А.

Белорусский национальный технический университет

Большинство первых промышленных роботизированных систем были заняты в процессе массового производства, а их перепрограммирование либо не требовалось, либо занимало минимум времени. Но при работе промышленного робота (ПР) в условиях средне- и мелкосерийного производства время, затрачиваемое на его перепрограммирование обучением вручную, возрастает, что заставляет обратить внимание на методики автономного программирования. Постоянный рост сложности роботизированных операций делает этот способ программирования ещё более привлекательным. К его преимуществам следует отнести следующее:

- Сокращение простоев робота и затрат времени на переналадку робототехнических комплексов (РТК) на обработку нового типа деталей;

- Повышение безопасности производства;

- Использование единой САП для различных роботов - адаптация разработанной программы для конкретного робота выполняется специальным постпроцессором;

- Интеграция САП с производственными системами автоматизированного проектирования (САПР). Это позволяет использовать технологическую информацию об обрабатываемых деталях.

Использование САП позволяет на стадии подготовки производства производить компоновку РТК для конкретного технологического процесса, производить выбор наиболее подходящего робота и вспомогательного оборудования. Также с помощью подобных систем можно определять границы рабочей зоны ПР и оптимизировать положение робота в пределах РТК для снижения затрат энергии в процессе обработки детали, уменьшения времени работы ПР в предельных режимах и повышения качества технологического процесса.

В связи с увеличением общего уровня автоматизации современного производства и использованием промышленных роботов как одного из основных средств автоматизации погрузочно-разгрузочных операций, технологических процессов сварки, окраски и сборки возникает необходимость внедрения систем автономного программирования и в нашей стране.

За рубежом в промышленном масштабе используются несколько ведущих САП, сведения о некоторых из них представлены в таблице 1.

Таблица 1

САП	Производитель	ОС	Цена
eM-Workspace (RobCad)	Tecnomatrix	Unix	80.000 €
IGRIP	Delmia	Windows Unix	100.000 €
KR-SIM	Kuka Roboter GmbH	KUKA Terminal	15.000 €
Robot-Studio	ABB	Windows	12.000 €
Workspace	Eurobtec	Windows	20.000 €
Easy-Rob	Easy-Rob	Windows	2.375 €

Как видно из таблицы 1 данные программные продукты отличаются достаточно высокой ценой. Кроме того, данные системы поставляются с минимальным набором дополнительных функций.

На кафедре робототехнических систем БНТУ была предпринята попытка создания собственной системы автономного программирования ПР, с целью создания приемлемого по качеству аналога зарубежных систем автономного программирования для нужд отечественной промышленности.

Разрабатываемая система **@Robot** предназначена для графического моделирования и автономного программирования сложных РТК с одним или несколькими промышленными роботами. Система предлагается для моделирования и разработки управляющих программ для РТК точечной и дуговой сварки, окраски, транспортных и загрузочно-разгрузочных операций.

В библиотеку системы входит набор моделей реальных промышленных роботов, также рассматривается возможность импорта файлов систем моделирования IGRIP и EASY-ROB. Пре-

дусматривается возможность создания моделей новых ПР с количеством степеней подвижности до 12. Также в системе имеется библиотека моделей рабочих инструментов и возможности создания новых инструментов. В разрабатываемой системе предусматривается моделирование различных типов основного и вспомогательного оборудования РТК, обладающих собственными степенями подвижности (конвейеры, загрузочные и накопительные устройства, станки и др.).

Программирование в системе представляет собой методику разработки управляющих программ с использованием реализуемых в реальных системах управления ПР элементарных команд – неконтролируемого движения в заданную точку рабочей зоны (планирование траектории в обобщенных координатах), прямолинейного движения и движения по дуге окружности (планирование траектории в декартовых координатах).

Графическое моделирование в системе предусматривает создание трехмерной модели РТК с использованием большого количества элементарных примитивов (параллелепипед, цилиндр, конус и т.д.) или импортируемых комплексных трехмерных моделей форматов IGRIP или STL. Подсистема визуализации построена на базе универсальной графической библиотеки OpenGL.

В системе имеется блок анализа столкновений манипулятора ПР с оборудованием РТК и другими роботами, работающий в режиме реального времени. Предусматриваются возможности импорта траекторий движения рабочего органа (РО) ПР или модели обрабатываемой детали из файлов используемых в промышленности САПР – AutoCAD, IGRIP. Исследуются возможности реализации моделирования динамики промышленного робота и оптимизации траектории движения РО с учетом динамики движения звеньев робота для уменьшения ошибок позиционирования.

## Оптимизация характеристик информационных мультипроцессорных систем

Шматин А.С., Шматин С.Г.

Белорусский национальный технический университет

Приведена методика определения производительности мультипроцессорных систем и оптимизация их характеристик.

По мнению ряда ведущих зарубежных и отечественных специалистов производительность мультипроцессорных систем в значительной мере определяется оптимальным соотношением в них процессоров, единиц памяти, а также эффективным временем обращения процессор-процессор, процессор-ЗУ.

Разделяемая память образуется совокупностью ЗУ всех устройств в системе. Процессы распределения в системе могут обращаться как к своей памяти, так и ко всем остальным при условии отсутствия пересечения запросов от других процессоров. Производительность  $T$  определяется числом  $M$  запоминающих устройств, числом  $N$  локальных процессоров в системе, а также частотой пересечения запросов от разных процессоров к памяти [2-4].

$$T = \left[ \frac{M}{R} \right] \cdot \left[ 1 - \left[ 1 - \frac{R'}{M} \right]^N \right], \quad (1)$$

где  $R'$  – действительное использование ЗУ процессоров, которая включает пересечение с запросами других процессоров;

$R$  – логический показатель использования;  $R = r_1 r_2 r_3$ ;

$r_1$  – время обращения процессора (в предположении первичной обработки информации);

$r_2$  – время обращения процессора ко вторичной памяти в системе распределенной памяти;

$r_3$  – интервал времени, в течение которого блокируется обращение ко вторичной памяти.

При разработке реальных систем надо использовать логический показатель  $R$ , так как он легко может быть рассчитан. чтобы получить выражение производительности с учетом только логического показателя  $R$ , предположим, что  $t_0$  – среднее время цикла процессора, то есть среднее время между обращениями к памяти одного процессора;  $t_b$  – среднее время блокировки

памяти;  $t_{ж}$  – среднее время ожидания освобождения блокировки памяти, тогда

$$R = \frac{t_B}{t_0}; \quad R' = \frac{t_B + t_{ж}}{t_0 + t_{ж}}; \quad t_{ж} = \frac{(R' - R)t_0}{t_0 + R'}$$

$\frac{T}{N}$  - отношение скорости исполнения инструкции N-

процессором, при наличии влияния других процессоров

$$\frac{T}{N} = \frac{t_0}{t_0 + t_{ж}}$$

Подставим выражение для  $t_{ж}$  и после преобразования получим

$$R' = 1 - \frac{T}{N}(1 - R) \quad (2)$$

Подставим (2) в (1) и, произведя преобразования, получим

$$T = \frac{M}{R} \left( 1 - \left( 1 - \frac{1}{M} \left( 1 - \frac{T}{M} (1 - R) \right) \right)^N \right) \quad (3)$$

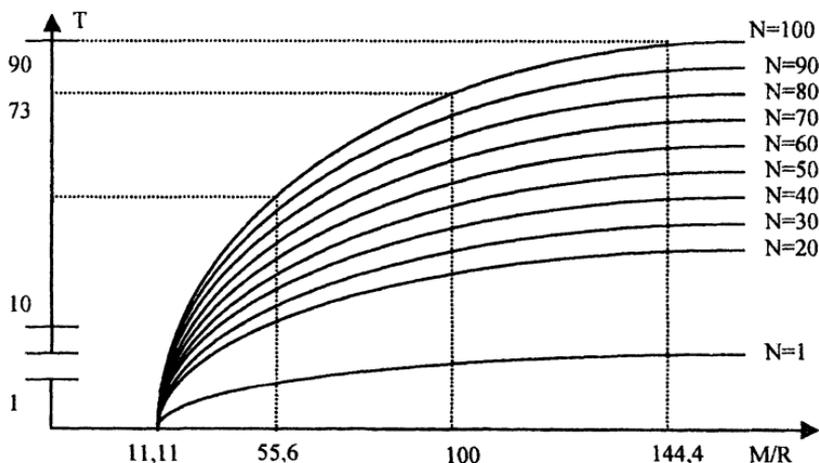


Рис. 1. Графики зависимости  $T=f(M/R)$  ( $\epsilon=0.001$ ), построенные с точностью 7%

Производительность  $T$  входит в формулу (3) неявно. получить точное решение для такого полинома  $N$ -го порядка не представляется возможным. Поэтому производительность  $T$  находим методом последовательных приближений с заданной точностью с помощью ЭВМ. На рис. 1 приведен график зависимости  $T=f(M/R)$ , рассчитанный на ЭВМ с точностью  $\epsilon=0.001$ . Из графика, например, видно, что увеличение отношения  $M/R$  с 55,6 до 100 приводит к увеличению  $T$  с  $\approx 49$  до  $\approx 73$  при  $M=100$ .

Проведем оптимизацию параметров систем, для чего используем критерий оптимизации, определяемый совокупностью характеристик: производительности  $T$ , стоимости  $C$  и нормированным критерием эффективного времени обмена информацией между двумя процессорами в системе  $t$ . Для нахождения условий оптимальности воспользуемся:

$$\frac{\partial(T/C)}{\partial C} = 0$$

или 
$$\frac{(\partial T / \partial C)C - T}{C^2} = 0.$$

Откуда условие оптимальности:

$$\frac{T}{C} = \frac{\partial T}{\partial C} \quad (4)$$

С учетом скорости передачи данных  $S$  в системе и коэффициентом ошибок  $P$  [2] производительность системы будет иметь вид:

$$T = S(1 - P), \quad (5)$$

где  $P$  является функцией нормированного критерия  $t$ , то есть

$$P = \alpha t, \quad (6)$$

где  $\alpha = \text{const}$ ,  $t=f(R)$ .

Если  $C_1$  – постоянная стоимость системы, а  $C_2/t$  – переменная стоимость, тогда

$$C = C_1 + \frac{C_2}{t} \quad (7)$$

С учетом (5) и (6) выражение (7) будет иметь вид

$$\frac{T}{C} = \frac{S(1 - \alpha t)}{C_1 + C_2 / t} \quad (8)$$

Продифференцировав выражение (5) и учитывая, что

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial C} &= \frac{St(1-\alpha t)}{\partial C}, \text{ получим:} \\ \frac{\partial T}{\partial C} &= \left(\frac{St}{dC}\right)\left(1 - \frac{\alpha C_2}{C - C_1}\right) = \\ &= -\alpha S C_2 \left(\frac{d}{dC}\right) \cdot \left(\frac{1}{C - C_1}\right) = \frac{\alpha S C_2}{(C - C_1)^2} \end{aligned} \quad (9)$$

или с учетом (6) и (8)

$$\frac{1 - \alpha t}{C_1 + \frac{C_2}{t}} = \frac{\alpha t^2}{C_2}, \quad (10)$$

Решая (10), находим оптимальную величину  $t$ , с учетом производительности  $T$  мультипроцессорной системы, а так же с учетом выражения (4) определим для этой системы ошибку  $P$ .

Таким образом, результаты теоретического и экспериментального анализа показали, что в первом приближении производительность  $T$  является функцией отношения  $M/R$  и лишь незначительно зависит от изменений  $M$  и  $R$ , не приводящих к изменению их отношения. Использование логической структуры типа ЛВС в информационно-измерительных системах позволяет эффективно применять первичную память, что в свою очередь уменьшает время  $R_2$ , которое позволяет увеличить отношение  $M/R$  и, следовательно, повысить производительность  $T$ .

### Литература

1. Фрир Дж. Построение вычислительных систем на базе перспективных микропроцессоров. – М.: Мир, 1990. – 410 с.
2. Шматин А.С. Автоматизация контрольно-измерительных операций на основе локальных вычислительных сетей. Доклады 2-й МНТК «Моделирование интеллектуальных процессов проектирования и производства (CAD/CAM/'98) – М.-Минск, 1999.
3. Клигман Э. Проектирование специализированных микропроцессорных систем. – М.: Мир, 1985. – 360 с.
4. Хилбурн Дж., Джулич П. МикроЭВМ и микропроцессоры. – М.: Мир, 1989. – 463 с.

**Распределенные системы САПР на основе XML  
как эффективное средство организации современного  
проектирования изделий**

Кулаков В.Н., Кочуров В.А.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время практически все большие программные системы являются распределенными: в них обработка информации сосредоточена не на одной вычислительной машине, а распределена между несколькими компьютерами. Важность этой темы осознают все. Действительно, начальный этап локальной компьютеризации уже пройден. Многие задачи малой и средней автоматизации решаются адекватными средствами на достаточно высоком технологическом уровне. Но вот задачи совершенно иного качества - задачи создания корпоративных информационных систем - нуждаются в осмыслении и анализе.

Сложность нынешнего этапа во многом предопределена традиционализмом и инерционностью мышления, выражающейся в попытке переноса средств и решений локальной автоматизации в мир распределенных систем. Этот мир живет по своим законам, которые требуют иных технологий. В большинстве же случаев преобладает стремление использовать знакомые, понятные, испробованные и поэтому родные средства для решения новых задач, принципиально отличающихся от того, чем приходилось заниматься раньше. Требуется новый подход – создание распределенных систем.

Распределенные системы обладают рядом характеристик, которые определяют требования при их проектировании. Подчеркнем три наиболее важные:

1. *Получение ресурсов.* Проблема получения электронных ресурсов из документальных источников является наиболее острой, особенно в областях знаний, которые содержат огромные массивы информационно-логических таблиц, текстуальных рекомендаций и эмпирических выводов (напр. Машиностроение).

2. *Идентификация ресурсов.* Ресурсы в распределенных системах располагаются на разных компьютерах, поэтому системе имен ресурсов следует продумать так, чтобы пользователи

могли без труда открывать необходимые им ресурсы и ссылаться на них. Примером может служить система URL(унифицированный указатель ресурсов), которая определяет имена Web-страниц.

3. *Коммуникация.* Универсальная работоспособность Internet и эффективная реализация протоколов TCP/IP в Internet для большинства распределенных систем служат примером наиболее эффективного способа организации взаимодействия между компьютерами. Однако в случаях разработки распределенных САПР, когда требуется особая производительность или надежность, возможно использование специализированных средств.

Остановлюсь подробнее на возможных методах решения первой задачи. Эволюция средств представления инженерных знаний происходит в направлении перехода от традиционных носителей информации к электронным.

Ключевыми вопросами при создании хранилищ инженерных знаний являются:

1. Способ представления знаний - комбинация из текста, формул, таблиц и рисунков (эскизов). Данный способ хранения можно назвать традиционным и наиболее предпочтительным для инженерных знаний. Возможны и другие методы представления данных, но выбранный способ обладает главным преимуществом – доступностью и понятностью конечному пользователю такой системы – инженеру.

2. Обеспечение формализации данных, которая позволяет одновременно работать с одним и тем же элементом данных, как человеку, так и программе. Формализация данных выступает как один из основных принципов построения любых современных систем, поскольку давно минули те времена, когда проекты создавались как “вещь в себе”. Формализация данных сегодня позволяет организовать доступ к информации на SQL - универсальном языке запросов, использовать для хранения данных СУБД большого масштаба - Oracle, SQL-Server и др., получать доступ к данным через Internet, строить на основе созданных баз распределенные приложения и т.д.

3. Обеспечение обратимости преобразования инженерных знаний в базу данных. Этот факт означает, что в любой момент мы можем получить исходную таблицу, текст либо рису-

нок без потерь какой-либо информации. Это очень важный аспект, так как программный комплекс, хранящий базу знаний, может одновременно предоставлять информацию пользователю в привычном для него виде, и обрабатывать эту же информацию в удобном для себя виде – внутреннем формате представления данных.

4. Создание развиваемой структуры данных, поддерживающей не только хранение и обеспечение доступа к данным, но и имеющей возможности к дополнению и расширению.

Относительно новой тенденцией в данном процессе является создание XML(Extensible Markup Language)-документов. Сегодня XML может использоваться в любых приложениях, которым нужна структурированная информация. Эта технология обладает целой совокупностью свойств, необходимых для разработки информационных систем, в том числе и распределенных. Отметим наиболее полезные для решения нашей задачи:

- Технология XML позволяет описывать данные произвольного типа и используется для представления специализированной информации, например химических, математических, физических формул, медицинских рецептов, нотных записей, и т.д. Это означает, что XML может служить не только мощным дополнением к HTML для представления "нестандартной" информации, но и средством создания информационных систем для такой информации.

- Процесс создания XML-документа очень прост и требует лишь базовых знаний HTML и понимания тех задач, которые нужно выполнить, используя XML в качестве языка разметки. Таким образом, у нас появляется уникальная возможность определять собственные команды, позволяющие им наиболее эффективно определять данные, содержащиеся в документе. Сам по себе XML не содержит никаких тэгов, предназначенных для разметки, он просто определяет порядок их создания. Набор тэгов может быть легко расширен.

- XML считается самой современной технологией копирования данных или передачи их из одной системы в другую. При помощи этого универсального языка разметки приложение может сгенерировать поток данных в формате XML, который сможет прочитать любое другое приложение, способное понимать XML-контекст. Более того, приложение, которое читает

файл или поток XML, может работать под управлением любой операционной системы, включая и операционные системы минимальной конфигурации, используемые в карманных калькуляторах.

Таким образом, язык XML полностью удовлетворяет условиям для создания распределенной информационной системы.

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, представьте, наличие нескольких групп (иногда даже конкурирующих), разрабатывающих распределенные системы для одной сферы деятельности, способно привести к такому плюрализму мнений, что создание единого подхода к решению таких задач станет невозможным. 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.

Полагаем, что в данной ситуации оправданно использование доказавшей собственную состоятельность классификации – УДК.

УДК является единой интегральной системой, а не суммой отраслевых, частных, 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.

Универсальная десятичная классификация в целом характеризуется несколькими основными свойствами. Само название говорит о двух из них: универсальности и десятичности. Кроме того, следует отметить многоаспектность, как заложенную в структуре основной таблицы, так и возникающую при применении вспомогательных таблиц и приемов образования индексов, несущих в себе элементы стандартизации. В многочисленных разделах этой системы упорядочено множество понятий по всем

отраслям знаний или деятельности. Иными словами, УДК охватывает весь универсум знаний. 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 реализации обозначенных концепций на кафедре САПР БНТУ была разработана подсистема поддержки пространства имен XML на примере тематического раздела УДК “Обработка резанием (снятие стружки). Резка (разделительные операции без образования стружки). Дробление и измельчение. Обработка листового материала. Изготовление резьбы и т.д. Способы (технология), инструменты, машины и приспособления”

Эта подсистема представляет собой базу даннь. Фактическое хранилище имен тегов XML – таблица этой базы, содержащая следующие поля:

- Поле `UDKCode`. Данное поле хранит непосредственно сам код УДК, который используется исключительно для представления его в приложении, поддерживающем пространство имен.
- Поле `TagXML`. Ключевое поле данной таблицы хранит тег XML и тем самым обеспечивает создание непосредственно пространства имен. Важнейшее требование к данному полю – его уникальность обеспечивается не только разработчиком базы данных, но и контролируется программно в режиме администраторского использования базы при добавлении новых записей
- `InnerCode`. Поле, используемое системой поддержки пространства имен для преобразования совокупности записей (`Recordset`) в древовидную структуру. Данное поле является уникальным и соответствует десятичной системе Дьюи. Для идентификации записей используется десятичное основание и два поля для каждого уровня. Таким образом, общее ко-

личество дочерних узлов для любого понятия достигает 100. При добавлении новой записи обновление поля InnerCode происходит автоматически на основании родительского поля и количества уже имеющихся дочерних полей.

- DescriptionN. Поле, содержащее текстовое описание понятия. Данное поле используется прежде всего для понятийного поиска в базе данных

Таким образом, созданная база данных достаточно проста в реализации и позволяет создавать по своему подобию словари тегов из других разделов УДК. Это один из способов создания унифицированного пространства имен при построении сложных информационных распределенных систем

Совместное использование созданной системы поддержки пространства имен (сервера XML-тегов), сервера баз данных SQL Server и специально созданного расширения для текстового редактор MS Word позволило создать трехзвенную систему для автоматизированной обработки текстов, содержащих знания. Дальнейшее развитие этой идеи и возможно сочетание таких систем с системами искусственного интеллекта позволит создавать системы автоматического либо автоматизированного семантического анализа текстов.

### **Литература**

1. Кочуров В.А. Особенности реализации баз данных и знаний автоматизированного проектирования методами современных информационных технологий.: - Мн, 2002.
2. Кочуров В.А. О проблеме принятия проектных решений в САПР.: - Мн, 2003.

# **Приборостроение**

**Формальное представление моделей систем безопасности**

Владиминова Т.Л., Пилько С.В.

Белорусский национальный технический университет

Рассматривается методологическая основа для концептуального описания моделируемых объектов систем безопасности, в том числе систем контроля и управления доступом.

В силу своей специфики, системы контроля доступа являются системами реального времени (СРВ).

СРВ, как аппаратно-программный комплекс включает в себя датчики, регистрирующие события на объекте, модули ввода-вывода, преобразующие показания датчиков в цифровой вид, пригодный для обработки этих показаний на компьютере и компьютер с программой, которая реагирует на события происходящие на объекте. Ее основная задача - реагировать в предсказуемые времена на непредсказуемый поток внешних событий. Это означает, что система должна отреагировать на событие произошедшее на объекте своевременно, т. е. в течение времени критического для данного события. Величина критического времени для каждого события определяется объектом и самим событием, и, естественно может быть разной, но время реакции системы должно быть предсказано (вычислено при создании системы. Отсутствие реакции в предсказанное время считается ошибкой для систем реального времени. Кроме этого система должна успевать реагировать на одновременно происходящие события. Даже если два или большее число внешних событий происходят одновременно, система должна успеть среагировать на каждое из них в течение временных интервалов, критических для этих событий.

Различают системы реального времени двух типов: системы жесткого реального времени и системы мягкого реального времени. Системы жесткого реального времени не допускают никаких задержек реакции системы так как результаты могут быть бесполезными в случае опоздания, может произойти нарушение действий системы в случае задержки реакции, стоимость опоздания может оказаться бесконечно велика. Системы мягкого реального времени характеризуются тем, что задержка

реакции допустима, хотя и может привести к увеличению стоимости системы. СКУД относятся именно к этому типу систем.

Понимание системы контроля доступа как системы реально-го времени требует использования ряда специфических механизмов, оказывающих существенное влияние на архитектуру всей системы, а значит и на ее формальное представление.

На сегодняшний день для написания программ часто используется объектно-ориентированный подход, позволяющий разработчику абстрагироваться от алгоритма как последовательности указаний.

Для дальнейшего увеличения эффективности требуется специальные средства, которые помогут продумать и промоделировать систему, избежать фатальных ошибок. Нужны средства, которые позволят визуально изобразить объекты и их взаимодействия, нужны методики, которые позволят последовательно найти и изучить взаимодействующие объекты, продумать процесс разработки и адаптировать его к изменяющимся потребностям.

СКУД, ориентированные на обслуживание большого числа клиентов, обычно имеют модульную структуру, позволяющую организовать рабочие места для различных служб, которые обеспечивают эффективное функционирование системы. Модульная схема обеспечивается за счет архитектуры клиент-сервер. Для небольших систем, где роль обслуживающего персонала играет только один человек вся необходимая функциональность может быть сведена в единый модуль.

В качестве среды взаимодействия служебных приложений и сервера СКУД могут выступать локальная вычислительная сеть или адресное пространство одного компьютера.

Модель предметной области представлена на рис.1. Группа представляет собой любое объединение людей (сотрудники подразделения, посетители). Каждый человек в системе обязательно приписан какой-либо группе. Доступ пользователей в свои зоны доступа осуществляется с помощью идентификатора доступа имеющего код, который является практически паролем доступа. Когда в систему должен быть добавлен новый пользователь, для него либо добавляется группа, если таковой в системе не существует, либо он вносится в список уже существующей группы.

В системе имеется администратор, который имеет право добавить нового пользователя, добавить новую группу, настраивать права и расписание прав доступа членов каждой группы, устанавливать ассоциации внутри каждой группы и между группами.

Для того, чтобы человек мог пользоваться системой ему выдается карта. На каждую учетную запись может быть выдана только одна карта. Несколько учетных записей не могут использовать одну карту.

Для того чтобы построить иерархию групп между ними можно устанавливать связи. Группа, установившая связь, решает использовать свои права для установления ассоциации между ними.

Каждая зона (ресурс) связана с некоторым действием. С другой стороны, группой могут быть присвоены различные права на выполнение действий в зоне.

В зависимости от типа контроллера турникета у него может быть несколько направлений действия. Каждое направление связано с двумя зонами (зона откуда осуществляется доступ и зона куда осуществляется доступ)

В зависимости от назначения помещения у контроллера замка (защелки) может быть также несколько направлений действия. В одних каждое направление может быть связано с двумя зонами, как и у контроллера турникета, а в других с одной зоной (зона куда осуществляется доступ).

Трактовка СКУД как системы реального времени требует реализации механизма диспетчеризации, меж объектового взаимодействия и средств работы с таймерами. Параллелизм в обработке одновременно происходящих внешних событий должен обеспечиваться за счет использования многопоточности. Клиент серверный подход вносит необходимость реализации механизма и способов взаимодействия между сервером и приложениями, а общие требования безопасности и надежности заставляют выбирать особые способы хранения данных и работы с ними.

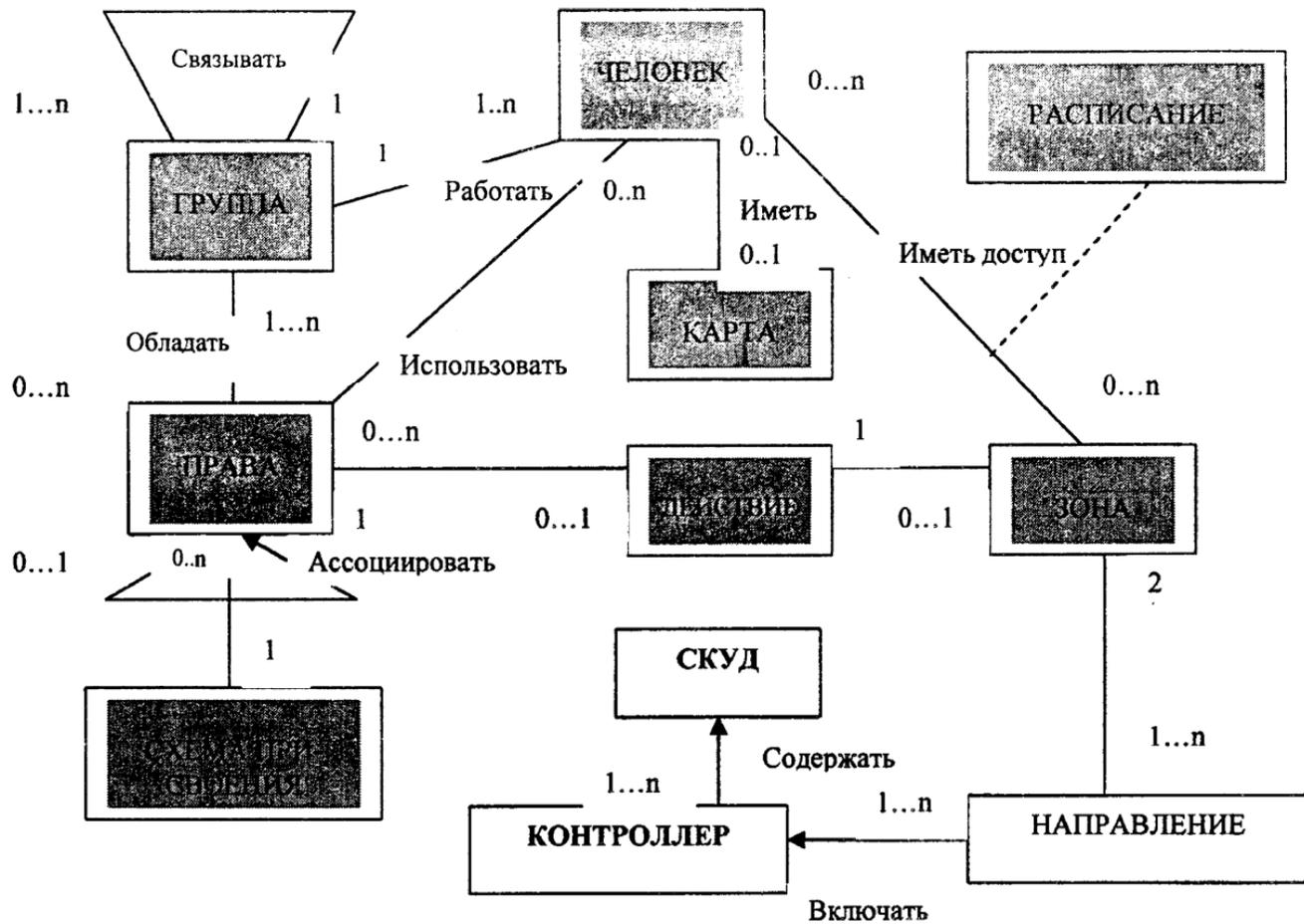


Рис.1. Модель предметной области

УДК 621:53.08

## Методика межлабораторных сличений средств измерений концентрации технологических растворов

Гусев О.К., Марцынкевич Ю.С., Тявловский А.К.  
Белорусский национальный технический университет

Одним из наиболее эффективных способов обеспечения качества измерений является проведение межлабораторных сличений, позволяющих комплексно оценить возможности лаборатории (точность применяемого оборудования, квалификацию персонала и т. п.) по выполнению измерений или поверке средств измерений той или иной физической величины. В частности, такие сличения проводятся при аккредитации метрологической службы органами Госстандарта.

Проведение сличений средств измерений параметров химического состава различных веществ имеет свои особенности, связанные с отсутствием государственного эталона измеряемой физической величины. Причем при измерении концентрации таких веществ, как, например, водные растворы щелочей, создание первичного эталона принципиально невозможно из-за малого времени их хранения, ограниченного происходящими в растворе необратимыми химическими процессами.

При аккредитации Центра метрологического обеспечения производства новых средств измерений БНТУ возникла необходимость сличения результатов Государственных контрольных испытаний прибора технологического контроля кислотных и щелочных сред ИКР-2Д на базе Госстандарта Республики Беларусь и независимых заводских испытаний этих же приборов на базе НИЛ полупроводниковой техники. В связи с отсутствием Государственного эталона концентрации и, соответственно, невозможности непосредственной привязки рабочих эталонов концентрации к единому источнику, было предложено стандартизовать методику приготовления поверочных растворов кислот и щелочей.

Данная методика была стандартизована как составная часть аттестованной Методики поверки приборов технологического контроля кислотных и щелочных сред ИКР-2Д (регистрационный номер МП.МН 379-98, Изменение № 2). В соответствии с ней, требуемая точность рабочих этало-

нов концентрации (поверочных растворов) обеспечивается аттестацией значений концентрации растворов  $\text{HNO}_3$  и  $\text{NaOH}$  по методу кислотно-основного титрования непосредственно перед их применением (для растворов с концентрацией выше 2,50 %), или операциями разбавления с использованием высокоточных средств измерения объема (для растворов с меньшими концентрациями). Значения погрешности получаемых рабочих эталонов подтверждены расчетом, приведенным в Методике поверки.

Процедура сличений предусматривает проверку следующих характеристик средств измерений концентрации:

- диапазон измеряемых концентраций;
- основная абсолютная погрешность измерения концентрации;
- среднее квадратическое отклонение результатов измерений;

Для проверки диапазона и основной абсолютной погрешности измерения концентрации для приборов типа ИКР используют поверочные растворы  $\text{NaOH}$  и  $\text{HNO}_3$  с концентрациями 0; 0,2; 0,9; 2,0; 2,8 %, а для приборов типа ИКР-2Д – поверочные растворы  $\text{NaOH}$  с концентрациями 0,0174; 0,087; 0,174; 0,250; 0,500; 0,800; 1,25; 2,00; 2,46 % и поверочные растворы  $\text{HNO}_3$  с концентрациями 0,0180; 0,090; 0,180; 0,263; 0,525; 0,840; 1,26; 1,80; 2,52 %.

Проверку среднего квадратического отклонения результата измерений ИКР-2Д производят сорокакратным изменением концентрации каждого раствора с концентрациями 0,087, 0,500, 2,00 % для  $\text{NaOH}$  и 0,090, 0,525, 1,80 % для  $\text{HNO}_3$ .

Результаты заводских испытаний оформлены протоколами испытаний и представлены в отдел аккредитации БелГИМ. Аналогичные испытания проводились на базе ГП «ЦЭСМ». Сличение полученных результатов показало, что расхождения в полученных разными лабораториями данных не превышают заявленных значений погрешности приготовления поверочных растворов. Последние находятся в пределах от 1/5 до 1/3 нормируемой погрешности приборов ИКР и ИКР-2Д, что позволяет использовать растворы для поверки данных приборов по аттестованной методике.

С учетом результатов межлабораторных сличений Центру метрологического обеспечения производства новых средств

измерений БНТУ был выдан аттестат аккредитации № ВУ/112.02.3.0.0033.

Примеры оформления результатов испытаний представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Проверка диапазона измеряемых концентраций и основной абсолютной погрешности измерения концентрации ИКР-2Д № 01

приложение 1 к протоколу № 8

Наименование поверочного раствора	Концентрация поверочного раствора, С, %	Результаты измерений					Максимальное значение абсол. погрешн. $\Delta$ %
		С <sub>изм.</sub> , %					
		№1	№2	№3	№4	№5	
NaOH	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	0,0174	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,0006
	0,087	0,088	0,088	0,088	0,088	0,088	0,001
	0,174	0,175	0,175	0,175	0,175	0,175	0,001
	0,250	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,00
	0,500	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,01
	0,800	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,01
	1,23	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	0,02
	2,00	2,03	2,03	2,03	2,03	2,03	0,03
	2,46	2,49	2,49	2,49	2,49	2,49	0,03
HNO <sub>3</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	0,0180	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,000
	0,090	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,001
	0,180	0,181	0,181	0,181	0,181	0,181	0,001
	0,263	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	-0,003
	0,525	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,005
	0,840	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,01
	1,26	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	0,02
1,80	1,83	1,83	1,83	1,83	1,83	0,03	
	2,52	2,55	2,55	2,55	2,55	2,55	0,03

Инженер II кат. ГП "ЦЭСМ"

Н. Л. Соломахо

Директор Центра метрологического обеспечения производства новых средств измерений НИЛ ПТ БГПА

В.Л. Кирсенко

Таблица 2. Проверка среднего квадратического отклонения результатов измерения концентрации ИКР-2Д № 01

приложение 3 к протоколу № 8

Тип и концентрация поверочного раствора		NaOH 0,087% массовой доли		
Номер измерения	$x_i$ результат измерения, %	$x_i - \bar{A}$	$(x_i - \bar{A})^2$	
1.	0,088	-0,0005	0,00000025	
2.	0,088	-0,0005	0,00000025	
3.	0,088	-0,0005	0,00000025	
4.	0,088	-0,0005	0,00000025	
5.	0,088	-0,0005	0,00000025	
6.	0,088	-0,0005	0,00000025	
7.	0,088	-0,0005	0,00000025	
8.	0,088	-0,0005	0,00000025	
9.	0,088	-0,0005	0,00000025	
10.	0,088	-0,0005	0,00000025	
11.	0,088	-0,0005	0,00000025	
12.	0,088	-0,0005	0,00000025	
13.	0,088	-0,0005	0,00000025	
14.	0,088	-0,0005	0,00000025	
15.	0,088	-0,0005	0,00000025	
16.	0,089	+0,0005	0,00000025	
17.	0,089	+0,0005	0,00000025	
18.	0,089	+0,0005	0,00000025	
19.	0,089	+0,0005	0,00000025	
20.	0,089	+0,0005	0,00000025	
21.	0,089	+0,0005	0,00000025	
22.	0,089	+0,0005	0,00000025	
23.	0,089	+0,0005	0,00000025	
24.	0,089	+0,0005	0,00000025	
25.	0,089	+0,0005	0,00000025	
26.	0,089	+0,0005	0,00000025	
27.	0,089	+0,0005	0,00000025	
28.	0,089	+0,0005	0,00000025	
29.	0,089	+0,0005	0,00000025	
30.	0,089	+0,0005	0,00000025	
31.	0,089	+0,0005	0,00000025	
32.	0,089	+0,0005	0,00000025	
33.	0,089	+0,0005	0,00000025	
34.	0,089	+0,0005	0,00000025	
35.	0,089	+0,0005	0,00000025	
36.	0,088	-0,0005	0,00000025	
37.	0,088	-0,0005	0,00000025	
38.	0,088	-0,0005	0,00000025	
39.	0,088	-0,0005	0,00000025	
40.	0,088	-0,0005	0,00000025	

**Микроконтроллерный модуль на базе ПЛИС  
для лабораторных занятий по дисциплине  
«Программируемые цифровые устройства»**

Зуйков И.Е., Кривицкий П.Г., Шмаков В.Ю., Исаев А.В.  
Белорусский национальный технический университет  
Борисовский государственный политехнический колледж

Развитие электроники наряду с ростом быстродействия, функциональности и степени интеграции приводит к появлению новых типов интегральных схем. Таким примером могут служить микроконтроллеры и ПЛИС [1]. Их широкое использование при построении систем съема измерительной информации, сигнализации и защиты информации открывает новые возможности, не достижимые при использовании традиционных электронных компонентов.

Знание современных микропроцессоров и ПЛИС возможностей, особенностей их применения, программирования позволяет более эффективно разрабатывать приборы для самых разнообразных областей применения от стиральной машины до космической техники, избегать неоправданных трат времени и сил.

В электронной промышленности наблюдается тенденция перехода к проектированию на уровне кристалла, а не на уровне платы [2]. При применении микроконтроллеров и ПЛИС такое проектирование позволяет создавать законченные электронные системы практически на одном универсальном кристалле. Разработка конкретного прибора на их основе заключается в написании и отладке некоторой программы или в создании описания конфигурации ее внутренних элементов.

Микроконтроллер представляет собой итог интеграции в одной микросхеме классического микропроцессора, примыкающих к нему цифровых вспомогательных блоков обеспечения его работы и наборов программно управляемых периферийных модулей, обеспечивающих решение типовых практических задач информационно-измерительной техники.

ПЛИС – это результат своеобразного «симбиоза» запоминающего устройства и элементной базы схемотехники малых и средних интегральных схем. Проектирование прибора с применением ПЛИС образно выглядит как сборка схемы из элементов

некоторого конструктора. Соединения этих элементов задаются программно с помощью отдельного блока элементов постоянной памяти. Инженер-электронщик фактически задает соединения блоков на микросхеме, в результате чего ПЛИС становится конкретным электронным прибором – микроконтроллером, цифровым фильтром, кодеком и т.п. Данный класс ПЛИС называется «составными программируемыми логическими устройствами» или CPLD (Complex Programmable Logical Device) и часто используется для реализации управляющих и интерфейсных цепей более сложного электронного микропроцессорного прибора.

Средства формирования конфигурационной кодировки ПЛИС наряду с традиционным проектированием на основе схемного редактора включают специальные языки описания дискретных устройств или HDL (Hardware Description Language) с соответствующими средами разработками. К последним относятся VHDL (по синтаксису подобный на язык программирования Ада), Verilog (более похожий на С) и некоторые другие [3].

В рамках дисциплины «Программируемые цифровые устройства» на кафедре «Информационно-измерительная техника и технологии» БНТУ производится обучение устройству и применению микроконтроллеров и программируемых логических интегральных схем (ПЛИС). С целью совершенствования учебного процесса для курсового проектирования и обеспечения лабораторного практикума по данной дисциплине разработан электронный модуль на базе БИС микроконтроллера семейства MCS-51 и ПЛИС типа CPLD.

Модуль представляет собой печатную плату формата РС104 (примерно 90х96 мм), включающую микроконтроллер и ПЛИС, а также входные и выходные буферы аналоговых и цифровых сигналов, согласователи уровней интерфейса RS-232 (для мониторинга на персональном компьютере) и коммутационные элементы.

Самостоятельная разработка данного устройства вызвана тем, что аналогичные так называемые платы разработчика, во-первых, достаточно дороги, во-вторых, рассчитаны на применение профессионалом (без должной отработки обучающих элементов), и, в-третьих, не выпускаются в требуемой комбинации «микроконтроллер-ПЛИС».

Микроконтроллер C8051F121 полностью совместим с исходной микросхемой 8051АН фирмы Intel, он имеет на два порядка большую производительность ядра (которая составляет 100 MIPS), а также многочисленные дополнительные устройства цифровой и аналоговой периферий, включая встроенные 12-разрядные АЦП и ЦАП. Несомненным достоинством выбранного микроконтроллера является наличие FLASH-памяти программ и встроенного аппаратного внутрисхемного отладчика. Особым преимуществом выбранного микроконтроллера является то, что отладочные средства реализованы аппаратно и не требуют дополнительных ресурсов (регистров, памяти данных и программ). Кроме того, он позволяет проверять работу программы в режиме реального времени.

Из ПЛИС выбрана микросхема XCR3128XL-10VQ100C семейства CoolRunner фирмы Xilinx. Это малопотребляющая современная (разработки 2000 г.) микросхема типа CPLD, включающая 128 макроячеек и имеющая задержку 10 нс, что позволяет реализовывать на ней широкий класс цифровых электронных устройств, применяемых в современной схемотехнике.

В ходе разработки определилась следующая функциональная организация данного модуля.

Микроконтроллер подключается к персональному компьютеру через адаптер последовательных интерфейсов RS-232 – JTAG. Наличие разнообразных внутренних периферийных модулей позволяет использовать данный микроконтроллер в целом ряде учебных тем. Наряду с ознакомительными занятиями по работе с программной кросс-средой разработки несомненно полезным является практика программной настройки и применения встроенных ЦАП, АЦП, компараторов, счетчиков-таймеров в программных режимах, последовательных интерфейсов UART, SPI, I<sup>2</sup>C, а также эмуляция подобных интерфейсов с помощью стандартных каналов портов ввода-вывода.

Примененная ПЛИС подключается к среде разработки Xilinx ISE через параллельный порт. Созданная программно и записанная в ПЛИС электронная цифровая схема своими входами и выходами соединена с портами микроконтроллера (до 32 линий), что позволяет осуществлять тесное взаимодействие этих двух программируемых микросхем.

Модуль рассчитан на использование в двух семестрах. В первом семестре основное внимание уделяется применению (программированию) микроконтроллера, для которого ПЛИС является внешним (программируемым преподавателем) объектом. Во втором семестре выполняется обучение работе с ПЛИС, при этом микроконтроллер с защитой в него тестовой программой осуществляет мониторинг ряда контактов микросхемы ПЛИС, задавая на них входные воздействия и считывая состояния выходов. Для большей гибкости в управлении микроконтроллером реализован наглядный графический диалоговый интерфейс микроконтроллера и персонального компьютера по последовательному порту.

При внедрении в учебный процесс разработанного многофункционального контроллера решаются разноплановые задачи обучения студента применению соответствующих сред разработки (Keil, ISE), языков программирования микроконтроллеров и описания дискретных устройств, закрепления учебного материала по дисциплине «схемотехника».

Вместе с тем, разработанный модуль по своим рабочим параметрам оказался успешно применим не только в учебной практике, но и в проводимых научно-исследовательских работах. Так, например, на нем реализован модуль съема и первичной обработки данных с лазерного датчика угловых перемещений. Выходной информацией такого датчика является парафазный сигнал биений частотой до мегагерца. Для его ввода и дальнейшей обработки применяется схема выделения знака с реверсивным счетчиком импульсов биений. Эти блоки были реализованы на ПЛИС, а микроконтроллер запрограммирован на съем данных со счетчика, пересылку их в компьютер, а также на обеспечение функционирования лазерного датчика (настройку на контуре усиления, формирование сигнала подставки и т.п.).

1. Бродин В.Б., Калинин А.В. Системы на микроконтроллерах и БИС программируемой логики. – М.: ЭКОМ, 2002.
2. Дж. Ф. Уэйкерли. Проектирование цифровых устройств, том.1. – М.: Постмаркет, 2002.
3. Грушвицкий Р.И., Мурсаев А.Х., Угрюмов Е.П. Проектирование систем на микросхемах программируемой логики. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002.

УДК 621.315

**Модернизация одно- и двухканальных оптико-электронных приборов и методов измерений с использованием парафазных фотодетекторов**

Гусев О.К., Свистун А.И., Яржембицкая Н.В.  
Белорусский национальный технический университет

Оптические преобразователи, в состав которых входят различные типы фотоприемников, находят широкое применение в информационно-измерительной технике и, в частности, выступают в качестве важнейших узлов оптико-электронных средств и методов измерений. С их помощью можно измерять самые различные физические величины, включая оптическую мощность, колориметрические параметры, температуру, перемещение, скорость, линейные и угловые размеры и др.

Парафазные фотоприемники (ПФ), характеристики которых исследованы в данной работе, позволяют усовершенствовать конструкции как одноканальных, так и двухканальных оптико-электронных приборов.

Учитывая тенденцию создания многофункциональных автоматизированных быстродействующих и компактных оптико-приборов, следует признать не вполне соответствующей ей такие конструктивные особенности известных оптико-электронных приборов как наличие в них оптико-механических частей, недостаточная экспрессность измерений, громоздкость и вытекающие отсюда габариты, вес, стоимость, надежность.

Возможно, одним из путей решения данной проблемы может явиться разработка и применение в оптико-электронном приборостроении новых классов фотоприемников, сочетающих в себе функции и индикаторов (фотоэлектрических нуль-детекторов), и измерителей разных параметров световых потоков (оптической мощности, длины волны света, угла поворота плоскости поляризации и др.).

Главной внешней особенностью ПФ, отличающей его от обычного фотодетектора, является сочетание в одном чувствительном элементе двух фотоприемных площадок, воспринимающих одновременно световой поток, падающий на фотоприемник. Главной отличительной особенностью выходных характеристик ПФ является инверсия выходного сигнала (смена по-

лярности постоянного фототока  $I$  или фотонапряжения  $U$ , либо изменение на  $180^\circ$  фазы переменного  $I$ ,  $U$ ).

На рис.1 представлены экспериментальные спектры фототока германиевого ПФ (никель-германий-никель). Выбором разных режимов травления германиевой планшайбы перед вакуумным напылением пленок никеля для симметричной структуры Ni-Ge-Ni удалось сформировать неэквивалентные потенциальные барьеры  $\varphi_1 < \varphi_2$ . В этом случае гарантируется достижение инверсии фототока при освещении со стороны более низкого барьера  $\varphi_1$  (рис.1б): при большой энергии квантов свет поглощается в области  $\varphi_1$ , но не достигает области барьера  $\varphi_2$ . По мере снижения энергии фотонов и соответствующего уменьшения коэффициента поглощения  $\alpha$  согласно закону Бугера-Ламберта свет проникает к барьеру  $\varphi_2$ , возбуждая фотоЭДС, противоположную по знаку. Конкуренция электродвижущих сил приводит к инверсии выходного сигнала ПФ в районе энергии кванта  $\sim 0,7$  эВ (длина волны света  $\lambda_0 \cong 1,6$  мкм).

Спектр фотоответа того же ПФ, изображенный на рис.1а, показывает, что при регистрации светового потока  $\Phi$  со стороны более высокого барьера  $\varphi_2$ , во всей области спектра (области поглощения германия) превалирует фототок более высокого потенциального барьера МПМ-структуры, и инверсии знака фототока не наблюдается. Таким образом, реализация в конструкции ПФ соотношения  $\varphi_1 < \varphi_2$  или  $\varphi_1 > \varphi_2$ , а также использование геометрии освещения, обеспечивающей инверсию фотоответа, имеет решающее значение для модернизации оптико-электронных методов и средств измерений.

При использовании ПФ в оптико-электронном приборе (например, в качестве твердотельного аналога спектрофотометра, лишённого дисперсионной оптики), предназначенном для измерения длины волны монохроматического излучения, необходимо предварительно прокалибровать ПФ по эталонному монохроматору. На рис.2 представлена калибровочная кривая одного из серии германиевых ПФ, измеренная с мощностью монохроматора ИКМ-1 (призма LiF, ширина щели  $\Delta = 0,05$  мм,  $f_{\text{м}} = 800$  Гц, селективный вольтмет с  $\Delta f \cong 1$  Гц). Эта кривая отражает зависимость длины волны  $\lambda_0$ , соответствующей нулевому сигналу ПФ (рис. 1б) – от величины и полярности электрического смещения.

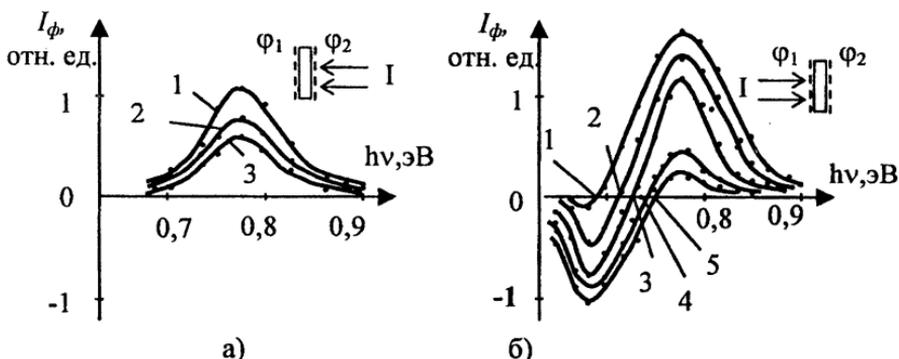


Рис.1. Зависимости фототока от энергии кванта монохроматического излучения для ПФ Ni-nGe(Cu)-Ni при разных смещениях  $V$ : а) освещение со стороны "высокого" барьера  $\varphi_2$ ; б) освещение со стороны низкого барьера  $\varphi_1$ ; 1 -  $V = -10$  мВ; 2 -  $V = 0$ ; 3 -  $V = 10$  мВ; 4 -  $V = 30$  мВ; 5 -  $V = 70$  мВ

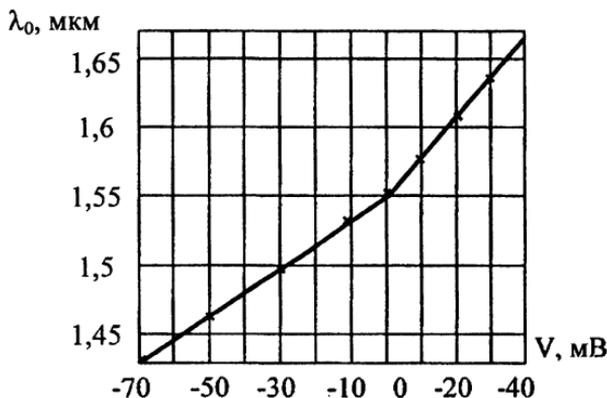


Рис.2. Калибровочная кривая ПФ длины волны  $\lambda_0$  монохроматического излучения на основе ПФ Ni-Ge-Ni

Точность, с которой может быть измерен выходной сигнал (ток), близкий к 0, определяется уровнем шума фотоприемника на частоте  $f_m$  модуляции лучистого потока и составляет в данном случае  $\sim 10^{-8} \div 10^{-9}$  А. В пересчете на эффективную разрешающую способность такого твердотельного спектрофотодиода, оказывается, что в неоптимизированных условиях измерений она лишь в 5 - 7 раз уступает ИКМ-1, а в пределе приближается

к разрешающей способности призменного монохроматора в данной спектральной области ( $\sim 10 \text{ \AA}$ ).

Подчеркнем на данном примере особенности процедуры измерений с помощью фотоэлектрического нуль-детектора (ПФ), которые представляются наиболее важными для модернизации оптико-электронных методов и средств измерений.

1. При измерении величины входного параметра используется его электрическое уравновешивание в самом фотоприемнике путем приведения выходного сигнала ПФ к нулю с помощью прикладываемого напряжения. Это – несомненно, удобный и перспективный способ измерений, поскольку низкий уровень шумов вблизи нуля обеспечивает максимально возможную точность измерений. Использование мостовых схем обработки сигнала – не обязательно.

2. Отпадает необходимость использования в оптико-электронном приборе эталонных образцов, движущихся оптико-механических, чем не только повышается экспрессность измерений, но и надежность и компактность средства измерения.

3. Очевидно, что знакопеременная спектральная характеристика ПФ, ее двуполярность и перестраиваемость по спектру с помощью внешнего электрического смещения позволяет более простым образом автоматизировать колориметрические методы измерений.

4. Использование ПФ со знакопеременной зависимостью выходного сигнала от мощности оптического потока (подобной по виду калибровочной зависимости на рис.2) позволяет реализовать уравновешивающий метод измерения оптической мощности, освещенности, оптического пропускания, поглощения и рассеяния за счет свойств ПФ, используемого в качестве фотоэлектрического нуль-индикатора. Это радикальным образом позволит упростить схему соответствующих оптико-электронных приборов, снизить их габариты, вес, повысить быстродействие, надежность и облегчит возможность автоматизации процедуры измерений.

Таким образом, благодаря применению многофункциональных по своему действию, парафазных фотоприемников можно рассчитывать на модернизацию и совершенствование дифференциальных и уравновешивающих методов и средств оптических измерений.

**Методика исследования смачиваемости и адсорбционной способности титановых имплантатов**

Киселев М.Г., Савич В.В., Павич Т.П.

Белорусский национальный технический университет  
ИПМ НАН Беларуси

**Введение.** Титановые сплавы – материалы XXI века. С середины прошлого столетия они широко применяются в авиационной и космической технике, судостроении, а также в медицине – для изготовления имплантатов. Титановые сплавы обладают рядом уникальных свойств. Они имеют значительно большую удельную прочность по сравнению со сталями, высокую коррозионную стойкость и сопротивление усталости [1]. Приведенные характеристики титановых сплавов позволяют сделать вывод о том, что эти материалы являются перспективными для конструирования имплантатов, так как выдерживают высокие циклические нагрузки, возникающие при ходьбе и других движениях человека, а также являются биоинертными к тканям и жидкостям организма.

Одной из актуальных задач в области разработки современных и эффективных имплантатов является поиск способов обработки материалов, из которых они производятся. Не менее важной задачей является разработка методик оценки физических свойств поверхности имплантатов, таких как удельная поверхность, шероховатость, топология работы выхода электрона, краевой угол смачивания.

**Цель работы** – исследование влияния методов обработки поверхности титанового сплава на ее смачиваемость и адсорбционную способность.

**Методика эксперимента.** Для проведения экспериментов были изготовлены образцы (пластины размерами 20×20×4 мм) из титанового сплава ВТ1-0. Данный сплав был выбран в связи с тем, что он широко используется в производстве дентальных и ортопедических имплантатов, и содержит легирующие компоненты и примеси в минимальных количествах – менее 0,5 % [2].

Образцы подвергались следующим видам обработки:

1. электрохимической полировке – для данного вида обработки использовался водный раствор солей низкой концентра-

ции (3-6%), а также импульсы электрического тока определенной частоты, длительности и формы, оптимальные для титанового сплава ВТ1-0 и описанные в работе [3];

2. струйно-абразивной обработке корундом и стальной колотой дробью с двумя характерными размерами частиц  $\varnothing 0,1-0,2$  и  $\varnothing 0,5-1$  мм соответственно.

Исследование зависимости краевого угла смачивания от вида обработки поверхности образца проводилось по методу лежащей капли[4]:

- на предварительно очищенную поверхность титанового образца при помощи шприца наносились капли физраствора;
- капли фотографировались цифровой камерой;
- по фотографии с использованием анализатора изображения МОР-АМОЗ определялись параметры капли (рис. 1), необходимые для расчета краевого угла смачивания ( $h$  – высота сегмента круга,  $l$  – длина хорды).

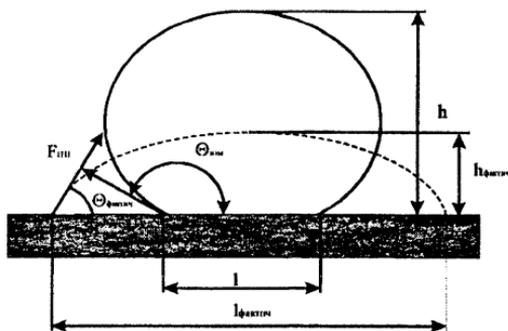


Рис. 1 Геометрические параметры капли

#### Результаты исследования.

Для измерения параметров шероховатости поверхности  $R_a$  и  $R_z$  использовался профилограф-профилометр модели 252.

Результаты измерений приведены в таблице 1.

Параметры шероховатости

Таблица 1

Вид обработки поверхности	R <sub>a</sub> , мкм	R <sub>z</sub> , мкм
Исходный образец	1,3	6,22
Полирование	0,7	4,55
Пескоструйная обработка	2,67	18,72
Дробеструйная обработка	7,69	27,94

Результаты прямых измерений краевого угла смачивания представлены на диаграмме (рис. 2).

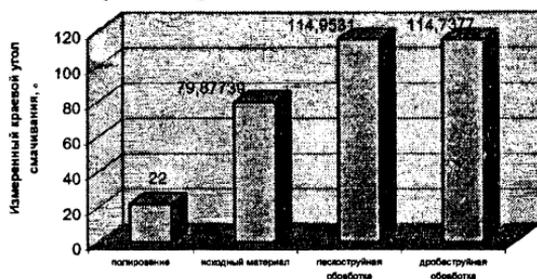


Рис. 2 Диаграмма зависимости измеренного краевого угла смачивания от вида обработки исследуемой поверхности

Из представленных результатов видно, что с увеличением шероховатости ухудшается смачивание, что, в свою очередь, противоречит основным законам физической химии. Еще в 40-е годы XX века теоретически и экспериментально было подтверждено уравнение Венцеля-Дерягина, которое показывает, что смачивание зависит от физической шероховатости и структурной неоднородности поверхности [5] и с увеличением различий по этим параметрам от идеальной однородной поверхности твердого тела идентичного состава косинус краевого угла смачивания стремится к 1, а сам угол – к 0 градусов.

На основании вышеуказанной закономерности нами сделано предположение, что истинный периметр смачивания можно определить, учитывая эмпирический коэффициент, определяемый из отношения параметров шероховатости исследуемой и поли-

рованной поверхностей  $R_{a(шер)}/R_{a(полир)}$ . При этом изображение капли с учетом этого коэффициента существенно будет отличаться от видимого и зафиксированного. Периметр (диаметр контактной окружности) капли увеличивается, а высота уменьшается.

На рис. 3 представлены уточненные таким образом значения краевых углов. Данные краевые углы уже коррелируют с известными закономерностями (см. рис. 3), что свидетельствует об обоснованности и косвенной достоверности проведенной корректировки.



Рис. 3 Диаграмма зависимости фактического краевого угла смачивания от вида обработки исследуемой поверхности

Для измерения удельной поверхности использовался анализатор удельной поверхности Акусорб-2100.

Удельная поверхность – характеризует свободную поверхностную энергию, определяет кинетику и динамику ряда физико-химических процессов на этой поверхности, среди которых для данного исследования наибольший интерес представляет смачивание и адсорбция. Удельная поверхность образца, подвергнутого дробеструйной обработке по сравнению с полированным образцом на 2 порядка выше, что дает предпосылки для ожидания дополнительного улучшения смачивания обработанного данным методом образца.

### **Выводы:**

Как видно из экспериментальных данных, проведенная обработка поверхности образцов существенно изменяет параметры поверхности. Так, установлено влияние методов обработки поверхности образцов на значение краевого угла смачивания, удельную поверхность, а следовательно и на смачиваемость образцов физиологическим раствором. Экспериментально показано, что с ростом отклонения параметров исследуемой поверхности от полированной, краевой угол уменьшается от 22-24 градусов до 2-2,5, а удельная поверхность образца, подвергнутого дробеструйной обработке по сравнению с полированным образцом на 2 порядка выше. Вследствие этого ожидается существенное влияние этих методов и на другие физико-химические параметры поверхности.

### **Литература**

1. Технология производства титановых самолетных конструкций/ А.Г. Братухин, Б.А. Колачев, В.В. Садков и др. М.: Машиностроение, 1995г. – 448с.
2. Савич В.В., Киселев М.Г., Воронович А.И. Современные материалы хирургических имплантатов и инструментов. – Мн.: УП «Технопринт», 2003. – 119с.
3. И.С. Куликов, С.В. Ващенко, В.Л. Ермаков. Основные закономерности полировки металлических изделий плазменно-электролитным методом. Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии: Тез. Докл. 5-й Междун. Науч.-техн. конф./ под ред. А.И. Свириденка, А.А. Михалевича. – Гродно: ГрГУ 2002. – с. 110-111.
4. Справочник. Поверхностные явления и поверхностно-активные вещества./Под ред. А.А. Абрамзона, Е.Д. Щукина – Ленинград: Химия, 1984. – 392с.
5. А. Адамсон Физическая химия поверхности. – М.: Мир, 1979. – 568с.

**Приспособление для укатки ограночных дисков  
при ультразвуковом воздействии**

Киселев М.Г., Минченя В.Т., Степаненко Д.А.

Белорусский национальный технический университет

Ограночный диск представляет собой режущий инструмент в виде диска диаметром 300÷350 мм с алмазоносным поверхностным слоем, предназначенный для обработки кристаллов алмаза и других сверхтвердых материалов.

Для формирования алмазоносного слоя применяют метод шаржирования (укатки), основанный на механическом внедрении зерен алмазных частиц в поверхностный слой материала диска, и метод, основанный на гальваническом наращивании алмазных зерен на поверхности диска. Шаржирование (укатка) зерен нанесенного алмаза осуществляется с помощью конуса из твердого сплава или синтетического поликристаллического алмаза (балласа), закрепленного в цанге вращающейся головки приспособления для укатки. Укаточной головке сообщают движение подачи относительно поверхности диска в радиальном направлении, а диску и деформирующему инструменту – вращательное движение относительно их осей. Вращательное движение деформирующего инструмента позволяет обеспечить его равномерный износ. Ось укаточной головки составляет с поверхностью диска угол  $75^{\circ}$ . Процесс укатки сопровождается упруго-пластическими деформациями материала поверхностного слоя и может рассматриваться как разновидность процессов упрочнения поверхностным пластическим деформированием (ППД). Как показывают исследования, эффективность процессов ППД может быть значительно повышена за счет применения акустической энергии. В частности, при сообщении деформирующему инструменту ультразвуковых колебаний значительно снижается сопротивление материала пластической деформации. Это явление объясняется акустическим разупрочнением материала, в основе которого лежит воздействие температурных полей, возникающих при высокочастотной деформации материала, на его пластические свойства. Интенсивное термическое воздействие приводит к локальному размягчению и оплавлению слоев деформируемого материала, что снижает его со-

противление деформации. Для исследования строения очага деформации при контактном взаимодействии деформирующего инструмента с поверхностью диска приведем описание геометрии контактной поверхности инструмента.

Любая точка образующей поверхности инструмента является параболической точкой, то есть точкой, в которой гауссова кривизна поверхности равна нулю, а одна из главных кривизн отлична от нуля [1]. Прилегающая поверхность в параболической точке с точностью до членов третьего порядка малости представляет собой параболический цилиндр, определяемый уравнением

$$z = y^2 / r,$$

где  $r$  – главный радиус кривизны.

Для определения главного радиуса кривизны рассмотрим вертикальное сечение поверхности инструмента, проведенное через точку  $C$  ее образующей, находящуюся на расстоянии  $x$  от вершины (рис. 1).

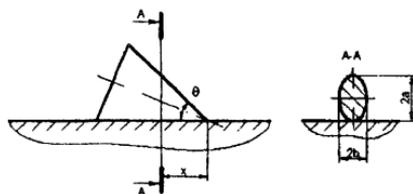


Рисунок 1

Так как данное сечение является главным нормальным сечением поверхности инструмента в точке  $C$ , то его радиус кривизны в вершине является главным радиусом кривизны поверхности. Если угол при вершине осевого сечения инструмента  $\theta < 90^\circ$ , то сечение представляет собой эллипс с вертикально ориентированной большой полуосью. При  $\theta = 90^\circ$  сечение является параболой, а при  $\theta > 90^\circ$  – гиперболой. Радиус кривизны эллипса в вершине большой полуоси определяется выражением

$$r = b^2 / a,$$

где  $a$  и  $b$  – соответственно большая и малая полуоси эллипса.

В рассматриваемом случае величина большой полуоси определяется выражением

$$a = x \cdot \operatorname{tg}(\theta)/2.$$

Для определения величины малой полуоси эллипса найдем положение его фокуса. Положение фокусов эллипса, определенного как множество точек пересечения секущей плоскости с поверхностью конуса, может быть определено путем построения так называемых шаров Данделена [2,3] (рис. 2).

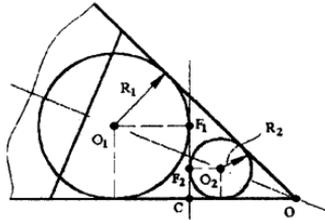


Рисунок 2

Шары Данделена представляют собой шары, вписанные в данный конус и касающиеся секущей плоскости. Можно показать, что точки касания шаров Данделена и секущей плоскости являются фокусами эллипса, а линии пересечения секущей плоскости и плоскостей, в которых лежат окружности касания шаров и конуса, – его директрисами. Данное утверждение справедливо и для других конических сечений (параболы и гиперболы). Различие состоит в том, что для эллипса шары Данделена заключены в одной полости конуса, для гиперболы – в различных полостях, а для параболы существует единственный шар Данделена.

Из треугольника  $OO_2C$  находим радиус шара  $R_2$ :

$$R_2 + R_2 \operatorname{ctg}(\theta/2) = x, \text{ откуда}$$

$$R_2 = \frac{x}{1 + \operatorname{ctg}(\theta/2)}.$$

Расстояние от вершины эллипса до его фокуса

$$F_2C = R_2.$$

С другой стороны

$$F_2C = a - c,$$

где  $c$  – расстояние от центра эллипса до фокуса.

Таким образом, имеем

$$c = a - R_2 = \frac{x}{2} \operatorname{tg}(\theta) - \frac{x}{1 + \operatorname{ctg}(\theta/2)} = \frac{x \cdot \operatorname{ctg}(\theta/2)}{\operatorname{ctg}^2(\theta/2) - 1} - \frac{x}{1 + \operatorname{ctg}(\theta/2)} = \frac{x}{\operatorname{ctg}^2(\theta/2) - 1}$$

Полуоси эллипса связаны с расстоянием от вершины до фокуса соотношением

$$c^2 = a^2 - b^2, \text{ откуда}$$

$$b = \sqrt{a^2 - c^2} = \frac{x}{\sqrt{\operatorname{ctg}^2(\theta/2) - 1}}.$$

Радиус кривизны эллипса в вершине

$$r = \frac{b^2}{a} = \frac{x^2}{\operatorname{ctg}^2(\theta/2) - 1} \cdot \frac{\operatorname{ctg}^2(\theta/2) - 1}{x \cdot \operatorname{ctg}(\theta/2)} = x \cdot \operatorname{tg}(\theta/2).$$

Аналогичные рассуждения, проведенные для случаев  $\theta = 90^\circ$  и  $\theta > 90^\circ$ , показывают, что для любого значения угла при вершине осевого сечения инструмента радиус кривизны в вершине вертикального сечения его поверхности определяется выражением

$$r = x \cdot \operatorname{tg}(\theta/2).$$

Таким образом, поверхность деформирующего инструмента в малой окрестности точки касания его образующей с поверхностью диска с точностью до членов третьего порядка малости представляет собой параболический цилиндр и имеет главный радиус кривизны, пропорциональный расстоянию от точки касания до вершины инструмента, и нулевую гауссову кривизну. Выполненный расчет формы сечения деформирующего элемента позволяет рассмотреть кинематику процесса захвата абразивных зерен укаточным инструментом.

### Литература

1. Математическая энциклопедия. В 5-и т. Т. 4. Ок-Сло / Гл. ред. И.М. Виноградов. – М.: Изд-во «Советская Энциклопедия», 1982. – 1216 стб.
2. Математическая энциклопедия. В 5-и т. Т. 2. Д-Коо / Гл. ред. И.М. Виноградов. – М.: Изд-во «Советская Энциклопедия», 1982. – 1104 стб.
3. Погорелов А.В. Аналитическая геометрия / А.В. Погорелов. 4-е изд. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1978. – 208 с.

**Математическое моделирование закономерностей обработки  
выпукло-вогнутых линз**

Козерук А.С., Климович В.Ф., Филонова М.И.  
Белорусский национальный технический университет

Актуальность темы, рассматриваемой в тезисах доклада, обусловлена тем, что она направлена на создание перспективной технологии получения оптических деталей типа линз без их блокировки на одну из рабочих поверхностей. Исключение из традиционного технологического процесса обработки линз наклеечного вещества в виде пекоканифольной смолы позволяет повысить производительность процесса по меньшей мере в два раза за счет одновременного формообразования обеих поверхностей заготовки, снижает загрязнение окружающей среды канцерогенными веществами фенольной группы, выделяющихся при нагреве смолы, и повышает качество оптических приборов благодаря отсутствию деформации заготовок линз на стадии их шлифования и полирования.

Для реализации предлагаемой технологии создано устройство, схема которого показана на рис. 1. Устройство работает следующим образом. Первоначально деталь 16 закрепляют в посадочном гнезде гильзы 18 и последнюю помещают в цилиндр 17. На обрабатываемые поверхности детали устанавливают инструменты 2 и 3 и осуществляют силовое замыкание с ними поводков 9 и 10 посредством грузов 22 и 23 через кронштейны 11 и 12. После этого включают приводы выходного звена 24 базового станка и его шпинделя 21. Вращение последнего через ведущее 20 и ведомое 13 зубчатые колеса, входное звено 14 и тягу 15 преобразуется в возвратно-поступательное перемещение каретки 5 вместе со стойкой 6, поводком 9 с инструментом 2 кронштейном 11 с грузом 22. При этом колебательное движение выходного звена 24 базового станка с помощью Г-образного звена 7 и поводка 10 сообщает возвратно-вращательное движение инструменту 3 и кронштейну 12 с грузом 23.

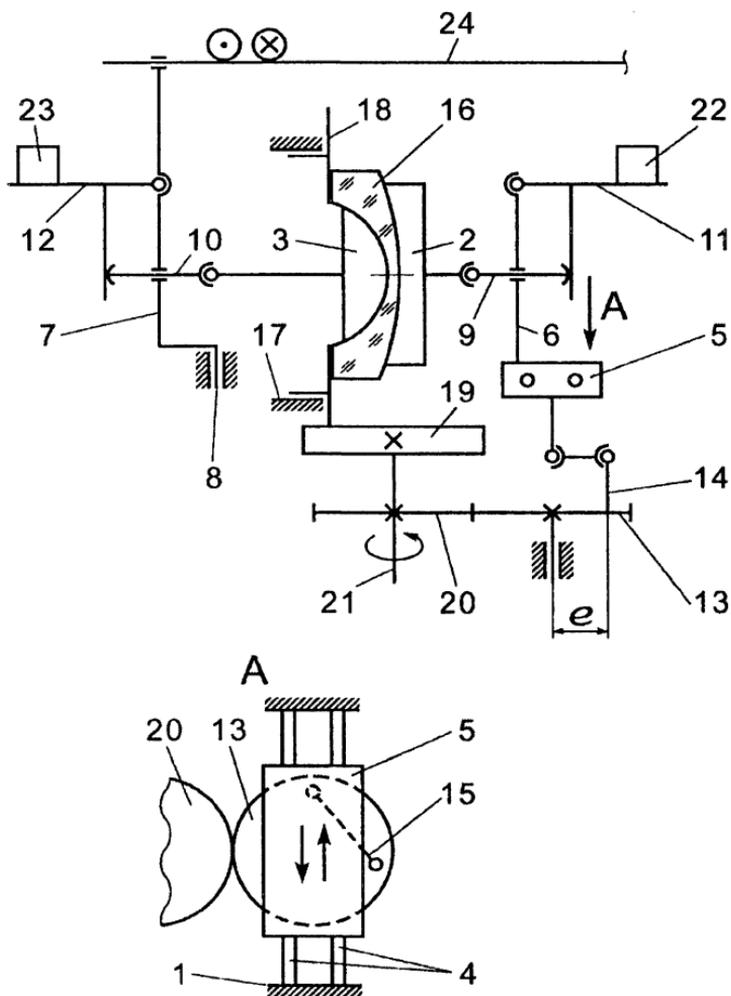


Рис. 1.

В процессе обработки деталей на предлагаемом устройстве управление формообразованием осуществляется регулированием следующих наладочных параметров: амплитуды возвратно-поступательного и возвратно-вращательного движений инструментов 2 и 3; рабочего усилия – изменением веса грузов 22 и 23;

скорости вращения детали – увеличением или уменьшением числа оборотов в минуту шпинделя 21 базового станка.

В основу математического моделирования положена известная формула Престона:

$$U = kpv_t,$$

где  $J$  – износ,  $k$  – технологический коэффициент,  $p$  – давление,  $v$  – скорость скольжения,  $t$  – время обработки.

Из перечисленных параметров определим аналитическое выражение для расчета скорости скольжения. При этом будем исходить из векторного уравнения

$$\vec{v} = \vec{v}_D - \vec{v}_I,$$

где  $v_D$  и  $v_I$  – линейные скорости вращения детали и инструмента, последнюю из которых представим в виде:

$$\vec{v}_I = \vec{v}_{IB} + \vec{v}_{IK},$$

где  $v_{IB}$  и  $v_{IK}$  – линейные скорости соответственно вращательного и возвратно-качательного движений инструментов. Упомянутые скорости можно определить, как векторные произведения соответствующих угловых скоростей на радиус-вектор точки, выбранной на поверхности детали.

Проделав необходимые математические преобразования с учетом особенностей кинематических схем обработки вогнутой и выпуклой поверхностей линзы на предложенном устройстве, получили выражения для составляющих линейной скорости относительного движения точки по осям  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  в виде:

$$v_x = (\Omega_1 Y_M - \omega_1 \sin \varphi_1 Z_M) \cos \Delta - (\Omega_1 Z_M + \omega_1 \sin \varphi_1 Y_M) \sin \Delta,$$

$$v_y = (\omega_1 \cos \varphi_1 - \omega_D) \cdot (Y_M \sin \Delta + Z_M \cos \Delta) - \Omega_1 X_M,$$

$$v_z = \omega_1 \sin \varphi_1 X_M + (\omega_D - \omega_1 \cos \varphi_1) \cdot (Y_M \cos \Delta - Z_M \sin \Delta).$$

Используя эти составляющие, по формуле

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$$

находим результирующую скорость скольжения, входящую в исходную формулу Престона.

**К вопросу повышения дальности  
приборов ночного видения**

Гурняк Е.Б., \*Ляшко О.М., Тареев А.М.

\*Белорусский национальный технический университет.  
ОАО «Пеленг»

Приведены результаты расчета и анализа предельной дальности приборов ночного видения (ПНВ). Рассматриваются приборы, предназначенные для наблюдения несамосветящихся целей благодаря различию коэффициентов отражения объекта и фона в ИК-области спектра с последующим преобразованием ИК-изображения в видимое и визуальной регистрацией.

Блок схема приборов такого вида приведена на рис.1.

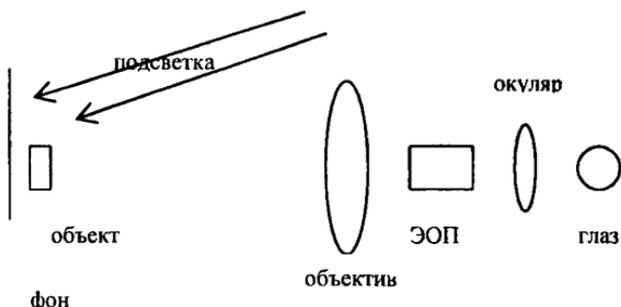


Рис.1

ПНВ такого типа относятся к приборам с ограничением дальности по контрасту. Дальность видения ограничивается выполнением условия:

$$K_{\text{набл}} \geq K_{\text{пор}}, \quad (1)$$

где  $K_{\text{набл}}$  – контраст изображения объекта;  $K_{\text{пор}}$  – пороговый контраст глаза.

Составлена математическая модель ПНВ с лазерной импульсной подсветкой, в основе которой лежит модель ПНВ, разработанная авторами [1]. Отличия с [1] обусловлены тем, что в рассматриваемых ПНВ проводится визуальный анализ изо-

бражения поля обзора на экране ЭОПа, а не на экране монитора. Предполагалось, что влиянием темновой яркости экрана ЭОПа на контраст изображения можно пренебречь.

Величины, входящие в уравнение (1), представлены функциями дальности и параметров элементов, указанных на блок-схеме прибора, характеристик фона, атмосферы, подсветки, глаза человека. Таким образом, дальность действия прибора определялась из уравнения:

$$T_{\text{атм}} \left( \frac{1}{\sigma(L)} \right) \times T_{\text{об}} \left( \frac{1}{\sigma(L)} \right) \times T_{\text{эоп}} \left( \frac{1}{\sigma(L)} \right) \times T_{\text{гл}} \left( \frac{1}{\sigma(L)} \right) \times \frac{\rho_{\text{об}} - \rho_{\text{ф}}}{\rho_{\text{об}} + \rho_{\text{ф}} + 2\rho_{\text{атм}}(L)} = \\ = \mu \sqrt{\frac{H_0}{2}} \times \frac{1}{D_{\text{гл}}(B_{\text{ф}}(L)) \times \sigma(L) \times \sqrt{B(L) \times \tau(B_{\text{ф}}(L))}}$$

где  $L$  – дальность видения;  $T_{\text{атм}}$ ,  $T_{\text{об}}$ ,  $T_{\text{эоп}}$ ,  $T_{\text{гл}}$  – значения частотно-контрастной характеристики атмосферы, объектива, ЭОПа и глаза соответственно на пространственной частоте, обратной угловому размеру объекта  $\sigma$ ;  $\rho_{\text{об}}$ ,  $\rho_{\text{ф}}$ ,  $\rho_{\text{атм}}$  – коэффициенты диффузного отражения объекта, фона и атмосферы соответственно;  $B_{\text{ф}}(L)$  и  $B(L)$  – яркости световых потоков от фона и суммарного потока соответственно, поступающих во входной зрачок глаза;  $D_{\text{гл}}$  – относительная величина зрачка глаза;  $\tau$  – время инерции зрения;  $H_0$  – пороговая экспозиция зрачка.

Вычислена предельная дальность существующего контрастно ограниченного ПНВ с подсветкой излучением импульсного лазерного светодиода с длиной волны излучения 0.83 мкм. При вероятности обнаружения 0.5 отличие расчетного значения дальности от экспериментально определенного не превышает 10%, что подтверждает адекватность использованной модели.

Затем все конструктивные параметры прибора варьировались с целью увеличения дальности видения при фиксированных вероятности обнаружения 0.8 и МДВ=10 км.

Установлено, что увеличение мощности подсветки в 2 раза вызывает увеличение дальности всего в 1.06 раза. Мощность подсветки определяет яркость экрана ЭОПа, которая влияет только на пороговый контраст глаза. При угловом размере объекта 11' и яркостях до 2 кд/м<sup>2</sup> пороговый контраст резко уменьшается с увеличением яркости, а в диапазоне 3-10 кд/м<sup>2</sup> пороговый контраст уменьшается с 0.05 до 0.03, а в диапазоне 10-35

кд/м<sup>2</sup> с 0.03 до 0.02. Существующая подсветка обеспечивает яркость экрана ЭОП на предельной дальности работы ПНВ примерно 3 кд/м<sup>2</sup>, поэтому ее дальнейшее увеличение вызывает незначительное снижение порогового контраста. По этой же причине увеличение других параметров, влияющих на яркость: диаметра и пропускания объектива, чувствительности ЭОПа в 2 раза, вызывает увеличение дальности видения всего лишь в 1.12, 1.06 и 1.06 раза соответственно.

Другая группа параметров влияет на контраст наблюдаемого объекта. Двукратное увеличение фокусного расстояния объектива (при том же относительном отверстии) либо уменьшение фокусного расстояния окуляра или же повышение разрешающей способности ЭОПа почти в 2 раза с 38 до 65 штр/мм увеличивают наблюдаемый контраст примерно в два раза. Но при этом дальность видения возрастает всего в 1.3 раза. Сравнительно небольшое увеличение дальности видения при двукратном увеличении контраста изображения обусловлено резкой зависимостью порогового контраста от дальности объекта. Отметим, что ЭОПы с разрешающей способностью выше 45 штр/мм являются приборами первого поколения и имеют незначительную чувствительность по сравнению с используемыми в существующем приборе. Поэтому оценка влияния разрешающей способности ЭОПа на дальность видения относится к перспективным ЭОПам с микроканальной пластиной.

Таким образом, значительное (в несколько раз) увеличение дальности ПНВ по сравнению с существующими невозможно. Реально достижимо увеличение дальности примерно в 1.7 раза путем увеличения фокусного расстояния и диаметра объектива и одновременного уменьшения фокусного расстояния окуляра в 1.5 раза.

### **Литература**

1. Карасик В.Е., Орлов В.М. Лазерные системы видения: Учебное пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 352с.

## Математическое моделирование кинематики и экспериментальные исследования процесса магнитно-абразивной обработки кремниевых пластин

Луговик А.Ю., Фёдорцев Р.В., Хомич Н.С., Лосякина Ю.В.  
Белорусский национальный технический университет

Магнитно-абразивные методы обработки находят все более широкое применение в различных областях техники, в том числе в оптико-электронной промышленности при полировании кремниевых подложек интегральных микросхем.

Суть метода магнитно-абразивной обработки состоит в том, что ферроабразивные частицы под воздействием магнитного поля формируют «эластичную щетку», которая и производит обработку поверхности (рис.1). В настоящей работе рассматривается вопрос создания компьютерной математической модели процесса магнитно-абразивной обработки плоских заготовок.

Целью исследований являлось нахождение оптимальных кинематических параметров станка, обеспечивающих максимальную равномерность обработки поверхности пластины при обеспечении высокой интенсивности съема припуска (рис.2).

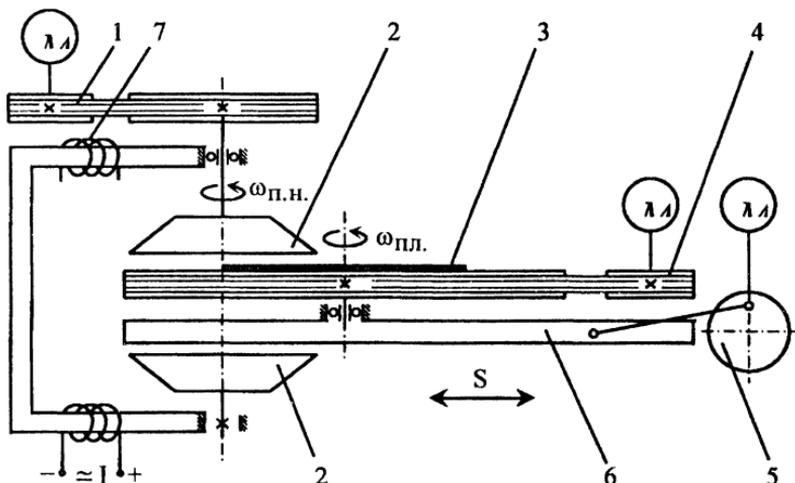


Рис.1. Схема магнитно-абразивной обработки кремниевых пластин: 1 – привод вращения полюсных наконечников; 2 – полюсные наконечники; 3 – обрабатываемая пластина; 4 – привод вращения пластины; 5 – привод подачи; 6 – каретка; 7 – электромагнитные катушки

Станок реализует три рабочих движения: вращение верхнего полусного наконечника ( $\omega_{П.н.}, c^{-1}$ ), вращение пластины с некоторым заданным эксцентриситетом ( $\omega_{П.л.}, c^{-1}$ ), возвратно-поступательное движение пластины ( $S$  мм/с). Математические зависимости, описывающие такие виды перемещений, приведены в справочной литературе по точной механике приборов.



Рис. 2. Блок-схема математической модели

При расчете выходных параметров имеется возможность выбора следующих режимов моделирования процесса обработки: по заданному направлению и по всей поверхности пластины.

В первом случае анализируемые точки располагаются на выбранном радиусе пластины с шагом 1 мм. Во втором случае вся поверхность разбивается на приблизительно одинаковые кольцевые сектора размером 5×5 мм, центры которых и являются анализируемыми точками. Дополнительно программа учитывает специальную форму полюсных наконечников; направление вращения пластины и инструмента; неравномерность съема материала в зоне обработки вследствие различных линейных скоростей абразивных частиц в центре и по краям. Многочисленные виртуальные исследования по программе позволили определить оптимальные режимы работы станка, при этом были выявлены следующие важные особенности:

- нелинейная взаимосвязь между равномерностью обработки и интенсивностью съема припуска в единицу времени;
- «волнообразный» (периодический) характер рельефа поверхности пластины при кратных частотах вращения полюсного наконечника и пластины.

Результаты параллельно выполненных экспериментальных исследований на опытном образце станка мод. 3905 приведены в таблице:

Переходы на операции механической обработки	Зернистость и вид абразивной пасты или суспензии	Средняя шероховатость поверхности $Ra$ , нм	Средняя толщина (Average Thickness Values) $AvgThk$ , нм	Время обработки $t$ , мин	Относительная величина интенсивности съема припуска $u_j = m_{ср}^{иск} - m_{ср}^{кон}$ , г.
Полирование					
– предварительное	100/60, Fe-Алмаз	1,2425	466,3473	10	0,0367
– окончательное	40/0, Fe-Алмаз	0,78	466,3012	20	0,0019

Работы по дальнейшим численным исследованиям предусматривают усовершенствование математической модели в отношении учета микропараметров, а также поиск новых оптимальных режимов обработки по интенсивности съема припуска.

## К вопросу коррекции кривизны изображения в четырехзеркальных объективах

Артюхина Н.К.

Белорусский национальный технический университет

В зеркальных системах большое внимание уделяется возможности исправления аберрации кривизны изображения. Известны отдельные случаи расчета зеркальных объективов и афокальных систем, имеющих плоскую поверхность изображения.

При систематизации результатов анализа различных типов и разновидностей зеркальных систем представляет практический интерес нахождения области конструктивных параметров, обеспечивающих планкоррекцию. Рассматриваются два класса зеркальных объективов [1], особенностью которых является то, что первое и четвертое зеркала можно выполнить в виде моноблока.

Коэффициент кривизны изображения III порядка при исправленном астигматизме определяется по формуле (все обозначения см. в литературе [2]):

$$D_0 = \frac{1}{2} \sum_{s=1}^4 \frac{\nu_s \alpha_{s+1} - \nu_{s+1} \alpha_s}{h_s}. \quad (1)$$

Для систем I и III типов с заданным коэффициентом центрального экранирования  $\eta$  уравнение (1) преобразовывается к виду:

$$2D_0 = A + \alpha_4 - 1, \quad (2)$$

где  $A = \alpha_2 - \frac{\alpha_2 + \alpha_3}{h_2} + \frac{\alpha_4 + \alpha_3}{h_3}$ , а для систем II и IV типов

$$2D_0 = A - (\alpha_4 + 1). \quad (3)$$

Величины  $\alpha_2$  и  $h_2$  обычно задаются; они определяют продольные и поперечные габариты системы. Параметры  $\alpha_3$  и  $h_3$  находят из следующих соотношений:

$$\alpha_3 = \frac{\eta h_2 - 1}{(d_2 - 1)\eta}; \quad h_3 = -\frac{\eta h_2 - d_2}{(d_2 - 1)\eta}. \quad (4)$$

Коэффициент  $D_0$  зависит от  $\alpha_2$  и принимает бесконечно большое значение при  $h_3 = 0$ . Графическая зависимость  $\alpha_2 = f(h_2)$  определяет граничную кривую конструктивных параметров перехода от систем I и II типа к III и IV типу.

В системах I типа коэффициент  $D_0$  изменяется от  $-\infty$  до  $+\infty$  в области положительных значений  $\alpha_2$ , где существуют расчетные варианты зеркальных планобъективов. Для меньших поперечных габаритов ( $h_2 < 4,0$ ), когда  $\eta < 0,3$  коэффициент Петцваля равен нулю в области  $\alpha_2 > 8,0$ , при малой светосиле.

В системах III типа возможно получить плоское поле для средней светосилы и коэффициенте  $\eta > 0,4$ . Системы с исправленной кривизной изображения при малом коэффициенте экранирования ( $\eta < 0,3$ ) существуют лишь при  $h_2 > 5,0$ .

Для систем II типа существуют расчетные варианты объективов с плоским полем при  $\alpha_2 < 1,0$  для  $\eta > 0,5$ . В системах IV типа кривизна Петцваля исправлена при  $\alpha_2 > 11,0$ , т.е. при малом относительном отверстии.

Исследование формул (2-4) позволяет судить о форме третьего и четвертого зеркал. Третье зеркало может быть выпуклым и вогнутым. В системах I, III и IV типов четвертое зеркало всегда вогнутое; в системе III типа четвертое зеркало выпуклое, когда  $h_3 > 2,0$ , вогнутое при  $h_3 < 2,0$ .

В объективах II класса при  $\alpha_3 = 0$ , условие устранения кривизны для I разновидности

$$B - (\alpha_4 + 1) = 0, \quad (5)$$

где  $B = \alpha_2 - \frac{\alpha_2 - \alpha_4}{h_2}$ , а для II разновидности:

$$B + \alpha_4 - 1 = 0. \quad (6)$$

Задаваясь различными значениями угла  $\alpha_2$ , определяющего фокусное расстояние первого зеркала, и параметра  $h_2$ , определяющего центральное экранирование, получаем различные схемные решения зеркальных систем. Практический интерес представляют системы II разновидности ( $h_4 = 1,0$ ;  $\alpha_5 = -1,0$ ). Область возможных решений для  $\alpha_2$  от 0 до  $-\infty$ . Исключение составляют лишь области  $-1,5 < \alpha_2 < -0,5$  в системах с большим экранированием ( $h_2 > 0,5$ ). В системах I разновидности ( $h_4 = 1,0$ ) существуют конструктивные решения в пределах  $-1,5 < \alpha_2 < -0,5$  для  $h_2 > 0,3$ .

При исследовании четырехзеркальных объективов II типа, имеющих плоскость промежуточного изображения между вторым и третьим зеркалом, учитывается дополнительный параметр  $\delta$  (расстояние, определяющее положение этой плоскости относительно первого зеркала). Конструктивные параметры объективов II типа определяются по формулам:

$$\alpha_3 = \frac{h_2}{\delta - d_1}; \quad h_3 = -h_2 \alpha_3 \frac{\Delta - \delta + 1}{\alpha_3 + h_2}, \quad (7)$$

где  $\Delta$  - толщина моноблока.

Проведен компьютерный расчет коэффициента  $D_0$  при заданных величинах  $d_2, h_2$ , и  $\delta$ . Получено, что практический интерес представляют системы с плоским полем для  $\eta = 0,5$ , которые достаточно светосильны ( $-1,2 < \alpha_2 < -0,8$ ).

### Литература

1. Артюхина Н.К., Панько О.И. Классификация зеркальных анастигматов //НИРС-2003: Тез. докл. VIII Респуб. науч.-тех. конф.; Минск, 9-10 дек. 2003г./ Мин.обр.РБ. БНТУ.- Минск, 2003г.
2. Чуриловский В.Н. Теория хроматизма и аберраций третьего порядка. Л., "Машиностроение", 1968.

# **Автотракторостроение**

УДК 629.113

## Исследование нагруженности трансмиссии автобуса МАЗ-103

Гуринович А.Г.

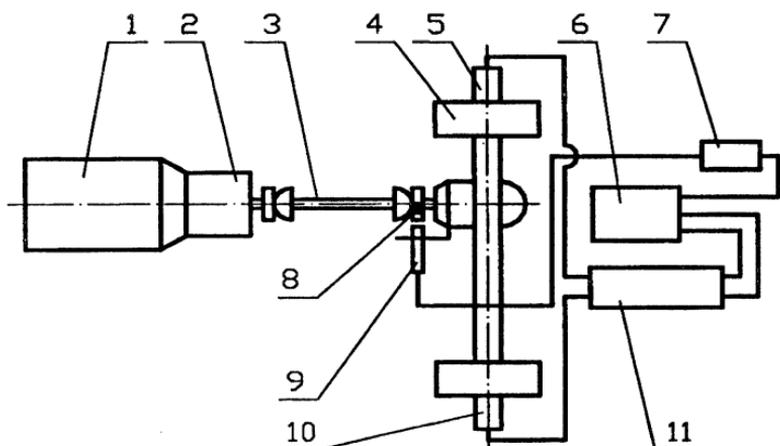
Белорусский национальный технический университет

Исследования нагрузочных режимов узлов и агрегатов трансмиссий в реальных условиях эксплуатации являются важным этапом в комплексе работ по совершенствованию конструкции и повышению характеристик надежности транспортных средств. По результатам исследований инженер-конструктор получает набор статистических данных по динамической нагруженности деталей трансмиссии. Полученные данные могут быть использованы как для расчета соответствия наработки отдельных узлов и агрегатов в стендовых условиях пробегу в различных условиях эксплуатации, так и для прогнозирования долговечности и надежности узлов трансмиссии на стадии проектирования.

На Минском автомобильном заводе нагруженность трансмиссии определяется для каждой новой модели выпускаемых автомобилей при наличии значительных изменений в конструкции, связанных с параметрами двигателя, коробки передач, ведущего моста. Не стал исключением и автобус производства Минского автомобильного завода МАЗ-103.

В данной работе рассматривается технология исследования нагрузочного режима трансмиссии с использованием многоканальной бортовой измерительной системы для динамических испытаний «М3 INTEGRA 1» фирмы В+S Multidata, которая позволяет записывать процессы нагружения в реальном времени в цифровом формате непосредственно на встроенный винчестер системы.

При исследованиях нагрузочного режима трансмиссии автобуса фиксировались крутящие моменты на обоих полуосях ведущего моста и частота вращения карданного вала. Решение по определению крутящих моментов на двух полуосях было принято ввиду несимметричности конструкции заднего моста и разного конструктивного исполнения полуосей. Принципиальная схема подключения датчиков и измерительных модулей представлены на рис. 1.



1 – двигатель внутреннего сгорания; 2 – коробка передач; 3 – карданный вал; 4 – ведущий мост; 5, 10 – токосъемники SK-6; 6 – измерительная система «М3 INTEGRA 1»; 7 – тахометр ТАС-100; 8 – пластина со светоотражающей поверхностью; 9 – датчик частоты вращения; 11 – тензоусилитель KWS – 3073.

Рис. 1. Принципиальная схема подключения датчиков и измерительных модулей.

Для измерения крутящих моментов на полуоси ведущего моста 4 использовались тензодатчики, наклеенные по полумостовой схеме на подготовленные поверхности полуосей. Вместо серийных крышек колесных передач моста использовались технологические крышки, на которые устанавливались торцевые токосъемники SK-6 5, 10. Для соединения токосъемника с тензодатчиками на полуоси срезался один из шлицев полуосевой шестерни. В полученный паз укладывался экранированный кабель от токосъемника. Сигналы тензодатчиков по экранированным проводам поступали на тензоусилитель 11. После усиления сигналы с тензодатчиков подавались на аналоговый модуль измерительной системы 6. Здесь осуществлялась оцифровка получаемой информации и ее запись на винчестер системы.

Для определения частоты вращения карданного вала использовался тахометр ТАС-100 7 фирмы Larson Davis в комплекте с оптическим датчиком 9, использующим отраженный сигнал от боковой поверхности фланца карданного вала. Сигнал с оптического датчика частоты вращения поступал на тахометр 7, где

выполнялась его обработка и преобразование в аналоговый сигнал, который далее подавался на аналоговый модуль измерительной системы б.

Все поступающие на измерительный модуль сигналы записывались на встроенный винчестер системы. При этом в процессе проведения измерений все фиксируемые сигналы отображались на жидкокристаллическом мониторе в виде графиков в реальном времени, что позволяло постоянно фиксировать как все процессы, протекающие в трансмиссии автобуса, так и отслеживать возможные неисправности.

Запись нагрузочных режимов трансмиссии автобуса МАЗ–103 выполнялась при движении по городским пассажирским маршрутам при различной степени загрузки:

- 1) снаряженная масса;
- 2) частичная загрузка – с сидящими пассажирами;
- 3) полная масса.

Для оценки пиковых нагрузок, определяющих статическую прочность деталей, проводились исследования динамических процессов в трансмиссии при переезде препятствий треугольной формы, движении на повороте с включенной блокировкой межколесного дифференциала ведущего моста и бросках сцепления.

Для получения возможности оценки различного рода динамических и колебательных процессов в трансмиссии автобуса при записи характеристик нагрузочных режимов устанавливалась частота опроса датчиков 1000 Гц. Вследствие достаточно высокой частоты опроса датчиков за время нахождения на маршруте создавались файлы данных объемом в десятки мегабайт. Стандартные пакеты прикладных программ не рассчитаны на работу с базами данных таких объемов. Кроме того, учитывая специфику решаемых задач, для последующей обработки и анализа записанных временных сигналов нагрузочных режимов трансмиссии специалистами Испытательного центра МАЗ было разработано специализированное программное обеспечение.

Данное программное обеспечение позволяет считывать информацию непосредственно из файла данных в массив, без промежуточного преобразования в текстовый формат. В программе предусмотрены модули обработки данных от оптических и индукционных датчиков частоты вращения. При этом разработан целый ряд цифровых фильтров, как сигналов тензодатчиков, так

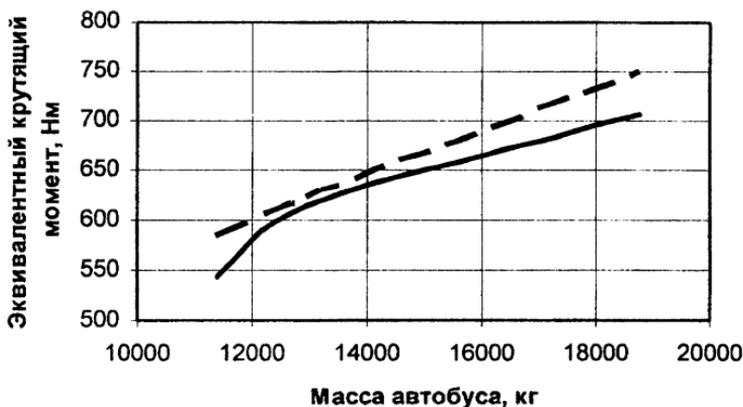
и сигналов датчиков частоты вращения. Программное обеспечение позволяет рассчитать распределения крутящих моментов, частот вращения валов трансмиссии и скорости движения транспортного средства, как по времени, так и по пробегу. В программе предусмотрен модуль визуализации и анализа колебательных процессов. Данный модуль позволяет определять амплитуды и частоты колебательных процессов в трансмиссии транспортного средства. Кроме того, разработан специальный модуль спектрального анализа, позволяющий построить трехмерную функцию в координатах частота колебаний/частота вращения вала трансмиссии/спектральная плотность колебаний. Данная функция позволяет оценить как параметры колебаний крутящих моментов в трансмиссии транспортного средства, так и выявить причины возникновения данных колебаний.

В результате исследований нагрузочных режимов трансмиссии автобуса было установлено, что при равных условиях работы левая (короткая) полуось является более нагруженной, чем правая (длинная) полуось. Частота появления крутящих моментов, превышающих  $1500 \text{ Н}\cdot\text{м}$ , на левой полуоси выше. При этом эквивалентный крутящий момент на левой полуоси в среднем выше на  $10\text{--}60 \text{ Н}\cdot\text{м}$ . Это обусловлено, в основном, выездом автобуса с остановочных пунктов маршрута при трогании.

По мере увеличения загрузки автобуса эквивалентный крутящий момент на обеих полуосях возрастает ( $530\text{--}580 \text{ Н}\cdot\text{м}$  для автобуса снаряженной массы;  $590\text{--}630$  для автобуса частичной загрузки с сидящими пассажирами и  $670\text{--}750 \text{ Н}\cdot\text{м}$  для автобуса полной массы). Графики зависимости эквивалентных крутящих моментов на полуосях ведущего моста от массы автобуса представлены на рис. 2.

В результате исследований динамических процессов в трансмиссии при бросках сцепления было установлено, что крутящие моменты достигали  $6000 \text{ Н}\cdot\text{м}$  на правой полуоси и  $7900 \text{ Н}\cdot\text{м}$  на левой полуоси. В то же время при движении по маршруту крутящие моменты на полуосях не превышали  $2000 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .

Кроме того, на временных диаграммах крутящих моментов при броске сцепления на второй передаче отчетливо просматривались зоны возникновения пластической деформации на обеих полуосях. Остаточная осевая деформация появилась при моменте  $4300 \text{ Н}\cdot\text{м}$  для правой полуоси и  $6400 \text{ Н}\cdot\text{м}$  для левой полуоси.



- — правая полуось (длинная);  
 - - - - - — левая полуось (короткая)

Рис. 2. Зависимость эквивалентных крутящих моментов на полуосях ведущего моста от массы автобуса

Как показали исследования, при движении с включенной блокировкой межколесного дифференциала, положительные крутящие моменты на полуосях возрастали 1,5–2,5 и достигали 4500 Н·м. Кроме того, в трансмиссии автобуса возникали отрицательные паразитные крутящие моменты, достигающие 4000 Н·м. При этом, полуось колеса, движущегося по внутреннему радиусу, нагружалась положительным паразитным крутящим моментом; полуось колеса, движущегося по внешнему радиусу, — отрицательным паразитным крутящим моментом. Максимальные значения паразитных крутящих моментов определяются коэффициентом сцепления ведущих колес с поверхностью дорожного покрытия и массой, приходящейся на ведущий мост.

Результаты, полученные при исследованиях нагрузочных режимов трансмиссии автобуса, могут быть использованы при расчетах деталей трансмиссии на долговечность, а также для выбора режимов стендовых испытаний. В настоящее время в Испытательном центре Минского автомобильного завода ведется работа по отладке и дальнейшему совершенствованию разработанного специализированного программного обеспечения.

**Обоснование параметров тормозных механизмов передних ведущих мостов тракторов «БЕЛАРУС»**

Жуковский Ю.М., Радченко П.В.

Белорусский национальный технический университет

Общеизвестна важность тормозных систем для обеспечения активной безопасности мобильных машин. Эксплуатационные качества тормозных систем во многом зависят от параметров, которые закладываются при их проектировании. Одним из важнейших этапов проектирования является расчётный этап, при выполнении которого проводятся силовой и параметрический расчёты узлов, в частности, тормозных механизмов (ТМ).

В настоящее время, на тракторах Минского тракторного завода (МТЗ) применяются многодисковые ТМ задних колёс. Как показано в работе [4], при торможении только задними колёсами трактор тягового класса 3, начиная со скорости 40 км/ч, не укладывается в нормативы по тормозному пути, установленные директивами ЕЭС 76/432 [3] и 96/63 [2], и очень близок по тормозным качествам к предельным значениям по ГОСТ 12.2.019-86 [1]. При торможении всеми колёсами, значения тормозного пути ниже регламентированных почти на 45-55%. Очевидно, что для выполнения требований директив необходимо использовать в тормозном режиме все колёса трактора. В связи с этим целесообразно провести опытно-конструкторские работы по оснащению тракторов с максимальными скоростями движения 50 км/ч и более ТМ передних ведущих мостов (ПВМ). По результатам анализа возможности использования различных вариантов конструкций ТМ ПВМ тракторов, проведенного совместно БНТУ и МТЗ, предложена конструкция ТМ, показанная на рис.1. Также разработана методика расчёта основных параметров таких ТМ.

Данный ТМ работает следующим образом. Жидкость под давлением из тормозного привода трактора подаётся в надпоршневую полость А и воздействует на кольцевой поршень. Поршень, перемещаясь, воздействует на пакет фрикционных дисков с силой  $F_0$ . В парах трения возникают силы трения и создаётся тормозной

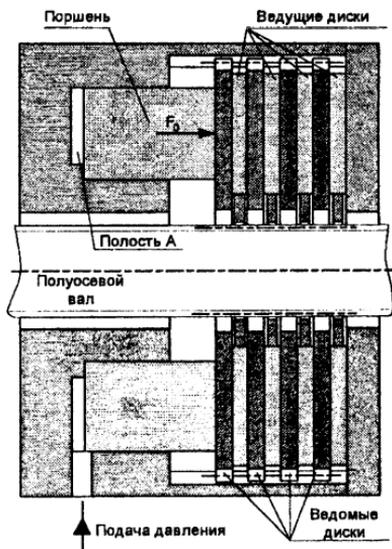


Рис.1. Схема перспективного тормозного механизма ПВМ трактора

ного момента, развиваемого механизмом и достаточного для остановки трактора с максимально возможным замедлением, ограниченным коэффициентом сцепления колёс трактора с опорной поверхностью. Расчёт тормозных моментов необходимо производить с учётом перераспределения нормальных реакций на колёсах трактора в процессе торможения. Для описания методики расчёта воспользуемся схемой трактора (рис.2).

На рис.2 буквами обозначены:  $O$  – центр масс трактора;  $F_i$  – инерционная сила;  $mg$  – вес трактора;  $F_{T1}$  – тормозная сила на передних колёсах;  $F_{T2}$  – тормозная сила на задних колёсах;  $N_1$  – нормальная реакция на передних колёсах трактора;  $N_2$  – нормальная реакция на задних колёсах трактора;  $l$  – продольная база трактора;  $a$ ,  $b$ ,  $h$  – горизонтальные и вертикальная координаты центра масс трактора.

момент. При осевом перемещении дисков в шлицевых соединениях возникают силы трения. Весь пакет дисков работает в масляной ванне, что способствует уменьшению сил трения в шлицевых соединениях по сравнению с механизмами сухого типа, а это при прочих равных условиях уменьшает потери осевых сил, сжимающих пакеты дисков, а также улучшает теплоотвод от дисков.

Для определения основных конструктивных параметров ТМ (количества дисков, наружного и внутреннего диаметров поршня) требуется рассчитать значение тормоз-

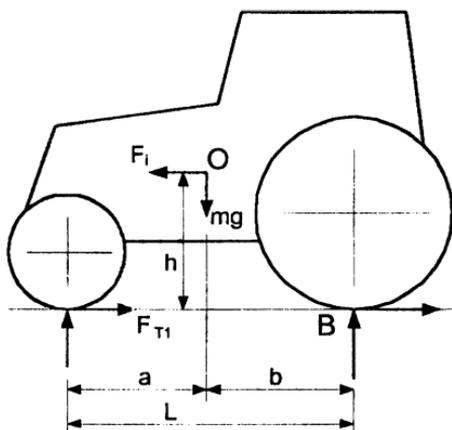


Рис.2. Расчётная схема трактора

Тогда максимальный тормозной момент на одном переднем колесе определяется по выражению

$$M_{T1} = \frac{m \cdot g \cdot \varphi \cdot (\varphi \cdot h + b) \cdot r_{k1}}{2 \cdot l},$$

где  $\varphi$  - максимальный коэффициент сцепления шин трактора с дорожным покрытием;  $r_{k1}$  - радиус передних колёс трактора.

Эти тормозные моменты с учётом передаточного числа  $u_{кп}$  и КПД  $\eta_{кп}$  конечной передачи ПВМ должны быть созданы ТМ, расположенными на полуосевых валах моста. Поэтому тормозной момент на каждой из полуосей ПВМ трактора определяем по следующей формуле  $M_T = M_{T1} \cdot \eta_{кп} / u_{кп}$ .

В многодисковом ТМ прямого действия каждый ведущий диск образует с ведомыми дисками две пары трения, на которых возникают силы трения  $F_{TP_i}$ , создающие суммарный тормозной момент  $M_T$  всего механизма. Количество пар трения  $n$  в многодисковом тормозном механизме всегда число чётное. Сила трения, создаваемая каждой парой трения, зависит от силы сжатия  $F_i$  элементов этой пары трения. В связи с потерями на трение в шлицевых соединениях дисков происходит прогрессирующее уменьшение силы сжатия пар трения по мере удаления от поршня. Момент трения (тормозной момент) всего пакета дисков равен  $M_T = \mu \cdot R_{cp} \cdot \Sigma F_i$ , где  $\mu$  - коэффициент трения фрикционных дисков;  $R_{cp}$  - средний радиус трения фрикционных дисков;  $\Sigma F_i$  - сумма сил сжатия пар трения ТМ.

Для дальнейших расчетов примем следующие обозначения:

$$A = \mu \cdot \mu_{ш} \cdot \frac{R_{ср}}{R_{вн}}; \text{ и } B = \mu \cdot \mu_{ш} \cdot \frac{R_{ср}}{R_{н}},$$

где  $\mu_{ш}$  - коэффициент трения в шлицевых соединениях;  $R_{вн}$  и  $R_{н}$  - средние радиусы шлицевых соединений ведущих дисков с валом и ведомых дисков с корпусом соответственно.

С учётом потерь на трение в шлицах получим выражения для определения силы сжатия  $i$ -ой пары трения (четной и нечетной).

$$F_i^ч = F_0 \cdot \frac{(1-A)^{i/2} \cdot (1-B)^{i/2}}{(1+A)^{i/2} \cdot (1+B)^{i/2}}; \quad F_i^н = F_0 \cdot \frac{(1-A)^{(i-1)/2} \cdot (1-B)^{(i-1)/2}}{(1+A)^{(i-1)/2} \cdot (1+B)^{(i+1)/2}}.$$

Из вышеприведенных формул следует, что чем больше средние радиусы шлицевых соединений, тем меньше потери на трение. Анализ показывает, что потери на трение в шлицевых соединениях существенны (особенно в шлицах меньшего диаметра), что делает применение большого количества фрикционных дисков в ТМ нецелесообразным.



Рис.3. Зависимость  $F_i/F_0$  от удалённости от поршня

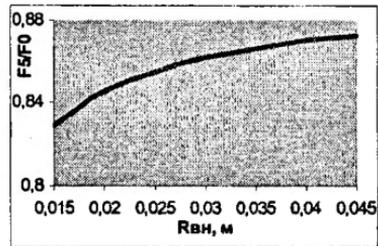


Рис.4. Зависимость  $F_5/F_0$  от  $R_{вн}$

На рис.3 приведена графическая зависимость отношения силы сжатия  $i$ -ой пары трения к силе давления со стороны поршня  $F_i/F_0$  от значения  $i$  (номера пары трения считая от поршня) при постоянных значениях  $\mu$ ,  $\mu_{ш}$ ,  $R_{вн}$ ,  $R_{н}$  и  $R_{ср}$ , которые были заданы исходя из реальных характеристик фрикционных элементов пар трения и геометрических параметров ТМ, с учётом

его установки на трактор «БЕЛАРУС»-2022. На рис.4 показана зависимость отношения силы сжатия 5-ой пары трения к силе давления со стороны поршня  $F_5/F_0$  от делительного радиуса шлицевого соединения ведущих дисков с полуосевым валом при постоянных значениях остальных переменных.

Из рис.3 следует, что с учётом возможности растормаживания ТМ без применения специальных устройств, усложняющих конструкцию, наиболее целесообразно использовать не более 8-10 пар трения в одном ТМ. Из рис.4 видно, что целесообразно увеличивать средний диаметр шлицевого соединения ведущих дисков с валом до максимально возможного по компоновочным параметрам ТМ.

Исходя из вышеприведенного можно определить необходимую силу со стороны поршня  $F_0$  и задавшись давлением рабочей жидкости в приводе тормозов трактора, можно рассчитать основные геометрические параметры кольцевого поршня ТМ (наружный  $d_n$  и внутренний  $d_g$  диаметры).

Определяемые по предложенной методике параметры ТМ и их анализ позволяют заключить, что можно создать целый ряд ТМ для различных тракторов МТЗ мощностью 100 – 200 кВт., обеспечив их высокую унификацию.

#### **Литература**

1. ГОСТ 12.2.019-86 «Тракторы и машины самоходные сельскохозяйственные. Общие требования безопасности», М.: «Издательство стандартов», 1989. - 25с.
2. Директива Комиссии Европейского Экономического Сообщества 96/63/ЕС от 30 сентября 1996 г. Поправка к Директиве Совета 76/432/ЕЭС по сближению законодательств государств-членов по тормозным устройствам колёсных сельскохозяйственных и лесных тракторов.
3. Директива Совета 76/432/ЕЭС от 6 апреля 1976 г. по Уравниванию правовых актов Государств-членов сообщества в отношении тормозных систем сельскохозяйственных и лесохозяйственных колёсных тракторов.
4. Жуковский Ю.М., Радченко П.В. Повышение тормозных качеств колёсных тракторов: Сборник материалов III международной межвузовской научно-технической конференции студентов, аспирантов и магистрантов. – Гомель, 2003.

**Обзор мероприятий для понижения коксуемости  
распылителей форсунок дизелей**

Короленко Р.В.

Белорусский национальный технический университет

Как известно, из всех узлов топливной аппаратуры распылитель форсунки находится в наиболее тяжёлых условиях работы. Непосредственное соприкосновение распылителя с раскалёнными продуктами сгорания в цилиндре способствует закоксуыванию сопловых каналов и тем самым снижается их пропускная способность и качество работы.

Под закоксуыванием имеют ввиду изменение проходных сечений сопловых отверстий в результате отложения на стенках сопловых каналов продуктов разложения топлива. Закоксуывание распылителей происходит в результате сложных физико-химических процессов в топливе и на поверхности металла под воздействием высокой температуры и давления цилиндрических газов.

Проводимые исследования позволяют выделить следующие основные направления в исследовании процесса закоксуывания сопловых отверстий распылителей:

- Температурный режим работы распылителей форсунок;
- Проникновение газов из цилиндров двигателя в сопловые каналы и в полость распылителя;
- Конструктивные и регулировочные параметры топливного насоса и форсунки, динамика процесса топливоподачи, сортность применяемого топлива и др.

В большинстве работ наблюдается чёткая связь между интенсивностью коксования и температурным режимом распылителей, чем выше температура распылителя, тем выше интенсивность его закоксуывания при прочих равных условиях. Естественно, повышение температуры корпуса распылителя способствует реакции окисления и термического разложения топлива, вследствие чего его сопловые каналы закоксуываются.

На температурное состояние распылителей также оказывает влияние температура окружающей среды, от которой могут нагреваться узлы топливной системы и само топливо.

Прорыв нагретых до высокой температуры цилиндрических газов в полость форсунки через сопловые отверстия возможен при чрезмерно большой разгрузке топливопроводов высокого давления, особенно при малых цикловых подачах, а также в результате кавитации топлива. Вместе с газами во внутреннюю полость корпуса распылителя вносятся частицы нагара. В результате прорыва газов на поверхности полости корпуса и иглы образуется лаковая плёнка и налёт нагара, которые снижают теплопроводность металла, при этом распылитель хуже охлаждается топливом и ещё больше нагревается.

Одним из факторов, оказывающих существенное влияние на закоксовывание сопловых отверстий распылителя, считается несовершенство заключительной фазы впрыскивания. Подтекание топлива в конечной фазе впрыска ухудшает качество распыливания, увлажняет носик распылителя, ведёт к образованию капель топлива в нём, увеличивает толщину пограничной плёнки топлива и продолжительность фазы догорания топлива. Всё это снижает эффективность использования топлива, способствует появлению дымного выхлопа и закоксовыванию сопловых отверстий распылителей.

Процесс коксования может интенсифицироваться при наличии подвпрысков, так как при этом топливо попадает в цилиндр в конце периода сгорания, когда там наблюдаются наибольшие температуры и высокие давления. При подвпрысках невелико давление топлива, поэтому дальность струи топлива значительно уменьшается и происходит оседание части топлива на поверхности носика распылителя и в сопловых отверстиях.

Величина суммарного эффективного сечения распылителя  $\mu f$  влияет на степень очистки подигольного объёма распылителя и степень падения давления в камере распылителя в конце распыливания. При малых размерах сопловых отверстий чаще происходит их засорение и загорание, нарушается первоначальная форма факела.

В процессе работы двигателя закоксовывание сопловых отверстий происходит неравномерно, наблюдается закоксовывание части отверстий, иногда до полного прекращения подачи топлива через них. Это приводит к нарушению процесса смесеобразования и сгорания топлива, в результате которого удельный расход увеличивается.

При исследовании коксуемости сопловых каналов определено, что закоксуывание происходит более интенсивно у распылителя с более грубой поверхностью распыливающих отверстий. Это объясняется тем, что в этом случае увеличивается толщина пограничного слоя топлива, а углерод обладает способностью к лучшему сцеплению с шероховатой поверхностью.

В качестве обобщения материала по причинам коксования распылителей форсунок можно сделать вывод, что при прочих равных условиях:

1. необходимо разработать мероприятия по снижению температурного уровня распылителей посредством интенсификации его охлаждения;
2. изменить конструкцию распылителя для уменьшения паразитного объёма и обеспечения лучшей посадки иглы распылителя с запиранием по распыливающим отверстиям (рис. 1);
3. посредством применения конструкторских мероприятий повысить давление окончания впрыска;
4. посредством применения конструкторско-технологических мероприятий уменьшить шероховатость каналов распылителя;
5. необходимы оптимизация отношения диаметра и длины распыливающего отверстия, формы носика распылителя, а также ориентации сопловых отверстий относительно камеры сгорания для обеспечения необходимых качеств распыла и рабочего процесса дизеля.

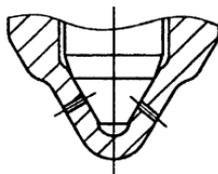


Рис. 1. Схема посадки иглы распылителя с запиранием по распыливающим отверстиям

**Определение теплового состояния дизеля  
воздушноохлаждения**

Турочкин А.А.

Белорусский национальный технический университет

Работоспособность двигателей с воздушным охлаждением во многом определяется его тепловым состоянием. Поэтому при исследовании системы воздушного охлаждения двигателя необходимо иметь достоверное представление о теплонапряженности его деталей. Одной из основных и наиболее теплонапряженной деталью системы воздушного охлаждения является цилиндр двигателя. По уровню его теплонапряженности можно судить о тепловом состоянии всего двигателя. Температурное поля цилиндра двигателя воздушного охлаждения можно получить расчетным способом.

Точность результатов расчета теплонапряженного состояния деталей двигателя в значительной степени зависит от точности, с которой будут заданы для рассматриваемой детали граничные условия теплового нагружения.

Задание граничных условий для цилиндра дизеля воздушного охлаждения можно разделить на две отдельные задачи. Первая задача заключается в определении тепловых потоков со стороны рабочего тела, а вторая – задание характеристик конвективного теплообмена оребренной части цилиндра и потока охлаждающего воздуха.

Тепловой поток со стороны рабочего тела состоит из теплоты передаваемой стенкам цилиндра от непосредственного контакта с рабочим телом (рис.1 а), теплоты, передаваемой от поршня через поршневые кольца к зеркалу цилиндра (рис.1 б) и из теплоты, выделившейся в результате трения (рис.1 с).

Мгновенное значение плотности конвективного теплового потока от рабочих газов в стенку цилиндра найдем из выражения:

$$q_{\Gamma} = \alpha_{r,i} (T(\varphi) - T_{\text{ВТ}}),$$

где  $T(\varphi)$  – температура газа в цилиндре;

$T_{\text{ВТ}}$  – температура поверхности зеркала цилиндра в рассматриваемой точке.

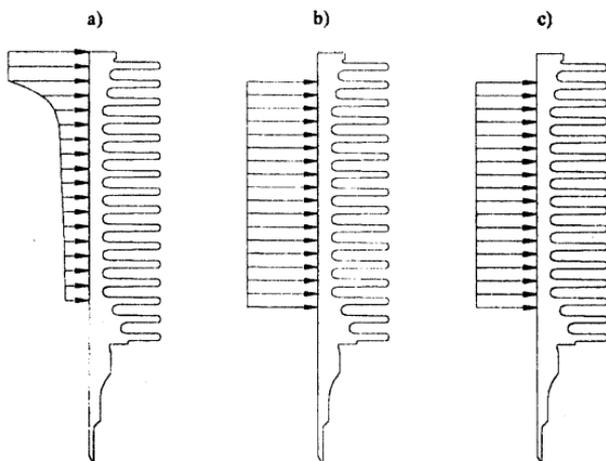


Рис. 1. Эпюра удельных тепловых потоков в стенку цилиндра  
 а – от рабочих газов; б – от поршня; с – от трения

Средняя за цикл плотность теплового потока, полученная элементарной поверхностью в окрестности точки  $i$ , может быть найдена по формуле

$$\bar{q}_r = \frac{1}{360} \cdot \left[ \int_{\varphi^*}^{360-\varphi^*} q_r d\varphi + \int_{360+\varphi^*}^{720-\varphi^*} q_r d\varphi \right].$$

Используя полученные формулы можно построить зависимость теплоты, передаваемой от газов в стенки цилиндра для точек лежащих на зеркале цилиндра.

$$\bar{q}_r = \bar{q}_r(z)$$

Поршни двигателей с воздушным охлаждением как правило не охлаждаемые, поэтому 80-90% воспринимаемой ими от газов теплоты отводится через компрессионные уплотнительные кольца. Значит формирование тепловой нагрузки цилиндра двигателя определяется закономерностями передачи теплоты от компрессионных колец к цилиндру.

При нормальных условиях работы двигателя между уплотнительной поверхностью кольца и зеркала цилиндра всегда имеет масляный клин. Величина этого клина постоянно меняется на протяжении рабочего цикла, а значит и меняется теплопередача от колец к цилиндру. Поэтому при определении мгновенной

газовой нагрузки поршневых колец производится расчет перетекания рабочего тела из камеры сгорания через систему кольцевого уплотнения в картер двигателя, определяются мгновенное распределение давлений в заколочных объемах, толщина масляного слоя и теплопередача от кольца к цилиндру (рис.2).

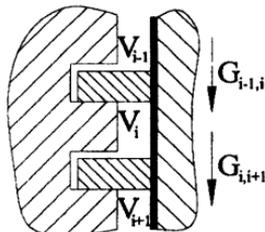


Рис. 2. Схема расчета кольцевого уплотнения

Для определения граничных условий со стороны рабочего тела разработан комплекс позволяющий производить расчетные исследования следующих характеристик цилиндропоршневой группы дизеля:

- параметров рабочего цикла и показателей эффективности работы двигателя с расчетом мгновенных локальных и средних за цикл коэффициентов теплоотдачи от рабочего тела в огневую поверхность гильзы цилиндра;
- расчет утечек рабочего тела через систему кольцевого уплотнения, а так же давление в заколочных объемах и мгновенную нагрузку каждого поршневого кольца;
- мгновенные локальные толщины смазочного слоя под каждым поршневым кольцом и интенсивность теплообмена в сопряжении кольцо-гильза цилиндра.

В основу разработанного комплекса положена определенная структура математических моделей, построенных на базе аналитических решений задач, описывающих внутрицилиндровые процессы в камере сгорания и системе кольцевого уплотнения. При этом, в них практически отсутствуют эмпирические коэффициенты и величины не имеющие четкого физического смысла.

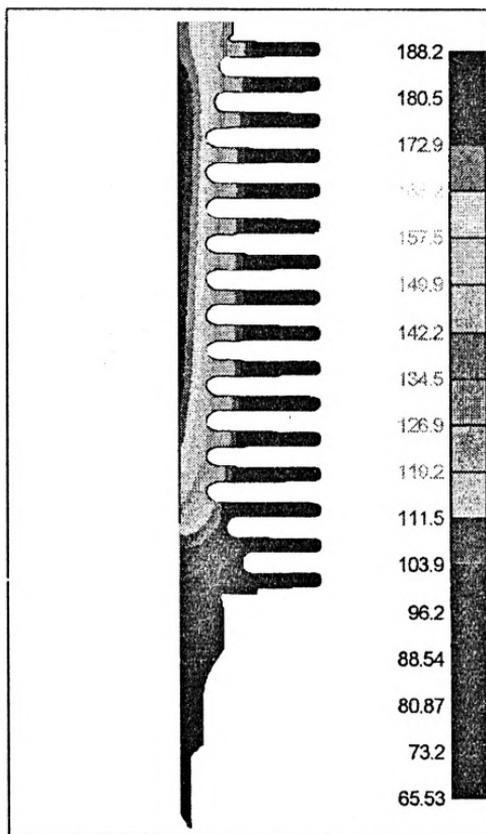


Рис. 3. Температурное поле цилиндра дизеля МД-10

При определении граничных условий с внешней стороны цилиндра определялся коэффициент конвективного теплообмена на ребренной части цилиндра с охлаждающим воздухом и средняя температура охлаждающего воздуха.

По предложенной методике определения теплового состояния цилиндра дизеля воздушного охлаждения и с использованием разработанного программного комплекса рассчитано теплонапряженное состояние цилиндра малогабаритного дизеля МД-10. Результат расчета представлен на рис. 3.

## Математическая модель и методика расчета прироста моторесурса силовой установки

Белобородов С.М., Цимберов Д.М.  
Пермский военный институт ВВ МВД

В ходе эксплуатации силовых установок транспортных средств, на их моторесурс оказывает существенное влияние выход из строя элементов топливного насоса высокого давления (далее по тексту ТНВД). На основе анализа параметров потока отказов элементов ТНВД дизельного известно, что вероятность выхода из строя ТНВД находится в прямой зависимости от выхода из строя его прецизионных элементов.

В связи с этим предлагается математическая модель и методика расчёта прироста моторесурса силовой установки, при положительном линейном изменении показателей внешней характеристики в пределах номинальной нагрузки и среднестатистического распределения качества изготовления деталей.

Приняв допущения, что в один из цилиндров двигателя снабженного линией высокого давления с максимальной гидравлической плотностью впрыскивается больше топлива, чем в цилиндр с уровнем минимальной плотности следует считать, что весь прирост мощности в цилиндре с максимальной гидравлической плотностью будет израсходована на преодоление сил трения и износ. На всех режимах изменение цикловой подачи и эксплуатационных оборотов двигателя наблюдается практически линейная зависимость  $\Delta n = f(\Delta q_{ц\text{двиг}})$ , где  $\Delta n$  – изменения оборотов двигателя а  $\Delta q_{ц\text{двиг}}$  - изменение цикловой подачи в двигателе, что позволяет её считать квазилинейной. Данные ограничения позволяют рассматривать нарастание цилиндрической мощности и давление цикловой подачи в зависимости от числа оборотов .

Известно [2], что износ зависит от величины векторной суммы сил трения; силы трения от величины внутрицилиндрового давления, а внутрицилиндровое давление от величины мощности снимаемой с одного цилиндра.

$$P_{ц} = f(N_{ц}), \quad (1)$$

в то же время

$$P_{mp} = f(P_{\text{ц}}), \quad (2)$$

а износ

$$И = f(P_{mp}), \quad (3)$$

где  $N_{\text{ц}}$  – мощность цилиндра двигателя,  $P_{\text{ц}}$  – давление в цилиндре двигателя,  $P_{mp}$  – векторная сумма сил трения

Таким образом, износ зависит от величины сил трения, силы трения зависят от величины внутрицилиндрового давления, а внутрицилиндровое давление – от величины мощности, развиваемой цилиндром.

Исходя из уравнений (1,2,3) будет справедливым заключение:

$$И = f(N_{\text{ц}}),$$

или, используя известную зависимость [2]  $N_{\text{ц}} = f(q_{\text{ц}})$ , где  $q_{\text{ц}}$  – цикловая подача топлива.

$$И = f(q_{\text{ц}}), \quad (4)$$

что в свою очередь делает справедливым и выражение:

$$\Delta И = f(\Delta q_{\text{ц}}),$$

или

$$\Delta И = \mu \cdot \Delta q_{\text{ц}}, \quad (5)$$

где  $\mu$  – коэффициент износа сопряженных поверхностей.

Можно утверждать, что увеличение износа цилиндра напрямую зависит от отклонения цикловой подачи топлива в этом цилиндре в сравнении со средне расчетной величиной цикловой подачи всего двигателя.

Учитывая, что моторесурс системы определяется моторесурсом невозстанавливаемых за время эксплуатации сопряжений [4], следует признать справедливым для двигателя:

$$T_{\text{мрс}} = \frac{\delta_{\text{max}} - \delta_0}{\Delta И_1 + \Delta И_2} \cdot 1000, \quad (6)$$

где  $\Delta И_1$  и  $\Delta И_2$  – средняя интенсивность изнашивания сопряженных деталей, приведенная к 1000 км.,  $\delta_{\text{max}}$  – максимально допустимый зазор,  $\delta_0$  – начальный технологический зазор.

Член  $\frac{\delta_{max} - \delta_0}{\Delta I_1 + \Delta I_2}$  представляет собой безразмерную величину,

зависящую от  $\Delta q_{ц}$  и пропорциональную ей, характеризующую износ в пределах моторесурса. Для удобства работы, при изменениях в пределах номинальных параметров, следует заменить это член, безразмерным коэффициентом износа  $k_{изн}$ , при этом выражение (6) примет вид

$$T_{мрс} = k_{изн} \cdot 1000 \text{ км.} \quad (7)$$

Или

$$\Delta T_{мрс} = \Delta k_{изн} \cdot 1000 \text{ км.} \quad (8)$$

Оговаривая, что в расчетах приведенных в [2], величина  $Q_n$  при динамических испытаниях не изменяется, следует считать его линейным. Уравнение (5) является линейным.

Следовательно, можно считать определенным априорно:

$$\Delta T_{мрс} = f(\Delta q_{ц}), \quad (9)$$

что означает: любое увеличение средней цикловой подачи топлива в цилиндр пропорционально увеличению его среднего износа, а найденное уравнение – функция монотонная, линейная в пределах номинальных оборотов двигателя, что позволяет преобразовать выражение (9):

$$\Delta T_{мрс} = B \cdot \Delta q_{ц}, \quad (10)$$

где  $B$  – постоянная величина, отражающая наличие прочих равных условий (далее по тексту диспетчер).

Учитывая условие реальной неравномерности подачи топлива, которое может быть определено в 5,1%, и выведенное уравнение (10) следует признать, что предельный износ рассматриваемого цилиндра наступит раньше, чем у цилиндров со среднечикловой подачей на величину, пропорциональную отклонению цикловой подачи линией с максимальной гидравлической плотностью в сравнении со среднерасчетной цикловой подачей.

Неравномерность цикловой подачи насосным прецизионным элементом установлена государственным стандартом  $\Delta q_{ц(1)} = 5\%$ , что составляет в выражении через коэффициент неравномерности подачи насосным прецизионным элементом

$$K_{н(1)} = 1,05.$$

Неравномерность циклового распыливания форсункой установлена государственным стандартом  $\Delta q_{ч(2)} = 5\%$ , что составляет в выражении через коэффициент неравномерности впрыскивания распылителем форсунки:

$$K_{н(2)} = 1,05.$$

Суммарное значение неравномерности впрыскивания линией высокого давления может быть выражено через коэффициент неравномерности впрыскивания линией высокого давления:

$$K_{н}^{сум} = K_{н(1)} \cdot K_{н(2)} = 1,05 \cdot 1,05 = 1,102. \quad (11)$$

Неравномерность цикловой подачи между цилиндрами с цикловой подачей средне-расчетной ( $\Delta q_{ч} \rightarrow 0$ ) и максимальной цикловой подачей ( $\Delta q_{ч} \rightarrow \max$ ) при выражении через коэффициент неравномерности составит

$$K_{н}^q = 1 + (K_{н}^{сум} - 1) / 2 = 1 + (1,102 - 1) / 2 = 1,051. \quad (12)$$

Это позволяет заключить, что разница в подаче топлива между наиболее производительной линией и средней цикловой подачей двигателя составляет 5,1%, что, в свою очередь, является пределом максимального-допустимого отклонения цикловой подачи:

$$\lim \Delta q_{ч} = 0,051 \cdot q_{ч} \quad (13)$$

Отклонение моторесурса за счет отклонения среднецикловой подачи

$$\Delta T_{мрс} = 0,051 \cdot T_{мрс}. \quad (14)$$

Неравномерность цикловой подачи насосного прецизионного элемента согласно государственного стандарта  $\Delta q_{ч} = 4\%$ , что составляет в выражении через коэффициент неравномерности:

$$K_{н(1)} = 1,04.$$

Неравномерность циклового распыливания форсункой согласно государственного стандарта  $\Delta q_{ч(2)} = 5\%$ , что составляет в выражении через коэффициент неравномерности впрыскивания распылителем форсунки:

$$K_{н(2)} = 1,05.$$

Суммарное значение неравномерности впрыскивания линией высокого давления выражено через коэффициент неравномерности впрыскивания линией высокого давления:

$$K_{н}^{сум} = K_{н(1)} \cdot K_{н(2)} = 1,04 \cdot 1,05 = 1,092.$$

Неравномерность цикловой подачи между цилиндрами с цикловой подачей средне-расчетной ( $\Delta q_{\text{ц}} \rightarrow 0$ ) и максимальной цикловой подачей ( $\Delta q_{\text{ц}} \rightarrow \text{max}$ ) при выражении через коэффициент неравномерности составит:

$$K_{\text{н}}^{\text{ц}} = 1 + (K_{\text{н}}^{\text{сум}} - 1) / 2 = 1 + (1,092 - 1) / 2 = 1,046.$$

Что составляет максимально-допустимое отклонение цикловой подачи топливного насоса:

$$\Delta q_{\text{ц}} = 0,046 \cdot q_{\text{ц}}$$

Прирост моторесурса двигателя за счет применения прецизионных элементов с компенсационной полостью (далее по тексту ПЭКП):

$$\Delta T_{\text{мрс}} = 0,046 \cdot T_{\text{мрс}}. \quad (15)$$

На основании выведенных уравнений (13) и (15), величина прогнозируемого сокращения моторесурса пропорциональна величине отклонения средней цикловой подачи, а инструментально замеренное увеличение зазора в сопряжениях позволяет определять остаточный моторесурс системы. Предел в  $0,051 \cdot T_{\text{мрс}}$  км составляет максимальный уровень компенсации невыработанного моторесурса по показателю отклонения среднецикловой подачи  $\Delta q_{\text{ц}}$  для существующих технологических возможностей, и  $0,046 \cdot T_{\text{мрс}}$  для существующей топливной аппаратуры дизельного двигателя.

### Литература

1. Агеев Б.С. и др. Расчет напряженно-деформированного состояния прецизионных деталей топливо впрыскивающих насосов дизелей. Двигателестроение, 1980, № 9, с. 34-36.
2. Белобородов С.М. "Методика увеличения моторесурса силовых установок ракетных комплексов на основе применения адаптированных прецизионных элементов", автореферат диссертации, тип ПВИ РВ МО, 2001 с16
3. Левин Г.И. Влияние деформации плунжерных пар на их гидравлические характеристики и на срок службы топливных насосов. Энергомашиностроение, 1973, №11, с.22-26.
4. Клименко И.П., Белобородов С.М. Проблемы совершенствования плунжерных пар топливных насосов дизелей. - В сб.: Проблемы обеспечения эксплуатационной надежности МГ и КМ. Труды ПВИ ВВ МВД. Пермь - 1999. с. 42 - 43.

**Анализ конструкций и выбор кинематических схем  
объёмных гидромеханических коробок передач тракторов**

Шарангович А.И.

Республиканское унитарное предприятие

Минский тракторный завод

Производственное объединение «Минский тракторный завод» является одним из крупнейших производителей сельскохозяйственной техники не только в странах СНГ, но и в мире. Помимо обеспечения потребностей внутреннего рынка, предприятие экспортирует значительную часть своей продукции в страны дальнего и ближнего зарубежья. При этом МТЗ приходится выдерживать жёсткую конкуренцию со стороны иностранных производителей, что предъявляет повышенные требования к потребительским свойствам и параметрам производимых предприятием тракторов.

Технология сельскохозяйственного производства предъявляет повышенные требования к точности рабочих скоростей движения. В связи с этим наблюдается увеличение общего числа передач в ступенчатых коробках передач (КП), при этом их число достигает 60 и более. Современные механические трансмиссии имеют сложную конструкцию, большое количество валов, шестерён, подшипников и других деталей, что снижает общий КПД за счёт увеличения потерь. При этом снижается надёжность и усложняется управление трансмиссией. Одним из способов устранения приведенных недостатков при более полном удовлетворении агротехнических требований является использование в трансмиссиях бесступенчатых передач.

Из всех бесступенчатых передач вращательного типа наилучшие массогабаритные параметры и динамические качества имеет гидрообъёмная передача. Использование классической полнопоточной передачи (1 насос + 1 мотор) в качестве трансмиссии тяговой машины даёт ряд преимуществ: плавное преобразование скорости и вращающего момента на выходе; простое управление; возможность получения быстрого реверса; гидростатическое замедление (сниженный износ механического тормоза); возможность обеспечения гиперболической зависимости вращающего момента от скорости при максимальной мощности;

свободное расположение узлов привода (возможности компоновки). Одним из основных недостатков использования полнопоточной передачи является ограничение по установочной мощности, равной произведению максимально возможной скорости движения на максимальную тягу:

$$N_{уст} = P_{\max} \cdot v_{\max}$$

и ограничение по максимальному диапазону регулирования вращающего момента, для данного класса передач не превышающему 10. Кроме того, данная передача имеет меньший, чем у механических передач КПД (максимальный 80-85% на малой области изменения вращающего момента) и более высокие массо-габаритные характеристики. Анализ номенклатуры гидромашин выпускаемых ведущими фирмами показывает, что установочная мощность гидропривода не превышает 600 кВт, что объясняется резким ростом цены и массо-габаритных параметров передачи при использовании машин с большими рабочими объемами. Мировой опыт показывает, что классическая полнопоточная передача может быть установлена на тяговые и транспортные машины с мощностью двигателя не более 60 кВт.

Одним из прогрессивных способов устранения приведенных недостатков полнопоточной трансмиссии является использование в трансмиссии тракторов многопоточных объемных гидромеханических передач, где гидропривод устанавливают в параллельной ветви и передают через него только часть мощности, подводимую к входному валу. При таком подходе гидрообъемная передача позволяет бесступенчато регулировать скорость движения; средний КПД трансмиссии не ниже, чем у механической ступенчатой; для обеспечения требуемого диапазона регулирования требуется гидропривод меньшей установочной мощности. Данные передачи образуют самостоятельный класс передач — объемные гидромеханические передачи (ОГМП). К недостаткам данного класса передач относится сложность проектирования для конструктора и высокая цена механической части при малых объемах производства.

В ноябре 1995 года немецкая фирма Fendt представила трактор с двигателем мощностью 260 л.с. на который была установлена объемно гидромеханическая трансмиссия (ОГМТ) Vario.

Трансмиссия Vario выполнена по схеме с дифференциалом на входе (А1) с двумя реверсивными гидромашинами состоящие

из реверсивного насоса с наклонным блоком и углом наклона от  $-30^\circ$  до  $+45^\circ$  и реверсивного мотора с наклонным блоком и углом наклона от  $0^\circ$  до  $45^\circ$ . Диапазонный редуктор обеспечивает две передачи. Задний ход получен за счёт реверсивности гидрообъёмной передачи. В настоящий момент Fendt имеет наилучшие гидрообъёмные приводы, характеризующиеся высоким КПД. Преимуществом рассматриваемой трансмиссии является простота конструкции, несложное управление. Недостатками — большие установочные мощности гидромашин, циркуляция мощности через гидравлическую ветвь и большие угловые скорости звеньев при движении задним ходом. За период 1996-2001 г. фирмой продано 10000 тракторов, оборудованных ОГМТ [1].

Известны тракторные трансмиссии XM-8 фирмы Claas, S-Matic фирмы Steyr, Eссom фирмы ZF. По сравнению с трансмиссией фирмы Fendt они имеют более сложную механическую часть, более сложную систему управления, но характеризуются меньшей установочной мощностью гидромашин. Данные трансмиссии выполнены по схеме с многократным повторением объёмной гидромеханической передачи с дифференциалом на выходе (A2). При движении трактора в трансмиссиях подобного типа имеются режимы с циркуляцией мощности, загружающие механическую ветвь двухплоточной передачи. При переключении передач не происходит разрыва потока мощности, а угловые скорости переключаемых звеньев равны (синхронизация заложена в структурной схеме), но происходят скачки давления в гидролиниях гидромашин (со сменой знака). Трансмиссии выполненные по подобным структурным схемам применялись и ранее на военных гусеничных машинах США (например, НМРТ-500 БМП-М2, ХНМ-1500-1 М1). В 2001 г. фирма Case выпустили 2400 тракторов с ОГМТ, Deutz Fahr — 500, John Deer — 800 [1].

В Германии были проведены сравнительные испытания тракторов, оборудованных различными типами трансмиссий [2]. Результаты испытаний показали, что по сравнению с тракторами оборудованными ступенчатыми КП с переключением передач под нагрузкой (Power Shift), ОГМКП дают:

- экономию топлива от 3% на пахоте и бороновании;
- экономию топлива до 10% на сеноуборке, транспорте и др.;
- рост производительности от 3% на пахоте;

- рост производительности до 10% на зернокошении, уборке культур на силос;
- разница в КПД трансмиссии составляет 2% – такая же, как трансмиссии с переключением на ходу по сравнению с синхронизированной.

Следует отметить, что при оптимальном построении алгоритмов и системы управления двигатель-трансмиссия экономия топлива на транспортных работах у тракторов оборудованных ОГМТ может достигать 25%. Наибольшая эффективность трактора с ОГМТ имеет место на работах с циклическим изменением нагрузки.

На рис. 1. приведены результаты сравнительных тракторов с ОГМТ и трактора Case 9145 со ступенчатой КП с переключением передач под нагрузкой.

Согласно работе [1] сегодня разница в цене ОГМТ по сравнению с Power Shift трансмиссиями для зарубежных тракторов составляет 5000...17000 DM, при увеличении объемов производства и снижения эффекта «новизны» на рынке эта разница будет снижаться.

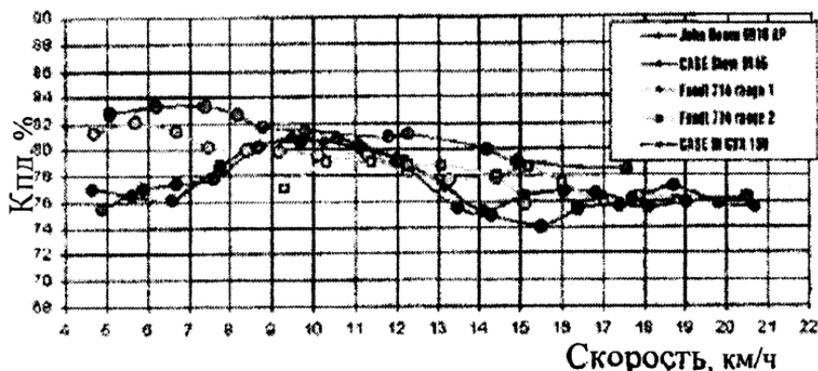


Рис. 1. Результаты сравнительных испытаний трансмиссий

Сегодня созрели предпосылки для внедрения ОГМТ на тракторах отечественного производства.

На Минском тракторном заводе проводится комплекс работ по созданию ОГМКП для трактора класса 1,4.

Высокий КПД на малых скоростях движения обеспечивается ОГМП с дифференциалом на входе, позволяющая осуществить трогание с места и работу на низких скоростях движения без

циркуляции мощности. Однако такая передача требует больших установочных мощностей гидромашин и через гидропередачу проходит до 75 % мощности двигателя (Fendt). Поэтому целесообразно использовать данную передачу в сочетании с другими ОГМП, в этом случае, мощность передаваемая через гидравлическую ветвь можно снизить до 35%. Переключение передач может осуществляться в режиме нулевой гидравлической мощности. При этом в момент переключения угловые скорости соединяемых элементов равны и момент на этих звеньях равен нулю, что повысит надёжность элементов трансмиссии и позволит осуществить переключение простыми элементами. С целью увеличения ресурса гидрообъёмных передач целесообразно выбирать такие структурные схемы, в которых отсутствуют скачки давления в момент переключения. Для обеспечения надёжности работы трансмиссии целесообразно использовать такие ОГМКП в которых отсутствует циркуляция мощности во всём диапазоне работы трансмиссии. Таким критериям удовлетворяют объёмные гидромеханические передачи переменной структуры с переключением передач в режиме нулевой гидравлической мощности. На МТЗ разработана конструкция трансмиссии, выполненная по схеме двухпоточная с дифференциалом на входе – трёхпоточная. Трансмиссия содержит две регулируемые аксиально-поршневые реверсивные гидромашин с наклоняемым блоком. Управление трансмиссией – электро-гидравлическое микропроцессорное, с обратной связью по отношению оборотов двух звеньев четырёхзвенного механизма ( по этому же отношению определяется момент переключения режимов).

В настоящее время ведутся работы по отработке конструкции гидромашин и созданию макетного образца системы управления трансмиссией, для отработки управления.

Разработка и внедрение на МТЗ тракторов с ОГМТ позволит вывести отечественные трактора на новый технический и потребительский уровень.

### **Литература**

1. Profi 2001 №7 s 54-55.
2. Landwirtschaftliches Wochenblatt, Westfalen – Lippe, 2001, №5

## Применение свойств однополостного гиперболоида при сдваивании колес транспортного средства

Зеленый П.В., Франкевич И.В.

Белорусский национальный технический университет

Колеса воспринимают всю массу автомобиля и динамические нагрузки, передаваемые на раму автомобиля, обеспечивают передвижение и маневрирование транспортного средства. Колеса смягчают и поглощают наряду с подвеской толчки и удары, передаваемые неровностями дороги. Конструкция и характеристика колес оказывает влияние на все основные эксплуатационные свойства транспортного средства: тягово-скоростные, топливную экономичность, проходимость, плавность.

Для обеспечения транспортному средству необходимой грузоподъемности устанавливаются колеса соответствующего размера. Ориентировочное значение максимально допустимой нагрузки на шину:

$$G_{k \max} = kB^2(d + B)/(d_c + B),$$

где  $k$ —коэффициент грузоподъемности,

$B$ —ширина профиля надутой шины,

$d$ —диаметр обода рассматриваемой шины,

$d_c$ —диаметр стандартного обода.

Из приведенного выражения видно, что основным способом увеличения нагрузочной способности шины является увеличение ее ширины, поскольку максимальная допустимая нагрузка зависит от квадрата ее ширины. Увеличение эффективной ширины достигается установкой широкопрофильных шин либо сдваиванием колес. Сдваивание колес позволяет уменьшить номенклатуру выпускаемых изделий, снизить затраты на обслуживание за счет отсутствия необходимости применения различного оборудования для разных типоразмеров колес.

Для отдельных типов транспортных средств, таких как тракторы, определенное значение имеет возможность работы попеременно с одинарными и сдвоенными колесами с целью расширения возможностей адаптации к условиям работы. Однако данный метод имеет и существенные недостатки: масса ком-

плекта сдвоенных шин на 15-20 % больше массы комплекта широкопрофильных шин, удельная грузоподъемность меньше на 30-35%, больше сопротивление качению. Также шины на сдвоенных колесах имеют уменьшенный по сравнению с одинарными срок службы, поскольку при работе в различных условиях часто встречается неравномерность нагрузки на колеса. Например, при наезде на препятствие одного из колес практически вся нагрузка приходится на него, вызывая перегрузку (рис.1). Существует необходимость частого контроля давления воздуха, поскольку различие давления в правой и левой шинах сдвоенного колеса вызывает различие нагрузки на них, что также отрицательно сказывается на сроке службы. Кроме того, появляется различие в радиусах качения колес, что вызывает проскальзывание их относительно дороги и вследствие этого повышенную изнашиваемость.

Однако, несмотря на перечисленные недостатки метод сдваивания широко применяется отечественными и зарубежными производителями.

Устранить неравномерность нагрузки, вызванную движением по неровному рельефу а также различным давлением в шине могла бы конструкция, позволяющая колесам перемещаться в плоскости, параллельной плоскости качения без изменения их частоты вращения.

Одним из вариантов реализации является конструкция, использующая свойства однополостного гиперboloида вращения, получаемого вращением прямой вокруг скрещивающейся с ней оси (рис.2). возьмем часть гиперboloида, ограниченную двумя плоскостями, перпендикулярными оси вращения. Будем изменять расстояние между основаниями без изменения длин отрезков, их соединяющих. При этом гиперboloид превратится в прямой круговой цилиндр (рис.3). Перемещая основания цилиндра в параллельных плоскостях в противоположных направлениях без изменения длины образующих, получаем наклонный круговой цилиндр (рис.4). Заменяв образующие рычагами с шарнирами, соединив горло гиперboloида со ступицей сдвоенного колеса, а сами колеса с основаниями, получим конструкцию, удовлетворяющую приведенным требованиям: рычаги,

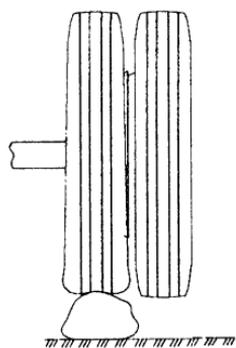


рис.1

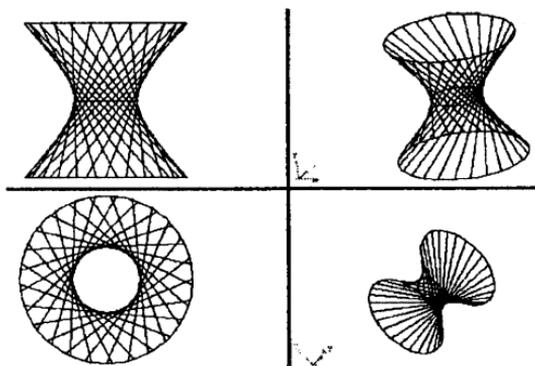


рис.2

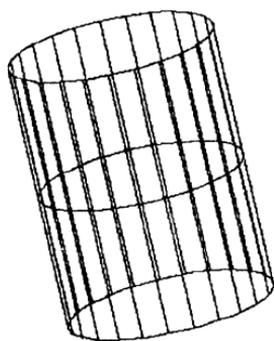


рис.3

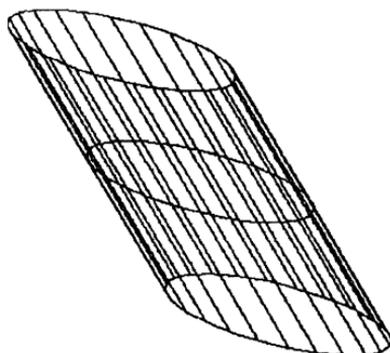


рис.4

шарнирно закрепленные на ступице, позволят колесам перемещаться в параллельных плоскостях с сохранением равенства частот вращения. Приблизительный вариант конструкции показан на рис.5. При наезде одного из колес на препятствие оно переместится вверх относительно ступицы, а другое вверх (рис.6). При этом будет равное распределение нагрузки между колесами.

Однако недостатком данной конструкции является невозможность ее использование при высоких скоростях движения, поскольку существует вероятность возникновения колебательных процессов, приводящих к потере сцепления с дорогой. Для

компенсации данного недостатка предусматриваем механизм, который будет сдвигать шарниры ступицы к центру, при этом рычаги станут как бы образующими гиперboloида. Поскольку их длина постоянна, это вызовет сближение колес и при соприкосновении дисков получится обычное сдвоенное колесо (рис.7).

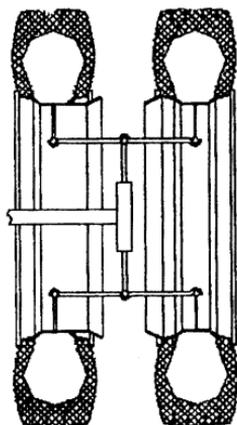


Рис.5

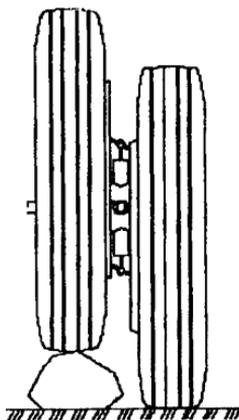


Рис.6

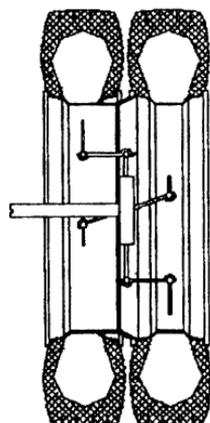


Рис.7

Ограничивающими факторами для создания работоспособной конструкции являются внутренний диаметр колесного диска, диаметр ступицы, величина изменения диаметра горла гиперboloида. Расчеты показывают, что для сдвоенных колес с шинами 300-508 при зазоре между ними в сближенном состоянии 40 мм достаточно обеспечить следующие параметры: длина рычагов 398 мм, изменение диаметра горла гиперboloида 400-450 мм, при этом можно получить изменение расстояния между колесами 60 мм. При диаметре ступицы, ограниченном 350 мм, можно получить относительное перемещение колес в вертикальной плоскости около 100 мм, что вполне достаточно для нормальной работы сдвоенного колеса.

### Литература

1. Грузовые автомобили: Проектирование и основы конструирования/ М.С.Высоцкий, Л.Х.Гилелес, С.Г.Херсонский.—М.: Машиностроение, 1995.

**Методы и средства трехмерного компьютерного  
геометро-графического моделирования  
на примере создания твердотельной винтовой модели**

Марамыгина Т.А.

Белорусский национальный технический университет

Современный уровень развития научно-технического прогресса открывает новые горизонты в совершенствовании техники и технологии. На базе создания современного технологического оборудования с программным управлением повышается уровень автоматизации производства. Все шире в сферу, научных исследований, проектирования и производства внедряются новые современные методы обработки информации с применением электронной вычислительной техники, компьютерных технологий проектирования, производства и управления.

Современное состояние экономики, социальная ситуация, складывающаяся в республике Беларусь, требуют соответствующего изменения содержания образования, корректировку принципов обучения, создание новых технологий, отвечающих требованиям научно-технического прогресса и потребностям личности.

Общеизвестны роль и значение в общей инженерной подготовке будущих специалистов изучение графических дисциплин, теоретической основой которых является начертательная геометрия. Однако известны и объективные трудности, возникающие у студентов при изучении этой дисциплины: сложность восприятия трехмерных геометрических образов при изображении их в виде проекций на плоскости, многообразие различных по характеру и методам решения позиционных и метрических задач, большая трудоемкость выполнения расчетно-графических работ и т.п.

В этой связи, весьма актуальным представляется вопрос об изменении традиционных методов и средств, преимущественно используемых в настоящее время, и замене их на использование принципиально новых с применением в обучении современных информационных технологий обработки информации (в т. ч. графической). Использование новых информационных технологий в обучении - весьма сложная, многообразная и малоизучен-

ная проблема, что указывает на актуальность ее исследования, особенно в той части, которая связана с геометрическим, а точнее сказать компьютерным геометрико-графическим моделированием.

Компьютерное геометрико-графическое моделирование (КГМ) является новым понятием, отражающим процесс создания на ПЭВМ описания параметров формы и положения графически формируемых геометрических и технических объектов в виртуальном пространстве в векторной форме, а также информационного описания некоторых структурных и физических свойств создаваемых моделей (цвет, тип линии, слой, сопровождающий текст, материал и др.), которые могут использоваться для выполнения самых различных расчетов, последующего проектирования, производства и управления.

К основным типам пространственных компьютерных моделей относятся следующие:

- проволочно-каркасная модель, описывающая наружные и внутренние контуры моделируемых объектов при помощи отрезков, дуг окружностей, сглаженных ломаных линий или сплайнов. Такая модель прозрачна и не всегда может дать однозначное представление и необходимую информацию о взаимном расположении поверхностей моделируемого объекта;

- поверхностная модель, характеризующаяся возможностью описания поверхностей, ограничивающих моделируемый объект. Такая модель может дать представление о характере и взаимном расположении поверхностей, делая их непрозрачными или прозрачными;

- твердотельная модель - наиболее реалистическая модель, с которой можно производить практически любые преобразования по усложнению формы методами сложения и вычитания объемов типовых твердотельных форм. Работая с такой моделью можно производить практически любые вычисления, связанные с расчетом объемов, масс, динамических и других характеристик вплоть до моделирования процессов с жидкими, газообразными и сыпучими средами.

AutoCAD – это мощная, динамичная инженерная система автоматизации проектирования самых разнообразных объектов. Она состоит из трех основных компонентов: графического редактора AutoCAD, языка программирования высокого уровня

AutoLISP и инструментальных средств создания графического интерфейса пользователя.

Использование языка AutoLISP не только значительно ускоряет процесс разработки проектной документации в AutoCAD, но и позволяет создавать в этой среде новые команды графического редактора и специализированные меню, осуществлять доступ к графической базе данных и модернизировать ее, разрабатывать функции для решения самых разнообразных задач и, кроме того, создавать эффективные системы и подсистемы, связанные с обработкой информации, представленной в виде символов и чисел.

Графическая система AutoCAD содержит высокоэффективные средства твердотельного моделирования, основывающиеся на постепенном добавлении или вычитании базовых конструктивных тел. Широкие возможности визуализации и создания фотореалистичных изображений с использованием дополнительных источников освещения и регулированием характеристик поверхности материала (отражение или поглощение им света, излучение и шероховатость поверхности) позволяют работать в режиме реального времени с тонированными изображениями твердотельной модели.

Процесс моделирования в AutoCAD сводится к тому, чтобы сначала задать на плоскости типовой профиль, затем придать ему пространственные свойства, построив так называемую базовую форму, а затем добавлять к ней новые конструкторско-технологические элементы (стандартные или описываемые типовыми профилями).

Формообразование твердотельных объектов в AutoCAD осуществляется выдавливанием или вращением типового профиля.

Значительно упрощают работу многочисленные сервисные возможности, такие как копирование выбранных конструктивных элементов по линии или по кругу, зеркальное отображение указанных примитивов или модели, а также возможность динамически вращать объекты в режиме реального времени.

На основе трехмерного объекта возможно автоматическое создание чертежа детали, состоящего из основных и вспомогательных видов, сложных разрезов и сечений.

Поскольку работа с моделями происходит в трехмерном пространстве, очень важно уметь пользоваться командами AutoCAD, обеспечивающими доступ к видовым экранам и перемещению модели в пространстве для выбора удобного вида.

Создание пространственной твердотельной винтовой модели в графической системе AutoCAD можно осуществить как традиционными методами, так и с помощью программы, написанной на языке программирования AutoLISP. Язык программирования AutoLISP имеет много встроенных функций, отражающих специфику графического редактора AutoCAD, что обеспечивает возможность быстрого формирования чертежа.

В диалоговом режиме программа осуществляет построение пространственной твердотельной винтовой модели, “выдавленной” вдоль цилиндрической винтовой линии.

Вид поперечного сечения, число витков, радиус и шаг винтовой модели задает пользователь. Причем поперечные сечения винтовой модели могут быть разнообразными: круг, эллипс, правильный многоугольник и др. Выбирая различные виды сечений, пользователь может создавать пространственные твердотельные модели различных пружин. А также с помощью стандартных средств AutoCAD на базе созданных винтовых моделей можно моделировать различные резьбовые изделия, червяки, сверла и т. д.

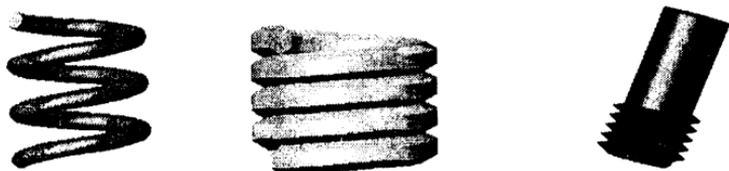
Механизм создания параметризованного твердотельного винтового объекта достаточно прост в своей реализации. Исходной (базовой) направляющей для “выдавливания” винтовой модели является гелиса (цилиндрическая винтовая линия одинакового уклона). Направляющая гелиса задается табличным способом (координатами последовательного ряда ее точек). Далее создается твердотельный интерполирующий обвод (с необходимым поперечным сечением), проходящий через узловые точки дискретно заданной гелисы.

Рассмотренные в докладе методы и средства трехмерного компьютерного геометро-графического моделирования на примере разработки программы построения параметрической твердотельной винтовой модели показывают прежде всего те практически неограниченные потенциальные возможности, которые содержит в себе предстоящий переход всего нашего об-

щества на новые информационные технологии во всех сферах общественной жизни и в том числе в сфере образования.

Решение позиционных и метрических задач на базе КГМ, в отличие от традиционных методов, имеет ряд бесспорных преимуществ: точность выполнения графических построений; простота и естественность восприятия методов решения большинства задач, особенно связанных с определением натуральных величин расстояний, углов, сечений и т.п.; возможности трансформации трехмерной КГМ в проекционный чертёж, анимации и озвучивания процесса построения модели, многократного и с различной степенью детализации использования компьютерно-графического моделирования на всех стадиях обучения и дальнейшей практической деятельности будущего специалиста.

Общим принципом обучения компьютерно-графическому моделированию должен стать, по нашему мнению, принцип перехода от простого к сложному с использованием элементов автоматизации процедур, ранее освоенных традиционными методами, что будет способствовать интенсификации обучения с одновременным повышением его качественного уровня.



# **Эксплуатация транспортных средств**

**Критерий оптимальности для маршрутизации магистральных автомобильных перевозок грузов с учетом разновременности отправок**

Аземша С.А., Седюкевич В.Н.

Белорусский национальный технический университет

При маршрутизации автомобильных перевозок грузов актуальными являются вопросы выбора очередности перевозок при недостатке провозных возможностей, определения длительности ожидания перевозок разновременных отправок и составления маршрутов движения. Для решения указанных задач необходимо установить критерий оптимальности.

В литературных источниках предложены следующие критерии эффективности транспортных процессов:

количественные характеристики перевозочного процесса в виде отдельных технико-эксплуатационных или экономических показателей использования транспортных средств [1 и др.];

параметры, определяющие эффективность отдельных циклов процесса транспортирования (своевременность доставки, скорость доставки и т.п.) [2 и др.];

показатели интегральной эффективности (приведенные народнохозяйственные затраты, удельная трудоемкость комплекса транспортно-технологических операций и т.п.) [2 и др.].

Однако известные критерии не ориентированы на учет интересов перевозчика при оптимизации очередности перевозок и обосновании длительности ожидания попутной (обратной) загрузки. В качестве такого критерия предлагается принять максимум удельной прибыли, получаемой от перевозок одним автомобильным транспортным средством (АТС) за единицу времени на одну тонну его грузоподъемности, то есть:

$$P_{уд} = P / (Tq) \rightarrow \max, \quad (1)$$

где  $P$  – прибыль перевозчика от реализации транспортных услуг по перевозке грузов;

$T$  – автомобиле-дни (часы), необходимые для выполнения транспортных услуг по перевозке грузов;

$q$  – грузоподъемность АТС, которым выполняется перевозка.

Прибыль  $\Pi$  от реализации транспортных услуг определяется как разница между выручкой  $B$  и себестоимостью перевозок  $S$ , т.е.

$$\Pi = B - S. \quad (2)$$

В свою очередь выручка от реализации может быть выражена:

$$B = d_{yd} L_{ez} + d_{np} T_{np.св}, \quad (3)$$

где  $d_{yd}$  – удельная выручка за единицу пробега. Она зависит от грузоподъемности требуемого для перевозки АТС и может быть аппроксимирована линейной зависимостью  $d_{yd} = a_{0yd} + a_{1yd} q_m$ ;

$q_m$  – грузоподъемность требуемого (заявленного) АТС ( $q_m \leq q$ );

$L_{ez}$  – пробег АТС с грузом;

$d_{np}$  – выручка за единицу времени сверхнормативного простоя под грузовыми операциями по вине заказчика. Она может быть представлена также линейной зависимостью от грузоподъемности требуемого АТС  $d_{np} = a_{0np} + a_{1np} q_m$ ;

$T_{np.св}$  – ожидаемое время сверхнормативного простоя под грузовыми операциями по вине заказчика.

Себестоимость перевозок определяется по известной формуле:

$$S = L_{ez} C_{nep} / \beta + C_{носм} T, \quad (4)$$

где  $C_{nep}$  – переменные затраты на единицу пробега. Эти затраты зависят от грузоподъемности АТС и фактического его использования

$$C_{nep} = a_{0nep} + a_{1nep} q(1 + a_{2nep} \beta \gamma_{cm});$$

$\beta$  – коэффициент использования пробега АТС;

$\gamma_{cm}$  – статический коэффициент использования грузоподъемности АТС;

$C_{носм}$  – постоянные затраты за единицу времени работы. Эти затраты зависят в основном от грузоподъемности АТС

$$C_{носм} = a_{0носм} + a_{1носм} q.$$

Длительность времени, необходимого для выполнения перевозки, состоит из затрат времени на движение и затрат времени, связанных с простоями, т.е.:

$$T = T_{\text{дв}} + T_{\text{нр}} + T_{\text{нр.св}} + T_{\text{ожс}}, \quad (5)$$

где  $T_{\text{дв}}$  – время на движение, определяемое как

$$T_{\text{дв}} = L_o / V_m, \quad (6)$$

где  $L_o$  – общий пробег:  $L_o = L_{ez} / \beta$ ;

$V_m$  – средний пробег АТС за единицу времени движения;

$T_{\text{нр}}$  – общая ожидаемая длительность простоя АТС под грузовыми операциями:

$$T_{\text{нр}} = t_{\text{нр}} + t_m, \quad (7)$$

где  $t_{\text{нр}}$  – нормативное время на загрузку-разгрузку АТС;

$t_m$  – ожидаемая длительность простоев при контроле перевозок (на таможенных и др.);

$T_{\text{ожс}}$  – предполагаемая продолжительность ожидания попутной загрузки.

Подставляя полученные выражения в формулу (1), после упрощений получаем один из возможных видов целевой функции, выражающей удельную прибыль от перевозок:

$$\Pi_{\text{уд}} = \frac{V_m (d_{\text{уд}} L_{ez} + d_{\text{нр}} T_{\text{нр.св}} - L_o (a_{\text{опер}} + a_{\text{инер}} q (1 + a_{\text{2пер}} \beta \gamma_{\text{см}})))}{q \left( \frac{L_o}{V_m} + T_{\text{нр}} + T_{\text{нр.св}} + T_{\text{ожс}} \right)} - \frac{a_{\text{опосм}}}{q} - a_{\text{иносм}}. \quad (8)$$

По максимуму предлагаемой целевой функции можно производить не только выбор первоочередной перевозки в условиях недостаточности свободных транспортных средств, принимать решение о продолжительности ожидания и целесообразности попутной загрузки, составлять маршруты движения, но и оптимизировать другие параметры перевозочного процесса.

### Литература

1. Житков В.А., Ким К.В. Методы оперативного планирования грузовых автомобильных перевозок. – М.: Транспорт, 1982. – 183 с.
2. Воркут. А.И. Грузовые автомобильные перевозки. – Киев: Вища школа, 1986. – 447 с.

**Совершенствование метода и средств  
диагностирования электронных систем впрыска  
топлива бензиновых двигателей**

Савич Е.Л., Гурский А.С.

Белорусский национальный технический университет

Существующие методы диагностирования систем впрыска топлива бензиновых двигателей трудоемки, не обладают достаточной достоверностью результатов, не охватывают многофакторного влияния различных систем и механизмов двигателя на его экономические и экологические характеристики, не универсальны и зачастую требуют применения инструментального контроля, что увеличивает время диагностирования. Сокращению материальных и трудовых затрат на техническое обслуживание и текущий ремонт способствует внедрение эффективных методов и средств технической диагностики.

На начальной стадии исследования, используя статистические данные, обоснована вероятность выхода из строя электронной части системы впрыска топлива при анализе всех поступивших заявок с симптомами неисправности данной системы. Полученные данные показывают, что неисправности гидравлической части электронной системы впрыска составляют 24 %, электронная часть системы – 40 %, системы зажигания – 22 %, газораспределительного механизма – 3 %, системы смазки 1 %, впускного тракта – 7 %, системы выпуска отработавших газов – 3 %, от всех неисправностей двигателя, имеющего симптомы неисправности электронной части системы впрыска топлива бензинового двигателя.

Таким образом, подобно работе двигателя с неисправностями электронной части системы впрыска топлива ведет себя двигатель с неисправностями системы зажигания, системы впуска свежего заряда, системы выпуска отработавших газов, газораспределительного механизма, сцепления, системы охлаждения и др. Поэтому первоначально необходимо убедиться в неисправности электронной части системы впрыска топлива проведением общего диагностирования, а затем производить углубленное диагностирование с использованием инструментального контроля.

Анализируя литературные источники, произведена оценка существующих методов и средств диагностирования электронных систем впрыска топлива бензинового двигателя с учетом критериев оценки. Выделены наиболее эффективные методы диагностирования электронных систем впрыска топлива бензиновых двигателей и указаны их неустранимые недостатки, что послужило причиной проведения исследований по совершенствованию новых методов и средств диагностирования электронной системы впрыска топлива бензиновых двигателей.

В работе были проведены теоретические расчеты влияния длительности открытого состояния форсунок на выходные показатели работы двигателя, которые затем подтвердились практическим экспериментом, что дает возможность использовать длительность открытого состояния форсунок в качестве основополагающего показателя при диагностировании электронных систем впрыска топлива бензиновых двигателей с использованием метода замещения.

Для реализации указанного метода необходимо разработать средства для его реализации. Проводя ряд экспериментальных исследований, были установлены предельные значения параметров датчиков электронной системы впрыска топлива, а также их влияние на выходные показатели работы двигателя. Изменение частоты импульсов датчика частоты вращения коленчатого вала не влияет на длительность открытого состояния форсунок, но влияет на частоту открывания форсунок и качество распыливания топлива. Наиболее характерным сигналом датчика частоты вращения является частота 65 – 95 Гц, что соответствует 1950 – 2850 об/мин. Датчик расхода воздуха является основным, способен изменять состав смеси в широких пределах. Датчик температуры охлаждающей жидкости способен изменять состав смеси на 70 % от оптимального режима работы двигателя, наиболее характерным является интервал сопротивления от 0,5 до 4 кОм, что соответствует температуре охлаждающей жидкости 80°C и 5°C. Датчик температуры воздуха, поступающего в цилиндры двигателя способен изменять состав смеси на 30 % от оптимального режима работы двигателя, наиболее характерным является интервал сопротивления от 0,25 до 5,0 кОм, что соответствует температуре охлаждающей жидкости 90°C и 0°C соответственно. Датчик содержания кислорода

способен изменять длительность открытого состояния форсунок в широких пределах, компенсировать работу вышеперечисленных датчиков, кроме датчика расхода воздуха.

На основании проведенных исследований разработан метод общего диагностирования электронной части системы впрыска топлива бензинового двигателя путем замещения штатной системы имитатором, что позволяет диагностировать электронную часть системы впрыска топлива независимо от состояния других систем и механизмов двигателя и при этом получить результаты тестирования высокой точности. При создании оптимальных условий при помощи имитационной модели с высокой долей вероятности можно сделать заключение об исправности электронной части системы впрыска топлива по результатам сравнительного анализа выходных параметров работы двигателя с параметрами работы без использования имитационной модели. Таким образом, при улучшении работы двигателя с имитатором по отношению к работе двигателя со штатной системой при одних и тех же условиях можно установить факт неисправности электронной части системы впрыска топлива. Контроль качества работы двигателя в данном случае может производиться как визуально, так и с использованием таких элементарных проверок как: измерение расхода топлива, измерение частоты вращения коленчатого вала, измерение содержания токсичных компонентов в отработавших газах, измерение длительности открытого состояния форсунок.

Окончательным этапом при усовершенствовании диагностирования имеет место правильность организации процесса диагностирования. С этой целью создан алгоритм диагностирования электронных систем впрыска топлива бензиновых двигателей с возможностью реализации программного обеспечения в компьютерном исполнении.

Использование усовершенствованных метода общего диагностирования, алгоритма и компьютерной программы диагностирования на предприятиях автосервиса позволяет получить значительный экономический эффект.

## Алгоритмы сбора информации в АСУДД

Навой Д.В.

Белорусский национальный технический университет

Алгоритмы сбора информации входят в подсистему функционирования современных АСУДД. На современном этапе алгоритмы сбора информации в составе автоматизированных систем управления дорожным движением должны обеспечивать:

1. Формирование массивов данных: по состоянию технических устройств; по управляющим воздействиям; по диспетчерским запросам; по параметрам транспортных потоков.

2. Ведение баз данных, включающих: формуляры оборудования; паспорта светофорных объектов; подразделения эксплуатационных организаций.

3. Взаимодействие с другими базами данных АСУ: АСУ ГАИ; АСУ стоянками; АСУ маршрутно-пассажирского транспорта; АСУ навигацией и т.д.

4. Реализацию аналитических и статистических алгоритмов обработки исходных данных, которые должны обеспечивать: обобщение данных о режимах функционирования АСУДД и периферийного оборудования на заданном интервале времени; анализ и обобщение данных о параметрах транспортных потоков; анализ и обобщение данных об отказах системы и периферийного оборудования.

Основными функциями алгоритмов сбора информации являются: детектирование параметров дорожного движения; измерение параметров дорожного движения; анализ параметров дорожного движения.

Алгоритмы сбора информации реализуются при трехуровневой структуре. Первый уровень – управляющий вычислительный комплекс, который реализует, в общем случае, алгоритмы анализа и сохранения в базу данных параметров дорожного движения. Второй уровень – контроллер зонального центра, который реализует алгоритмы связи и передачи данных, а также алгоритмы расчета и статистической обработки параметров дорожного движения. Третий уровень – дорожный контроллер, который реализует алгоритмы передачи данных, анализа пара-

метров дорожного движения, измерение параметров дорожного движения, детектирование параметров дорожного движения.

При проектировании модернизируемых автоматизированных систем управления дорожным движением предлагается при реализации функции детектирования параметров дорожного движения использовать следующие алгоритмы сбора информации:

1. Анализ аналогового сигнала детектора транспорта. Функциями алгоритма являются: определение зависимости амплитуды сигнала детектора транспорта от времени, формирование модели движения транспортных средств через детектор транспорта; формирование сигналов прохождения; формирование сигналов присутствия.

2. Анализ кодированного сигнала детектора транспорта. Функцией является передача прием и декодирование кодированного сигнала детектора транспорта.

3. Определение типа транспортного средства. Функциями алгоритма являются: расшифровка кодированного сигнала детектора транспорта для определения типа транспортного средства и характеристики транспортного средства; градация аналогового сигнала детектора транспорта по форме, амплитуде и характеристикам фронтов для определения типа транспортного средства;

4. Определение момента проезда. Основной функцией является определение момента проезда, вспомогательной – прием-передача сигналов прохождения.

5. Определение времени присутствия. Основной функцией является определение времени (начала, длительности и окончания) присутствия, вспомогательной – прием-передача сигналов присутствия.

6. Определение мгновенной скорости движения. Функцией является определение мгновенной скорости.

При реализации функции измерения параметров дорожного движения предлагается использовать следующие алгоритмы:

1. Измерение интервала движения.
2. Прогнозирование момента проезда.
3. Измерение импульса интенсивности.
4. Измерение интенсивности транспорта.
5. Измерение состава потока.

6. Измерение средней скорости.
7. Измерение времени проезда.
8. Измерение длины очереди.
9. Измерение задержки.
10. Измерение количества остановок.
11. Измерение выбросов вредных веществ.
12. Определение концентрации вредных веществ.
13. Измерение потерь.

При реализации функции анализа параметров дорожного движения предлагается использовать следующие алгоритмы:

1. Анализ интенсивности транспорта. Функцией алгоритма является сопоставление измеренной и модельной интенсивности движения, коррекция базовой интенсивности и распределения интенсивности движения по времени суток. Исходными данными являются средняя интенсивность движения за время измерения, базовая интенсивность, распределение интенсивности движения по времени суток и текущее время. Результатом алгоритма является базовая интенсивность и распределение интенсивности движения по времени суток.

2. Актуализация интенсивности транспорта. Функцией алгоритма является определение интенсивности транспорта на текущее время. Исходными данными являются базовая интенсивность, распределение интенсивности движения по времени суток и текущее время. Результатом является интенсивность транспорта на текущее время.

3. Прогнозирование интенсивности транспорта. Функцией алгоритма является расчет интенсивности на время прогноза. Исходными данными являются интенсивность транспорта на текущее время и время прогноза. Результат алгоритма – интенсивность транспорта на время прогноза.

Реализация предложенных алгоритмов сбора информации в составе алгоритмического обеспечения АСУДД в полной мере позволит дополнить необходимую составляющую в эффективном функционировании современных АСУДД.

**Анализ возможных организационных форм централизации технических воздействий автобусов, эксплуатирующихся в городе Минске**

Реутский Е.А.

Белорусский национальный технический университет

Одной из важнейших задач в области технической эксплуатации автомобильного парка является дальнейшее совершенствование организации технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей с целью повышения их работоспособности и снижения затрат на эксплуатацию.

Специализация, являясь одной из прогрессивных форм организации производства по ТО и ремонту подвижного состава автомобильного транспорта, оказывает существенное влияние на повышение ее эффективности. В автотранспортных предприятиях создаются специализированные цеха, зоны и участки по конкретным видам работ ТО и ремонта.

Организация и выполнение пассажирских автобусных перевозок в г. Минске занимается КУП "Минсктранс". В его составе насчитывается семь городских автобусных парков. Помимо перевозки пассажиров парки выполняет все функции по ТО, ремонту, хранению и снабжению подвижного состава, то есть, осуществляет комплексную производственную деятельность. Перевозки пассажиров подвижным составом парка осуществляются в городском, пригородном, и междугородном сообщениях.

Анализ имеющегося оборудования в участках автобусных парков и обработка заявок на ремонт поступающих на участки за месяц показали:

-существует значительный простой технологического оборудования, вследствие его недозагрузки;

-нерационально подобрано технологическое оборудование на участках, т.е. без учета частоты потребности в этом оборудовании, степени специализации и универсализации рабочих мест и постов. Например, один и тот же сверлильный станок в агрегатном участке может быть средством как ощутимого повышения производительности труда, так и улучшением качества ремонта, а на другом участке в силу лишь редкой (эпизодической)

потребности он оказывается средством только улучшения условий труда, причем малоощутимым;

-моральный и физический износ оборудования;

-низкая квалификация ремонтных рабочих и следовательно низкая производительность труда;

Одним из факторов, определяющих возможность централизации и необходимость специализации участков работ, является технологическая совместимость работ по обслуживанию и ремонту различных моделей автобусов. Разномарочность подвижного состава ограничивает возможность использования общих производственных помещений, постов, оборудования, оснастки, материалов и запасных частей при ТО и ремонте.

Анализ подвижного состава автобусных парков показал технологическую совместимость автобусов имеющихся в парках на сегодняшний момент, тем самым, создавая необходимые условия для централизации выполнения текущего ремонта агрегатов, узлов и систем автобусов.

Все выше перечисленное доказывает необходимость реконструкции и технического перевооружения производственно-технической базы автобусных парков города Минска и дальнейшее развитие производственно-технической базы с учетом концентрации, специализации и кооперирования производств автобусных парков.

Наиболее перспективными методами организации централизации ТР для конкретной ситуации следующие:

а) Централизованное производство осуществляется на одном головном предприятии объединения, когда оно, естественно, располагает необходимыми площадями или имеет наиболее развитую базу и не требует для централизации каких-либо воздействий больших капиталовложений.

б) Распределение различных объектов централизованного производства между несколькими или всеми предприятиями объединения. Эта форма более приемлема и целесообразна в условиях слияния нескольких действующих АТП, тем более когда у головного предприятия нет особых преимуществ в производственных площадях. Некоторое усложнение в оперативном руководстве разрозненными подразделениями технической службы в данном случае компенсируется возможностью внедрения централизованного производства во многих случаях на

существующих площадях и без дополнительных капитальных вложений. Форма эта должна получить развитие на более целенаправленной основе с предшествующими проработками возможных и наиболее эффективных вариантов централизации.

в) Создание в объединении специализированного филиала для централизованного производства ТО и ТР автобусов. Эту форму отличает то, что такой филиал полностью освобожден от эксплуатационных функций и представляет собой по сути дела основную часть производственной базы и самой технической службы объединения на обособленной территории. Особых преимуществ в смысле снижения капиталовложений здесь не усматривается, но появляется возможность выноса технического филиала из центральной части города, что заслуживает внимания в экологическом плане.

Таким образом, на основании проведенного анализа существующих методов централизации текущего ремонта видно, что наиболее рационально проводить централизацию участковых работ, используя имеющиеся площади или предусматривая некоторое расширение действующей базы. Исходя из экономической ситуации на данный момент, наиболее целесообразно проводить централизацию, предусматривающую внутрихозяйственную специализацию, т.е. выделение в АТП производственных подразделений (участков), специализированных на выполнении видов работ по ТР. Данные участки будут иметь агрегатную специализацию проведения работ по поддержанию работоспособности агрегатов, узлов и систем подвижного состава.

**Некоторые особенности восприятия  
водителями дорожных знаков**

Шилов Д.А.

Академия МВД Республики Беларусь

В Республике Беларусь за 2003 год совершено 496 дорожно-транспортных происшествий (6,9% от общего количества) по причине неудовлетворительных дорожных условий, в которых погибло 163 человека и получили ранения – 465. За тот же период в республике было совершено 905 ДТП из-за превышения скорости, установленной Правилами дорожного движения или дорожными знаками, а 102 из-за неподчинения сигналам регулирования и несоблюдения требований дорожных знаков. С уверенностью можно сказать, что при разбирательстве по фактам данных 1007 ДТП не был исследован вопрос своевременного восприятия водителями технических средств организации дорожного движения. Исследования, проведенные в различных странах, показали, что в зависимости от психофизиологических характеристик водителей, метеоусловий, дорожной обстановки и визуальных характеристик знака вероятность регистрации последнего дорожного знака очень низка – от 0,05 до 0,5.

Число факторов, которые водитель может различить и четко зафиксировать в своем сознании, ограничено минимальным периодом времени, необходимым для восприятия отдельных воздействий на его органы чувств. Для каждого из раздражителей существует пороговая величина, значение которой зависит от эмоционального напряжения человека. Для зрения в среднем она составляет 1/16 с. Кроме того, водитель может сосредоточить свое внимание в каждый момент времени только на одном конкретном обстоятельстве, в частности для зрения это время равно длительности одной фиксации взгляда 0,25—0,65 с, получая об остальных, одновременно происходящих явлениях, лишь самое общее представление.

При движении по дороге число объектов, попадающих в поле зрения водителя в единицу времени, тем больше, чем выше скорость. Поскольку возможности водителей различать и реагировать на всю поступающую информацию ограничены, они произвольно реагируют на ее возрастание: повышением внима-

тельности, зоны сосредоточения своего взгляда или избирательным отношением к поступающей информации. При этом исследования показывают, что при движении по открытой местности водитель фиксирует явления, происходящее на расстоянии перед ним до 600 м, на городской улице до 60 м. Установлено, что распознавание объектов в поле зрения начинается с беглого их осмотра. Получив о них 15—20% возможной информации, водитель начинает более детальное распознавание объектов, сосредоточиваясь на каждом из них, пока не опознает его на 70—80%. В связи с этим дорожный знак (его содержание) не может восприниматься периферическим зрением и требует перенесения на него взгляда.

Однако во время движения поле сосредоточения зрительного внимания водителя значительно изменяется в зависимости от различных факторов. Особенно значительное влияние оказывают скорость движения и интенсивность транспортного потока и с их увеличением уменьшается поле зрения. При этом положение центра тяжести поля концентрации внимания водителя смещается по мере увеличения интенсивности движения и накопления сведений о маршруте. Водитель в этих условиях больше внимания уделяет ориентации на проезжей части и оценке состояния покрытия. При движении за лидером концентрация внимания меньше, чем при свободном движении и при скоростях в интервале 80-100 км/ч это поле ограничено 20° по горизонтали и 7° - по вертикали. Точки фиксации взгляда водителя распределены по полю концентрации внимания неравномерно и длительность их неодинакова. Чаще всего взгляд фиксируется в центральной части поля зрения в пределах угла 4° по вертикали и 6° по горизонтали. В обычных условиях при среднем уровне информационной загрузки продолжительность фиксации взгляда водителя находятся в пределах 0,2 до 1,5 с, с небольшим количеством фиксации до 3 с. В среднем за 1с выполняется две-три фиксации, а максимум - пять фиксации.

Время реакции человека на какой-либо сигнал зависит от положения сигнала в поле его зрения. Надежность распознавания объектов и обнаружения каких-либо сигналов периферийным зрением зависит от световых и цветотехнических характеристик сигнала. Исследования показывают, что если сигналом является яркий свет стоп-фонаря, то он воспринимается при удалении до

50° от центра поля зрения, если же воспринимаются малоконтрастные объекты при удалении от центра поля зрения на 30° они могут быть не обнаружены. Для светового сигнала тормозящего автомобиля или светофора продолжительность обнаружения почти вдвое меньше, чем для сигнала, имеющего малое отличие от яркости фона. К числу последних относятся пешеходы, животные, автомобили, препятствия и разрушения покрытия. При удалении от центра поля зрения по горизонтали на 30° время реакции на световой сигнал увеличивается в среднем на 0,15 с, а на появление объектов – на 0,25 с. Если угловое расстояние между сигналом и центральным полем зрения сетчатки глаза (фовеа) мало и не выходит за пределы конуса зрения, на обнаружение сигнала затрачивается наименьшее время – 0,01 – 0,02 с и восприятие сигнала начинается практически сразу после его появления. Если же угловое расстояние велико, то продолжительность обнаружения сигнала тем больше, чем дальше он удален от фовеа.

Из изложенного следует:

1. Объекты, которые по малости их угловых размеров не были восприняты в течение времени, пока они находились в пределах поля концентрации внимания, вне этого поля воспринимаются с ошибками или пропускаются вообще, так как обнаруживаются уже не центральным зрением, а периферийным. Объект может быть опознан только при фиксации взгляда на нем. Минимальное время на фиксацию взгляда при высокой информационной нагрузке составляет 0,2с.

2. Время реакции человека на какой-либо сигнал или объект зависит от их положения в поле его зрения. Удаленное расположение объекта от центра зрения увеличивает время реакции на его обнаружение.

3. Восприятие дорожных знаков существенно зависит от мотивации водителей, состояния условий движения и графического оформления дорожных знаков.

Таким образом, необходимо проведение дальнейших исследований для разработки требований к параметрам дорожных знаков, их характеристикам и правилам применения, обеспечивающих надежное восприятие информации водителями.

**Экономика, менеджмент,  
маркетинг и  
предпринимательство  
на транспорте**

УДК 656.13.658

## Перспективы развития транзитных перевозок между Европой и Азией

Шумилин А.Г.

Белорусский национальный технический университет

Автомобильные услуги занимают четвертое место по объему поступлений валютной выручки среди экспорта услуг и третье в экспорте транспортных услуг. Благодаря своему геополитическому положению. Республика Беларусь является важнейшим коммуникационным коридором между странами Европы. Из общего объема грузов, перемещаемых через таможенную границу республики, около 70% составляют транзитные грузы. Важнейшим фактором создания благоприятных условий осуществления транспортной деятельности на территории Республики Беларусь, повышения конкурентоспособности белорусских перевозчиков является прогнозирование развития транспортной деятельности и взвешенная политика в процессе интеграции транспортных систем различных государств. Нарращивание экспорта транспортных услуг мировому сообществу возможно только путем объединения и максимального использования резервов провозных возможностей транспортных систем сопредельных государств с учетом применения логистического подхода к удовлетворению потребностей мировой экономики. Объединенная транспортная система должна обеспечивать эффективные, экономически выгодные и безопасные условия транспортировки грузов в наилучших экологических и социальных условиях. Исследование возможных изменений грузопотоков, создание моделей развития международной транспортной системы, разумное государственное влияние и рациональная инновационная политика позволят оптимизировать мероприятия по развитию и интеграции белорусской транспортной системы. Анализ тенденций экономического развития различных регионов дает основание на перспективный прогноз расширения европейских транспортных систем.

В настоящий момент внутренний валовой продукт объединенной Европы уже превысил соответствующий показатель Советского Союза. Темпы развития тяжелого машиностроения, химической, легкой промышленности Европейского континента

позволяют спрогнозировать дефицит ресурсов. Ресурсная база, на которую можно ориентироваться для обеспечения экономических потребностей Европейского Союза, лежит в восточно-азиатском регионе, Урале, Сибири. С другой стороны, в Восточной Азии формируется новый экономический центр. Страны азиатско-тихоокеанского региона (Китай, Южная Корея, Тайвань, Сингапур, Гонконг, Таиланд, Индонезия, Вьетнам, Малайзия) в последние годы демонстрируют стабильный экономический рост и рост инвестиций, что позволяет многим экономистам считать, что XXI век в мировом хозяйстве станет «веком Азии». Данный регион ощущает не только нехватку сырьевых ресурсов, но также, по мнению многих экономистов, острый дефицит западных машиностроительных технологий и рынков сбыта. Очевидно, что возникновение двух экономических монстров потребует наличия между ними транспортного моста, способствующего обмену товарами и обеспечивающему снабжение сырьевыми ресурсами.

Традиционно для морских перевозок между Востоком и Западом используется Суэцкий канал. На него ложится основная тяжесть грузоперевозок, однако провозные объемы, сроки доставки грузов этим путем в ближайшем будущем не смогут удовлетворить потребности грузоотправителей. Несмотря на возрастающую роль воздушных грузоперевозок, рассматривать их как серьезную транспортную артерию также пока не приходится в связи с высокими тарифами на их осуществление и незначительным удельным весом в общем грузопотоке. Одной из перспективных возможностей транспортировки грузов по железной дороге по маршруту Азия — Европа была Транссибирская магистраль, проходящая по территории России. Однако в последнее время, в силу переживаемых Россией политических и экономических трудностей, а также по причинам технического несоответствия магистрали современному уровню требований Транссибирская магистраль имеет весьма незначительные резервы для транзитных перевозок.

Из сказанного вытекает необходимость реконструкции, расширения уже существующих транспортных артерий либо создания новых. И в Европе, и в Азии, и на Кавказе хорошо понимают, что в нынешнем столетии экономическое будущее будут иметь только те страны и регионы, которые окажутся в состоя-

нии быстро и без лишних расходов транспортировать значительные объёмы грузов.

Рынок диктует свои законы перемещения товаров, и вполне может оказаться так, что перевозки по географически кратчайшему расстоянию из Азии в Европу не будут целесообразными с экономической точки зрения. Привлекательным для грузопотока окажется тот маршрут, на котором будет обеспечен более высокий уровень сервиса и надёжности движения, а фактор случайности в виде очередного внезапного административного барьера будет минимальным. Следует обратить внимание и на тот факт, что наиболее приемлемыми с финансовой точки зрения станут проекты, в которых будет максимально использована существующая инфраструктура.

Как показывают исследования маршрут, проходящий через Россию, ускоряет продвижение грузов за счет меньшего количества транзитных государств, и разница, в доставке груза из Азии в Европу в зависимости от времени года может составлять до 10 суток в пользу российского пути. Данный транспортный коридор проходит по ряду стран бывшего постсоветского пространства. Это позволяет им получать как экономическую, так и политическую выгоду от участия в перевозке внешнеторговых грузов. Россия ориентируется на Беларусь как основную транзитную страну на пути в Европу. Однако задуматься о будущем Беларуси как транзитной страны заставляет резкая критика за самую дорогую в Европе платную дорогу, чрезмерно дорогие услуги терминалов и значительные платежи за проезд, тяжелых транспортных средств. Однако будущее транспортной системы республики зависит не только от ее географического положения, а и от общего логистического подхода к оказанию услуг по транзитной транспортировке товаров через ее территорию.

В связи с этим возникает объективная необходимость разработки комплексного научно-обоснованного механизма развития экспорта транспортных услуг в Республике Беларусь.

## Проблемы финансирования городского пассажирского транспорта

Черных О.В.

Белорусский национальный технический университет

Затраты на содержание общественного транспорта в городе постоянно возрастают, что обусловлено следующими причинами:

- постоянно растут цены на все виды топлива, энергию, запасные части и, как следствие, растет себестоимость перевозок;
- стареющий парк транспортных средств требует все больших затрат на ремонт и эксплуатацию;
- увеличивается число категорий и количество физических лиц, имеющих право на бесплатный проезд или льготную оплату;
- не практикуется конкурсная система предоставления прав для работы на маршрутах по муниципальному заказу;
- нет заинтересованности в снижении себестоимости перевозок, в частности, за счет сокращения управленческих и всех видов накладных расходов.

Основная причина низкой эффективности ГОПТ связана, на наш взгляд, с принятой системой дотаций, основанной на компенсации убытков. Такая система не заинтересовывает владельца пассажирского транспорта в повышении объемов и качества перевозок и подавляет конкуренцию на рынке транспортных услуг. Очевидно, что и в отдаленной перспективе без дотаций ГОПТ существовать не сможет, и дотации — это обычный способ стимулировать перевозки общественным транспортом.

Основными источниками финансирования ГОПТ являются доходы от реализации билетной продукции и средства бюджета. Доля бюджетных средств в финансировании ГОПТ постоянно снижается, тарифы на перевозку возрастают, что при росте цен на другие виды услуг, в частности жилищно-коммунальных, ведет к снижению уровня жизни населения и росту неплатежей населения за проезд. Так, если в 1999 году за счет тарифов покрывалось 27,3% затрат, то в соответствии с законом Республики Беларусь «О бюджете Республики Беларусь на 2004 год» из столичного бюджета должно быть профинансировано до 50% затрат на перевозки ГОПТ в городе Минске. Бюджетное плани-

рование и согласование уровня издержек на перевозки в городской администрации осуществляются, главным образом, исходя из возможностей бюджета, а не потребности транспорта.

Одной из основных причин сложного финансового положения предприятий ГОПТ является неполная компенсация затрат от перевозки льготированных категорий граждан. В настоящее время в городе Минске, среди 1,7 млн. населения, 963 тыс. человек имеют право на льготный проезд в общественном транспорте. Из 207 тыс. человек, совершающих поездки в городском пассажирском транспорте бесплатно, 120 тыс. составляют лица, «имеющие спецзнак». В этой связи необходимо упорядочить и сократить перечень категорий граждан, пользующихся в настоящее время льготами.

Еще одной причиной сложного финансового положения являются налоги. Транспортные предприятия уплачивают налоги на заработную плату, налог на недвижимость и экологический налог, отчисления в республиканский фонд поддержки производителей сельскохозяйственной продукции и налог с пользователей автомобильных дорог в размере 3% от выручки, полученной от реализации билетной продукции и в местный фонд стабилизации экономики производителей сельскохозяйственной продукции и жилищно-инвестиционный фонд в размере 1,15%. Налоговые платежи, которые вносят в бюджет предприятия ГОПТ (работающие себе в убыток), выглядят неправомерными, т.к. в основном налогооблагаемой базой является выручка от реализации, а не валовая прибыль. Вызывает сомнения целесообразность поддержки одних дотируемых отраслей (сельского и жилищно-коммунального хозяйства) за счет других дотируемых отраслей, в частности — транспорта. Фактически это означает многократное перераспределение бюджетных средств, что вызывает дополнительные расходы на обслуживание финансовых потоков. Кроме того, отчисления в республиканские фонды, означают перераспределение средств из городского бюджета в республиканский. Было бы целесообразным пересмотреть порядок налогообложения предприятий ГОПТ, в частности, освободить от налогов, уплачиваемых с выручки от реализации билетной продукции. Уменьшение налоговой нагрузки на предприятия общественного городского пассажирского автотранспорта

позволят сократить убытки ГОПТ и тем самым снизить размер бюджетных субсидий.

Для обеспечения устойчивого и стабильного источника финансирования городского общественного пассажирского транспорта в 1997 году был введен транспортный сбор. В настоящее время эти средства являются практически единственным источником обновления подвижного состава. Однако в проекте Налогового кодекса Республики Беларусь транспортный сбор не предусмотрен. Его отмена потребует поиска альтернативных источников финансирования транспортного обслуживания в городе Минске.

За рубежом более распространенной практикой является направление на финансирование транспорта части налогов от продажи автомобильного топлива и плата за проезд и парковку. В данном случае происходит перераспределение средств от частного транспорта к общественному. Формирование средств на развитие ГОПТ за счет этих платежей представляется возможным не только для города Минска, но и для всей республики.

Следующим шагом могло бы стать привлечение к выполнению городского заказа на перевозки пассажиров негосударственных операторов на конкурсной основе. Обеспечение равного доступа к государственной поддержке всех операторов, привлекаемых к выполнению муниципального заказа, независимо от их организационно-правовой формы, способствовало бы формированию конкурентной среды на транспорте. Зарубежная практика показывает, что партнерство государственного и частного сектора позволяет получать средства сверх того, что может предоставить государственный бюджет.

Что касается действующей в настоящее время системы контроля на линии, то она недостаточно эффективна. Упрощению процедуры контроля и повышению ее качества позволило бы введение электронного компостера.

## Логистическая система и роль в ней транспорта

Ивуть Р.Б.

Белорусский национальный технический университет

Транспорт является отраслью материального производства и неотъемлемой частью логистической системы, цель которой доставить товары и изделия в заданное место, в нужном количестве и ассортименте, максимально подготовленных к производственному или личному потреблению при оптимальном уровне издержек. Значительная часть логистических операций на пути движения материального потока от первичного источника сырья до конечного потребления осуществляется с применением различных видов транспорта.

В западных странах логистика уже не одно десятилетие успешно работает на транспортную отрасль. И все это время ведется поиск всевозможных путей снижения и оптимизации общих затрат на осуществление перевозок, повышения экономической эффективности логистической деятельности, улучшения ее информационного и технического обеспечения.

Объектом перемещения в транспортной логистике является большинство известных видов потоков, таких как: материальные (грузы, предъявленные к перевозке); людские (пассажиропотоки); энергетические (потоки электроэнергии, нефти и газа в трубопроводах); военные (материальные и людские потоки военного назначения, перемещаемые транспортом).

Однако все виды перемещаемых потоков в транспортной логистике перемещаются не самостоятельно, а с помощью транспортных потоков, которые и являются объектом управления транспортной логистики.

Принципы транспортной логистики можно сформулировать следующим образом:

- выбор наиболее выгодных транспортных средств в качестве управляемой подсистемы и применение системного подхода – формирование из них транспортного потока;
- четкое определение конечной точки перемещения транспортного потока в соответствии с техническими, экономическими и другими требованиями;
- усиление расчетного начала на всех стадиях управления

транспортным потоком – от планирования до анализа, выполнение расчетов всех параметров движения транспортного потока;

- диспетчеризация транспортного потока – непрерывное отслеживание перемещения каждого транспортного средства и оперативная корректировка его движения;
- обеспечение надежности и безотказности движения транспортного потока, резервирование коммуникаций и транспортных средств для изменения в случае необходимости траектории транспортного потока;
- сохранение грузов и безопасность пассажиров в процессе перемещения транспортного потока;
- использование современных транспортных средств и средств управления движением;
- координация действий непосредственных участников транспортного потока и опосредованных участников движения;
- осуществление движения транспортного потока с наименьшими издержками;
- сохранение окружающей среды.

Функции транспортной логистики те же, что и логистические (планирование, оперативное регулирование, учет, контроль, анализ), но содержание этих функций различное.

Оптимизация перевозок-маршрутов составляет основное содержание планирования. На стадии планирования выполняются расчеты для определения параметров транспортного процесса выявляются грузопотоки и их составляющие (отправление, прибытие, ввоз, вывоз, транзит, местное сообщение), которые распределяются по оптимальным направлениям, после чего трансформируются в транспортные потоки, их моделируют по критериям оптимизации с применением математических моделей.

Оперативное регулирование связано с диспетчеризацией транспортных потоков, т.е. управляемым объектом является каждая транспортная единица на всем пути следования.

Учет предусматривает сбор, обработку, хранение и выдачу информации, касающейся транспортных потоков, в то время как контроль устанавливает степень соответствия фактических параметров движения потока запланированным значениям.

Анализ включает комплекс задач, предусматривающих установление причинно-следственных связей между достигнутыми результатами и затраченными средствами. Выявляется влияние

факторов на фактическое значение параметров потока.

В том случае, когда объемы транспортной работы выделяются в большой самостоятельный массив (при функционировании транспорта общего пользования, а также в ряде случаев транспорта необщего пользования), возникает ряд специфических задач, которые относят к задачам транспортной логистики:

создание транспортных систем, в том числе создание транспортных коридоров и транспортных цепей;

совместное планирование транспортных процессов (на различных видах транспорта) в случае смешанных перевозок;

обеспечение технологического единства транспортно складского процесса;

совместное планирование транспортного процесса со складским и производственным;

выбор вида и типа транспортного средства;

определение рациональных маршрутов доставки.

Использование достижений логистики на транспорте является залогом повышения эффективности транспортного комплекса и активизации его интеграции в мировую транспортную систему. Следует отметить, что в последние годы транспорт, обладая колоссальным стратегическим ресурсом, выполняет базовую функцию в потоковых процессах.

Сегодня как никогда актуальна задача увеличения объемов перевозок, повышения экономической эффективности деятельности многочисленных грузовых и пассажирских перевозчиков и экспедиторов. Как свидетельствует зарубежный опыт, качественного роста в транспортной сфере можно достигнуть лишь за счет использования новых технологий обеспечения процессов перевозок, отвечающих современным требованиям и высоким международным стандартам, в частности, за счет широкого освоения логистического мышления и принципов логистики. Ведь по своей сути транспортная логистика как новая методология оптимизации и организации рациональных грузопотоков, их обработки в специализированных логистических центрах позволяет обеспечивать повышение эффективности таких потоков, снижение непроизводительных издержек и затрат, а транспортникам - быть современными, максимально соответствовать запросам все более требовательных клиентов и рынка.

## Обновление транспортного производства на основе логистики

Дроздовская О.Г.

Белорусский национальный технический университет

Логистическая система как любая другая система структурируется из отдельных подсистем или звеньев, связанных между собой определенной последовательностью исполняемых ими функций. На уровне отдельной подсистемы потоковые процессы рассматриваются как объектная база для конструирования «ветви» логистики.

При использовании логистики в транспортных процессах нужно учитывать специфическую технологию этого производства.

В технологическом аспекте управление транспортными процессами есть лишь часть общего управления всей хозяйственной деятельностью фирмы и результатов совместного труда собственника капитала и наемных работников по созданию готовых продуктов, реализуемых услуг.

В экономическом аспекте хозяйственная ниша транспортных услуг может принадлежать и отдельному собственнику, и входить в состав собственности производителя готового продукта, обращающегося к независимому производителю транспортных услуг.

В технологическом и экономическом аспектах управление транспортными процессами осуществляется общеуправленческими службами фирмы.

При принятии решения о применении логистики в управлении транспортными потоковыми процессами руководству фирмы необходимо для создания "ветви" транспортной логистики реализовать исходную посылку ее применения: отделить общеуправленческие функции организаторов транспортного потокового процесса от функций координации и оптимизации этого процесса, передав их службе логистики как будущему управляющему органу логистической системой управления потоковыми процессами (ЛСУ ПП) фирмы. Вместе с функциями координации и оптимизации этого процесса службе логистики необходимо передавать массив исходных данных в ин-

формационную подсистему будущей логистической системы управления потоковыми процессами фирмы, в блок «ветви» транспортной логистики.

В массив исходных данных входят:

информация о круге параметров грузовых единиц; информация о принятых организационных (производственно-транспортных) планах участия в этом процессе всех структурных подразделений транспортной системы фирмы (погрузочно-разгрузочных, транспортно-экспедиционных, складских, комплектовочных). Логистическая информационная подсистема объединяет все эти планы и показатели их реализации в единый блок;

данные о технических и технологических компонентах производственно-транспортной системы, которые ее обслуживают (технические разработки, конструирование и ремонт транспортной техники, упаковочная, погрузочно-разгрузочная техника, техника комплектования грузовых единиц);

данные об экономических компонентах среды транспортного предприятия, включая функциональные и товарные службы (о задействованных хозяйственных звеньях и системах частного и магистрального транспорта, через которые проходят грузопотоки фирмы), поскольку приходится выбирать использовать свои транспортные службы или обращаться к рынку транспортных услуг.

Получая такую информацию, логистическая система управления потоковыми процессами формирует собственные информационные – отслеживающие и управляющие – потоки.

При обновлении транспортной компании на базе логистики надо учитывать общие требования концепции обновления:

сокращение времени пребывания продукции, подлежащей перевозке и технологии ее производства (повышение грузоподъемности транспортных средств, применение централизованного завоза доставляемых заказчиком грузов);

увеличение количества используемых на предприятии, технологий, из которых состоит подготовка к транспортировке и сама транспортировка грузов;

возрастание числа элементов и перечней типов продукции, находящихся в производственном процессе (для транспортного предприятия это означает усложнение комплектации подлежащих пе-

ревозке грузов);  
повышение требований к качеству и надежности реализуемых на рынках товаров, наполняющих данный материальный поток (для транспортного предприятия это означает повышение уровня требований к сохранности перевозимых грузов).

Главное требование концепции обновления состоит в том, чтобы заменить традиционную организацию транспортного производства на обновляемую. Это вызывает необходимость и в транспортном звене потоковых процессов выявить центры переориентации. Такими центрами могут быть обработка продуктов (перевозимых транспортом) и обработка заказов (на перевозку грузов).

К транспортному звену относятся и другие требования концепции обновления производственного процесса:

разработка новой стратегии изготовления продукта (осуществления транспортного процесса) как стратегии будущего;

обеспечение ориентации перевозок на новый характер рыночного продукта и на заказ конечного потребителя, непрерывной ориентации, с направленностью на минимальное разделение труда и на размер (оптимальных для сбыта на рынке конечных продуктов) партий перевозки;

изменение структур транспортного производства для реализации принципов стратегий и самих стратегий будущего;

изменение структуры всех уровней аппарата управления и регламентация задач работников (транспортного подразделения фирмы).

Исходя из новых стратегий логистики и производства в цепи транспортных материальных потоков, новая стратегия транспортного производства должна входить составной частью в иерархию стратегий компании, ориентированной на логистику и пользующейся транспортными услугами.

Преимущества, которые получают транспортные компании, использующие логистику в своей практике, приводят к большей стабильности, предсказуемости, конкурентоспособности, технологичности в перевозках, в том числе и в сфере экспорта транспортных услуг. В перспективе именно использование достижений логистики даст возможность многим транспортным компаниям повысить прибыль и рейтинг на внутреннем и внешнем рынках.

**Налоговое планирование как способ оптимизации  
налоговой нагрузки на предприятия**

Тозик А.А., Евтух Г.И.

Белорусский национальный технический университет

На протяжении всей истории развития государства особо важное значение имели налоги и налоговое планирование. Налоговая система, как и налоговое планирование, должна быть разумной, что, к сожалению, об отечественной налоговой системе не скажешь. И предприятия вынуждены изобретать различные, но, в большинстве случаев, незаконные способы уклонения от уплаты налогов.

Налоговое планирование - это целенаправленные действия налогоплательщика, направленные на уменьшение его налоговых обязательств, производимых им в виде налогов, сборов, пошлин и других обязательных платежей. В отличие от уклонения от налогов (которое связано с нарушением действующего законодательства), налоговое планирование является абсолютно законным средством сохранить свои, с таким трудом заработанные деньги.

Налоговое планирование – это непрерывный процесс, который можно охарактеризовать 5 последовательными этапами:

1. прежде всего *анализ* существующего порядка налогообложения,
2. последовательное применение в расчетах того или иного *инструмента налогового планирования*,
3. сравнительный анализ эффективности выбранных вариантов оптимизации налогообложения,
4. *внедрение* наиболее эффективных инструментов на предприятии,
5. сопровождение и адаптирование реализованной схемы.

Нужно ли проводить налоговое планирование на предприятии? Здесь следует сказать, что необходимо соотносить мотивы налогового планирования со стратегическими приоритетами предприятия (его миссией). И уж конечно, эффективность налогового планирования всегда следует соотносить с затратами и риском на его проведение.

Приступая к налоговому планированию, целесообразно оп-

ределить налоговую нагрузку предприятия и сравнить ее со средней величиной по стране.

Если ваша организация уплачивает налоги в размере более 30%, скорее всего, вам необходимо оптимизировать налоги. Практика показывает, что в результате мероприятий налогового планирования налоговая нагрузка может быть уменьшена до 15%. В то же время более существенное снижение налоговой нагрузки законными способами маловероятно.

На втором этапе определяется доля каждого налога в совокупной сумме уплаченных организацией налогов. В результате можно выявить те налоги, которые составляют наибольшую долю платежей. Именно на них в первую очередь должны быть направлены мероприятия по планированию.

Нам известны 3 стратегии налогового планирования в черно-белом изображении:

Первый путь («черный»), который, не для кого не секрет, выбрала вся страна – это уклонение от уплаты налогов.

Второй путь («белый») – это легальный путь сокращения налогов, при котором используются возможности предоставленные законом.

И третий путь (назовем его «серый») – это грамотное использование методов и инструментов налогового планирования, когда реально не изменившаяся деятельность Вашего бизнеса формально меняется и дает налоговые преимущества.

В независимости от того, на какой путь стал Ваш руководитель, налоговый менеджер всегда должен следовать шести золотым правилам выживания налогового менеджера:

1) Принцип разумности. Разумность означает, что "все хорошо - что в меру";

2) Цена вопроса. Выгода, получаемая от налоговой оптимизации должна значительно превосходить затраты, которые необходимо осуществить для реализации данного решения;

3) Комплексный подход. Выбрав инструмент снижения какого-либо налога, необходимо проверить, не приведет ли его применение к увеличению других налоговых платежей;

4) Индивидуальный подход. Только зная все тонкости Вашего предприятия, можно рекомендовать тот или иной инструмент снижения налогов. Механически переносить одну и ту же схему с одного предприятия в другое нельзя;

5) Юридическая чистота.

6) Но самое главное, что должен для себя понять налоговый оптимизатор - налоговое планирование надо осуществлять не после осуществления какой-либо хозяйственной операции или прошествия налогового периода, а ДО него!!!

Теперь рассмотрим базовые инструменты налогового планирования.

**1. Место регистрации.** Достаточно часто прибыль "выводится" в фирмы, зарегистрированные в зонах с льготным налогообложением - оффшорах. При этом для зарегистрированных в этих центрах учреждений (компаний) создается особо льготный налоговый режим, вплоть до полного освобождения от налогообложения.

**2. Организационно-правовая форма.** Выбор организационно-правовой формы влияет на простоту (сложность) налогового учета.

**3. Состав учредителей**

**4. Учетная политика.**

**5. Замена и разделение отношений.** Нередко правильно организованные сделки позволяют существенно снижать налоговое бремя организаций. Здесь возможны два варианта - разделение отношений и замена отношений (на более выгодные с налоговой точки зрения).

**6. Отсрочка налогов.** Законодательство позволяет отсрочить уплату налогов, что можно эффективно использовать в своей работе.

**7. Прямое сокращение объекта налогообложения.**

**8. «Параллельная» деятельность.** В общем случае в соответствии с законодательством компания несет налоговую ответственность по месту фактического ведения бизнеса. Однако определить налоговую ответственность для льготной фирмы, действующей "параллельно" основной фирме и на ее базе, не всегда возможно. Таким образом, есть достаточные возможности для перераспределения ресурсов и фондов в каждой конкретной деловой ситуации.

**9. «Давальческая» переработка.** Этот тип бизнеса широко распространен на Западе. "Давальческий" вариант хорошо подходит для организации межрегионального бизнеса. В рамках этой схемы офис компании (юридический адрес) находится в

налоговом оазисе. Свой бизнес она может осуществлять через своих представителей, расположенных в различных регионах. В результате фактически имеется только один пункт "налоговой ответственности место официальной регистрации льготной компании.

*10. Группа компаний.* 1) Эффективным решением может быть организация собственного внутрифирменного кредитного центра. 2) Перераспределение финансовых и материальных ресурсов может осуществляться через договор о совместной деятельности (простое товарищество). 3) Другим инструментом внутрифирменных операций является договор поручения (агентский договор, договор комиссии). 4) Можно воспользоваться преимуществами, предоставляемыми лизинговыми операциям. Создается внутрифирменная лизинговая фирма, которая оказывает услуги другим участникам холдинга. 5) Внутрифирменное планирование позволяет распределять издержки между подконтрольными хозяйственными субъектами, обеспечивая равномерное распределение облагаемой налогом прибыли. 6) Целесообразно использовать дочерние компании для проведения операций с недвижимостью. Непосредственная купля-продажа капиталоемких материальных ценностей, а также паев и целых компаний заменяется на куплю-продажу фирмы-фондодержателя, на балансе которых находятся эти ценности. Иными словами, право собственности переходит не на сам объект, а на фирму, которой она принадлежит.

Итак, в заключении, определим основные этапы стратегического налогового планирования с использованием вышерассмотренных инструментов:

- 1) обязательный обзор проектов нормативных правовых актов и прогноз возможного развития событий,
- 2) обзор и прогноз обычаев делового оборота и судебной практики,
- 3) составление прогнозов налоговых обязательств фирмы,
- 4) составление сетевого графика соответствия исполнения налоговых и финансовых обязательств организации,
- 5) оценка риска различных инструментов, проработка вариантов возможных причин резких отклонений от расчетных показателей деятельности организации,
- 6) прогноз эффективности применяемых инструментов нало-

говой оптимизации.

Текущее налоговое планирование может выглядеть следующим образом:

- еженедельный мониторинг нормативных правовых актов,
- составление прогнозов налоговых обязательств организации и последствий планируемых сделок,
- составление графика соответствия исполнения налоговых обязательств и изменения активов фирмы,
- прогноз и исследование возможных причин резких отклонений от среднестатистических показателей деятельности организации и налоговых последствий инноваций или проводимой сделки.

Подытоживая вышесказанное, отмечу следующее. Можно не платить налоги и жить в страхе. Можно платить все налоги и ходить без штанов. Можно оптимизировать налоговые платежи и при этом и спать спокойно, и жить в достатке.

Выбирать Вам.

УДК: 656.1/.25

### **Дефинирование и моделирование «сценариев» возникновения различных видов железнодорожных аварий**

Качаунов Т.Тр., Георгиев Н.Д., Стоянов И.П.

Высшее транспортное училище им. Тодора Каблешкова  
София, Болгария

#### **1. Введение**

Обеспечение безопасного движения при эксплуатации железнодорожного транспорта неразрывно связано с правильной организацией и соблюдением ряда правил и стандартов. Оценку безопасности на железных дорогах сейчас, в основном, можно дать, исходя из вероятных /предполагаемых/ последствий несоблюдения этих нормативных правил, без учета того, что некоторые из железнодорожных аварий - сложные случайные события. Они отличаются низкой интенсивностью возникновения, особенно те, которые имеют серьезные последствия. Это затрудняет анализ и получение ответов на вопросы: Как будет развиваться авария /каков сценарий аварии/?; Каким будет эффект

/последствия/ от аварии и, особенно, какова вероятность, что она произойдет?

Целью данной статьи являются выявление возможных опасностей для движения и предложение метода их моделирования в качестве основы для будущих исследований в этой области.

## 2. Определение и классификация железнодорожных аварий.

Одним из важнейших этапов исследования и анализа безопасности на железнодорожном транспорте является выявление причинно-следственных связей между событиями, имеющими отношение к возникновению аварии данного вида /сценарий аварии/. Основным моментом здесь является классификация отдельных сценариев по определенным критериям. В статье рассматриваются аварии по месту возникновения с характерными последствиями. Имеющаяся статистическая информация позволяет сделать следующую классификацию:

### 2.1. Аварии на перегонах:

#### 1. Столкновения:

- между пассажирскими поездами или между пассажирским поездом и другим подвижным составом;

- между грузовыми поездами или грузовым поездом и другим подвижным составом;

- подвижного состава с другими объектами, находящимися на железной дороге /в том числе „заброшенными” транспортными средствами, крупным и мелким скотом, велосипедистами и т.д./.

#### 2. Сход с рельсов:

- пассажирских поездов;

- грузовых поездов;

- подвижного состава вследствие: обледенения рельсов, носов, попавших на железную дорогу предметов, элементов железнодорожного пути или переездов.

3. Другие аварии с последствиями, не имеющими место в приведенной классификации, возникшие вследствие:

- повреждений на локомотивах;

- повреждений на подвижном составе /в вагонах/;

- повреждений на железнодорожном пути;

- повреждений контактной электрической сети;

- повреждений техники обеспечения безопасности /включая умышленные повреждения устройств сигнализации на переез-

дах/;

-движение транспортных средств при необеспеченном пути /без согласия/;

-во время маневров и при производстве ремонтных работ.

4. Аварии при участии людей:

-находящихся на железнодорожном пути при движении подвижного состава;

-упавших с подвижного состава /пассажиров и железнодорожников/;

-получивших ранения во время движения.

2.2. Аварии в районе станции:

1. Столкновения:

-между пассажирскими поездами или между пассажирским поездом и другим подвижным составом;

-между грузовыми поездами или грузовым поездом с другим подвижным составом;

-во время маневров;

-во время приема подвижного состава;

-во время отправления подвижного состава.

2. Сход с рельсов:

-пассажирских поездов;

-грузовых поездов;

-подвижного состава во время маневров /при неустранении средств, не позволяющих самопроизвольного его движения, при наличии препятствий на железнодорожном пути /деревьев, камней и т.д./, при ударах об упор в конце пути и т.д.;

3. Другие аварии, возникшие вследствие:

-повреждений на локомотивах;

-повреждений на подвижном составе /вагонов/;

-повреждений на железнодорожном пути;

-повреждений контактной сети;

-повреждений техники обеспечения безопасности /включая умышленные повреждения устройств сигнализации на переездах/;

-движение подвижного состава при необеспеченном поездом или маневренным маршрутах.

4. Аварии, следствиями которых были ранения или гибель людей:

-наезд на людей, находящихся на станционных путях или в

районе стрелок /горловин станций/;

-получение травм и ранений находящимися на перроне людьми вследствие удара открытыми дверями подвижного состава;

-получение травм людьми во время посадки и высадки;

-получение травм /ранений/ железнодорожниками во время обслуживания подвижного состава.

### 3. Моделирование аварий:

В целях выявления и исследования причин аварий на железнодорожном транспорте, а также проведения мероприятий по уменьшению риска их возникновения, необходимо осуществить моделирование сценариев аварий.

Одним из возможных подходов является анализ по методу *дерева отказов*. В данной статье на основе приведенной выше классификации рассматривается примерный вариант этого метода. Выбран такой пример, потому что по данным на 2003 год на 9 главных линиях железнодорожной сети Болгарии функционирует 906 переездов. Из них 208 неохранные, 227 оборудованы автоматической переездной сигнализацией /АПС/, а на остальных 471 установлены шлагбаумы. На рисунке 1 показана динамика аварий на переездах. Можно отметить, что аварии происходят независимо от способа обеспечения надежности и безопасности движения – на охраняемых /в районе станций или за их пределами, где имеется дежурный по переезду/ или на неохранных переездах; при наличии или отсутствии автоматической переездной сигнализации /АПС/. Аварии случаются и при переходе людей через железнодорожную линию в местах, где нет переездов. Рисунок 2 показывает сценарий аварии, рисунок 3 – *дерево отказов*.

Каждое из событий – В, С, D, Е характеризуется соответствующими параметрами – вероятностью возникновения  $P_{В+Е}$ ; интенсивностью возникновения  $\lambda_{В+Е}$  и т.д. Вероятность возникновения события А /столкновения поезда с дорожным транспортным средством на охраняемом переезде/ можно определить при помощи выражения /при независимости события/:

$$(1) P_A = P_B \cdot P_C \cdot P_D \cdot P_E.$$

Для определения вероятности  $P_A$  надо получить вероятности возникновения событий  $P_{В+Е}$  /для определенного типа переезда, например/, что возможно сделать либо на основе анализа стати-

стического материала о случившихся авариях, либо на основе экспертной оценки. В данном случае  $P_B$  возможно определить как отношение числа поездов, с которыми происходили аварии на охраняемых переездах, к общему числу пропущенных по железнодорожной сети поездов [2], [3].

Вероятности  $P_D$ ,  $P_C$ ,  $P_E$  возможно определить при более тщательном исследовании путем адаптации и применения различных математических методов.

Примерный вариант значений:

$$P_B = 1 / 429296 = 2,3 \cdot 10^{-6}; P_D = 0,3; P_C = 0,7; P_E = 0,2;$$

$$P_A = 2,3 \cdot 10^{-6} \cdot 0,3 \cdot 0,7 \cdot 0,2 = 9,78 \cdot 10^{-8}$$

#### 4. Заключение

В данной статье предлагается метод моделирования аварий на железнодорожном транспорте, который необходим для их оценки в зависимости от последствий для движения. Со своей стороны, это поможет наметить мероприятия, которые будут препятствовать возникновению аварий, создающих самый большой риск для движения.

В настоящий момент /после 2000 года/ предприятие „Болгарские государственные железные дороги“ разделено на две основные структуры: Национальная компания „Железнодорожная инфраструктура“ и Акционерное общество „Болгарские государственные железные дороги“ /занимающееся перевозочной деятельностью/. Это приводит к изменению отношений и взаимодействия их при возникновении аварий. Исходя из статистического материала, приведенного в Таблице 1, можно сделать вывод, что это видимо не отразилось на количестве случившихся аварий. Это утверждение, однако, нельзя считать категорическим. Требуется провести более полный и тщательный анализ. /В 2003 году вошла в силу новая категоризация аварий, что привело к изменению количества учтенных аварий по критерию тяжести/.

Предлагаемый подход требует серьезной исследовательской работы в отношении систематизации и обработки имеющегося статистического материала об авариях на болгарских железных дорогах. При его помощи можно решать различные проблемы безопасности как, например, исследование специфичных по виду и характеру аварий, мест с повышенной интенсивностью аварий и т.д.

Года	Катастрофы	Аварии	Брак	Общее число аварий
1980.	88	35	2095	2218
1981.	55	33	2242	2330
1982.	31	31	1970	2032
1983.	34	22	1789	1845
1984.	36	21	1661	1718
1985.	35	16	1542	1593
1986.	38	14	1505	1557
1987.	38	13	1409	1460
1988.	39	17	1316	1372
1989.	24	12	1135	1171
1990.	33	15	1012	1060
1991.	20	8	729	757
1992.	12	3	865	880
1993.	12	1	911	924
1994.	10	1	775	786
1995.	12	0	832	844
1996.	10	0	1091	1101
1997.	16	5	751	772
1998.	13	3	865	881
1999.	19	1	866	886
2000.	7	2	672	681
2001.	5	1	631	637
2002.	7	4	643	654

Таблица 1

Рисунок 1

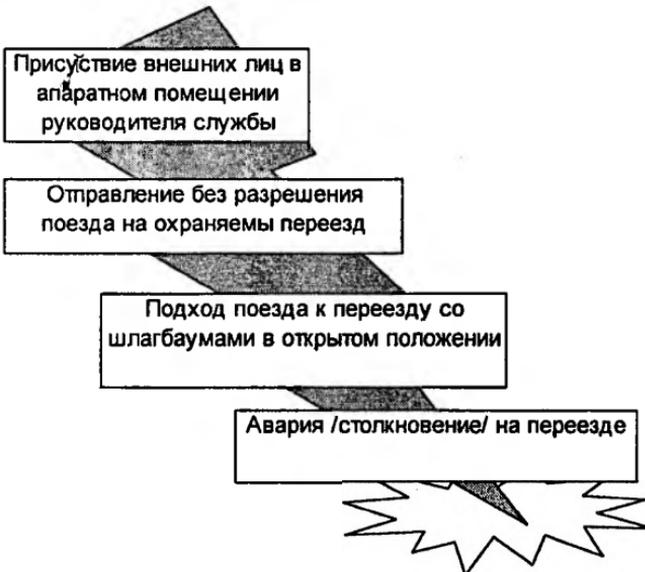


Рисунок 2. Сценарии аварий

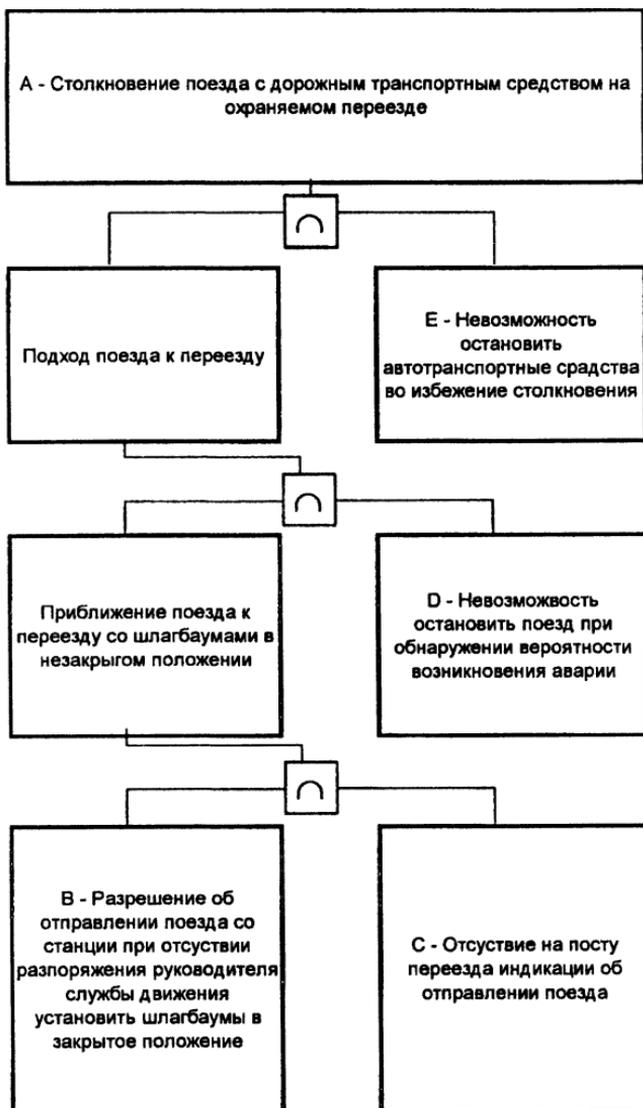


Рисунок 3. Дерево отказов

## Литература

1. *Zwaard A., Goossens L. Relative ranking as an instrument in risk evaluation, Safety Science Group, Delft University of Technology, The Netherlands, 1998;*
2. Георгиев Н.Д. „Основные факторы и количественные показатели оценки безопасности железнодорожного движения”, С., Сборник трудов, ВВТУ, 1993/1994 г., кн.2, стр. 13-20 (на болгарском языке);
3. Георгиев Н. Д. „К вопросу о показателях оценки безопасности железнодорожного движения”, С., IX НТК с международным участием – ТЕМРТ 03-05 октября 1996 г., ВВТУ, Сборник докладов, часть II, стр. 61-68 (на болгарском языке);
4. Стоянов И. П. „Обособление мест с повышенной концентрацией аварий – этап повышения безопасности на железнодорожной сети, С. XIII научная конференция с международным участием „Транспорт 2003”, ВТУ, 13-14 октября 2003 г., Сборник докладов, стр. 439-442 (на болгарском языке).

УДК 006.8.063

### **Система стандартизации и сертификации как важнейший элемент производства конкурентоспособной продукции**

Карасёва М.Г.

Белорусский национальный технический университет

На этапе перехода к рыночной экономике важнейшей задачей развития промышленности является ее структурная перестройка, направленная на развитие тех секторов промышленного производства, которые обеспечивают повышение его эффективности и увеличение объемов выпуска конкурентоспособной высококачественной продукции. Решение проблемы повышения качества и конкурентоспособности отечественной продукции невозможно без формирования и функционирования национальной системы стандартизации и сертификации, построенной на принципах, методах и функциях, гармонизированных на международном уровне.

Стандарты устанавливают требования к продукции, работам и услугам на всех стадиях жизненного цикла (разработка, производство, эксплуатация, утилизация) и являются одним из важнейших

факторов, влияющих на повышение их конкурентоспособности.

Исследуя требования стандартов к продукции, работам и услугам на рынке разных стран и сравнивая эти требования с показателями производимой продукции, можно при разработке новой продукции предусматривать её показатели, обеспечивающие в перспективе конкурентоспособность продукции не только на внутреннем рынке, но и на рынках зарубежных стран.

Таким образом, основной задачей стандартизации на современном этапе является развитие и поддержание в актуальном состоянии нормативной базы Республики Беларусь, обеспечивающей разработку, производство и потребление конкурентоспособной продукции. основополагающим принципом этой деятельности является ориентация на современные достижения науки, техники и технологии, на требования международных (региональных) стандартов, прогрессивных национальных стандартов других государств, а также учет положений Соглашения о технических барьерах в торговле Всемирной торговой организации (ВТО).

Сертификация оказывает значительное влияние на расширение международного экономического сотрудничества. Сложившиеся в течение десятилетий различия в национальных стандартах и процедурах проведения сертификации превратились в так называемые технические барьеры для международной торговли. Эти различия либо являются результатом национальных традиций в организации производства и торговли, либо создаются специально в целях затруднения импорта товаров иностранных конкурентов. Значительную роль в ликвидации технических барьеров в международной торговле играет ряд организаций, в том числе международные организации по стандартизации и сертификации, в частности, участники Всемирной Торговой Организации (ВТО) осуществляет специальные меры по гармонизации национальных стандартов и по процедурам сертификации, чтобы исключить препятствия для международной торговли.

Эффективная реализация направлений стандартизации и сертификации для обеспечения качества и конкурентоспособности продукции возможна только на основе гармонизации стандартов РБ с существующими в этой области международными правилами и нормами. Как показывает опыт стран с развитой рыночной экономикой, необходима интеграция национальной экономики страны в

мировое экономическое пространство и это осуществляется на основе обеспечения конкурентоспособности продукции, производимой в стране.

Вся названная проблематика по отношению к конкретным субъектам хозяйствования интегрируется через внедрение систем качества по стандартам ИСО серии 9000 версии 2000 года. В настоящее время в Республике Беларусь на предприятиях внедряется стандарт СТБ ИСО 9001-2001 «Системы менеджмента качества». Изучение этого стандарта позволяет выделить ряд элементов обязательных для контроля любого производственного процесса.

Основными элементами являются:

1. Требования к квалификации персонала. Рассматривая пункт 6.2 СТБ ИСО 9001-2001 «Человеческие ресурсы» нас, прежде всего, интересует компетентность исполнителей работ, т.е. уровень их квалификации. Образование работников мы видим во всех отделах кадров, а подготовка, навыки и опыт определяются разрядами или категорией работника.

Наша задача заключается в том, чтобы выяснить соответствует ли реально используемые работники требованиям образования, имеют ли они должный разряд или категорию и по этому поводу должен составляться документ при претензии предприятия на получение сертификата. Однако, как показывает практика, такие документы отсутствуют.

2. Требования к техническому и технологическому оснащению производства. Характеристикой производственного процесса является инфраструктура, пункт 6.3 «Инфраструктура» СТБ ИСО 9001-2001, здесь нас должны интересовать соответствие средств труда требованиям производственного процесса, в частности соответствие ли применяемого оборудования технологических процессов обеспечивающих качество получаемой продукции. Кроме того, туда же необходимо записать требования к оснастке, инструментам, приспособлениям и т.д.

Проверка соответствия технических процессов должна заканчиваться составлением акта о выходе годной продукции при условии соблюдения требований регламента технологического процесса.

3. Требования к закупке материалов и полуфабрикатов.

К нему необходимо отнести: верификацию закупленной продукции (пункт 7.4.3) элемент, характеризующий соответст-

вие закупленной продукции установленным требованиям к закупкам, т.е. продукция заготовки, комплектующие, которые закупаются по кооперации должны соответствовать требованиям заказчика, это должно проверяться и отражаться в соответствующих документах.

При проведении сертификации должен быть проведен комплексный анализ соответствия поступающих на предприятие материалов и комплектующих требованиям, предъявляемым к ним соответствующими стандартами

Реализация целей и требований этих стандартов означает переход к совершенно иной качественной модели поведения всех участников процессов создания и использования товаров и услуг.

УДК 656.13:339.187.62

### **Современные подходы к использованию лизинга автомобилей на международных перевозках**

Кисель Т.Р.

Белорусский национальный технический университет

Одним из приоритетных направлений развития внешнеэкономической деятельности Республики Беларусь является экспорт транспортных услуг, при этом существует ряд наиболее острых проблем, с которыми сталкиваются компании, осуществляющие международные автоперевозки. Использование лизинга в деятельности транспортных компаний позволяет решить такие проблемы как высокий процент износа подвижного состава, недостаточное количество современных автомобилей и ограниченные возможности обновления транспортных средств.

Эффективность лизинговых операций во многом зависит от организации их процесса. Существующие в республике лизинговые фирмы и совместные предприятия, вследствие несовершенства своей организационной структуры, осуществляют заключение лизинговых контрактов в течение многих месяцев. Подобная практика приводит к тому, что автотранспортные предприятия и частные предприниматели за это время теряют рынки транспортных услуг и несут огромные экономические потери. Опыт развитых стран свидетельствует, что наиболее эффективно создание холдинговых структур.

В настоящее время в республике, при осуществлении процесса лизинга как комплекса взаимоотношений между субъектами хозяйствования, предполагается участие различных элементов рыночной инфраструктуры (банки, страховые компании, предприятия-производители). В течение последнего десятилетия сформировались три основные формы управления лизинговой деятельностью: производственная; банковская; комбинированная.

Первая форма нацелена на сбыт продукции предприятия-изготовителя. Если объемы лизинговых сделок небольшие, то работа по подготовке и проведению лизинговых операций осуществляется в отделе сбыта или в составе маркетинговой службы предприятия. Здесь производитель-поставщик выступает в качестве лизингодателя, кредитора, страхователя и гаранта сервисного обслуживания. Производственная форма имеет целый ряд преимуществ перед банковской и хозяйственной: более выгодные условия сделки при отсутствии заемных средств, непосредственный контакт с поставщиком объекта, налаженный сервис и гарантийное обслуживание, альтернативные каналы сбыта и т.д. Однако, она имеет и недостатки: сложности в оценке платежеспособности лизингополучателя, риск невозврата платежей по сравнению с покупкой, уменьшается ликвидность капитала и другие. Эти недостатки привели к тому, что основная масса лизинговых фирм сформировалась при банковских структурах. Многие банки, учитывая объемы лизинговых операций, создали отдельные структуры, где банк выступает кредитором лизинговой сделки, а вопросы ее организации и оформление договоров берет на себя лизинговая компания

В этом случае к преимуществам перед другими организационными формами относятся: более низкая лизинговая ставка, управление рисками, контроль финансового состояния лизингополучателя, консультации работников банка по вопросам лизинговой деятельности.

Вместе с тем на рынке лизинговых структур в последние годы было создано много лизинговых фирм, учрежденных физическими и юридическими лицами. Они ведут многопрофильную лизинговую деятельность, могут представлять интересы как одного производителя, так и производителей отдельных отраслей. Однако, все они сталкиваются с проблемой привлечения

финансовых ресурсов, поскольку банки имеют норматив ресурсов на одного ссудозаемщика.

Учитывая международный опыт, в республике следует создать лизинговый холдинг, которому будет легче выдерживать конкуренцию на внутреннем и внешнем рынках, а также привлекать ресурсы на более выгодных условиях. Появляются возможности расширения масштабов коммерческих операций, создания централизованных финансовых ресурсов, снижения налоговых потерь и накладных расходов, что ведет к развитию инвестиционных программ, как за счет внутрифирменного финансирования, так и за счет привлечения заемных средств под гарантии холдинга.

Основные принципы организации холдинга:

- объединение предприятий, в результате которого образуется новая компания;
- объединение пакетов акций компаний;
- поглощение (одна компания полностью подчиняет себе другие);
- выделение зависимых фирм в структуре компании.

Стратегия объединения лизинговых фирм или горизонтальная интеграция применяются, как правило, для увеличения объема лизинговых сделок в данном секторе рынка, и участвуют в данной операции компании, имеющие сходные позиции на рынке. Второй вариант объединения пакетов акций имеет свои преимущества в ситуации, когда участниками холдинга являются стороны, занимающиеся разными видами деятельности и принимающие непосредственное участие в лизинговой сделке. Такая организация сделок позволяет минимизировать время на осуществление операций, экономит совокупные затраты, способствует реализации крупномасштабных операций. Реализация стратегии поглощения компании требует наличие значительных ресурсов для выкупа других фирм, также существует проблема оценки реальной рыночной стоимости фирмы, поэтому в сфере лизинговых отношений наиболее перспективно выделение зависимых компаний в структуре существующей организации. Данное выделение должно происходить по территориальному принципу или по принципу специализации зависимых компаний по конкретному объекту лизинга. Приемлем вариант формирования финансово-промышленной группы с участием предпри-

ятий-производителей, банков, страховой и лизинговой компаний.

В зависимости от целей лизинговой компании можно предложить несколько маркетинговых стратегий построения лизинговых холдингов.

1.. Региональная стратегия, предполагающая распространение сети филиалов лизинговой компании, в результате охвата большого количества регионов. В качестве региона могут быть выбраны районы, отдельные города, наиболее благоприятные для развития лизинговой деятельности. Филиалы могут быть зарегистрированы в свободных экономических зонах с целью использования налоговых, таможенных и иных преимуществ. Также они могут концентрироваться в местах скопления капитала, промышленных предприятий, потенциальных лизингополучателей.

Как правило, к подобной региональной структуре прибегают поставщики, которые учреждают компанию для продвижения на рынок того или иного вида продукции. По такому принципу могут организовываться компьютерные, автомобильные холдинги как представительства фирм.

2. Стратегия разделения по объектам лизинга. Каждый объект лизинга имеет свои специфические особенности при заключении лизингового контракта (специфика бухгалтерского учета, необходимость регистрации и сервисного обслуживания). Совершенствуя продажу лизинговых услуг по конкретному виду продукции, лизинговая компания минимизирует потери и возможные риски по лизинговым операциям, сокращает время, необходимое для организации сделок.

3. Стратегия концентрации капиталов используется с целью привлечения как можно большего количества финансовых ресурсов для осуществления лизинговых операций. В подобных структурах участвует большое количество банков, страховых и финансовых компаний. Лизинговая компания формирует специальный лизинговый и страховой фонды накопления.

4. Стратегия концентрации банковского и промышленного капиталов направлена на создание финансово-промышленной группы (ФПГ). Данная стратегия подразумевает участие предприятий производителей в организации лизингового бизнеса. К преимуществам такой стратегии можно отнести минимизацию

рисков по лизинговым операциям, потому что деятельность промышленных предприятий группы подконтрольна холдингу. Кроме того, можно привлечь дополнительные источники финансирования для проведения лизинговых операции ими могут быть как внутренние средства ФПГ, так и заемные, предоставляемые под гарантии членов группы.

ФПГ должны создаваться и с целью устранения конкуренции со стороны иностранных лизингодателей, которые сегодня могут предложить лизингополучателям более выгодные условия лизинговых операций. При этом могут привлекаться ресурсы зарубежных инвесторов.

5. Стратегия сетевого маркетинга, предполагающая многоуровневую структуру управления.

В соответствии с конкретными условиями рассматриваемые формы управления лизинговой деятельностью существуют во времени и пространстве одновременно, образуя различные комбинации к конкретному виду лизинга грузовых автомобилей.

Новые сферы деятельности лизинговых компаний, несомненно, усложняют организационную структуру. Проявляется общий принцип — организационная структура перестраивается с учетом потребностей рынка, обеспечивая прогресс в лизинговом предпринимательстве. Таким образом, холдинговые структуры лизинга автомобилей имеют сложную организацию, но время и средства, затраченные на первоначальном этапе становления компании, в будущем позволяют экономить время и средства на осуществление лизинговых сделок.

## Основные функциональные факторы грузового транспортного рынка

Емил Б. Железов

Высшее транспортное училище им. Тодора Каблешкова  
София, Болгария

Роль грузового транспорта с точки зрения воспроизводственного процесса уникальна и это определяет его специфическое место в экономической системе. Он является элементом сфер производства, распределения и потребления, рассматриваемые как самостоятельные системы, но в тоже время является носителем и элементом связей взаимной зависимости между ними. С одной стороны его продукция переходит через три сферы транспортного воспроизводственного процесса (производство, распределение и потребление), а с другой стороны - он обеспечивает воспроизводственный процесс в других материальных отраслях. Вот почему надо анализировать грузовой транспорт как два относительно - самостоятельные условные измерения - "транспорт - продукт" и "транспорт - функция". Каждое из этих измерений связано с действием различных факторов, влияющих на транспортный рынок, чья специфика определяется особенностями транспортной продукции и местом, которое занимает транспорт в воспроизводственном процессе. Характерные для первого измерения - факторы, связанные с производственным процессом в самом транспорте - технология, инфраструктура, эксплуатация, подвижный состав и др. Второе измерение - характеризуется теми функциями, которые грузовой транспорт выполняет по отношению к другим отраслям (обслуживает материальное производство, сферу распределения, конечное и производственное потребление и связи между ними). Грузовые перевозки в прямой зависимости одновременно с производством, распределением и потреблением. Вот почему промышленное производство, сельское хозяйство, внутренний и международный товарообмен можем рассматривать как основные функциональные (связанные с функциональным измерением грузового транспорта) факторы. Это определяет мультипликационное отражение процессам этих сфер на спрос транспортной продукции.

Выводы для силы и направления воздействия этих факторов на объем перевозимых грузов и на транспортную продукцию в Болгарии (произведенные тоннокилометры) можно сделать при помощи представленных в таблице 1 корреляционных коэффициентов ( $R$ ). Влияние на факторы, вне исследований, можно установить по коэффициентам детерминации ( $Kdet = R^2$ ).

В целом для транспорта, самое большое влияние на объем грузов оказывает сельское хозяйство, а на транспортную продукцию - внешняя торговля. Сравнительно большой коэффициент детерминации при некоторых зависимостях доказывает наличие возможностей вступления новых рыночных сегментов, через введения новых транспортных продуктов, которые должны соответствовать структуре поиска. Для железнодорожного транспорта имеют значение промышленное производство, торговля (внешняя и внутренняя) и сельскохозяйственная продукция, так как при них кроме более большой корреляционной зависимости, есть и более большое покрытие факторов, обуславливающих их изменение. Около 32-ух % и соответственно 30-и % от факторов, влияющих на внешнюю торговлю и сельское хозяйство, ведут к переменам в транспортной продукции в тоннокилометрах. Изменения во внешнеторговом товарообмене оказывают значительное влияние на транспортную продукцию, которое вероятно обуславливается увеличением среднего расстояния перевозок. Изменения внутреннего рынка оказывают слабое положительное влияние, которое и есть результат разностороннего действия двух факторов - объем грузов и среднее перевозное расстояние. Более сильное влияние промышленного производства на железнодорожный транспорт, по сравнению с транспортом в целом, может объясниться его структурой. Различия в силе воздействия рассматриваемых факторов на объем грузов и продукцию в тоннокилометрах тоже могут объясниться структурным влиянием.

Агрегатный показатель для состояния экономики страны, в котором отражены основные факторы, влияющие на спрос транспортной продукции - это Брутальный Внутренний Продукт (БВП).

Из рисунка 1 видно, что кривая линия, описанная индексами перевозимых товаров подобна кривой линии изменений БВП. Она чуть перемещается вправо и вниз. Перемещение направо

можно объяснить с известным перемещением во времени, а вниз - объясняется факторами, влияющими на транспортный рынок, но неотраженным в БВП. Большая часть этих факторов имеют вероятностный характер по отношению к зависимости между БВП и спросом транспортного рынка. Кривая линия индексов транспортной продукции в тоннокилометрах выше кривой БВП, что показывает действие структурных факторов в положительном направлении, которые не отражены в БВП.

Сила зависимости между БВП и спросом транспортной продукции подтверждает в значительной степени видимую связь между ними. Коэффициент корреляции -  $R = 0,441$ . Около 19 % ( $Kdet = 0,194$ ) факторов, влияющих на спрос транспортной продукции, это факторы, которые определяют и изменения БВП. Эти выводы дают основание считать, что БВП является достоверным показателем изменения спроса транспортного рынка и может использоваться с целями прогнозирования, так как факторы, влияющие на БВП, дают отражение на спрос транспортной продукции с перемещением во времени

Основные функциональные факторы оказывают значительное влияние на транспортную продукцию через изменения в структуре грузов, изменения в объеме грузов по видам, изменения в среднем расстоянии перевозок по видам грузов и видам транспорта. Зависимость транспортной продукции от объема перевезенных товаров и среднее расстояние перевозки дает возможность исследовать влияние этих факторов на распределение транспортного рынка. Оба факторы отражают общий спрос рынка (по количеству и структуре). Влияние объема грузов и среднее перевозное расстояние части рынка каждого вида транспорта может определиться при помощи индексного факторного анализа, используя метод М.А. Каца [3, С. 114] для разложения прироста по факторам.

Результаты анализа, сделанного по статистическим данным для транспорта в Болгарии (таблица 2) показывают, что в 2000 году наблюдалось увеличение рыночной части морского транспорта по сравнению с базовыми годами, но с уменьшающимися темпами. К этому увеличению привело изменение обоих факторов в положительном направлении, за исключением анализа при базовых 1998-1999 гг., когда уменьшение среднего расстояния перевозок привело к умень-

шению рыночной части.

Рыночная часть автомобильного транспорта в 2000 году уменьшена по сравнению с базовыми годами. За последние три периода увеличение среднего расстояния перевозок уменьшило утрату рыночной части от сокращения объема перевозок. Увеличение есть по сравнению с 1995, 1996 и 1997 годами. Для этих периодов в положительном направлении подействовало в большей степени увеличение среднего расстояния перевозок.

Железнодорожный транспорт имеет слабое увеличение в части рынка только по сравнению с 1999 годом, что связано с сохранением среднего расстояния перевозок и слабым увеличением объема товаров. По сравнению с остальными базовыми годами, часть рынка в 2000 году меньше, в отрицательном направлении действовали оба фактора, но более сильное влияние уменьшения объема грузов.

Эти изменения определяют и перераспределение транспортного рынка. Очевидна тенденция к увеличению части рынка морского транспорта, из-за увеличения как объема грузов, так и среднего расстояния перевозок.

Охват, силу и направление действия рассматриваемых основных функциональных факторов, обуславливают некоторые существенные особенности грузового транспортного рынка, а именно:

- Сильное влияние факторов, связанных с производством, потреблением и распределением в других отраслях материального производства. Равновесие между спросом и предложением всех товарных рынков определяет спрос транспортной продукции и регулирует воспроизводственный процесс в грузовом транспорте, как на уровне отрасли, так и на фирменном уровне. Взаимная обусловленность между другими товарными рынками выражена значительно слабее, как по силе, так и по охвату.

- Транспортная продукция характеризуется в значительной степени через структуру перевозимых грузов. Вид грузов, их транспортная характеристика и структура являются определяющими для количественных и качественных параметров перевозок.

- Общий спрос рынка транспортной продукции (по количеству, структуре и качеству) определяется 8 основными

продуктовыми потоками (производство-производственное потребление, производство - конечное потребление, производство – экспорт, импорт - производственное потребление, импорт - конечное потребление, импорт – экспорт, продуктовые потоки внутри в сфере распределения, продуктовые потоки вне территории страны).

Коэффициенты корреляции и детерминации								
Независимые переменные Факторы	Весь транспорт				Железнодорожный транспорт			
	Зависимые переменные							
	Грузы		Продукция		Грузы		Продукция	
	R	K det	R	K det	R	K det	R	K det
БВП	0,729	0,531	0,441	0,194	0,825	0,681	0,832	0,692
Промышленность	0,744	0,554	0,509	0,260	0,950	0,902	0,947	0,896
Сельское хозяйство	0,802	0,644	0,319	0,102	0,859	0,738	0,866	0,750
Растениеводство	0,781	0,610	0,237	0,056	0,784	0,614	0,802	0,644
Животноводство	0,792	0,627	0,425	0,181	0,925	0,856	0,915	0,837
Внешняя торговля	0,476	0,226	0,737	0,543	0,882	0,778	0,853	0,728
Импорт	0,455	0,207	0,733	0,537	0,880	0,774	0,850	0,723
Экспорт	0,498	0,248	0,737	0,543	0,887	0,787	0,861	0,741
Внутренняя торговля	0,537	0,289	0,506	0,257	0,936	0,875	0,919	0,845

Таблица 1

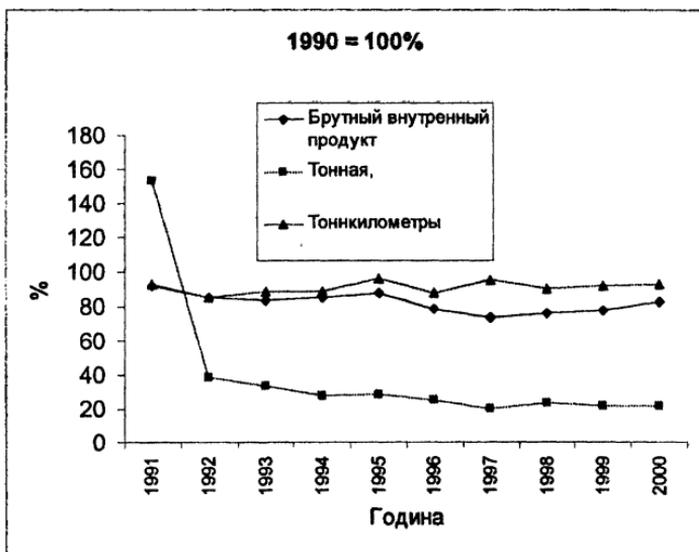


Рис. 1. Влияние объема грузов и среднего расстояние перевозок на транспортную продукцию и транспортный рынок

Таблица 2

Транспорт	Базовый год	Отчетный год	Изменение продукции (%) под влиянием			Часть рынка (%)		Изменение части рынка (%) под влиянием			Упругость части рынка
			объем грузов	среднее расстояние перевозки	оба фактора	Базовый год	Отчетный год	объем грузов	среднее расстояние перевозки	оба фактора	
Автомобильный	1980	2000	30,82	-89,68	-58,86	11,17	4,93	3,26	-9,50	-6,23	0,11
	1985	2000	32,13	-91,97	-59,84	12,13	4,93	3,86	11,06	-7,19	0,12

	1990	2000	33,23	-91,02	-57,78	11,03	4,93	3,51	-9,60	-6,10	0,11
	1995	2000	-17,37	129,12	111,75	2,28	4,93	-0,41	3,07	2,66	0,02
	1996	2000	-8,66	213,97	205,30	1,72	4,93	-0,14	3,34	3,21	0,02
	1997	2000	133,04	221,57	354,61	1,07	4,93	1,45	2,42	3,87	0,01
	1998	2000	-14,87	-21,26	-36,14	8,02	4,93	-1,27	-1,82	-3,09	0,09
	1999	2000	-8,27	-3,43	-11,69	5,65	4,93	-0,51	-0,21	-0,71	0,06
Железнодорожный	1980	2000	-89,56	20,89	-68,68	19,59	6,59	-16,96	3,95	-13,00	0,19
	1985	2000	-94,67	25,15	-69,52	21,34	6,59	-20,10	5,34	-14,76	0,21
	1990	2000	-82,59	21,78	-60,81	15,87	6,59	-12,61	3,33	-9,28	0,15
	1995	2000	-36,18	0,61	-35,56	9,99	6,59	-3,46	0,06	-3,40	0,10
	1996	2000	-31,72	5,09	-26,63	9,58	6,59	-3,56	0,57	-2,99	0,11
	1997	2000	-28,83	3,23	-25,60	8,70	6,59	-2,38	0,27	-2,11	0,08
	1998	2000	-14,72	4,75	-9,97	7,60	6,59	-1,50	0,48	-1,01	0,10
	1999	2000	-0,04	4,60	4,56	6,37	6,59	0,00	0,22	0,22	0,05

Морской	1980	2000	-14,07	33,10	19,03	69,24	88,48	-14,23	33,46	19,24	1,01
	1985	2000	-13,55	44,88	31,33	66,53	88,48	-9,49	31,44	21,95	0,70
	1990	2000	-7,40	21,69	14,28	73,10	88,48	-7,97	23,35	15,38	1,08
	1995	2000	3,21	-4,64	-1,43	87,73	88,48	-1,68	2,43	0,75	-0,52
	1996	2000	8,77	-2,37	6,40	88,70	88,48	-0,30	0,08	-0,22	-0,03
	1997	2000	-5,23	1,58	-3,65	90,23	88,48	-2,51	0,76	-1,75	0,48
	1998	2000	12,52	-3,57	8,95	84,38	88,48	5,74	-1,64	4,11	0,46
	1999	2000	7,02	-5,35	1,67	87,98	88,48	2,09	-1,59	0,50	0,30

### Литература

1. Железов Е.Б. Особенности и основные направления исследования грузового транспортного рынка, Двенадцатая научная конференция с международным участием "Транспорт 2002", ВТУ
2. Аврамов П. Автомобильные фирмы и железнодорожный транспорт- конкуренция и экономические интересы совместной деятельности в рыночных условиях. Научно-практическая конференция "Развитие и реструктурирование транспорта в Болгарии"-1994.
3. Мичев Д. Транспортная статистика, Наука и искусство, София, 1973.
4. Бусыгин, В.П., Анализ и применение математических моделей экономической динамики, Новосибирск, "Наука", 1990.

## Вероятностный подход для принятия решений в управлении

Георгиев Н.Д.

Высшее транспортное училище им. Тодора Каблешкова  
София, Болгария

### 1. Введение и необходимость

Управление безопасностью (как в принципе, так и в области транспорта) - это сложная научно-прикладная материя, изобилующая недостаточно исследованными и разработанными проблемами. Подходы и методы решения этих проблем часто являются объектом серьезных дискуссий, а полученные результаты подвергаются сомнению. Основная причина этого - специфические особенности предлагаемого обществу "продукта" - безопасности, характеризующегося случайным характером процессов. Это обстоятельство заставляет принимать вероятностный подход по отношению к управлению безопасностью, где важным вопросом для принятия решений является вложение финансовых средств.

Настоящая статья предлагает графическую модель процесса принятия решений, рассматривающую различные альтернативы и условия, отличающиеся соответствующими вероятностными (допустимыми) состояниями.

### 2. Сущность и характерные особенности метода

Предложенный в статье подход принятия решений основывается на так называемом методе "дерево решений". Сам термин дерево решений - производное некоторых графических и математических техник анализа (напр., дерево событий). Однако, в отличие от них "дерево решений" содержит не только вероятности достижения данного результата (события), но и соответствующие условные денежные стоимости, характерные для него. Это дает возможность оптимизации (на экономической основе, но с учетом вероятного характера процессов) при выборе альтернативы действия. Подобно другим аналитическим методам "дерево решений" также использует стандартные символы, например:

- квадрат, с помощью которого обозначаются "точки (узлы) решения", где нужно выбирать (принимать решения) между несколькими возможными альтернативами действия. От этих

точек начинаются разветвления (ребра) отдельных вариантов;

- круг, которым обозначают “точки (узлы) возможных вариантов”, которые вне контроля принимающего решения. От этих точек начинаются разветвления для каждого возможного подварианта, характерного соответствующими вероятностями, которые определяют денежную стоимость варианта.

С целью иллюстрации возможностей предлагаемого метода рассмотрим, например, следующую проблему безопасности.

Для данного железнодорожного субъекта (например, перевозчика) относительно управления безопасностью возможны следующие варианты.

**1. Вариант:** Железнодорожный субъект функционирует, при этом все вопросы относительно управления безопасностью (например, сбор и обработка информации аварийности, анализ и контроль безопасности, взаимодействие с регулирующим органом и т.д.) всецело вверены внешней организационной структуре (призванной регулирующим органом анализировать, оценивать и отчитываться перед ним за функционирование данного транспортного субъекта относительно нормативных требований для обеспечения безопасности;

**2. Вариант:** Железнодорожный субъект функционирует при решении проблем безопасности самостоятельно;

**3. Вариант:** Железнодорожный субъект функционирует, когда только некоторые из задач по управлению безопасностью передаются другой (внешней) организации, например: использование софтуера для сбора и обработки информации, предоставление материалов для лицензирования перед регулирующим органом и т.д. Каждый из этих трех вариантов характерен соответствующими расходами по управлению безопасностью, а они со своей стороны, влияют на конечную стоимость прибыли железнодорожного субъекта. Рисунок 1 графично представляет описанные варианты. Уровни безопасности (например, выраженные через соответствующие значения индивидуального риска – смертных случаев за год) определяют объем и вид мер, которые железнодорожный субъект должен предпринять для ее поддержания и улучшения. И поэтому они (уровни) должны учитывать при самостоятельном и частично самостоятельном управлении безопасностью со стороны железнодорожного субъекта –

вариант 2 и 3.

А также на рис. 1 представлены примерные значения вероятности состояния безопасности – на уровне от 1 до 3 (первый уровень определяет самую высокую степень безопасности, требующую минимальных расходов для поддержания и улучшения. Справа на “дереве решений” в каждом варианте наносятся значения прибыли предприятия после учета расходов, связанных с управлением безопасностью (анализ статистического материала, расходы по контролю и лицензированию, проведение мероприятий для уменьшения риска и т.д.)

Процесс анализа “дерева решений” начинается справа и поднимается вверх. В рамках этого процесса соблюдаются следующие два основных правила:

- для каждого “узла вариантов” вычисляется ожидаемая денежная стоимость прибыли, как сумма произведений ожидаемых прибылей и вероятностей для реализации варианта;
- каждой “точке решений” присваивается максимальная денежная стоимость прилежащих “узлов вариантов”. Этим способом в направлении справа налево определяется самый эффективный путь с самой высокой денежной стоимостью прибыли.

В отношении иллюстрированного на рис. 1 примера, самый оптимальный для управления безопасностью – второй вариант с денежной стоимостью  $64\ 000 = 120\ 000 * 0,4 + 40\ 000 * 0,2 + 20\ 000 * 0,4$ .

Это означает, что при соответствующих значениях конечных вероятностей уровня безопасности железнодорожного субъекта лучше всего выстроить собственную систему управления безопасностью.

Попробуем усложнить процесс принятия решения, рассматривая возможности прогнозирования уровней безопасности. В основном возможны два варианта:

**1. Вариант:** использовать услуги внешней организации, чтобы прогнозировать уровень безопасности за рассмотренный период (например, 1 год вперед) и на этом основании рассмотреть различные альтернативы действия;

2. Вариант: не делать прогноза в отношении уровня безопасности.

Очевидно эта новая возможность усложняет процесс принятия решения. Чтобы определить самый эффективный вариант “дерево решений” должно претерпеть некоторые изменения, связанные со степенью надежности прогноза (вероятность осуществления), предложенного данной внешней организацией. На основе статистических данных известно, что при прогнозировании уровня безопасности эта организация дала прогноз выше реального уровня в 80 % случаев (годы), когда практически реализован 1 уровень безопасности, в 60 % случаев при 2 уровне и 40 % при 3 уровне безопасности. Примерные стоимости относительно вероятностей (возможностей) состояния безопасности и прогноз этих уровней показаны в таблице 1.

Условная вероятность для достижения данного уровня безопасности (от 1 до 3) при условии реализации прогноза можно определить по формуле Бейса (1), а сами значения даны в последней (5) колонке таблицы:

$$(1) \\ P(Yp_i / Пp) = \frac{P(Yp_i) \cdot P(Пp / Yp_i)}{\sum_{i=1}^n P(Yp_i) \cdot P(Пp / Yp_i)},$$

где

$P(Yp_i)$  -вероятность состояния  $i$  (уровня) безопасности;

$P(Пp / Yp_i)$  -вероятность прогноза относительно состояния безопасности;

$P(Yp_i) \cdot P(Пp / Yp_i)$  -вероятность реализации прогноза и соответствующий уровень безопасности;

$P(Yp_i / Пp)$  -условная вероятность для достижения данного уровня безопасности при условии подтверждения (реализации) прогноза.

В этом случае “дерево решений” (рис.2) получает больше

разветвлений в соответствии с увеличением вариантов. Самая верхняя часть дерева (без использования прогноза) такая же, как в предыдущем примере, но появляются два новых основных варианта (с использованием прогноза), соответствующие вариантам прогноза над или под реальным уровнем безопасности в рассмотренном будущем периоде (напр, 1 год). Ясно, что денежные стоимости прибыли этих вариантов ниже на 2000 - примерной “цены” прогноза, которую нужно заплатит внешней организации за сделанную услугу.

Внимательный анализ “дерева решений” рис. 2 приводит к основному выводу, что при соответствующих денежных стоимостях и соответствующих вероятностях состояния самый лучший вариант тот, в котором не используется прогноз состояния безопасности, совершенный внешней организацией. Также остается в силе вывод, что эффективнее всего было бы выстраивание системы управления безопасностью, которая очевидно возьмет на себя и задачи по предвидению будущих уровней безопасности. В сущности, для железнодорожного субъекта возможны только две приемливые с точки зрения экономики стратегии:

1. Без использования прогноза состояния безопасности. Железнодорожный субъект функционирует, решая самостоятельно проблемы ее управления, вариант с денежной стоимостью 64000;

2. С использованием прогноза. Железнодорожный субъект решает самостоятельно проблемы управления только, если прогноз показывает уровень безопасности выше истинного (нормального) – денежная стоимость 75000, но при прогнозе ниже нормального уровня должны использоваться услуги другой организации управления безопасностью – денежная стоимость 43000.

Упомянутые примеры дают возможность сделать следующее обобщение относительно основных шагов при анализе с помощью метода “дерево решений”:

1. *Формулирование проблемы: определяются задачи решения и факторы, влияющие на проблему (например, уровень безопасности и др.).*

2. *Моделирование процесса принятия решения: определяется графически структура дерева в соответствии с*

*целостным процессом принятия решения.*

*3. К выстроенной структуре (дерево) прилагаются значения возможностей состояний и соответственные денежные стоимости вариантов.*

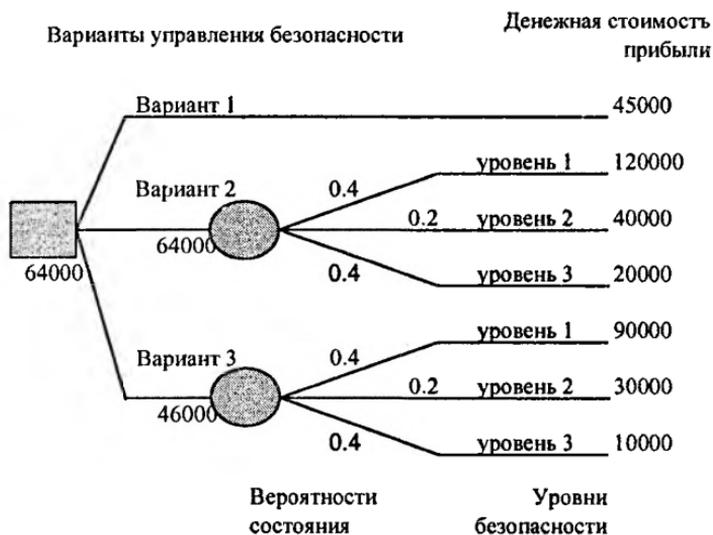
*4. Производится анализ “дерева решений” с рассмотрением различных альтернатив действия, намечаются основные стратегии и определяется оптимальный вариант с максимальной денежной стоимостью.*

### **3. Заключение**

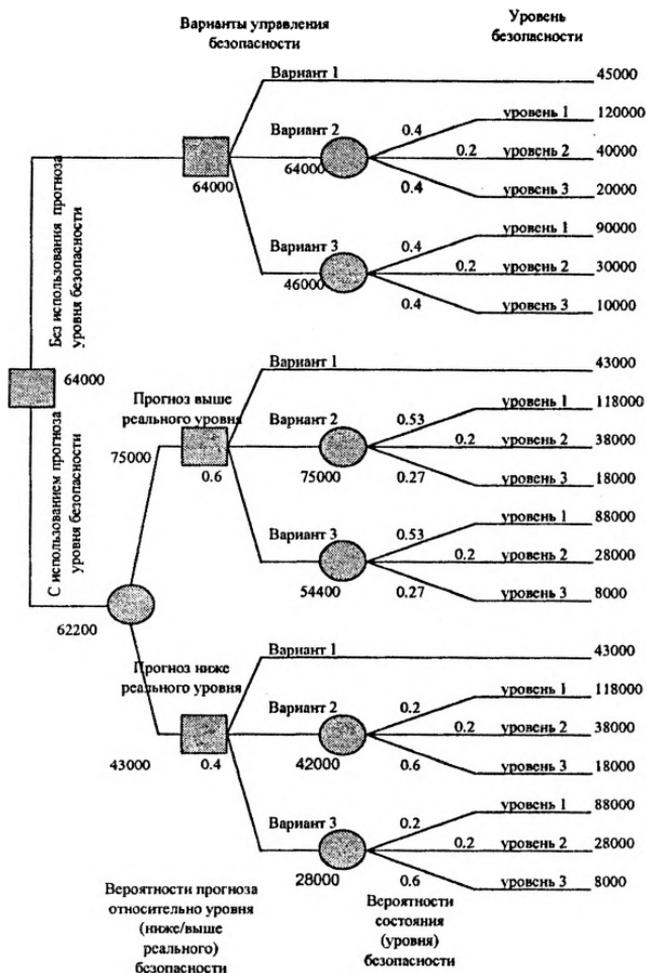
Предлагаемый метод отличается своей простотой и универсальностью. Он дает возможность структурирования процесса принятия решения, давая возможность всеобъемлющего взгляда на основные этапы, влияющие факторы и возможные альтернативы. Это преимущество – возможность использования компьютерной техники при построении и решении сложных по структуре и объему конфигурации дерева. Основной фактор и важный момент при структурировании и решении дерева – вероятности состояний и денежные стоимости отдельных вариантов. Поэтому особенно важно при выборе оптимального варианта – их правильное определение и соответствующее использование при необходимых вычислениях.

Состояние (уровень) безопасности	Вероятность состояния (уровня) безопасности	Вероятность прогноза относительно состояния безопасности	Вероятность реализации прогноза и соответствующий уровень безопасности	Условная вероятность для достижения данного уровня безопасности при условии подтверждения (реализации) прогноза
1	0,4	0,8	0,32	0,53
2	0,2	0,6	0,12	0,2
3	0,4	0,4	0,16	0,27
Прогноз выше реального уровня			0,6	
1	0,4	0,2	0,08	0,2
2	0,2	0,4	0,08	0,2
3	0,4	0,6	0,24	0,6
Прогноз ниже реального уровня			0,4	

Табл. 1



Фиг. 1



Фиг.2

## Литература

1. Cook T., Russell R. *Introduction to Management Science*. Prentice Hall, 1993.
2. McClave J., Benson D. *Statistics for Business and Economics*. PH. Englewood Cliffs, 1994.

**Отчетность при банковской несостоятельности  
(в контексте болгарского банковского законодательства)**

Йосифова Д.В.

Высшее транспортное училище им. Годора Каблешкова  
София, Болгария

Для документирования счетоводных изменений, установление взысканий и реализации активов необходимо и целесообразно, чтобы банковские синдикаты использовали систему рабочих документов (регистры, отчеты, справки и др.), подходящую и удобную для аудита. Начало ведения и весь процесс поддержания рабочих документов следует осуществлять на базе сальдо по счетоводным регистрам банка к дате отнятия лицензии Центральным банком или дате судебного решения по объявлению в несостоятельности.

Одним из подходящих и удачных способов перехода от счетоводства действующего банка к счетоводству банка в несостоятельности является создание *Pro Forma*-отчетности, состоящей из различных *Pro Forma*-регистров. Она должна служить связывающим, передаточным звеном (мостом) для более ясного и прозрачного понимания состояния банка по отдельным активам, пассивам и внебалансовым позициям до и после даты отнятия банковской лицензии (или даты судебного решения об объявлении в несостоятельности). В принципе *Pro Forma* должна быть Меморандумом по “закрытию” банка, находящегося в производстве по несостоятельности (ПН). Через *Pro Forma*-отчетность, с одной стороны, показывается состояние банковских активов и пассивов по балансовой стоимости к дате отнятия лицензии Центральным банком. Они выполняют функцию своеобразных начальных сальдо. А с другой стороны, на их базе, с целью актуализации текущего состояния и отражения необходимых перемен (переброс активов и пассивов на другие институции, переброс в массу несостоятельности /МН/, классифицирование активов на наличные, заложенные и т.д. и их реализация или распределение) из-за объявленной несостоятельности банка, может быть показано установление МН в виде размера и отдельных элементов по видам банковских активов. Могут быть разработаны и предложены различные

формы и наименования по отдельным колонкам примерных Pro Forma-регистров в зависимости от конкретных целей и требований. Но это вопрос индивидуального выбора счетоводной группы и банковских синдиков. Примерный Pro Forma- регистр представлен в следующей таблице №1, охватывающей в одном документе данные как об активах, так и о пассивах, причем последние три колонки заполняются только для активов.

Таблица №1 Примерный Pro Forma- регистр

Описание актива/пассива (пример)	актива/пассива	Начальное сальдо к дате отнятия лицензии	Изменения: уменьшение/увеличение дебита и кредита	Последний баланс после изменения к дате судебного решения	Переброс на другие институции	Переброс в массу несостоятельности (МН)	Начальный баланс МН (после сделанной оценки)	Оценка активов	Ожидаемый убыток	Заложенные активы
Краткосрочные займы предприятий										
Срочные депозиты граждан										

Для обеспечения и гарантирования точности и прозрачности работы синдиков и счетоводной группы необходимо создать подходящие и удобные/наглядные для аудита рабочие документы. Назовем их “Выравнивающими таблицами”. В них должна содержаться информация, доказывающая и показывающая счетоводное состояние при “закрытии” банка к дате отнятия лицензии или дате судебного решения; изменения, перебросы и начальные сальдо включенных в МН отчетных объектов. Лицевая сторона этих таблиц должна отражать финансовую информацию из Таблицы №1 или соответствующий выбранный сходный вариант. Необходимо, чтобы подобные “выравнивания” были сделаны для каждого счетоводного счета главной книги. На обратной стороне “Выравнивающих таблиц” должны содержаться дополнительные документы, доказывающие сальдо к дате “закрытия” банка; перебросы; перемены и начальные сальдо в счетоводных регистрах МН банка. Изменения (увеличение или уменьшение по отдельным активам и пассивам) должны быть отражены и документированы с помощью использования подобного типа стандартизированного отчета по “выравниванию” каждого счета в главной книге, показывающего соответствующие дебит/кредит перемены.

Основным элементом отчетности при банковской несостоятельности является Дневник синдика. Синдик обязан предоставлять в Фонд гарантирования вкладов в банки (ФГВБ) ежемесячно (а при требовании - немедленно) отчеты и доклады, содержание которых определяется Советом правления ФГВБ. В любое время Фонд может проверить достоверность дневника, отчетов и докладов, потребовать от синдика дополнительную счетоводную и другую документацию через сбор информации и проверки на месте. Кроме ежемесячного бюджета, который одобряется ФГВБ, промежуточные ежемесячные отчеты о деятельности синдика должны давать информацию о денежных поступлениях и платежах, о все еще непоплаченных активах, и о все еще непогашенных пассивах банка в несостоятельности.

Рамковые требования, касающиеся отчетности банковского синдика, регламентируют порядок, форму и условия для [1]:

1. Ведения дневника синдика.

2. Составления и предоставления Фонду отчетов и докладов, предусмотренных Законом о банковской несостоятельности.
3. Предоставления для одобрения председателем Совета правления Фонда бюджета относительно расходов по несостоятельности.
4. Предоставления требований для разрешения возникших внеочередных расходов при производстве по несостоятельности.

По отношению к 1) - Дневника синдика

Синдик банка в несостоятельности в конце каждого рабочего дня записывает в пронумерованный и прошнурованный дневник любое сделанное им действие, связанное с управлением, сохранением и оплачиванием прав МН и с распределением собранных средств. В этот дневник обязательно записываются по крайней мере следующие действия синдика:

- принятые им решения и заключенные сделки с предметом прав МН;
- проведенные встречи с должниками или кредиторами банка в несостоятельности, в результате которых сделаны и получены предложения, связанные с правами МН;
- проведенные переговоры в связи с заключением сделок с предметом прав МН;
- действия, связанные с оплачиванием вещей или прав МН, а именно: осуществление описи и оценки, сообщение о публичном торге, проведение публичного торга или другого способа оплачивания, издание постановления о возложении, поступление жалобы против действия по оплачиванию;
- действия, связанные со сбором взысканий банка; предъявление исков или другие действия перед органами судебной власти, связанные с правами МН;
- платежи кредиторам за счет полученных взысканий в производстве по несостоятельности;
- выполнение внеочередных расходов в производстве по несостоятельности;
- возникшие разногласия по определенным вопросам между лицами, назначенными для синдика, и другие действия, связанные с управлением, сохранением и оплачиванием МН.

Записи в дневнике должны давать ясную, достаточную и достоверную информацию, связанную с отмеченными действиями синдика.

По отношению к 2) - Виды докладов и отчетов

Синдик банка в несостоятельности однократно изготавливает и предоставляет в ФГВБ следующие документы:

# Первоначальный ликвидационный баланс, изготовленный на основе проделанной инвентаризации и оценки – в срок до 14 дней, считая с даты окончания инвентаризации активов и пассивов банка и оценки вещей и имущественных прав МН [2];

# Программу оплачивания имущества, включенного в МН /План управления и оплачивания активов/ - также в 14-дневный срок, считая с даты окончания инвентаризации.

В этой программе следует предвидеть начальную дату процедур по оплачиванию и крайний срок, до которого должны быть оплачены все имущественные права МН. Со счетоводной точки зрения является важным, чтобы в программе были описаны виды и балансовая стоимость активов, которые будут оплачиваться по месяцам, способ оплачивания, начальная дата и прогнозируемая сумма, которая будет получена в соответствующий месяц в результате реализации актива. При определении стратегии наилучшей реализации активов синдик должен иметь в виду неттную настоящую стоимость. Он должен работать, используя стандартные нормы дисконтирования, которые применяются к различным видам активов в МН. Стандартная норма дисконтирования начнется с основного процента с увеличениями на базе кредитного риска, стоимости обеспечения, истории предыдущих платежей и предусматриваемой временной границей, необходимой для окончания реструктурирования или оплачивания обеспечения. Синдик также должен определить фиксированные проценты для своих оперативных расходов, которые будут добавлены к основному проценту.

На базе созданных и поддерживаемых счетоводных регистров, идентифицирующих каждый определенный актив, выравненные с балансом МН и с Программой оплачивания имущества /Планом управления и оплачивания активов, ФГВБ может потребовать План и Отчет деятельности синдика, представляющие стратегию оплачивания каждого вида актива. В Плане управления и оплачивания активов определяется, каким из активов бу-

дет дан больший приоритет при продаже, а при каких более подходит стратегия задержки. Целью последней является получение максимальной суммы и она охватывает кредиты, которые переструктурированы недавно и нуждаются во времени, в течение которого будет прослежено их представление и повышена их стоимость. Другим видом активов, подходящих для задержки, являются краткосрочные кредиты с высокой вероятностью погашения; капиталовые участия в стабильных предприятия и др. В Плате управления и оплачивания активов сопоставляются нетные настоящие стоимости трех альтернативных подходов по реализации (оплачиванию): 1. Переструктурирование/задержка. 2. Продажа активов. 3. Конвертирование обеспечений. План управления и оплачивания также должен включать прогноз необходимого времени и расходов для управления и оплачивания активов в МН. Отчет об оплачивании активов при их физической реализации должен содержать отдельные колонки, включающие настоящую справедливую стоимость (по балансовой стоимости после проданной оценки); действительные поступления по отдельным оплаченным активам и, соответственно, убыток или прибыль от реализации. Благодаря ему у ФГВБ появится инструмент для оценки деятельности синдика в отношении предварительно фиксированных целей.

ФГВБ одобряет или отказывает одобрить Программу оплачивания приказом председателя Совета правления. В случае, если Фонд не одобрит программу по оплачиванию, председатель Совета правления издает письменные указания относительно необходимых изменений и дополнений. Синдик должен выполнить эти указания и в 10-дневный срок после получения указаний внести на рассмотрение новую программу. После одобрения Программа оплачивания может быть изменена или дополнена синдиком только после предварительного письменного разрешения председателя Совета правления ФГВБ.

Синдик должен в 14-дневный срок после одобрения Программы оплачивания произвести опись всех вещей и имущественных прав (с их соответствующей рыночной оценкой), предусмотренных в ней в первом месяце, считая с начальной даты стартирования процедуры по оплачиванию. В 10-дневный срок перед началом каждого следующего месяца синдик осуществля-

ет опись вещей и прав, которые, согласно программе, предусмотрены для оплачивания в соответствующем месяце.

# Синдик банка в несостоятельности должен изготовить и предоставить в ФГВБ следующие месячные доклады, отчеты и справки:

- отчет о доходах и расходах; месячный ликвидационный баланс; отчет о денежных потоках; справку о ценных бумагах; справку о кредитном портфеле; справку о заключенных договорах; справку о служащих банка в несостоятельности; справку об офисах банка в несостоятельности; справку об оплаченном в данном месяце имуществе из МН и о собранных взысканиях; отчет об исполнении ежемесячного бюджета относительно расходов по несостоятельности и Программы оплачивания.

Председатель Совета правления ФГВБ может потребовать предоставление объяснительного доклада к определенному отчету или докладу синдика.

По отношению к 3) - Ежемесячный бюджет синдика

Синдик банка в несостоятельности ежемесячно предоставляет в ФГВБ для одобрения проект бюджета относительно расходов по несостоятельности (кроме обычных текущих расходов, связанных с производством по несостоятельности, сюда входят и расходы, связанные с наймом адвокатов, экспертов и консультантов, оценщиков и др.).

Суммы в бюджете, касающиеся расходов по несостоятельности, могут быть истрачены только для целей, предусмотренных в бюджете, и только в рамках месяца, к которому относится бюджет. Бюджет составляется и предоставляется для одобрения председателю Совета правления ФГВБ не позднее 14 дней перед началом месяца, к которому он относится, а в начале производства несостоятельности – не позднее 14 дней после вступления синдика в должность. Бюджет подлежит исполнению после его одобрения председателем Совета правления ФГВБ.

Если председатель не одобрит предоставленный бюджет, он дает синдик указания об изменениях, необходимых для одобрения бюджета. Синдик должен выполнить эти указания и предоставить новый бюджет в ФТВВ в 7-дневный срок после получения указаний. Если в соответствующем месяце возникнет необходимость во внеочередных, не предусмотренных бюджетом расходов, синдик имеет право осуществить их после получения

разрешения председателя Совета правления ФГВБ. Когда такие внеочередные расходы являются неотложными, учитывая сохранение МН, и предварительно невозможно получить разрешение на них, синдик все-таки может их осуществить, потребовав их одобрение позже. (Сумма, с которой синдик превысил без разрешения одобренный бюджет, как и расходы, осуществленные не по предназначению, определенному бюджетом, считается ущербом, причиненным синдиком по отношению к МН, до доказательства обратного).

По отношению к 4) - Требование чрезвычайных расходов

Для его использования предусмотрены две возможности – в случае, если синдик установил необходимость в чрезвычайных расходах и располагает временем для получения разрешения со стороны ФГВБ, и в случае, если они необходимы, а у синдика нет времени и возможности предварительно потребовать их одобрения.

Чрезвычайными расходами считаются:

- непредусмотренные и невключенные в бюджет расходы
- расходы, которые вынуждают использование денежных средств из МН не по предназначению, предусмотренным в соответствии с одобренным бюджетом

При необходимости осуществления чрезвычайных, непредусмотренных бюджетом расходов, синдик должен отправить требование для разрешения на эти расходы председателю Совета правления ФГВБ до конца рабочего дня, предыдущему, когда он узнал о необходимости таковых. При уже осуществленных безотлагательных чрезвычайных расходах синдик должен выразить требование для их одобрения, адресованное председателю ФГВБ до конца рабочего дня, следующего дня, когда они осуществлены.

В требовании указываются:

- причины, которые вынуждают или вынудили осуществление чрезвычайных расходов;
- причины, которые помешали предусмотрению этих расходов к моменту предоставления для одобрения проекта ежемессячного бюджета;
- в случаях уже осуществленных неотложных расходов – причины и обстоятельства, из-за которых синдик не смог потребовать предварительного разрешения.

Этот элемент отчетности (наряду с ежемесячным бюджетом) является важным с точки зрения осуществления строгого контроля со стороны ФГВБ в отношении деятельности синдика и редуцирования возможностей злоупотреблений и растранижения активов. Параллельно с этим через такой элемент синдик получает возможность реагировать в предварительно непредусмотренных ситуациях или вновь возникших обстоятельствах.

Для составления рассмотренной документации и поддержания целостной отчетности синдика, как и для изготовления частичного или окончательного расчета для определения наличных сумм между кредиторами с принятыми платежами согласно очередностям, привилегиям и обеспечениям, в качестве базы используется счетоводная система банка в несостоятельности. Переструктурирование и реорганизация счетоводства должны быть подчинены изготовлению ликвидационного баланса и, соответственно, отчетов синдика – промежуточных и окончательного. Для выполнения целей по эффективности и прозрачности производства по несостоятельности как и справедливого удовлетворения вкладчиков и других кредиторов, необходимо поддержание достаточной, достоверной и детализированной счетоводной информации. Она должна быть построена на синтетическом и аналитическом уровнях таким образом, который позволяет осуществление мониторинга и контроля над оплачиванием и управлением банковских активов, включенных в МН. Все инвентаризированные и оцененные по справедливой стоимости активы и пассивы должны быть переклассифицированы на базе новых аналитических признаков, адекватных текущему МН. Для синдика это является одним из ключевых контрольных механизмов для наблюдения процесса управления и пополнения МН и оплачивания имущества банка.

Необходимо, чтобы взыскания были выстроены по степени удовлетворения, а в рамках этого порядка – по размеру взысканий. Следовательно, со счетоводной точки зрения банковские пассивы должны отчитываться на базе аналитического признака очередности и обеспеченности.

Счетоводное рассмотрение банковских активов необходимо согласовывать, соотносить и увязывать опять-таки с признаком очередности и обеспеченности кредиторов, соответственно: активы, предназначенные для обеспеченных кредиторов; активы,

заложенные для частично обеспеченных кредиторов; активы для необеспеченных кредиторов и свободные активы, как и поддержка информации относительно установленных по важности и ограничений по соответствующим активам. В банке в несостоятельности должно быть сделано целостное реструктурирование счетоводства – переквалифичирование пассивов (и подчиненное, и связанное с ними активами) согласно их месту и приоритетам при осуществлении распределения оплаченного имущества.

Счетоводная система должна быть организована таким образом, чтобы могла обеспечивать изготовление отчета деятельности синдика перед ФГВБ, обеспечивать также и поддержку отчетов и регистров, которые показывают связь между Программой оплачивания, денежными поступлениями, ежемесячным бюджетом и счетоводным балансом.

### **Литература**

1. Наредба № 32 на БНБ «За отчетността и отчетност на синдика на банка в несъстоятелност».
2. Закон за банкова несъстоятелност.

## **Кэптивы как инструмент управления рисками в системе ТНК-ФПГ**

**Краснова И.И.**

**Белорусский национальный технический университет**

Анализ основных тенденций мировой социально-экономической динамики в конце 20-го века и состояния структуры национальной экономики свидетельствует о необходимости социально-экономической трансформации в направлении открывания экономики и формирования элементов индустриальной системы в рамках глобализации мировой рыночной системы. Необходимо искать стратегию, позволяющие «вписаться» в формирующуюся модель мировой экономики и, прежде всего, в ее каркас.

Императивом современного экономического развития являются расширение компаний за счет создания национальных границ, формирования единого мирового рынка.

Мировые тенденции показывают, что в мире нарастают процессы глобализации, идущие через регионализацию. Формируется индустриальный каркас мировой экономики. Уже сегодня ТНК контролируют примерно 1/3 частного сектора в мире и почти 95% мировых патентов и лицензий. Все процессы осуществляются при мощной поддержке государства в промышленно развитых странах. В данном случае центр тяжести в госпредпринимательстве и государственном регулировании смещается, одной стороны, на повышение конкурентоспособности продукции отечественных предприятий и вывод их на мировой рынок. С другой – на расширение сфер политического влияния для усиления «своих» ТНК и их экономического влияния.

Следует отметить, что до 80-90 г.г. практически существовавшие параллельно внутренние структуры ТНК и ТНБ в последнее время все более сливались друг с другом, превращаясь в международные финансовые комплексы или ФПГ. Это привело к тому, что ТНБ из учреждений, обслуживающих внешнюю торговлю и ПИИ, превратились в центр комплексных финансовых услуг за счет расширения операционной стратегии на мировом рынке.

Сегодня государство должно сконцентрировать свое внимание на двух-трех приоритетных направлениях, позволяющих либо создать новые ТНК-ФПГ, либо «встроиться» недостающими звеньями со своими разработками, ноу-хау, квалифицированными кадрами в действующие в Европе, Азии.

В разрешении существующего структурного и инвестиционного кризисов следует использовать интеграцию с Россией на базе ФПГ, прежде всего, в приоритетных отраслях.

Эффективным инструментом управления финансовыми и экономическими рисками, возникающими при осуществлении деятельности в системе ТНК-ФПГ, является такая форма организации фонда самострахования как кэптивные страховые компании.

Кэптивы являются одной из перспективных форм организации страхования в рыночной экономике, т.к. представляют собой акционерные страховые компании, обслуживающие корпоративные интересы учредителей. Основная особенность кэптивов состоит в том, что здесь работает большой страховой сегмент, а страховые фонды и резервы связаны с собственными

банками и пенсионными фондами, входящими в систему ФПГ. Поскольку риски, принимаемые на страхование в этом случае, являются значительными, необходимо наличие достоверного и эффективного механизма управления ими.

В настоящее время принятие решения в страховании не обходится без предварительных вариантных расчетов, их сопоставления, анализа и оценки эффективности. Однако, как показывает практика, глубина их недостаточна, а при проведении расчетов и сбора соответствующей информации слабо используются новейшие методы, что приводит к ощутимым потерям в страховой деятельности. Уже в ближайшей перспективе в страховании должны получить дальнейшее развитие использование экономико-математических методов, моделей, а также процессы, связанные с накоплением, обобщением и обработкой информационно-математических данных. Объективная потребность этого обусловлена тем, что:

Во-первых, с развитием страховой деятельности, как у страхователя, так и страховщика повышаются требования к качеству принимаемых решений, и здесь важную роль призваны сыграть экономико-математические методы и модели, применение которых позволит использовать значительно большее количество информации, проводить альтернативные, многовариантные расчеты, получая тем самым более устойчивые оценки. Во-вторых, в связи с расширением масштабов страхования, увеличением числа рисков и усилением конкуренции появляется необходимость в проведении расчетов на ЭВМ с использованием пакетов прикладных программ, базирующихся на новейших методах экономико-математического моделирования. В третьих, особо важное значение приобретают исследования, направленные на выявление количественных закономерностей и оценку взаимосвязи экономических и психологических процессов с помощью математических методов и моделей. Такая необходимость обусловлена тем обстоятельством, что в области страхования невозможно в каждый момент получить точные сведения, поскольку в целом система страхования является вероятностной. Как известно, с развитием общества в несравненно больших масштабах увеличивается поток информации, изменяются количественные и качественные характеристики. Вместе с тем возрастают и абсолютные размеры потерь из-за недоучета ин-

формации об изменяющихся ситуациях и новых тенденциях развития. Эту проблему можно успешно решить, используя информационно-поисковые системы на базе ЭВМ и математических методов. Из возможного многообразия различных информационных систем предлагается разработать информационно-поисковую систему, которая имеет практическое значение при управлении риском как страхователем, так и самой страховой компанией. Эта информационная система призвана осуществлять функции поиска информации, ее сбора и обработки, хранения и передачи потребителям. В структуре базы данных этой системы должна храниться касающаяся страховой деятельности документографическая и фактографическая информация текущего и ретроспективного характера. Блок обработки данных предназначен для обобщения и анализа информации в соответствии с определенным алгоритмом, позволяющим выделить факторы, характеризующие то или иное явление, и установить наиболее существенные связи между ними.

# **Разработка месторождений полезных ископаемых**

## Сравнение систем подземной разработки полезных ископаемых методом игр

Богатов Б.А., Богатов И.Б.

Белорусский национальный технический университет

При разработке калийных месторождений подземным способом используют в основном две системы [1,2]. Первая из них камерно-столбовая система (рис. 1).

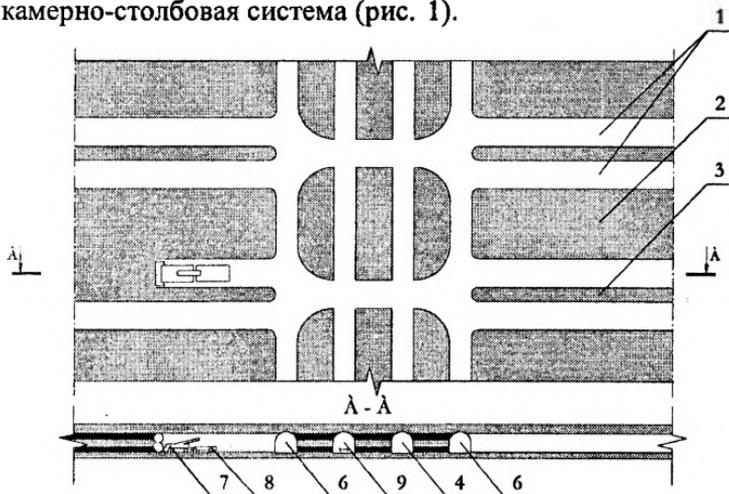


Рис. 1 Отработка блоков камерной системой разработки:  
 1 – очистные ходы, 2 – междукамерный целик, 3 – межходовой (поддерживающий) целик, 4 – вентиляционный панельный штрек, 5 – конвейерный штрек, 6 – транспортные штреки, 7 – комбайн «Урал – 10 КС», 8 – самоходный вагон, 9 – конвейер

Камерную систему разработки применяют для отработки пологих и наклонных залежей с устойчивой кровлей и с различной мощностью полезного ископаемого. При этой системе выемочные камеры отделяются одна от другой жесткими или податливыми целиками. При отработке месторождений соли потери руды составляют до 50 – 60% всех запасов. К достоинствам камерно-столбовых систем разработки относят высокую производительность труда, сравнительно низкую себестоимость добычи и небольшое разубоживание (до 5 – 7%) руды.

2). Вторая система разработки - отработка столбов лавой (рис. 2).

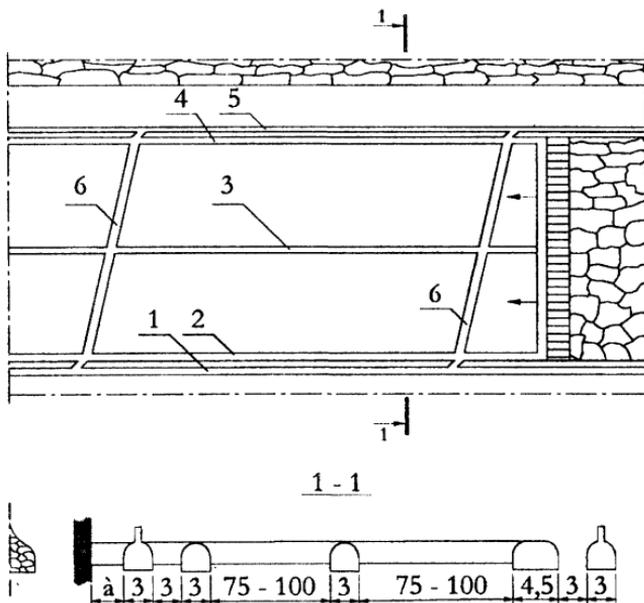


Рис. 2 Принципиальная схема отработки панелей лавой:  
1 – панельный конвейерный штрек, 2,3 и 4 – конвейерный, вентиляционный и транспортный штреки лавы, 5 – разгружающий штрек, 6 – вспомогательные выработки

В комплекс входит гидрокрепь, добычный комбайн и забойный скребковый конвейер. На границе столбов длиной 1200 – 1500м проходят разрезные выработки шириной 3,0 – 4,5м и длиной 150 – 300м. Комбайн в лаве движется от конвейерного штрека к вентиляционному штреку, снимая полосу шириной 0,6м. После выемки полосы комбайн возвращается к выемочному штреку и передвигает к забою крепь и конвейер. По сравнению с камерно-столбовой системой отработка столбов лавами более эффективна, обеспечивая снижение потерь руды до 15 – 20%. Однако их применение возможно, если высота зоны возможного обрушения пород и образование техногенных трещин не достигают водоносных горизонтов. Сравнивая эффективность действующих систем разработки месторождения, следует также, учитывать экологический ущерб. При разработке калийных месторождений подземным способом отрицательным фак-

тором является опускание (проседание) дневной поверхности земли над подработанным пространством, достигающее в Солигорском регионе 4,0 – 4,5м. Считается, что экологический ущерб, связанный с применением той или иной системы разработки, пропорционален 0,9 от коэффициента извлечения руды подземным способом. Можно назвать еще ряд факторов, отличающих названные системы разработки полезных ископаемых подземным способом и по разному проявляющихся в зависимости от горно-геологических и других причин. Это вносит значительную неопределенность.

Для анализа и сравнения систем разработки калийных месторождений подземным способом, учитывая большую неопределенность и неоднозначность ситуации, следует применить метод игр [3].

В этом случае в качестве стратегий «А» рассматриваем:  $A_1$  – камерно-столбовую систему разработки месторождения,  $A_2$  – разработку столбов лавами. Событие «В», являющееся следствием применения «А», характеризуется коэффициентами потерь руды –  $B_1$  и  $B_{2м} < 1$  относительного экологического ущерба.

При сделанных обозначениях матрица игры может быть записана в виде:

Таблица 1 Сравнение систем разработки калийных месторождений подземным способом.

		В		α
		$B_1$	$B_2$	
А	$A_1$	0,55	0,41	0,41
	$A_2$	0,18	0,74	0,18
β		0,55	0,74	

Значение элементов матрицы игры  $a_{ij}$  записаны на основании литературных источников [1,2] и статистических данных эксплуатации Старобинского месторождения калийных солей. Методика анализа матриц игр изложена во многих источниках в т.ч. в [3], а потому здесь не рассматривается.

Нижняя цена игры:

$$\alpha = \max_i \min_j a_{ij} = 0,41,$$

и верхняя цена игры:

$$\beta = \min_j \max_i a_{ij} = 0,5.$$

Таким образом, в данной ситуации ( $\alpha \neq \beta$ ) имеем смешанную игру, что предполагает целесообразность одновременного использования всех стратегий добычи:

$$A^0 \left\{ \begin{array}{cc} A_1 & A_2 \\ P_1 & P_2 \end{array} \right\} \quad u \quad B^0 \left\{ \begin{array}{cc} B_1 & B_2 \\ q_1 & q_2 \end{array} \right\},$$

$$P_1 + P_2 = 1 \qquad q_1 + q_2 = 1$$

где  $P_1, P_2, q_1, q_2$  – частота применения стратегий  $A$  и событий  $B$ . В смешанной игре рассчитывают на средний результат  $\gamma$ :  $\alpha < \gamma < \beta$ .

Искомые  $\gamma, P_1, P_2, q_1, q_2$  находим из систем уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} 0,55P_1 + 0,18P_2 = \gamma \\ 0,41P_1 + 0,74P_2 = \gamma \\ P_1 + P_2 = 1 \end{array} \right. \quad u \quad \left\{ \begin{array}{l} 0,55q_1 + 0,41q_2 = \gamma \\ 0,18q_1 + 0,74q_2 = \gamma, \quad (1) \\ q_1 + q_2 = 1 \end{array} \right.$$

Откуда

$$P_1 = 0,81, \quad P_2 = 0,22, \quad q_1 = 0,53, \quad q_2 = 0,47, \quad \gamma = 0,47.$$

Результат анализа матрицы игры показывает, что при существующих показателях потерь руды при добыче и сопутствующем воздействии на дневную поверхность со всеми вытекающими отрицательными последствиями, лучшей комбинацией является добыча 80% руды камерно-столбовой системой и 20% разработкой столбов лавами. В этом случае ущерб от потерь руды и от воздействия подработанного пространства на дневную поверхность примерно равнозначны ( $q_1 = 0,53$  и  $q_2 = 0,47$ ). Безусловно, анализ матриц игры носит рекомендательный характер и за ним должно следовать технологическое рассмотрение ситуации с определением мест

применения той или иной системы разработки на данном предприятии.

При реально планируемом соотношении камерно-столбовой и разработкой столбов лавами матрица игры имеет вид (табл. 2):

Таблица 2. Плановое соотношение объемов добычи камерно-столбовой системой и разработкой столбов лавами

		В	
		В <sub>1</sub>	В <sub>2</sub>
А	А <sub>1</sub>	0,55	$a_{12}$
	А <sub>2</sub>	0,18	$a_{22}$

$$\alpha \leq \gamma \leq \beta$$

$$A^0 \begin{Bmatrix} A_1 & A_2 \\ 0,3 & 0,7 \end{Bmatrix}, B^0 \begin{Bmatrix} B_1 & B_2 \\ q_1 & q_2 \end{Bmatrix},$$

$$q_1 + q_2 = 1.$$

Неизвестные в данной ситуации  $\gamma$ ,  $a_{12}$ ,  $a_{22}$ ,  $q_1$ ,  $q_2$  находим из системы пяти уравнений:

$$\begin{cases} 0,55 \cdot 0,3 + 0,18 \cdot 0,7 = \gamma & (2) \\ a_{12} \cdot 0,3 + a_{22} \cdot 0,7 = \gamma & (3) \\ 0,55 \cdot q_1 + a_{12} \cdot q_2 = \gamma & (4) \\ 0,18 \cdot q_1 + a_{22} \cdot q_2 = \gamma & (5) \\ q_1 + q_2 = 1 & (6) \end{cases}$$

Из (2) находим  $\gamma = 0,29$ . Затем приравниваем левые части (4) и (5), заменив в них  $q_2 = 1 - q_1$  из (6) и

$$a_{22} = \frac{0,29 - 0,3 \cdot a_{12}}{0,7} \text{ из (3):}$$

$$0,55 \cdot q_1 - a_{12} \cdot q_1 = 0,29 - a_{12} \quad (7)$$

$$0,23 \cdot q_1 - 0,43 \cdot q_1 \cdot a_{12} + 0,43 \cdot a_{12} = 0,12 \quad (8)$$

подставив в (8)  $a_{12} \cdot q_1 = 0,55 \cdot q_1 - 0,29 + a_{12}$  из (7):

$$0,23 \cdot q_1 + 0,43(0,55 \cdot q_1 - 0,29 + a_{12}) + 0,43 \cdot a_{12} = 0,12 \quad ,$$

находим  $q_1 = 0$ ,  $q_2 = 1$ ,  $a_{12} = a_{22} = 0,29$ ,  $\gamma = 0,29$ .

Таким образом, устанавливаем, что при существующем планировании добычи калийной руды двумя вышеуказанными системами разработки, принимается полное извлечение руды ( $q_1 = 0$ ), а экологические последствия считаются независимыми от применяемого способа добычи. И первое, и второе не соответствует действительности, а потому следует обосновывать вклад той или иной системы разработки с учетом возможных экологических последствий.

### Литература

1. С.С. Борисов Горное дело. М. «Недра», 1988, 319с.
2. О.С. Брюховецкий, Ж.В. Бунин И.А., Ковалев. Технология и комплексная механизация разработки месторождений полезных ископаемых. М. «Недра», 1989, 300 с.
3. Б.А. Богатов. Математические методы и модели в горном деле. Мн. «Технопринт», 2003, 278 с.

**Определение прочности топливных брикетов на разрыв**

Казаченко Г.В., Басалай Г.А., Слыш В.В., Слыш В.М.  
Белорусский национальный технический университет

В настоящее время прочность топливных брикетов определяют на изгиб, сжатие, срез и растяжение. В наибольшей степени прочностные свойства брикетов определяются их сопротивлением растяжению [ 1 ]. Для испытаний на разрыв обычно изготавливают образцы брикетов в форме «восьмерки», что позволяет закрепить такой образец в разрывном приспособлении прессы. Изготовить такие образцы из реального брикета достаточно сложно, поэтому испытания брикетов на растяжение практически не проводятся.

В связи с этим нами предложена специальная методика для испытаний брикетов на отрыв (разрыв).

Методика испытаний образцов брикета на отрыв заключается в следующем. В испытуемом образце (брикет) сверлится глухое отверстие диаметром 5 мм. Отверстие не доходит до нижнего торца образца на величину  $h = d = 5$  мм.

Схема создания нагрузки на образец при испытании на отрыв приведена на рис. 1. Образец устанавливается на опорное кольцо 3, размещенное на нижней плите 1 гидравлического прессы ПГПР. В просверленное отверстие в образце 5 вставляется пуансон 4. Давление на пуансон передается верхней плитой прессы 2. В результате нагружения образца через пуансон при напряжениях, превышающих предел прочности на разрыв, происходит отрыв в нижней части образца с образованием кратера, близкого по форме к конусу с диаметром основания  $D$ .

В момент разрушения уравнения предельного состояния

$$\iint_S \tau \cdot dS \cdot \sin \alpha \cdot \cos \varphi - \iint_S \sigma \cdot \cos \alpha \cdot dS \cdot \cos \varphi = 0;$$

$$\iint_S \tau \cdot \cos \alpha \cdot dS + \iint_S \sigma \cdot \sin \alpha \cdot dS = P,$$

где  $S$  - площадь боковой поверхности кратера;

$\sigma$ ,  $\tau$  - нормальное и касательное напряжения на поверхности кратера;

$\alpha$  - половина угла конуса кратера;  
 $P$  - нагрузка.

Схема нагружения образца при испытании на отрыв

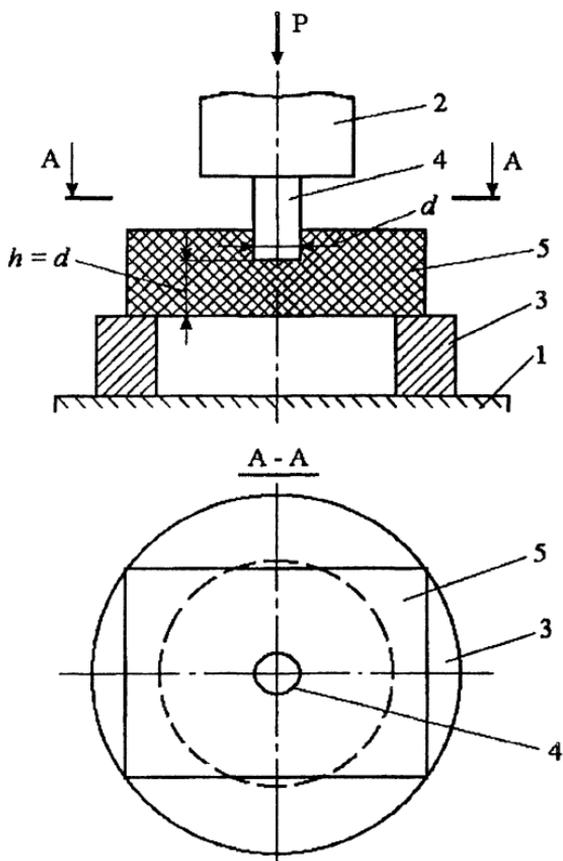


Рис. 1.

1 – нижняя плита (поршень пресса); 2 – верхняя плита пресса;  
3 – опорное кольцо; 4 – пуансон; 5 – испытуемый образец

Вследствие симметрии нагружения и изотропности свойств материала брикета, а также исходя из принципа минимума энергии разрушения принимаем, что поверхность, по которой про-

исходит разрушение есть конус.

Тогда первое уравнение преобразуется к виду

$$\tau \cdot \sin \alpha - \sigma \cdot \cos \alpha = 0,$$

а второе — 
$$\tau \cdot \cos \alpha + \sigma \cdot \sin \alpha = \frac{P}{\iint_S ds},$$

где 
$$\iint_S dS = \iint_S \rho \cdot d\varphi \cdot \frac{dZ}{\cos \alpha};$$

$\rho = R - Z \cdot \operatorname{tg} \alpha$  - текущий радиус конуса

$Z$  - вертикальная координата поверхности.

Окончательно

$$\iint_S dS = \int_0^h \int_0^{2\pi} \frac{R - Z \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\cos \alpha} \cdot d\varphi \cdot dZ,$$

где  $h$  - высота конуса.

Интегрируя в заданных пределах, получаем

$$\iint_S dS = \frac{1}{\cos \alpha} \cdot \left( 2\pi \cdot R \cdot h - \frac{1}{2} \cdot h^2 \cdot 2\pi \cdot \operatorname{tg} \alpha \right).$$

Для создания одинаковых условий разрушения во всех экспериментах целесообразно принять  $h = 2r$ .

С учетом этого получаем

$$\iint_S dS = \frac{1}{\cos \alpha} \cdot \left( 4\pi \cdot R \cdot r - 4\pi \cdot r^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha \right),$$

где

$$\cos \alpha = \frac{2r}{\sqrt{5r^2 + R^2 - 2R \cdot r}};$$

$$\sin \alpha = \frac{R - r}{\sqrt{5r^2 + R^2 - 2R \cdot r}};$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{R - r}{2r}.$$

С учетом последних соотношений имеем окончательно следующую систему уравнений предельного равновесия:

$$\tau \cdot (R - r) - \sigma \cdot 2r = 0;$$

$$\tau \cdot 2\pi \cdot r \cdot (R + r) + \sigma \cdot \pi \cdot (R^2 - r^2) = P.$$

Решение системы дает следующие выражения для определения  $\sigma$  и  $\tau$

$$\tau = \frac{2P \cdot r}{\pi \cdot (R + r) \cdot (R^2 + 5r^2 - 2R \cdot r)};$$

$$\sigma = \frac{P \cdot (R - r)}{\pi \cdot (R + r) \cdot (R^2 + 5r^2 - 2R \cdot r)}.$$

Если принять, что разрушение брикетов происходит из-за суммарного действия нормальных и касательных напряжений, то эквивалентное напряжение разрушения можно вычислять по формулам:

$$\sigma_{\text{экр.}} = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2};$$

$$\sigma_{\text{экр.}} = \frac{P}{\pi(R + r) \cdot \sqrt{R^2 + 5r^2 - 2R \cdot r}}$$

или

$$\sigma = \frac{P}{S} = \frac{P}{\frac{\pi}{2} \cdot (D + d) \cdot \sqrt{h^2 + \frac{1}{4}(D - d)^2}}.$$

Предложенная методика была применена при исследованиях возможности применения валково-ячеистого прессы для брикетирования торфа и композитов на его основе. Результаты испытаний приведены в табл. 1.

На основании изложенного можно сделать вывод, что предложенная и опробованная методика испытаний брикетов на отрыв (разрыв) может применяться при определении качества топливных брикетов, что позволит иметь сопоставимые, а не условные значения характеристик.

### Литература

1. Наумович В.М. Теоретические основы брикетирования торфа. — Минск: 1960. — 196 с.

Таблица 1

Прочностные характеристики торфяных и композитных брикетов на отрыв (разрыв)

№ серии опытов	Характеристика брикета	Тип пресса	Давление подпрессовывания, кПа	Испытательные размеры, мм			Усилие отрыва, Н	$\sigma_{экр.}$ (среднее), кПа
				<i>h</i>	<i>d</i>	<i>D</i>		
1.	100 % торфяная сушонка	*	-	5	5	32	358,0	421
2	100 % торфяная сушонка	**	2400	5	5	26	45,4	120
3	100 % лигнин	**	2000	5	5	26	58,5	100
4	50 % торфяная сушонка + 50 % каменный уголь	**	2000	5	5	26	58,5	98
5	50 % лигнин + 50 % каменный уголь	**	2000	5	5	26	70,8	122
6	70 % торфяная сушонка + 30 % лигнин	**	2000	5	5	26	82,7	132
7	50 % торфяная сушонка + 50 % лигнин	**	3000	5	5	18	56,0	178
8	50 % торфяная сушонка + 50 % лигнин	**	12000	5	5	25	80,0	147

\* - Штемпельный пресс;

\*\* - Валково-ячеистый пресс.

# **Строительство**

**Совершенствование способов ремонта  
бетонных покрытий**

Бабаскин Ю.Г.

Белорусский национальный технический университет

Протяженность автомобильных дорог общего пользования составляет 81216 км, в том числе республиканских – 15396 км и местных 65820 км. Дороги с твердым покрытием составляют 70194 км, или 86,4 %, и грунтовых 11022 км, или 13,6 %. Характеризуя техническое состояние автомобильных дорог на основе ежегодно проводимой диагностики, следует отметить, что 10 тыс. км республиканских дорог (65,0 %) нуждаются в капитальном ремонте. В 2003 году средним ремонтом отремонтировано 1674,9 км (100,5 %) республиканских дорог, в т.ч. осуществлено устройство 650 км защитных слоев дорожных покрытий. За этот же период капитальным ремонтом восстановлена несущая способность дорог 186,9 км (101,7 %) республиканских дорог

Известны способы устранения поверхностных деформаций и разрушений. Для асфальтобетонных покрытий применяются различные методы улучшения свойств старого асфальтобетона. К таким способам относятся: термопланирование, термогомогенизация, термоукладка и термосмещение. Для цементобетонных покрытий применяют способ разделки дефектов пальцевыми фрезами с последующей заливкой либо жидким битумом, либо цемента- или полимербетонными смесями.

Недостаток указанных способов заключается в большом количестве технологических операций, на каждой из которых задействованы машины и механизмы; в большой трудоемкости работ связанных с приготовлением асфальто- или цементобетонных смесей и их доставке на объект ремонт; в создании и поддержании необходимого температурного режима до укладки асфальтобетонных смесей или органических вяжущих. Если заделка выемки производится вязкими смесями, то невозможно получить высоких прочностных показателей после их затвердевания, и впоследствии асфальтобетонные смеси начинают течь и выдавливаются транспортом из выемки, а если ремонтируются цементобетонные покрытия с использованием це-

ментобетонных растворов, то необходимо выдерживать срок набора прочности с ограничением движения.

Цель проводимых исследований - повышение качества отремонтированного покрытия, усиление мест заделки дефекта, сокращение времени отводимого на ремонт, проведение ремонтных работ при любых температурах окружающего воздуха, открытие движения по ремонтируемому участку сразу после заделки дефекта.

Поставленная цель достигается тем, что способ ремонта дорог включает окантовку границы выемки, удаление старого бетона, очистку выемки, ее грунтование и установку пломбы, имеющую те же размеры и форму что и выемка.

Пломба имеет форму усеченной пирамиды, где основанием может служить прямоугольник, квадрат или окружность. Углы прямоугольника или квадрата могут быть прямыми или овальными, в зависимости от используемого механизма для устройства выемки на дороге. Изготавливается пломба в промышленных условиях, с использованием прессового оборудования, путем штампования. При изготовлении пломб в заводских условиях можно применять давление при штамповании пломб, превышающем давление от катка на ремонтируемом участке дороги. Кроме того, при изготовлении пломб могут использоваться: литье, пропаривание, обжиг и другие технологические процессы, направленные на повышение прочности и сокращение сроков набора максимальной прочности материала, из которого изготавливаются пломбы. Пломбы изготавливают определенных типоразмеров. Материалом для изготовления пломб помимо асфальто- и цементобетонных могут быть пластмассы, металл, полимербетон, стекло и другие материалы, как в самостоятельном виде, так и армированные стержнями, сетками, тканями, нетканым синтетическим материалом, стекловолокном и т.д.

Выемку вырубает или фрезеруют тех же типоразмеров, что и заготовленные пломбы с учетом минимального разрушения качественного бетона.

Клеящее вещество может быть представлено жидким битумом, гудроном, дегтем, смолой, жидким стеклом, органическими отходами химических производств. Вместо обычного грунтования дна и стенок выемки, предлагается заливка на ее дно

определенного количества клеящего вещества. Это количество рассчитывается с учетом того, что при вдавливании пломбы в выемку клеящее вещество будет выдавливаться пломбой и заполнит донное и боковое пространство между пломбой и выемкой.

Ремонт дороги осуществляется следующим образом. При рекогносцировке происходит оценка вида дефекта и его размеров. В зависимости от этого подбирается из типоразмерного ряда наиболее подходящий размер пломбы. Единственное требование, чтобы размер пломбы полностью перекрывал разрушенный участок покрытия и минимально распространялся на качественный бетон. В зависимости от принятого решения, изготавливается выемка по размерам выбранной пломбы. Разрушенный бетон удаляется из выемки, а на дно выемки заливается клеящее вещество. На объект доставляется необходимая пломба, которая вставляется в подготовленную выемку.

Применение пломб позволит отказаться от смесей применяемых при текущих ремонтах, упростить и сократить технологический процесс ремонта покрытия на дороге. Прочность пломб будет выше прочности материала, в который она будет укладываться. Разработанный способ ремонта, как городских, так и внегородских дорог позволит индустриализовать ремонтные работы, сократить их сроки, повысить качество, устранить дефекты на остановках общественного транспорта, что отразится на качестве дорог, их долговечности и снижении затрат на выполнение ремонтных работ.

При эксплуатации автомобильной дороги под воздействием динамического фактора и погодно-климатических условий в покрытии образуются такие дефекты как трещины (продольные и поперечные), выбоины, отколы, просадка плит и образование порога на поперечных швах. Все это снижает эксплуатационные качества покрытий и повышает опасность возникновения дорожно-транспортных происшествий. Проводимые ремонты малоэффективны, поскольку они в основном обеспечивают внешнюю заделку дефекта, не устраняя глубинных факторов. Как правило, возникший дефект прогрессирует в своем развитии, пронизывая покрытие насквозь и достигая основания дорожной конструкции, в котором образуются пустоты.

С целью устранения просадок плит, а следовательно исключению причин копирования трещин по глубине дорожной конструкции, под образовавшимся дефектом (трещиной, швом) производят укрепление грунта. В таком случае дорожная плита окажется лежащей по краям на двух опорах, которая в свою очередь, вместе с остальной плоскостью плиты, будет опираться на грунтовое основание.

Усиления дорожной конструкции осуществляется путем горизонтального заглубления инъектора в грунт на всю ширину покрытия и поэтапного нагнетания вязкого раствора по мере извлечения инъектора из грунта. Инъектор расположен на расстоянии 0,05 – 0,15 м от нижней поверхности бетона. Технологический режим нагнетания, позволяет получить глубину пропитки, равную 0,45 м и радиус равный 0,22 м.

Заглубление и извлечение инъектора из грунта производится с помощью силового оборудования, установленного на горизонтальной площадке, оборудованной сбоку дорожного покрытия.

Вдавливающее и нагнетательное оборудование включает в себя силовое оборудование, состоящее из упорного щита и гидrocилиндров. Система трубопроводов соединяет жидкостный расходомер и гидравлические насосы с емкостями для приготовления рабочей смеси.

Инъектор собирается из отдельных звеньев длиной 1 – 1,5 м, соединяющихся между собой с помощью замков. Причем перфорированная часть расположена только на первом звене, а остальные звенья глухие. С целью защиты отверстий инъектора от попадания в них грунта, отверстия защищены клапанами или муфтами, которые открываются во время нагнетания.

Способ усиления дорожной конструкции осуществляется следующим образом. Сбоку проезжей части автомобильной дороги, чтобы не разрушать дорожное покрытие, отрывают горизонтальную площадку размером 2 x 2 x 2 м. Стенки и пол укрепляют с помощью щитов. Затем устанавливают силовое оборудование и заглубляют первое звено инъектора. К нему подсоединяют второе звено и заглубление продолжают. Работы производят до тех пор пока общая длина заглубленной части инъектора не будет равна ширине цементобетонного покрытия. После этого инъектор подсоединяют к системе нагнетания. Параллельно с

заглублением инъектора производят работы по приготовлению рабочего раствора, включающие смешивание составляющих компонентов, отмеренных в определенном объеме. По окончании заглубления инъектора и приготовления рабочего раствора включают нагнетательное оборудование и раствор под давлением истекая из перфорированного звена инъектора заполняет поровое пространство грунта. Через 5 – 30 с, в зависимости от вида грунта, нагнетание прекращают, инъектор отсоединяют от системы и извлекают из грунта на длину одного звена. После этого, операции по нагнетанию продолжают. Раствор в порах грунта под воздействием отвердителя, введенного в грунт вместе с рабочим раствором, переходит вначале в гелеобразное состояние, а затем в твердое, связывая частицы грунта в прочный монолит, образуя объем укрепленного грунта.

В результате нагнетания раствора в грунт основания дорожной конструкции могут быть выполнены следующие варианты усиления:

- 1) усиление основания дорожной одежды;
- 2) усиление шва с заменой части укрепленного грунта с помощью шнекового оборудования;
- 3) усиления шва инъектированием на себя;
- 4) усиление продольной трещины;
- 5) восстановление проломов или ликвидация пучин с усилением основания.

Применение разработанного способа усиления дорожной конструкции в практике строительства и ремонта автомобильных дорог позволит ликвидировать последствия просадок конструкции по поперечным швам и трещинам, возникающим на бетонных покрытиях, что отразится на качестве ремонта и долговечности асфальто и цементобетонных покрытий; повысить прочность основания; сократить сроки и снизить затраты на проведение ремонтных работ.

**Высокоплотные тонкослойные  
асфальтобетонные покрытия**

Веренько В.А., Афанасенко А.А.

Белорусский национальный технический университет

Толщина традиционных асфальтобетонных покрытий составляет 4-8 см. Обусловлено это особенностями гранулометрического состава, типом укладочной техники, структурой и свойствами основания. Такая ситуация в ряде случаев является экономически неоправданной и требует повышенных материальных и финансовых затрат.

Как показывает опыт ряда зарубежных стран (Франция, Италия, Германия, Дания и др.), при ремонте покрытий улиц и дорог целесообразно устройство тонких асфальтобетонных покрытий. Эти покрытия устраиваются с применением традиционных материалов: фракционированный природный щебень, дробленый песок или отсеб при производстве щебня (песок из отсева дробления), минеральный порошок и вяжущее.

Ввод в состав вяжущего при приготовлении асфальтобетонных смесей специальных модифицирующих добавок позволяет в значительной степени улучшить такие характеристики асфальтобетона, как коррозионная устойчивость, адгезия к старому покрытию, коэффициент сцепления колеса автомобиля с покрытием, что способствует повышению степени надежности и долговечности покрытия. При этом повышается производительность укладочной техники. Модифицирующие добавки значительно повышают физико-химические свойства используемых битумов (адгезионные и кагезионные характеристики, снижают степень старения) благодаря наличию в них поверхностно-активных веществ, пластифицирующих добавок и адгезионных присадок, антистарителей. Образование колеиности снижается вследствие незначительного приращения толщины дорожного покрытия. Сравнительная стоимость таких покрытий в 1.2-2.0 раза ниже традиционно устраиваемых, а долговечность (благодаря модификации органических вяжущих) позволяет приблизить к нормативной.

Тонкослойные покрытия были впервые применены во Франции под названием FIBRACCOTM и ACCODIIT.

Тонкие асфальтобетонные слои из материала FIBRACCOTM имеют толщину 2-3 см, величину фракций минерального материала 0-10мм, пенетрацию применяемого битума 60/70. В состав смеси вводят специальные тонкодисперсные наполнители (фибры), а в состав битума полимеры типа термоэластопластов (Кратон).

Минеральная часть включает: песок фракции 0/2мм, 0/4мм, щебень фракции 2/6,3 мм, 4/6,3 мм, 6.3/10 мм, минеральный порошок.

Тонкомолотые волокнистые наполнители имеют длину до 1 мм, диаметр 45 мк, удельную поверхность более 6000 см<sup>2</sup>/гр.

Состав асфальтобетонной смеси (пределы содержания компонентов)

Размер сит (мм)	% прохода через сито
10	89 - 100
6	44 - 63
4	28 - 40
2	18 - 28
0.08	8-12
Битум 50/70	6,3 7%
Органические волокна	0,3 - 0,4%

Органические вяжущие характеризуются следующими показателями:

плотность	1,0 - 1,1 г/см <sup>2</sup>
пенетрация (глубина проникания иглы) при 25 <sup>0</sup> С 50/70	
индекс пенетрации	1.5 + 0.4
температура размягчения	45 - 51 <sup>0</sup> С
температура хрупкости (по Фрасу)	-14 - 6 <sup>0</sup> С

Тонкие слои из материала ACCODIIT устраиваются толщиной до 2 см. Для их приготовления используется щебень фракции 0/10 с предпочтительным содержанием зерен 2/6мм, битум с пенетрацией 50/70, тонкодисперсные органические волокна 0.3-0.4%. Состав и свойства применяемых вяжущих материалов аналогичны материалу FIBRACCOTM, гранулометрический состав минеральной части и содержание вяжущего назначается с учетом укладываемого слоя.

В лаборатории "Viafrance" (Франция) ведутся исследования над составом асфальтобетонных смесей Microvia (E и R) с использованием каменного материала 0/6 для устройства очень тонких слоев покрытий дорог с хорошими поверхностными характеристиками. Microvia E является высококачественной асфальтобетонной смесью, предназначенной для ремонта деформированных покрытий или покрытий дорог, имеющих усадочные трещины.

Смесь Microvia E может быть приготовлена с использованием обычных или модифицированных битумов по традиционной технологии. Смесь укладывают слоем толщиной 15-25 мм.

Вяжущее с эластомерными добавками, вводимое в смесь Microvia E имеет такие физико-химические характеристики: глубина проникания иглы при 25°C, 0,1 мм - 130-170; температура размягчения по кольцу и шару - 60°C; температура хрупкости по Фраасу - -20; интервал пластичности - 80°C.

Для приготовления смеси Microvia E используют каменный материал и песок различного гранулометрического состава, обычно применяемый при приготовлении асфальтобетонных смесей для верхнего или нижнего слоев покрытий. Наиболее часто для смеси Microvia E используют каменный материал 0/6 с прерывистым гранулометрическим составом (исключены зерна фракции 2/4) и известняковый минеральный порошок.

Смесь Microvia E была применена на участке Париж-Лион автомагистрали А6 с интенсивностью движения 4000 авт/сут (21% грузовых автомобилей). Смесью распределяли на асфальтобетонное покрытие, подверженное трещинообразованию. При этом часть трещин перед укладкой смеси была заделана. Смесью укладывали из расчета 40 кг/м<sup>2</sup>.

Смесь Microvia R (индекс R указывает на присутствие в смеси резины) является высококачественной "жесткой" асфальтобетонной смесью 0/6, предназначенной для строительства верхних слоев дорожных покрытий. Слой, уложенный из смеси Microvia R, характеризуется высокой прочностью, устойчивостью к колеобразованию, слабой чувствительностью к воздействию температур, сопротивлением усталостным явлениям. Характеристики смеси Microvia R определяются свойствами специального

вяжущего (битум+добавка) и подбором гранулометрического состава каменного материала.

Способ приготовления Microvia R состоит в добавлении в смесь нефтеполимерной смолы, частично растворимой в битуме. Используют также заполнитель, щебень и песок, применяемый для обычных асфальтобетонных смесей, с прерывистым гранулометрическим составом 0/6 (исключены зерна фракции 2/4).

Смесь Microvia R была уложена на участке департаментской дороги CD51 на слой из грунта, обработанного битумом. Интенсивность движения на этом участке составила 7,5 тыс. авт/сут (12% грузовых автомобилей). Расход смеси составил 50 кг/м<sup>2</sup>.

Следует отметить, что физико-механические свойства смеси позволяют использовать ее при устройстве герметизации на искусственных сооружениях: в качестве выравнивающего слоя перед укладкой герметизации при проведении ремонта дорожной одежды; в качестве временного покрытия после укладки герметизирующего слоя (если дорожное покрытие не может быть уложено сразу).

Несмотря на широкий опыт применения тонкослойных покрытий в Западной Европе в РБ они пока не получили достаточного распространения. Связано это с недостаточной научной проработкой проблемы. Поскольку простой перенос опыта западных стран в наши условия невозможен.

Для обеспечения надежной и долговечной работы тонкослойных покрытий необходимо учесть особенности климатических условий, конструкции дорожных покрытий и их взаимодействия с транспортной нагрузкой.

Проведенные нами теоретические и экспериментальные исследования показали следующее:

1. С уменьшением толщины слоя наблюдается рост сдвигающих напряжений при высокой температуре. Это требует обеспечения качественного сцепления слоя с нижележащим основанием и повышения устойчивости минерального остова сдвигу. Реализовать это можно за счет повышения количества дробленных частиц и правильного выбора соотношения фракций. Установлено, что количество дробленных частиц должно составлять не менее 75 %.

2. Тонкослойные покрытия непосредственно воспринимают негативное влияние окружающей среды (увлажнение, попеременное замораживание – оттаивание и др.). Поэтому материал данных покрытий должен обладать повышенной водо- и морозостойкостью. Так, если традиционный асфальтобетон имеет водонасыщение в пределах 1-4%, то для тонкослойных покрытий данный показатель должен составлять 0.25-1.5%. Особые требования предъявляются и к вяжущему. В частности, требуется ввод природных битумов.

3. Для обеспечения трещиностойкости тонкослойных покрытий необходимо обеспечить адгезию к основанию не менее прочности самого слоя. Достигнуть этого можно при применении в качестве грунтового материала модифицированных битумных эмульсий. В целом, тонкослойные покрытия в условиях РБ имеют большую перспективу, особенно в городских условиях. Однако для их широкого использования необходимо решить ряд проблем:

1. Наладить выпуск качественных минеральных наполнителей фракции 1-10 мм;
2. Наладить выпуск вяжущего пенетрацией 50/70 и гранулированных волокнистых добавок;
3. Обеспечить строительные организации необходимой укладочной техникой.

Для устройства тонкослойных покрытий необходимо также обеспечить высокую ровность основание, что требует решения определенных организационно – технических задач (своевременное проведение ремонтов).

УДК 624.21.012.45

### **Система оценки технического состояния транспортных сооружений и опыт ее использования**

Горошко Г.А.

Белорусский национальный технический университет

При оценке технического состояния сооружений определяют их грузоподъемность по параметрам прочности и трещиностойкости с учетом влияния существующих дефектов. Результатом такой оценки является показатель, называемый классом грузо-

подъемности, отражающий состояние сооружения на момент обследования. Действие этого показателя распространяют на некоторый период времени, после которого он должен быть уточнен.

Принятый подход необходим для соблюдения режимов пропуска нагрузки, которые определяются в результате специальных обследований и, с этой точки зрения, является правильным. В то же время существует проблема, когда важные технические параметры сооружения при наличии показателя грузоподъемности могут оставаться без внимания или не в полной мере учитываться при содержании сооружений. В конечном итоге может происходить снижение показателей грузоподъемности, увеличение затрат на ремонт и эксплуатацию, сокращение срока службы сооружения. Поэтому, при планировании задач содержания необходимо знать, какие сооружения подлежат ремонту в первую очередь, а какие можно отложить без риска снижения их функциональных показателей. В связи с этим, для всесторонней оценки технического состояния необходимо учитывать кроме грузоподъемности и другие важные показатели.

Любое сооружение должно выполнять свои функции в соответствии с нормативными требованиями, сохранять эти функции в течение длительного периода и быть безопасным. Для этого необходимо знать, как изменяется состояние конструкций, и какие показатели сооружений являются наиболее проблемными. С этой целью разработана система оценки технического состояния, реализованная в программном комплексе «ASSA». В качестве основных показателей технического состояния приняты грузоподъемность (*L*), безопасность движения (*S*) и долговечность (*D*). Оценка сооружения выполняется также по общему показателю (*M*), который объединяет указанные параметры. Главной целью является формирование ряда показателей для группы сооружений в порядке приоритетов, на основе которых можно планировать ремонтные мероприятия. Одной из основных задач является оперативная оценка состояния, требующая минимальных затрат при систематическом осмотре транспортных объектов.

Техническое состояние сооружения предлагается характеризовать интегральным показателем, который объединяет оценки различных дефектов, и определяется выражением:

$$P_{L,D,S,M} = \left( \sum_{i=1}^Q \prod_{j=1}^K C_{ij} \right) \left( Q \times \prod_{j=1}^K N_j \right),$$

где  $P_{L,D,S,M}$  – показатель технического состояния сооружения;  
 $C_{ij}$  – коэффициент  $j$ -оценки  $i$ -дефекта, определяемый по модели;

$K$  – количество частных  $j$ -оценок;

$N_j$  – максимальное значение по принятой шкале  $j$ -оценки;

$Q$  – количество анализируемых дефектов.

Дефектом считается любое отклонение от нормативного параметра, которым характеризуется рассматриваемый элемент. Оценка любого дефекта на данный момент времени моделируется функцией изменения состояния элемента сооружения. Например, оценка долговечности бетона с учетом влияния разнообразных факторов, может быть представлена одной из известных моделей, изображенной на рисунке 1. В простейшем случае состояние элемента или степень развития дефекта может быть оценена методом экспертных оценок по условной шкале баллов. Аналогично вводятся модели, для оценки всех рассматриваемых элементов и дефектов.



Рисунок 1

Определены три группы дефектов, влияющие на каждый параметр состояния сооружений. Принято, что один и тот же элемент сооружения может иметь несколько различных дефектов, описываемых соответствующими моделями. Принято, что один и тот же де-

фект может одновременно влиять на параметры оценки ( $L$ ), ( $D$ ), ( $S$ ), ( $M$ ).

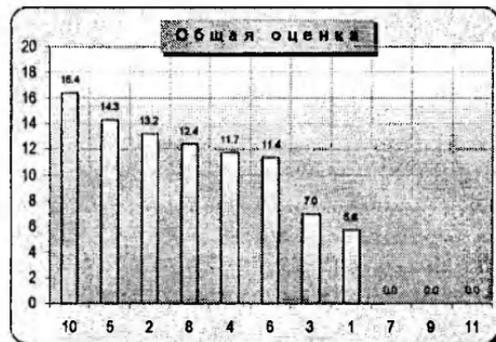


Рисунок 2

Виды дефектов, по которым производится оценка состояния сооружений, группируются по условию их независимого формирования. Результаты реальной оценки технического состояния железобетонных мостов на одной из автомобильных дорог представлены на рисунке 2. Можно увидеть, что разделение показателей технического состояния на группы позволяет для каждого из этих параметров выделить соответствующие объекты и разработать стратегии мероприятий по рациональному содержанию этих объектов. Например, сооружение №10 по всем показателям представляет наиболее несовершенный объект, несмотря на то, что по грузоподъемности сооружения №8 и №10 одинаковы. Анализ полученных результатов при обследовании мостов в

данном примере позволяет разработать для эксплуатирующей организации ряд рекомендаций, снижающих расходы на содержание в долговременном периоде.

Представляется интересным разделить сооружения на группы. Тогда в первоочередную группу можно включить сооружения №10, №5, №6, №2, №8. После выполнения ремонтных мероприятий необходимо провести перерасчет приоритетов и сформировать новый ранжированный ряд по всем показателям для уточнения очередности работ. Деление сооружений на группы по близким показателям технического состояния позволяет выбирать различные варианты планирования ремонта.

При оценке состояния конкретного сооружения возможно

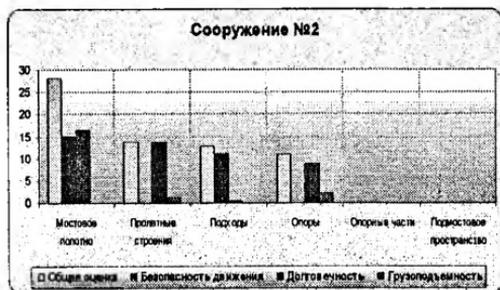


Рисунок 3

на по показателям ( $M$ ), ( $S$ ), ( $D$ ). Для пролетных мостовых конструкций выделяются показатели ( $M$ ) и ( $D$ ). Это позволяет запланировать ремонт всех железобетонных конструкций моста и мостового полотна за один раз. Принятый подход позволяет в условиях недостаточного финансирования выявить первоочередные задачи содержания и отложить второстепенные в зависимости от соотношения показателей состояния.

Исходная информация для расчета в системе «ASSA» принимается на основе оперативного осмотра сооружений. Показатели грузоподъемности принимаются по результатам специальных обследований, по технической документации. При отсутствии данных о грузоподъемности сооружения производится сбор дополнительной информации. Для обработки данных обследований и расчета грузоподъемности используются программные модули, разработанные автором: «COMM», «GIRD», «POP»

«INFL», «GEO», «STU», «S-Bridge». Последний модуль предназначен для статического расчета висячих мостов по деформированной схеме. Другие модули используются для контроля данных обмеров, статистической обработки прочности бетона, расчета мостов простых систем, расчета элементов по группам предельных состояний. Практическое применение системы «ASSA» показывает, что при минимально необходимом объеме данных обследования сооружений можно получать важную информацию, необходимую для рационального планирования мероприятий по содержанию.

УДК 665.54: 543

### **Пути снижения проницаемости бетонных конструкций**

Гречухин В.А.

Белорусский национальный технический университет

При возведении сооружений из бетона, имеющего пористую структуру, из-за агрессивного воздействия воды, актуальной проблемой является обеспечение водонепроницаемости.

Основными параметрами, определяющими водонепроницаемость цементных материалов являются:

- плотность структуры бетона и рабочая толщина конструкции;
- гидростатический напор и свойства проникающей жидкости.

Защита бетонных и железобетонных сооружений от воздействия влаги осуществляется различными способами: гидрофобизацией, применением гидроизоляции, силиконов, материалов, закрывающих поры, получением материалов с минимальной пористой структурой, минеральных гидроизоляционных материалов, на основе различных цементов, силикатов, глины и т.д.

В начале 50-х годов прошлого века фирмой Vandex (Дания) был получен материал действующий по принципу пенетрирования (проникающей гидроизоляции). Позже появились пенетрирующие системы под названиями Хурех (США, Канада), Thogo,

Penetron (США), Drizoro (Италия), Aquafin-IC, российские материалы Акватрон, Кальматрон, Коралл и др.

Для защиты бетонных и железобетонных конструкций используются также гидроизоляционные материалы, полученные из пластических масс, на основе полимерных вяжущих, в виде пленки и листов, полимерных мастик, полимербетонов и герметиков, из листов латуни, меди, алюминия, нержавеющей стали. Защита может быть из лака и краски, из разжиженных битумов и битумных эмульсий, а также поливинилхлоридные и другие лаки, краски и эмали.

Однако вышперечисленные способы защиты бетонных и железобетонных конструкций имеют недостатки.

При применении проникающей гидроизоляции размер капиллярных пор должен быть менее 0,3 мм и защищаемая конструкция не должна быть подвержена действию динамических нагрузок.

Работа гидрофобизаторов является малоэффективной при наличии гидростатического давления воды. У кремнийорганических покрытий высокая стоимость материала и недостаточно высокие прочностные и адгезионные характеристики. В жестких климатических условиях использование обычной поверхностной гидрофобизации конструкций недостаточно эффективно. С течением времени, кремнийорганические составы под воздействием многократных циклов увлажнения и высыхания, переходят из водонерастворимой формы в растворимую силикатную форму, и гидрофобное покрытие теряет водоотталкивающие свойства.

При защите поверхностного слоя бетона пленкой на основе эпоксидных, полиэфирных, поливинилхлоридных, полиуретановых и других смол, происходит быстрое и послойное разрушение самого покрытия, из-за низкой паропроницаемости вышперечисленных материалов.

Анализ водостойкости материалов, обработанных силиконами, показал, что в большинстве случаев они обладают неудовлетворительными свойствами или чрезмерной кратковременностью действия.

Металлические материалы дорогие и недостаточно коррозионно-стойкие. Пластмассовые материалы являются не достаточно долговечными.

Указанных недостатков можно избежать, если защита конструкции будет состоять из бетона, в структуру которого введен высокодисперсный материал, распределенный по всему объему. При этом, обеспечивается внутренняя гидрофобизация гидроизоляционного бетонного слоя. Высокодисперсный материал (например, бентонит, палыгорскит, коалинит и т.п.) должен обладать повышенной устойчивостью к воздействию щелочных агентов "цементного камня". Глины способны включать воду не только в свою химическую структуру (химически связанная вода), но и удерживать ее вокруг частиц в виде тонких прослоек (физически связанная вода), при этом увеличиваются в объеме в два раза и более. Намокая до известной степени глина перестает через себя пропускать воду и делается водонепроницаемой. Такой бетон будет обладать повышенной водонепроницаемостью, иметь высокие диэлектрические характеристики, быть стойким в солевых растворах, обладать высокой стойкостью к неорганическим и органическим кислотам и солям. Его использование в качестве добавок повышающих водонепроницаемость бетонов и растворов изучалось многими исследователями, например: [1-14].

Так Яцына [14], установил, что добавка бентонита в количестве 1-5% увеличивает водонепроницаемость бетонов. В работе [11] указано, что введение 2% добавки бентонита повышает водонепроницаемость бетонов в 3-4 раза.

В работе [15] описаны главные факторы, влияющие на свойства глин, - минеральный состав и структура. Высокая физико-химическая активность глинистых минералов обусловлена не только малым размером, но и особенностями их кристаллического строения. В основе кристаллической структуры глинистых минералов лежит контакт тетраэдрических и октаэдрических элементов, они имеют раздвижную кристаллическую структуру. При гидратации таких минералов молекулы воды и обменные катионы проникают в межслоевое пространство и существенно увеличивают межслоевое расстояние, обуславливая этим большое внутрикристаллическое набухание. [16] При этом поверхность частиц обычно заряжается отрицательно и к ней притягиваются гидратированные противоионы. В результате этого процесса формируются так называемые двойные электрические

слои (ДЭС), то есть, при взаимодействии с водой вокруг глинистых частиц образуются тонкие пленки воды [17,18].

К предполагаемым достоинствам данного материала следует отнести следующие качества. Высокое сопротивление системы сдвигу и адгезионная прочность в системе. Химическая стойкость защиты бетонных и железобетонных сооружений в кислых и щелочных средах, к солям антиобледенителям и нефтепродуктам определяет область его применения в транспортном строительстве.

### Литература

1. Бондарь Е.И. Влияние малых добавок глин на прочность, цементных растворов и бетонов. - В сб.: Поверхностные явления в дисперсных системах. Киев: Наукова думка, 1975, вып. 4, с. 147-151.
2. Бурба Р.П. К вопросу об использовании огланлинских бентонитов в бетонных гидротехнических сооружениях. - Тр.ин-та сооруж. АН УзССР, Ташкент, 1954, вып. 5, с. 65-73.
3. Горчаков Г.И., Капкин М.М., Скрамтаев Б.Г. Повышение морозостойкости бетона в конструкциях промышленных и гидротехнических сооружений. - М.: Стройиздат, 1965. - 195 с.
4. Затворническая Т.А., Коняева С.А., Микулович Б.Ф. Литые бетоны в гидроэнергетическом строительстве. - М.: Энергия, 1974.- 112с.
5. Кирсанов Н.В., Толмачева В.К. Влияние микродобавок кальциевых и натриевых бентонитов на свойства гидротехнических бетонов. - Тр.Казанского геологического ин-та, 1970, вып. 25, с. 148-159.
6. Королев А.С. Управление структурой и свойствами цементных гидроизоляционных бетонов введением комплексных уплотняющих добавок: Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук:05.23.05. -Челябинск, 1999. -25 с.
7. Кривонос С.И. Повышение эксплуатационной надежности зданий и сооружений с использованием проникающей гидроизоляции: Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук:05.23.01. -М., 2000.

8. Логачев Н.Т. Цементационные растворы с добавками жидкого стекла и бентонита. - Гидротехническое строительство, 1966, №7, с. 26-29.
9. Паронян Л.Н. Цементационные растворы с глинистыми и лессовыми добавками для закрепления водонасыщенных скальных пород и их применение в гидротехническом строительстве. Автореф.дисс... канд.техн.наук.- Тбилиси, 1968.- 34 с.
10. Попович (Бондарь) Е.И. Структурообразование цементно-водных дисперсий с малыми добавками глинистых минералов: - В сб.: Поверхностные явления в дисперсных системах. Киев: Наукова думка, 1974, вып. 3, с. 56-58.
11. Салихова О.В., Толмачева В.К. Влияние микродобавок бентонита щелочноземельного типа на свойства гидротехнических бетонов при воздействии природных и промышленных вод. - Тр. Казанского инж.-строит.ин-та, 1967, вып. 8, с. 104-110.
12. Шляхова Е.А. Особенности приготовления и формирования бетонных смесей на заполнителях с повышенным содержанием пылевидных и глинистых частиц: Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук:05.23.05. -Ростов-на-Дону, 1997. -24 с.
13. Щумаков М.И. Опыт применения бентонитов как пластифицирующих и уплотняющих добавок. - Промышленное строительство, 1971, № 8, с. 11-13.
14. Яцына В.Н. Влияние кальциевых черкасских бентонитов, обработанных содой, на водопроницаемость бетона. - Дисс... канд.техн.наук. - Киев, 1962.
15. Науки о земле. Глинистые породы и их свойства В. Н. Соколов. Соросовский образовательный журнал, том 6, №9, 2000 59-65 Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова.
16. Науки о земле. Глинистые породы и их свойства В. Н. Соколов. Соросовский образовательный журнал, том 6, №9, 2000 59-65 МГУ им. М.В. Ломоносова.
17. Грунтоведение / Под ред. Е.М.Сергеева. М.: Изд-во МГУ, 1983. 389 с.,
18. Королев В.А. Связанная вода в горных породах: новые факты и проблемы // Соросовский Образовательный Журнал. 1996. Х9 9. С. 79-85.

**Модернизация насосных установок много моторных приводов технологических машин**

Котлобай А.Я., Котлобай А.А.

Белорусский национальный технический университет

Эффективность работы мобильных технологических машин зависит от числа рабочих органов, одновременно выполняющих технологические операции [1].

Возможности реализации объединения ряда активных и пассивных рабочих органов в одной мобильной машине ограничиваются технологической совместимостью, габаритами, системой отбора мощности силовой установки на привод оборудования.

Анализ структуры гидрообъемных приводов ходового и рабочего оборудования [2] показывает, что силовая установка реализуется в основном как моноагрегат, насосная установка практически всегда многоагрегатна.

При увеличении количества насосов насосного агрегата и уменьшении количества гидромоторов удельный вес механической части привода возрастает. Это отрицательно сказывается на габаритных возможностях машины по размещению технологического оборудования.

Резервом рационализации систем отбора мощности силовой установки на привод оборудования является уменьшение удельного веса механических передач в кинематической цепи привода ходового и рабочего оборудования.

Такая задача может решаться по двум направлениям:

- создания многопоточных моноагрегатных насосных установок с модернизированной конструктивной схемой применяемых типов гидромашин;
- создания отдельных гидравлических агрегатов деления – суммирования потока рабочей жидкости насоса стандартной конструктивной схемы.

Первое направление активно разрабатывается [2]. Получают применение сдвоенные аксиально-поршневые насосы, скомпонованные по два в одном корпусе с параллельными валами, по два в блоке цилиндров на одном валу.

В рамках реализации первого направления в аксиально-поршневом насосе (рис. 1) может быть применен опорно-распределительный диск 5 с двумя (и более) группами полукольцевых пазов 6, 7, ориентированных на разных диаметрах относительно оси насоса. Группа включает два паза, связанные с напорной и всасывающей магистралями. Каждые два, рядом расположенных цилиндра блока цилиндров насоса связаны каналами 8, 9 с полукольцевыми пазами 6, 7 различных групп.

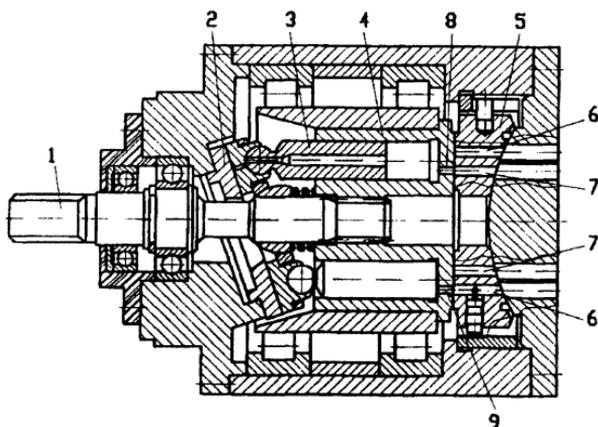


Рис. 1. Гидромашина с модернизированным опорно-распределительным диском:

1 – ведущий вал; 2 – наклонная шайба; 3 – поршень; 4 – блок цилиндров; 5 – опорно-распределительный диск; 6, 7 – полукольцевые пазы; 8, 9 – каналы

Пазы соединены с напорными и всасывающими магистралями гидросистемы. При внедрении таких гидромашин появляется возможность создания трехагрегатных и более гидрообъемных передач в рамках существующих схем аксиально-поршневых гидромашин.

Для реализации многопоточной гидромашинны перспективной может оказаться конструктивная схема (рис. 2).

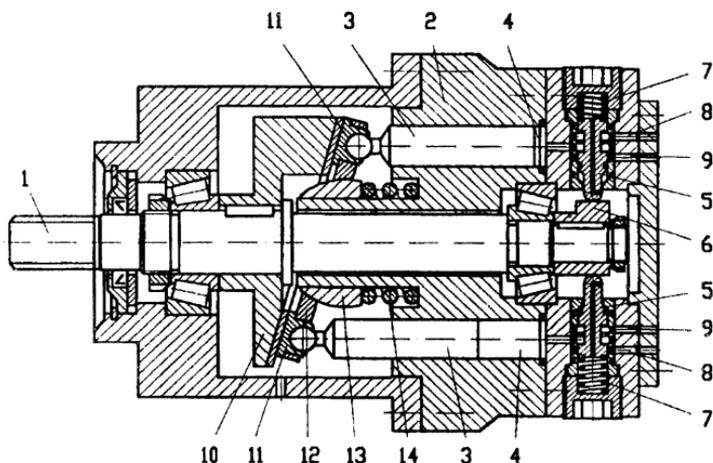


Рис. 2. Многопоточная гидромашина:

1 – ведущий вал; 2 – блок цилиндров; 3 – поршень; 4 – рабочая полость; 5 – золотник; 6 – кулачок; 7, 14 – пружина; 8, 9 – канал; 10 – наклонная шайба; 11 – башмак; 12 – прижимной диск; 13 – сферическая втулка

Аксиально-поршневая гидромашина включает установленный в подшипниках в корпусе гидромашины ведущий вал 1, блок цилиндров 2. Поршни 3 образуют рабочие полости 4.

Распределительное устройство выполнено в виде одного на каждый цилиндр двухпозиционного гидрораспределителя с золотником 5, взаимодействующим с кулачком 6, установленным на валу 1. Профиль кулачка 6 обеспечивает золотнику 5 две позиции. Золотник 5 подпружинен посредством пружины 7. Рабочие полости 4 соединены с каналами 8, 9.

Поршни 3 прижимаются к поверхности шайбы 10, закрепленной наклонно на ведущем валу 1, с помощью бронзовых башмаков 11, завальцованных на их сферических головках, прижимного диска 12, сферической втулки 13 и пружины 14.

При вращении вала 1 с наклонной шайбой 10 поршни 3 совершают в блоке цилиндров 2 возвратно-поступательное движение, изменяя объемы рабочих полостей 4 цилиндров.

При выдвигании поршней 3 из блока цилиндров 2 объем рабочих полостей 4 увеличивается. Одновременно кулачок 6, ори-

ентированный соответствующим образом относительно шайбы 10, переводит золотники 5 во вторую позицию, деформируя пружины 7. Рабочая жидкость из бака гидросистемы через каналы 8 поступает в рабочие полости 4.

При движении поршней 3 внутрь блока цилиндров 2 объем рабочих полостей 4 уменьшается. Кулачок 6 освобождает золотники 5, и пружины 7 возвращают их в первую позицию. Рабочая жидкость из полостей 4 поступает в напорные магистрали потребителей.

Предлагаемая конструктивная схема многопоточной аксиально-поршневой гидромашины обладает широкими возможностями по увеличению числа контуров потребителей.

В рамках реализации второго направления могут применяться объемные делители потока рабочей жидкости.

Возможно принципиальное техническое решение, состоящее в дискретной подаче фиксированных объемов рабочей жидкости последовательно по напорным магистралям потребителей. При таком техническом решении насос много моторного привода работает каждый дискретный промежуток времени с контуром одного потребителя. Далее, насос последовательно подключается к контуру каждого потребителя гидросистемы. Нагрузочные режимы различных контуров не оказывают взаимного влияния.

Анализ работы возвратно-поступательных гидромашин показывает возможность использования их в качестве дозирующих систем. В качестве дозирующих модулей могут быть использованы одноцилиндровые возвратно-поступательные гидромашинны. Плунжер дозирующего модуля образует две торцевые рабочие полости, каждая из которых циклически связана с напорной магистралью потребителя, и с источником давления, и баком, при использовании дозирующего модуля в режимах делителя и сумматора потоков. Цикл работы каждой рабочей полости дозирующего модуля состоит из двух тактов: наполнения из напорных магистралей источника давления (потребителя), и опорожнения в напорную магистраль потребителя (в бак гидросистемы).

Основным условием объединения дозирующих модулей в систему является наличие конструктивных элементов, обеспечивающих одинаковое (заданное) количество циклов работы дози-

рующих модулей, и стабильность расходных характеристик цикла всех дозирующих модулей.

Модульные дозирующие системы позволяют реализовать многомоторный гидравлический привод ходового и рабочего оборудования мобильных строительных, дорожных и сельскохозяйственных машин. Построение структуры модульных дозирующих систем обеспечивает:

- независимость работы контуров потребителей при дискретно синхронном расходе рабочей жидкости по напорным магистралям потребителей;
- модульное изменение числа контуров потребителей в соответствии с потребностями реализуемого гидропривода;
- дискретно синхронную подачу рабочей жидкости в напорные магистрали ряда контуров потребителей модульной дозирующей системы, и одновременный слив рабочей жидкости из напорных магистралей остальных потребителей, возможность выключения контуров потребителей;
- ступенчатое регулирование расхода рабочей жидкости между контурами потребителей.

Реализация предложенных технических решений позволит уменьшить число механических передач при формировании многомоторных гидрообъемных приводов, рационализировать компоновочные решения технологических машин, снизит металлоемкость их.

## **Литература**

1. Дорожно-строительные машины: [Учебник для специальности «Строительство дорог и транспортных объектов» вузов] / Вавилов А.В., Леонович И.И., Максименко А.Н., Шкрадюк Л.С., Щемелев А.М.; Под общ. ред. Щемелева А.М. – Мн.: УП «Технопринт», 2000 – 515 с.

2. Петров В.А. Гидрообъемные трансмиссии самоходных машин. – М.: Машиностроение, 1988. – 248 с.

## Применение теории оптимизации в уравнительных вычислениях

Гармаза О.Е.

Белорусский национальный технический университет

При изучении проблем экономики, планирования, управления, организации производства и др. все более широкое применение находит новое научное направление, получившее название "исследование операций"[1].

При решении тех или иных задач каждое операционное исследование последовательно проходит три основных этапа:

1. постановка задачи и построение математической модели изучаемого процесса или явления;
2. анализ полученной модели и нахождение метода решения;
3. реализация найденного решения и результатов исследований на практике.

Во многих случаях процесс формализации задачи осуществляется путем выбора соответствующего критерия эффективности решения, определяющегося целевой функцией

$$\phi = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

и системой ограничений

$$a_k \leq \psi_k(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b_k, \quad k = 1, q, \quad (2)$$

где  $x_i$  - параметры, являющиеся неизвестными при поиске оптимального решения;  $a_k, b_k$  - некоторые постоянные.

Большой класс геодезических задач, связанных с оптимальным планированием работ, проектированием геодезических сетей, разработкой рациональных методов обработки измерений и др., решается одним из математических аппаратов теории исследования операций методом математического программирования. Этот метод включает линейное, нелинейное, динамическое программирование и отличается от непосредственного программирования на ЭВМ, но без ЭВМ, как правило, не используется.

Если показатель эффективности (1) является линейной функцией независимых переменных  $x_i$  и ограничения (2), определяющие область допустимых значений переменных, представляют собой линейные зависимости, то такие задачи решаются методами линейного программирования. Область его применения в геодезии разнообразна - создание проектов полевых геодезических работ; поиск оптимальных высот геодезических знаков; уравнивательные вычисления и др.

Математический аппарат линейного программирования для уравнивательных вычислений используется в основном при реализации метода наименьших модулей.

На возможность применения в определенных условиях метода наименьших модулей указывал еще Лаплас, в 1757 г. Боскович и в 1887 г. Эджворт. Но лишь в настоящее время в связи с внедрением быстродействующих ЭВМ появились реальные предпосылки для привлечения этого метода к решению практических задач.

Известно, что широкий класс экстремальных задач решается с помощью нелинейного программирования, рассчитанного на тот случай, когда критерий эффективности (1) и (или) ограничения (2) выражаются нелинейными зависимостями от параметров  $x_i$ . При этом, исходя из типа задачи, используют методы: выпуклое, квадратичное, сепарабельное, стохастическое и целочисленное программирование.

Если при поиске экстремума критериальной функции предусматриваются многоэтапные процессы, изменяющиеся во времени, то применяется динамическое программирование. Задачи этого типа имеют важное значение, например, при уравнивании геодезических сетей, когда необходимо учитывать их многоэтапную структуру.

Сепарабельное программирование является в некотором смысле модифицированным методом линейного программирования, когда критериальная функция (1), как и ограничения (2), представлены в виде суммы линеаризованных функций только одной переменной.

Стохастическое программирование применяется в тех случаях, когда при поиске оптимального решения существенную роль играют случайные факторы. Здесь целевая функция представля-

ет собой некоторую числовую характеристику случайной функции параметров.

Наибольшее применение в практике геодезических вычислительных работ получили методы квадратичного программирования, рассчитанные на те случаи, когда целевая функция (1) квадратична, а ограничения, которых может и не быть линейны. Если рассматривается задача по отысканию экстремума квадратичной формы без ограничений (2), то оптимизация выполняется по методу наименьших квадратов, являющемуся частным случаем квадратичного программирования. Академик Л.В.Канторович впервые указал на возможность применения квадратичного программирования при математической обработке наблюдений. В настоящее время при решении геодезических экстремальных задач используют квадратичное программирование главным образом для оптимального проектирования и уравнивания геодезических сетей.

Н.А. Тараничев один из первых предложил выполнять уравнивание геодезических сетей путем минимизации квадратичной формы способом Ньютона без составления и решения системы нормальных уравнений. В этом методе исходные нелинейные уравнения, связывающие результаты измерений с искомыми параметрами, линеаризуются с помощью разложения уравнений в ряд Тейлора. Поскольку линеаризация и решение системы линейных уравнений выполняется на каждой итерации, то в качестве начальных неизвестных (координат определяемых пунктов) используются достаточно грубые их значения, выбранные с карты или схемы.

Применение квадратичного программирования для уравнивания геодезических сетей не ограничивается на использовании метода Ньютона. Существуют и другие методы минимизации квадратичной формы, различающиеся по характеристикам эффективности их применения. Например, М.В.Красикова, Л.Грюндич и К.Линквиц и др. применили для решения систем линейных уравнений методом сопряженных градиентов. Х.И.Тимов использовал для тех же целей способ Д.Била.

Методы уравнивания, основанные на теории математического программирования обладают следующими положительными особенностями:

1. В методах математического программирования рассматриваются решения оптимизационных задач с ограничениями линейного и нелинейного характера в виде равенств или неравенств. Согласно исследованиям В.Г. Назаренко, уравнивание высокоточных геодезических сетей методом квадратичного программирования на основе принципа наименьших квадратов с учетом ограничений на величины поправок в результаты измерений обеспечивает лучшее согласование поправок с их истинными значениями.

2. Методы квадратичного программирования позволяют выполнять решение больших систем уравнений вычислительными алгоритмами, наиболее приспособленными к их реализации на ЭВМ.

3. Методы нелинейного программирования позволяют выполнять решение системы нелинейных уравнений без линеаризации исходных параметрических уравнений. В результате предварительные значения параметров в большинстве случаев могут быть получены без привлечения дополнительных сведений о геодезической сети. Последнее позволяет сократить объем исходной информации и способствует повышению качества программ, составленных для ЭВМ.

4. Методами нелинейного программирования возможно уравнивание геодезических сетей не только по методу наименьших квадратов, но и другим способом в соответствии с выбранной критериальной функцией.

### Литература

1. Аоки М. Введение в методы оптимизации. Основы и приложения нелинейного программирования. Перевод с английского.- М.: 1977. –343 с.
2. Мицкевич В.И., Абу Дака Имад. Оценка точности пространственных засечек методами нелинейного программирования // Геодезия и картография.- 1994. - №1.-С. 22-24.
3. Мицкевич В.И., Ялтыхов В.В. Уравнивание и оценка точности геодезических засечек под различными критериями оптимальности решения // Геодезия и картография. – 1994, - №7. – С.14-16.

**Геодезическое обеспечение геометрической точности строительства здания Национальной библиотеки РБ**

Нестеренок М.С., Вексин В.Н., Нестеренок В.Ф.  
Белорусский национальный технический университет

Технологический процесс геодезического сопровождения строительства Национальной библиотеки разделяется на две составляющие: 1–позтапные геодезические разбивочные работы; 2–позтапные исполнительные съемки. Разбивки и исполнительные съемки производятся относительно одних и тех же постоянных геодезических пунктов разбивочной основы, расположенных внутри контура здания и за его пределами. Точность геодезических измерений при разбивках и исполнительных съемках должна обеспечивать выполнение норм геометрической точности строительства, указанных в СНиП 3.03.01-87 [1].

Поскольку в проекте производства геодезических работ (ППГР) [2] не была оговорена требуемая точность  $\Delta_r$  разбивочных геодезических работ и исполнительных съемок, то для рассматриваемого объекта значения  $\Delta_r$  обоснованы в научно-техническом отчете [3] в двух вариантах: а) при использовании оптических геодезических приборов и стальных рулеток  $\Delta_r = \Delta_{ГО} = 0,2\Delta_{СП}$ ; б) применяя лазерные дальнометры и электронные тахеометры с учетом их точности значения допусков  $\Delta_r = \Delta_{ГЭ} = 0,33\Delta_{СП}$ , где  $\Delta_{СП}$  – допустимые отклонения строительных конструкций от проектного положения согласно [1].

Опорные пункты внутренней плановой разбивочной геодезической основы определены в единой строительной системе прямоугольных координат  $XU$  с погрешностью не грубее 1-1,5мм. Отметки исходных строительных реперов определены в строительной системе высотных координат с погрешностью не больше 1 мм относительно группы ближайших исходных реперов.

В соответствии с обоснованными значениями  $\Delta_{ГО}$  и  $\Delta_{ГЭ}$  средняя квадратическая погрешность (СКП)  $m_{xy}$  взаимного планового положения пунктов, закрепляющих основные и дополнительные оси за пределами контура здания, должна отвечать требованию

$$m_{xy} = (0,2 - 0,33)\Delta_{СП} = \pm(2 - 3,3)мм, \quad (1)$$

где согласно СНиП [1] (таблицы 9, 11 и др.) для бетонных, железобетонных и стальных конструкций допустимые их отклонения от проектного положения в плане  $\Delta_{СП} = \pm 10\text{мм}$ .

Взаимное в плане положение пунктов внутренней разбивочной основы должно определяться геодезическими измерениями на текущем монтажном горизонте с учетом условия (1) с допустимой погрешностью

$$m_{xy} = 0,33\Delta_{СП} \approx \pm 3,3\text{мм}. \quad (2)$$

Дополнительно к требованию (2) допустимые горизонтальные погрешности переноса осей на монтажный горизонт для зданий и сооружений высотой  $H > 60\text{м}$  заданы в ГОСТ 21779-82 при первом классе точности в среднем как 1:10000 от высоты  $H$ . Следовательно для всей системы взаимно сопряженных в плане пунктов разбивочной основы на монтажном горизонте допускается отклонение от вертикали (крен) относительно нулевой отметки

$$(\Delta_{\text{КРЕН}})_{\text{доп}} = H / 10000 + (1 \div 2 \text{ мм на высотах } H \text{ до } 10 - 15\text{м}). \quad (3)$$

При высоте над нулевой отметкой  $H = 12\text{м}$  находим  $(\Delta_{\text{ПРКЦ}})_{\text{доп}} = \pm (2 \div 3)\text{мм}$ , при  $H = 72\text{м}$   $(\Delta_{\text{КРЕН}})_{\text{доп}} = \pm 7\text{мм}$ .

Точность геодезических разбивок конструкций по высоте назначается соответственно условиям (1) и (2)

$$\Delta_{\Gamma} = 0,2\Delta_{\text{СПВ}}; \Delta_{\Gamma} = 0,33\Delta_{\text{СПВ}}, \quad (4)$$

где  $\Delta_{\text{СПВ}}$  – допуски на отклонение конструкций по высоте согласно СНиП 3.03.01-87.

Для достижения указанных выше параметров точности в [3] дан перечень рекомендуемых геодезических приборов для выполнения разбивочных работ и исполнительных съемок.

1. Высокоточные теодолиты, предназначены для разбивок осей относительно пунктов внешней разбивочной основы, расположенных на расстояниях до 100÷120м от центра ядра жесткости здания.

2. Точные и специальные теодолиты для внутренних разбивочных работ относительно пунктов внутренней разбивочной основы на соответствующих монтажных горизонтах.

3. Приборы для передачи на монтажный горизонт точек внутренней разбивочной основы методом отвесного проецирования оптическим или лазерным лучом. Оптический прибор вертикального проецирования PZL-100 в котором применен маятниковый компенсатор самоустановки визирного луча. Точ-

ность вертикального проецирования составляет  $\pm 1$  мм на 100 м высоты, точность центрирования над опорным пунктом  $\pm 0,2$  мм. Кафедра инженерной геодезии БНТУ располагает названным прибором и в рамках договора о творческом сотрудничестве участвует в вертикальных разбивках конструкций строящегося объекта.

Лазерный зенит-прибор LV1 фирмы Sokkia характеризуется точностью проецирования в зенит  $\pm 5''$  или  $\pm 2,4$  мм на 100 м высоты.

4. Многофункциональные электронные тахеометры предназначены для разбивочных работ и исполнительных съемок как относительно пунктов внешней, так и внутренней разбивочной основы с использованием пространственных проектных координат точек строительных конструкций.

Тахеометры электронные марки TSR/303 фирмы Leica. Программные возможности включают в частности обратную засечку и вынос в натуру точки по проектным трехмерным координатам, рассчитанным авторами в отчете [3].

5. Ручные лазерные дальномеры безотражательные (лазерные рулетки DISTO pro) обладают точностью измерения 1,5 мм (максимальная погрешность 3 мм), дальность от 0,3 до 100 м, память на 800 результатов, вычисление геометрических параметров и наклона конструкций и др.

6. Оптические нивелиры фирмы типа ЗНЗКЛ (в рабочем положении прибор автоматически сохраняет горизонтальность визирного луча с погрешностью 1 мм на 100 м, диапазон работы компенсатора  $\pm 15'$ , минимальное расстояние визирования 1,2 м)

7. Нивелирные рейки. Для разбивочных работ с помощью нивелиров, названных в п.6, пригодны рейки РН-3000. Для высокоточных работ рекомендуется рейка нивелирная телескопическая алюминиевая с миллиметровой шкалой TS3-3E.

На этапе строительства пока существует прямая видимость между парой осевых знаков с противоположных сторон объекта точность оптического проецирования (при двух положениях вертикального круга) оси на строительные конструкции  $m_{пр}$  составляет

$$m_{пр} = \sqrt{[L \times \operatorname{tg}(\Delta\beta)]^2 + (m_{\text{фиксац.}})^2}, \quad (5)$$

где  $L$  – расстояние до точки проекции;  $\Delta\beta$  – погрешность визирувания по створу.

При  $L=60\text{м}$ ,  $\Delta\beta=5''$  определяем  $m_\beta = 1,5\text{мм}$ , с учетом погрешности фиксации точки осевой метки  $m_{\text{фиксац}} \approx 1\text{мм}$  получаем оценку  $m_\beta \approx 1,6\text{мм}$ , не нарушающую значение  $\Delta_T$  для точности проецирования.

Способ вертикального проецирования реализуется с помощью оптического зенит-прибора PZL, погрешность проецирования указана выше.

Электронные тахеометры, предназначенные также для строительных разбивочных работ и исполнительных съемок, применяются для проецирования опорных точек и осей на монтажный горизонт относительно геодезических осевых знаков, закрепленных за пределами контура возводимого объекта или же расположенных на объекте в зоне монтажного горизонта. Для осуществления задачи проецирования и передачи отметки должны быть известны прямоугольные координаты  $X_{\text{СТ}}$ ,  $Y_{\text{СТ}}$ , и  $H_{\text{СТ}}$  точки, над которой установлен тахеометр, а также проектные координаты  $X_i$ ,  $Y_i$ , и  $H_i$  определяемых точек задаются параллельно осям  $X$  и  $Y$  координатной сетки стройплощадки.

Для оценки достижимой точности выноса точки полярным способом применена формула

$$m_1 = \sqrt{(D/\rho'')^2 m_\alpha^2 + m_D^2 + m_{\text{фиксац}}^2}, \quad (6)$$

где  $D$  – дальность;  $\rho''=206265$ ;  $m_\alpha$  – погрешность измерения дирекционного проектного угла;  $m_D$  – погрешность дальности по светодальномеру;  $m_{\text{фикс}}$  – погрешность фиксации искомой точки.

При  $D=100\text{м}$ ;  $m_\alpha = 6''$ ;  $m_D = 5\text{мм}$ ;  $m_{\text{фикс}} = 1\text{мм}$  ожидаемая погрешность определения местоположения точки  $m_1 \approx 6\text{мм}$ .

В случае использования электронного тахеометра TCR/303  $m_D = 2\text{мм}$  тогда  $m_1 \approx 3\text{мм}$ . Прямой вынос осевой разбивочной точки возможен только при существовании прямой видимости между тахеометром и отражателем, но при наращивании высоты здания прямая видимость как правило отсутствует, поэтому к выносу необходимо рассчитывать по координатам вспомогательные разбивочные точки.

В процессе строительства может возникнуть целесообразность установки электронного тахеометра на уровне монтажного горизонта и определения его координат  $X$ ,  $Y$  и  $H$  решением обратной засечки по измеренным дальностям, горизонтальным углам и углам наклона до отражателей, установленных не менее чем на трех наземных пунктах геодезической основы стройплощадки.

Оценка точности определения плановых координат способом обратной линейной засечки по двум расстояниям в горизонтальной проекции выражается формулой (без учета ожидаемых погрешностей опорных пунктов  $\approx 1$  мм)

$$m_{обр} \approx (m_d / \sin \gamma) \sqrt{2}, \quad (7)$$

где  $\gamma$  – угол между линиями засечки;  $m_d = m_{D} \cos \nu$  – погрешность светодальномера в проекции на горизонтальную плоскость.

Погрешность искоемых координат минимальна при угле засечки  $\gamma \approx 90^\circ$ .

Для измерений превышения и передачи отметок по высоте рассмотрено применение лазерного дальномера DISTO.

Оценку погрешности  $m_{мг}$  передачи отметки на монтажный горизонт можно рассчитать по формуле

$$m_{мг} = \sqrt{4m_a^2 + m_l^2 + 2m_c^2}, \quad (9)$$

где  $m_a$  – погрешности отсчетов по нивелирной рейке;  $m_l$  – погрешность дальномера;  $m_c$  – погрешности фиксации высотных точек. Расчетное значение  $m_{мг} \approx 3\text{--}4$  мм обеспечивает требуемую точность передачи высот.

Рассмотренные методы и приборы для разбивочных геодезических работ обеспечивают требуемую геометрическую точность строительства Национальной библиотеки РБ.

### Литература

1. СНиП 3.03.01-87. «Несущие и ограждающие конструкции». Госстрой СССР. М.: АПП ЦИТП. 1991.

2. Проект производства геодезических разбивочных работ. Технический отчет. ОАО «Габарит». Мн.: 2002.

3. Научное исследование геодезического сопровождения строительства высотного здания книгохранилища Национальной библиотеки Республики Беларусь: Научно-технический отчет. Международный образовательный центр. БНТУ, Минск 2003.

## Оптимизация статически неопределимой фермы методом сокращения ресурсов на прочность

Шевчук Л.И., Вербицкая О.Л.

Белорусский национальный технический университет

Статически неопределимые конструкции, в частности статически неопределимые фермы, нашли широкое применение в строительстве. Такие конструкции отличаются экономичностью и обладают способностью приспособляемости. Однако, расчет статически неопределимых конструкций и получение рациональных проектных решений гораздо более трудоемки чем расчет статически определимых систем. Поэтому для получения рациональных статически неопределимых конструкций требуется применять специальные методы оптимизации. Одним из таких эффективных методов является метод сокращения ресурсов [1].

Рассматривается задача оптимизации плоской статически неопределимой стержневой системы (фермы). В качестве целевой функции принята масса фермы.

$$G(\vec{A}) = \min G(\vec{A}), \quad \vec{A} \in R_n, \quad (1)$$

где  $\vec{A}$  – вектор параметров оптимизации, в качестве которых приняты площади поперечных сечений элементов фермы.

$$\vec{A} = (A_1, A_2, \dots, A_n)^T, \quad (2)$$

$n$  – число элементов в ферме.

Приняты конструктивные ограничения для площади поперечных сечений элементов фермы

$$A_i \geq A_{\text{lim}}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

где  $A_{\text{lim}}$  – конструктивно минимально допустимая площадь поперечного сечения элемента фермы.

Кроме того, ставятся ограничения по прочности

$$\sigma_{adm} - |\sigma_i| \geq 0, \quad (4)$$

где  $\sigma_{adm}$  – допускаемое напряжение в элементе фермы.

Для расчета взята статически неопределимая ферма с крестообразной решеткой. Ферма состоит из шести панелей верхнего пояса, шести панелей нижнего пояса, семи стоек и двенадцати

ти раскосов. Статический расчет фермы выполняется методом конечных элементов [2].

Узлы конечного элемента могут смещаться только в горизонтальном и вертикальном направлениях. Поэтому элемент имеет четыре степени свободы. Из таких элементов строится конечно-элементная модель статически неопределимой фермы. Элементы соединяются друг с другом и с опорами шарнирами. Полагаем, что материал фермы деформируется по закону Гука. Нагрузка собирается в равнодействующие силы и прикладывается к узлам верхнего пояса фермы. В результате расчета определяются значения продольных сил и напряжений в сечениях элементов фермы.

При проведении численных исследований поперечные сечения элементов фермы приняты в виде кольца с наружным диаметром равным  $d$  и толщиной кольца  $t = 0.1d$ .

Момент инерции, радиус инерции и гибкость стержня могут быть выражены через площадь поперечного сечения.

$$d^2 = \frac{A}{0.2826}. \quad (5)$$

$$J_x = J_y = 0.02897 \left( \frac{A}{0.2826} \right)^2 = 0.3627 A^2. \quad (6)$$

$$i_x = i_y = \sqrt{\frac{J_x}{A}} = \sqrt{\frac{0.3627 A^2}{A}} = 0.6023 \sqrt{A}. \quad (7)$$

$$\lambda = \frac{\mu \cdot l}{i_x} = \frac{1 \cdot l}{0.6023 \sqrt{A}} = \frac{l}{0.6023 \sqrt{A}} \quad (8)$$

где  $\mu$  – коэффициент приведения, равный  $\mu = 1$ , так как принято шарнирное закрепление стержней фермы в ее узлах;  $l$  – длина элемента.

Как показывают расчеты, часть элементов фермы (элементы нижнего пояса, некоторые стойки и раскосы) испытывают растяжение, а часть – сжатие. Независимо от этого условие прочности выражаем одной общей формулой

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq \sigma_{adm}, \quad (9)$$

где  $N$  – растягивающая продольная сила в элементе;  $A$  – площадь поперечного сечения элемента;  $\sigma_{adm}$  – допускаемое напряжение, принимаемое в зависимости от того, растянут или сжат стержень, а также от его гибкости (10). Если используются формула Эйлера или Ясинского, то вводится коэффициент запаса.

$$\sigma_{adm} = \begin{cases} R, & N > 0; \\ 3.5761 \frac{EA}{k_{rezw} l^2}, & N < 0; \lambda \geq 100; \\ a - 1.660 \frac{bl}{k_{rezw} \sqrt{A}}, & N < 0; 50 < \lambda < 100; \\ R, & N < 0; \lambda \leq 50, \end{cases} \quad (10)$$

где  $k_{rezw}$  – коэффициент запаса прочности,  $k_{rezw} > 1$ .

Оптимизация фермы выполняется методом сокращения ресурсов прочности. Предполагаем, что требуемая по условию прочности площадь поперечного сечения элементов фермы на каком-то малом отрезке обратно пропорциональна напряжению в этом элементе. Тогда

$$\frac{\sigma}{\sigma_{adm}} = \frac{A_*}{A}. \quad (11)$$

Отсюда выражаем требуемую площадь сечения элемента при использовании полного ресурса прочности

$$A_* = \frac{\sigma}{\sigma_{adm}} A, \quad (12)$$

где  $A_*$  – проектируемая площадь сечения рассматриваемого элемента;  $A$  – фактическая площадь сечения элемента;  $\sigma_{adm}$  – допускаемое напряжение;  $\sigma$  – расчетное напряжение в элементе.

Однако, зависимость (12) не является точной, так как не учитывается влияние других элементов фермы на усилие в рассматриваемом элементе в связи с тем, что ферма статически неопределимая. Поэтому для планирования площадей поперечных се-

чений стержней фермы в очередном приближении использовать полный ресурс прочности “опасно”. В этом случае следует применять релаксацию площадей поперечных сечений стержней фермы на очередном приближении (13).

$$A_{**} = A \left[ 1 + \omega \left( \frac{|\sigma|}{\sigma_{adm}} - 1 \right) \right], \quad (13)$$

где  $A$  – площадь поперечного сечения рассматриваемого стержня фермы на текущем приближении;  $A_{**}$  – прогнозируемая площадь поперечного сечения рассматриваемого стержня, полученная с использованием релаксации для последующего приближения;  $\omega$  – множитель релаксации, который может принимать значения  $0 \leq \omega \leq 1$ .

На основе приведенных расчетных формул разработан алгоритм и составлена компьютерная программа на алгоритмическом языке Pascal (Delphi-7). Выполнен оптимизационный расчет статически неопределимой фермы с параллельными поясами и крестообразной решеткой. Были приняты следующие исходные данные: начальная площадь поперечного сечения элементов фермы  $A_i = 64 \text{ см}^2$ ; модуль упругости материала  $E = 200 \text{ ГПа}$ ; расчетное сопротивление  $R = 210 \text{ МПа}$ ; нагрузка на узлы верхнего пояса  $F = 96 \text{ кН}$ ; конструктивное ограничение площади поперечного сечения  $A_{\text{lim}} = 5 \text{ см}^2$ ; множители релаксации  $\omega = 0.3, 0.5, 0.7$ ; максимальное количество приближений  $m_{it} = 10$ .

Для оценки скорости сходимости последовательности приближений при поиске оптимального решения использовались множители релаксации различного значения – 0.3, 0.5 и 0.7. При этом задавалось различное количество приближений. По полученным результатам построены графики зависимости оптимальной массы фермы от числа приближений. Анализ этих зависимостей показывает, что во всех случаях наблюдается стабильный сходящийся процесс. При этом скорость сходимости существенно зависит от множителя релаксации. Медленнее всего процесс приближений сходится при множителе релаксации равном 0.3. Оптимальное решение достигается при десяти итераци-

ях. Быстрее всего последовательность приближений сходится, если использован множитель релаксации равный 0.7. Для получения фермы с оптимальными параметрами в этом случае достаточно трех итераций.

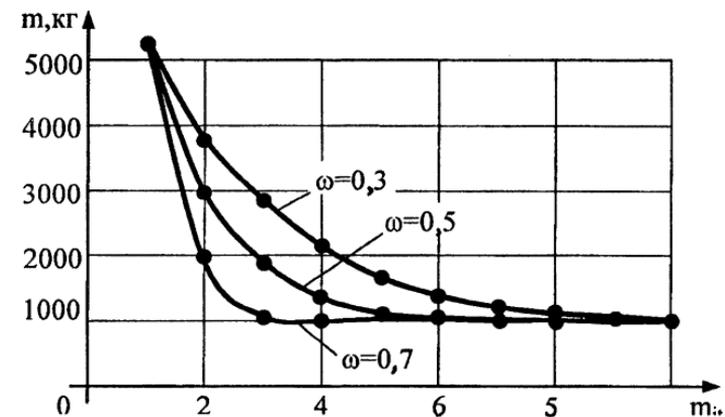


График изменения массы оптимальной фермы в зависимости от количества приближений и значения множителя релаксации

В результате проведенных исследований разработан алгоритм метода сокращения ресурсов прочности фермы, построенной из стержней кольцевого поперечного сечения, и получены основные расчетные формулы. Установлено, что последовательность приближений процесса поиска оптимального решения очень быстро сходится. Чтобы получить приемлемые для практического применения результаты достаточно выполнить не более 8-10 приближений.

### Литература

1. Габасов Р., Кирилов Ф.М. Методы оптимизации. Минск: Изд-во БГУ, 1975. – 278 с.
2. Вербицкая О.Л. Моделирование сплошной изотропной прямоугольной плиты шарнирно-стержневой системой//Актуальные проблемы расчета зданий, конструкций и их частей: теория и практика. Материалы межд. н.-т. конф. – Минск, 2002. – С.56–64.

## О свойствах коэффициентов чувствительности в задачах оптимального проектирования ферм

Казутов М.А.

Белорусский национальный технический университет

Под параметрической чувствительностью системы понимают способность ее изменять свои свойства при изменении каких-либо параметров (площадей поперечных сечений элементов, нагрузок, модуля упругости материала, геометрических размеров системы и др.). Количественный анализ чувствительности выполняется с использованием коэффициентов чувствительности (КЧ), представляющих собой частные производные от функций ограничений (ограничения на напряжения в стержнях, на перемещения узлов конструкции и др.) или целевой функции (объем материала, напряжение в элементе и др.), найденные с учетом взаимосвязи ограничений задачи. Вывод формул для вычисления КЧ описан в [1]. Там же дан и подробный анализ свойств КЧ ограничительных функций на напряжения в элементах и перемещения узлов к изменению площадей поперечных сечений стержней.

Целью настоящего исследования является изучение свойств КЧ ограничительных и целевой функций к изменению координат узлов. Покажем на конкретном примере, что КЧ ограничительных функций адекватно реагируют на изменение параметров системы.

Пример. Найти площади поперечных сечений стержней (площади всех стержней одинаковы и равны  $b$ ) и расстояние между опорами  $h$  системы (рис. 1), соответствующие минимуму объема материала. Имеются следующие ограничения: напряжения в стержнях ( $\sigma_1, \sigma_2$ ) не должны превышать 200 МПа; горизонтальное перемещение узла 3 ( $z_{3, \text{гориз}}$ ) должно быть не более 4 мм, т.е:

$$1 - |\sigma_1|/200 \geq 0 \quad (1),$$

$$1 - |\sigma_2|/200 \geq 0 \quad (2),$$

$$1 - |z_{3, \text{гориз}}|/4 \geq 0 \quad (3).$$

Целевая функция имеет вид.

$$V = b \cdot (2,0 + \sqrt{h^2 + 4}) \quad (4).$$

Значение  $h$  в диапазоне 1...3,5 м. Начальные площади стержней равны  $b_{нач} = 141,96 \text{ см}^2$ ; начальное значение  $h$  принято 1 м.

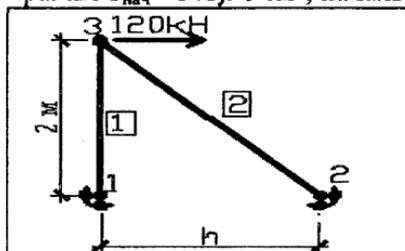


Рис.1. Расчетная схема фермы

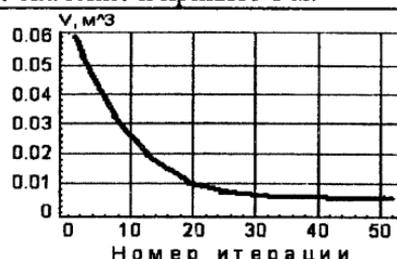


Рис.2. График изменения объема материала

Автором разработан алгоритм и компьютерная программа поиска оптимальной геометрии ферм при статическом действии нагрузки. С помощью данной программы было получено следующее решение поставленной задачи:  $b_{опт} = 9.36 \text{ см}^2$ ;  $h_{опт} = 2.70 \text{ м}$ ;  $V_{опт} = 0.00502 \text{ м}^3$ . При этом горизонтальное перемещение узла 3 составило 3.9 мм. Необходимые графики представлены на рис.2-7. В процессе оптимизации значения площадей поперечных сечений стержней уменьшаются, а значение  $h$  увеличивается.

Для данной постановки справедливо следующее правило знаков: положительное значение КЧ свидетельствует о росте запаса по ограничению при изменении данной координаты; знак минус свидетельствует о противоположном эффекте.

На графиках отчетливо видно, что с увеличением значения  $h$  увеличиваются запасы по всем ограничениям (см. рис. 6-8). Рост чувствительности ограничительных функций к изменению  $h$  (приблизительно до 17-й итерации) наблюдается на фоне активного уменьшения площади стержней  $b$  (сравните рис.3 и рис.6-8), т.е. в ответ на уменьшение жесткости и увеличение напряжений в стержнях конструкция «настойчиво требует» увеличения своих габаритов. Далее чувствительность снижается вплоть до того момента, пока  $h$  не достигнет своего оптимального значения при данных ограничениях. По мере увеличения  $h$  при неизменных площадях конструкция может достигнуть такого состояния, когда она потеряет чувствительность к увеличению

этой величины. Наконец, при достижении величиной  $h$  оптимума, чувствительность системы остается постоянной, т.к. параметры системы уже практически не изменяются. Прекращение итерационного процесса происходит в следующих случаях: 1) Дальнейшее увеличение  $h$  приведет к увеличению объема конструкции (см. рис. 5). 2) Дальнейшее увеличение  $h$  (или уменьшение  $b$ ) приведет к нарушению ограничений.

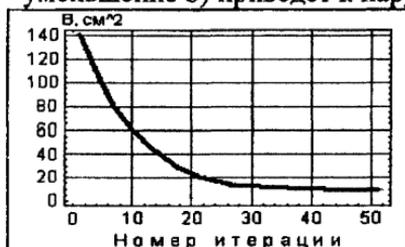


Рис.3. График изменения площади  $b$



Рис.4. График изменения  $h$

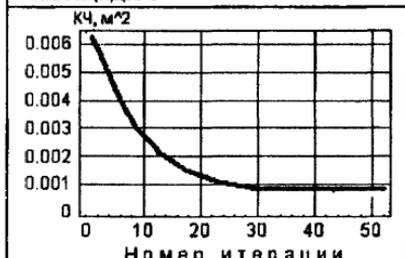


Рис.5. КЧ целевой функции к изменению  $h$



Рис.6. КЧ ограничения (3) к изменению  $h$

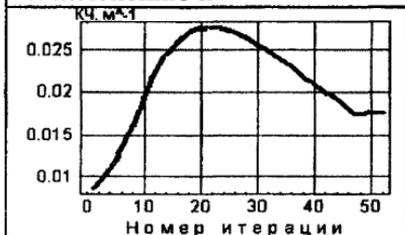


Рис.7. КЧ ограничения (1) к изменению  $h$



Рис.8. КЧ ограничения (2) к изменению  $h$

**Выводы.** Анализ чувствительности является сильным инструментом в руках проектировщика, который позволяет ему прогнозировать поведение конструкции при изменении какого-

либо из ее параметров. Такой анализ может быть полезен не только при оптимальном проектировании новых конструкций, но и при реконструкции уже существующих.

### Литература

1. Борисевич А.А. Оптимизация нелинейно упругих стержневых систем по методу локальных линеаризованных областей. — Брест: Изд. БГТУ, 2001.- 104с.

## Нелинейный расчёт балки на упругом основании

Машкова О.В.

Белорусский государственный университет транспорта

Существующие методы расчетов оснований и фундаментов базируются на использовании теории *линейно* деформируемых тел. Однако для большинства видов грунтов зависимость между нагрузкой и осадкой имеет явно *нелинейный* характер. Поэтому грунты в общем случае следует рассматривать как *нелинейно* деформируемую среду.

Рассматривается упругая балка конечной длины  $2l$  на упругом физически-нелинейном основании под действием произвольной нагрузки  $q(x)$ . Балка симметрична относительно оси  $Y$ , глубина расчетной области  $h = 3l$ .

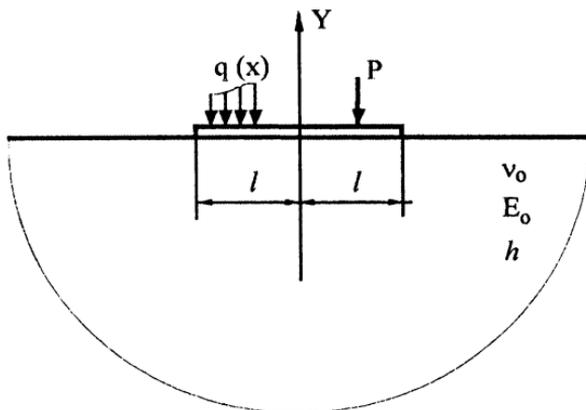


Рисунок 1. Расчетная схема основания под нагруженной балкой

Предполагается, что между балкой и основанием возникают только реактивные нормальные напряжения (реактивные давления). Силы трения (сцепления) на контакте слоев малы, и ими пренебрегают.

Граничные условия задачи следующие:

на границе расчетной области основания перемещения равны нулю  $u = 0, v = 0$ ;

на поверхности основания, вне контакта балки с ним, реактивные давления равны нулю  $P_x = P_y = 0$ .

В результате решения сформулированной задачи предполагается определить величины реактивных давлений на контакте балки с основанием  $P_k$ , осадки балки  $W_{ik}$  и усилия в сечениях балки.

Грунты следует рассматривать как *физически нелинейную* среду, подчиняющуюся при простом нагружении и активной деформации общим закономерностям теории малых упругопластических деформаций, разработанной А. А. Ильюшиным, В. В. Соколовским, Г. М. Смирновым–Аляевым и др.

Для плоского напряженного состояния математический аппарат теории малых упругопластических деформаций выражается совокупностью следующих уравнений:

- *уравнения равновесия*

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + X = 0; \quad \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + Y = 0; \quad (1)$$

- *уравнение совместности деформаций*

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y}; \quad (2)$$

- *физические уравнения, отражающие свойства упругопластического тела,*

$$\sigma_x - \sigma_0 = \frac{2}{3} \cdot \frac{\sigma_i}{\varepsilon_i} \varepsilon_x; \quad \sigma_y - \sigma_0 = \frac{2}{3} \cdot \frac{\sigma_i}{\varepsilon_i} \varepsilon_y; \\ \tau_{xy} = \frac{\sigma_i}{3 \varepsilon_i} \gamma_{xy}; \quad (3)$$

- выражения для интенсивности деформаций и зависимость между интенсивностями деформаций и напряжений

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{6(\varepsilon_x^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_x \varepsilon_y) + \frac{3}{2} \gamma_{xy}^2};$$

$$\sigma_i = \hat{O}(\varepsilon_i). \quad (4)$$

Зависимость  $\sigma_i = \hat{O}(\varepsilon_i)$  задается произвольно и имеет нелинейный характер. Она носит название закона нелинейной упругости. График закона представлен на рисунке 2.

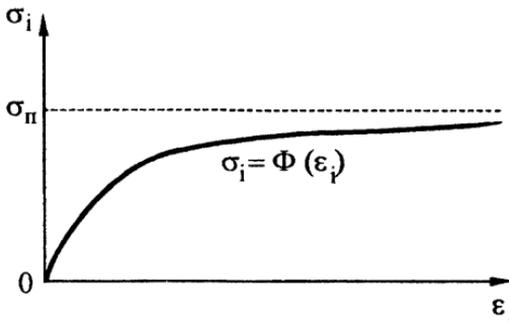


Рисунок 2. Закон нелинейной упругости основания

В конечном виде зависимость  $\sigma_i = \hat{O}(\varepsilon_i)$  выражается как

$$\sigma_i = \hat{A}_i (1 - \omega_i) \varepsilon_i, \quad (5)$$

где  $\omega_i = \omega(\varepsilon_i)$  — функция интенсивности деформации;

$\hat{A}_i$  — модуль упругости основания.

Закон нелинейной упругости основания принимается в виде

$$\sigma_i = A \operatorname{th}(\alpha \varepsilon_i), \quad (6)$$

где  $A, \alpha$  — коэффициенты, определяемые в ходе исследования функции  $\sigma_i = \hat{O}(\varepsilon_i)$ . А именно

$$\hat{A} = \sigma_i; \quad \alpha \hat{A} = \hat{A}_i,$$

где  $\sigma_i$  — предел прочности основания.

После подстановки  $A, \alpha$  зависимость  $\sigma_i = \hat{O}(\varepsilon_i)$  изменяется следующим образом

$$\sigma_i = \sigma_Y \operatorname{th} \frac{E_i}{\sigma_Y} \varepsilon_i. \quad (7)$$

Зависимость (7) приводится к виду (5), в результате чего функция интенсивности деформации выражается следующей формулой

$$\omega_i = 1 - \frac{\sigma_Y}{\dot{A}\varepsilon_i} \operatorname{th} \frac{E_i \dot{A}}{\sigma_Y}. \quad (8)$$

Сформулированная задача содержит уравнения пластичности, решение которых в общем случае весьма сложно. Поэтому имеются приближенные решения, которые значительно упрощают общие. Распространен метод упругих решений А. А. Ильюшина, который основан на принципе последовательных приближений.

Для решения такого типа нелинейной задачи используются три группы уравнений, записанных в перемещениях:

а) уравнения типа Ляме, являющиеся синтезом геометрического, статического и физического обследования задачи;

б) уравнения, связывающие напряжения и деформации в любой точке исследуемой области;

в) краевые условия.

Записываем уравнения типа Ляме для нелинейно – деформируемых тел

$$\begin{aligned} (G + \lambda) \frac{\partial \theta}{\partial x} + G \nabla^2 u + X &= G R_x; \\ (G + \lambda) \frac{\partial \theta}{\partial y} + G \nabla^2 v + Y &= G R_y, \end{aligned} \quad (9)$$

где  $\theta$  – относительное изменение объема,  $\theta = \varepsilon_x + \varepsilon_y$ ;

$G$  и  $\lambda$  – постоянные Ляме;

$R_x, R_y$  – члены правой части уравнений Ляме, содержащие функцию пластичности  $\omega_i$ , причем

$$R_x = \omega_i \nabla^2 u + \frac{1}{3} \omega_i \frac{\partial \theta}{\partial x} + \frac{4}{3} \frac{\partial \omega_i}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{2}{3} \frac{\partial \omega_i}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial \omega_i}{\partial y} \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right);$$

$$R_y = \omega_i \nabla^2 v + \frac{1}{3} \omega_i \frac{\partial \theta}{\partial y} + \frac{4}{3} \frac{\partial \omega_i}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{2}{3} \frac{\partial \omega_i}{\partial y} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial \omega_i}{\partial x} \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (10)$$

Аналогично (9), (10) представляем в перемещениях и граничные условия

$$\begin{aligned} P_{N_x} + T_x &= \left( 2G \frac{\partial u}{\partial x} + \lambda \theta \right) l + G \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) m; \\ P_{N_y} + T_y &= G \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) l + \left( 2G \frac{\partial u}{\partial x} + \lambda \theta \right) m, \end{aligned} \quad (11)$$

где  $l$ ,  $m$  – косинусы углов между соответствующими осями и нормалью к площадке;

$(P_{N_x} + T_x)$ ,  $(P_{N_y} + T_y)$  – поверхностные силы.

К уравнениям (10), (11) добавляем уравнение изгиба балки в контактной зоне

$$\frac{d^4 v_i}{dx^4} = - \frac{P_i - X_i}{EI_d} \quad (12)$$

где  $P_i$  – реактивные давления;

$X_i$  – внешние объемные силы (в зоне контакта  $X_i \rightarrow Y_i$ );

$EI_d$  – жесткость балки при изгибе.

Поставленную краевую задачу предполагается решать численно методом конечных разностей (МКР), то есть заменой дифференциальных уравнений конечно-разностными аппроксимациями. В настоящее время составляется программа на языке MATCAD для реализации указанного подхода.

УДК 629.735

### Шлаки Белорусского металлургического завода – сырьевой резерв производства дорожного асфальтобетона

Савченко Е.А., Бусел А.В.

Белорусский национальный технический университет

На Белорусском металлургическом заводе ежегодно вывозится в отвал 100 тыс. тонн в год. Запасы шлака в отвалах составляют более 800 тыс. тонн. Опыт применения сталеплавильных

шлаков в промышленности стройматериалов и стройиндустрии показал, что они являются существенным резервом экономии материальных и энергетических ресурсов. Наиболее широко используются доменные, мартеновские шлаки, меньше шлаки электросталеплавильного производства в составе асфальтобетона/1,2/.

Основными продуктами переработки шлаков за рубежом является шлаковый щебень (США - 85 % от объемов шлаков, Япония - 91 %, Великобритания - 77 %). Шлаки, обработанные органическими вяжущими материалами, широко применяются для устройства дорожных покрытий в США, Англии, Франции, Германии /3/. На металлургических предприятиях Австрии /4/ из сталеплавильных шлаков выпускают более 800 тыс. тонн щебня, 85 % которых используют для производства асфальтобетонных смесей, применяемых для устройства слоев износа дорожных одежд, работающих в условиях высокой интенсивности движения тяжелых автомобилей.

Непосредственное применение шлака в составе асфальтобетонных покрытий встречает трудности вследствие значительной неоднородности его структуры и химического состава.

С целью установления характера влияния щебня из шлака на основные технологические характеристики асфальтобетонной смеси были проведены исследования электросталеплавильных шлаков.

При рассмотрении электросталеплавильного шлака под микроскопом среди кристаллической фазы можно встретить отдельные мелкие включения прозрачного изотропного стекла.

Стекловидные частицы образуются при быстром и неравномерном охлаждении расплава шлака, они снижают прочностные свойства щебня. Структура электросталеплавильных шлаков сравнительно однородная, плотная, форма зерен дробленого шлака – кубовидная, лещадные и игольчатые частицы практически отсутствуют.

Методами рентгенофазового анализа (РФА), термического анализа (ДТА) и химического анализа в ИОНХ НАНБ исследованы образцы электросталеплавильных шлаков.

Термический анализ проводился на образцах шлаков отличающиеся друг от друга по времени их отбора. На кривых ДТА

наблюдались два эндотермических эффекта при температурах 100-130 °С и 850- 900 °С. Первые связаны с удалением адсорбционной воды, а вторые с разложением присутствующего в шлаках карбонатов кальция ( $\text{CaCO}_3$ ). Следует также отметить, что после удаления адсорбированной влаги наблюдалось уменьшение массы образцов вплоть до 400 °С, связанное, вероятно, с наличием гидросиликатов кальция. Уменьшение массы образцов шлаков, представленное на кривых ДТА, позволило определить влажность образцов (0,5-1,5 %) и содержание карбонатов кальция (2,0-3,9%).

На рентгенограммах наблюдались дифракционные отражения ортосиликтов кальция ( $\alpha$ -, $\beta$ -, $\gamma$ - формы) и карбонаты кальция. В образце из шлака текущего производства обнаружена также фаза карбида  $\text{AlFe}_3\text{C}_x$  ( $\text{C}_x=4\%$ ). Кроме этого в шлаке определено содержание феррита магния ( $\text{MgFe}_2\text{O}_4$ ) и алюмината марганца ( $\text{MnAl}_2\text{O}_4$ ).

Фазовый состав электросталеплавильных шлаков представлен в таблице 1.

Таблица 1 - Фазовый состав электросталеплавильных шлаков, %

Образцы / Фаза	№ 1 от 3.12.03	№ 2 от 14.11.03	№ 3 1998 год
$\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ( $\alpha$ -, $\beta$ -, $\gamma$ -)	80,6	86,5	85,4
$\text{MgFe}_2\text{O}_4$	7,8	6,2	6,8
$\text{MnAl}_2\text{O}_4$	4,2	3,8	3,2
$\text{CaCO}_3$	3,9	2,0	3,2
$\text{AlFe}_3\text{C}_x$	5,0	-	-
Влажность	0,5	1,5	1,4

Было установлено, что щебень, получаемый из электросталеплавильных шлаков обладает прочностью соответствующей марке М1000-М1200 по ГОСТ 3344-83, истираемостью – И1 и высокой морозостойкостью. По сравнению с гранитным щебнем из месторождения “Микашевичи” он отличается более высокой на 16,8-18,9% истинной и средней плотностью. Его насыпная плотность выше на 12-13%, а пустотность - на 5 – 6%. По причине пористой структуры его водопоглощение выше, чем у щебня из гранита в 15-25 раз. В сравнении с гранитным щебнем он

имеет более правильную форму зерен и развитую шероховатую поверхность.

Основные прочностные показатели асфальтобетонной смеси на основе щебня из электросталеплавильных шлаков представлены в таблице 2 (индексом «а» отмечены асфальтобетонные смеси на основе гранитного щебня).

Таблица 2 - Прочностные показатели свойств асфальтобетонов из горячих смесей

Наименование показателя	1	1а	2	2а	3	3а	Нормативное значение СТБ 1033
1.Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>	2,59	2,46	2,5	2,48	2,53	2,49	Не нормируется
2.Водонасыщение по объему, %	1,3	1,1	0,1	1,1	1,4	1,0	1-4
3.Набухание, % по объему	0	0	0,1	0	0	0	<0,5
4. Предел прочности при сжатии, МПа при температуре 50 °С	1,4	1,6	1,3	1,4	1,5	1,7	>1,1
5.Предел прочности при сдвиге по ме-	4,0	3,1	4,6	4,2	3,3	2,9	>2,1

тодике ТУ г. Санкт- Петербур- га, МПа							
б.Коэф- фициент во- достойко- сти	0,83	0,75	0,78	0,68	0,86	0,82	0,80

(28суток)

Анализ полученных результатов свидетельствует, что асфальтобетонные смеси с использованием шлаковых материалов обладают повышенной сдвигоустойчивостью по сравнению с асфальтобетоном на гранитном щебне, что может быть обусловлено: 1) содержанием зерен лещадной формы в гранитном щебне около 30%, когда в шлаковом - менее 10%; 2) зерна шлаковых материалов имеют кубовидную форму с высокоразвитой шероховатой и угловатой поверхностью.

При испытании асфальтобетонных образцов на шлаковом щебне показатели длительной водостойкости выше, чем у образцов на основе гранитного щебня. Так, при взаимодействии, входящего в состав двухкальциевого силиката с водой, образуется гидросиликат кальция, который образует коллоидную массу, обладающую клеящими свойствами и способную затвердевать. В результате этого на поверхности гранул возникают гидратированные оболочки, а в местах контакта зерен шлака – кристаллизационные сростки. Так, при длительном водонасыщении часть пор в шлаковых зернах, к которым имеется доступ воды, армируются кристаллогидратами, придавая материалу большую прочность. Однако, гидросиликат кальция, увеличивается в объеме при контакте с водой и вызывает разрушение его частиц. Это может привести к нарушению структуры асфальтобетона и снижению его устойчивости к действию погодных-климатических факторов и транспортных нагрузок. Поэтому, применение электросталеплавильных шлаков текущего производства в составе асфальтобетона возможно, при условии обеспечения его устойчивой структуры.

## Литература

1. Гезенцвей Л.Б. Применение мартеновского шлака в дорожном асфальтобетоне. Канд. Дисс., 1958, с.175
2. Климашов Ф.С. Металлургические шлаки для дорожного строительства «Автомобильные дороги», 1963, №2, с.21-23
3. «Sculls» –Blast furnacl slag alos builders.– Реферативный журнал «Автомобильные дороги», 1970, №5, с.31
4. Применение металлургических шлаков в дорожном строительстве. Wissenspotential. «Sekundaer Rohstb», 1987,4, №10, с.20-23.

УДК 666.973

### **Аналитический метод расчета абсолютного объема материалов при проектировании состава ячеистых бетонов**

Дзабиева Л. Б., Новицкая М.С.

Белорусский национальный технический университет

Ячеистый бетон широко используется в современном строительстве как эффективный материал для производства теплоизоляционных и теплоизоляционно-конструкционных изделий: панелей и блоков наружных стен, внутренних перегородок, теплоизоляционных и акустических плит и т. д.

Вне зависимости от способа создания пористой структуры – пено- или газообразование – технологические параметры производства ячеистобетонных изделий назначаются в соответствии с инструкцией [1], она же определяет и методику проектирования состава ячеистобетонной смеси. В основу расчета положен метод абсолютных объемов, при котором объем ячеистого бетона представляется как сумма следующих слагаемых: объем, занимаемый сухими материалами; объем пор, формирующихся за счет испарения свободной (не вступившей в химическую реакцию образования гидросиликатов кальция) воды затворения; объем пор, сформированный за счет реакции газообразования или объем введенной пены.

Такой подход позволяет представить величину пористости  $P_p$ , которую должен создать в ячеистом бетоне порообразователь, чтобы, при принятых параметрах сырьевых материалов и

величины водозатворения  $V/T$  получить материал заданной средней плотности  $\rho_0$ ,  $\text{кг/м}^3$ , в следующем виде

$$P_r = 1 - \rho_0 (W + V/T)/K_c,$$

где  $K_c$  – коэффициент, учитывающий увеличение массы сухих материалов за счет гидратационного присоединения воды;

$W$  – удельный (абсолютный) объем, занимаемый сухими материалами, – величина, обратная истинной плотности вещества, обычно измеряемая в  $\text{л/кг}$ .

Поскольку в состав сырьевой смеси для ячеисто-бетонных изделий входят материалы, вступающие в химическое взаимодействие с водой (известь, портландцемент), использование последней в качестве рабочей жидкости в пикнометрах и объемомерах Ле-Шателье при прямом определении истинной плотности исключается и требуется замена ее инертными по отношению к испытуемым материалам жидкостями: керосином, уайт-спиритом и т.п., что значительно усложняет проведение эксперимента по определению истинной плотности поризуемых материалов.

Поэтому в [1] предусматривается определение  $W$  также по результатам опытного замеса, но по более простой методике. Смесь сухих материалов затворяется водой в соответствии с принятым по технологии значением водотвердого отношения и сразу определяется фактическое значение плотности растворной смеси  $\rho_r^\phi$ ,  $\text{кг/л}$ , обратная величина которой показывает абсолютный объем, занимаемый единицей массы жидкого раствора. Вычитая из полученного результата величину  $V/T$ , получаем искомое значение абсолютного объема, занимаемого единицей массы сухих материалов:

$$W = (1 + V/T) / \rho_r^\phi - V/T, \text{ л/кг.}$$

Подобные определения должны производиться лабораторией предприятия при изменении требований к физико-механическим характеристикам ячеистобетонных изделий, при изменении свойств поступающих на предприятие сырьевых материалов или технологических параметров производства. На основании опытных замесов находятся также оптимальные значения водотвердого отношения и других параметров, зависящих от свойств конкретных сырьевых материалов.

Если же осуществляется проектирование технологии производства ячеистобетонных изделий, исходные значения водо-твердого отношения назначаются по [2], расход сухих материалов и газообразователя – по [1], при этом задаются усредненные значения всех входящих в расчет коэффициентов, кроме  $W$ , значение которого предлагается определять путем проведения опытного замеса. Поскольку для нахождения оптимальных составов надо провести опытные замесы с изменяющимися в широком диапазоне значениями соотношения кремнеземистого компонента и вяжущего (другими словами, перерасчеты состава потребуются выполнять неоднократно), возможность аналитического определения величины удельного объема составляющих смеси существенно уменьшила бы трудоемкость технологического проектирования. Кроме того, это открывает широкие возможности повышения точности результатов при использовании ЭВМ в процессе технологического проектирования.

На кафедре строительных материалов и изделий БНТУ разработана методика аналитического расчета величины абсолютного объема сухих составляющих ячеистого бетона заданной средней плотности, которая может быть реализована при условии, что проектировщику известны основные свойства применяемых сырьевых материалов: величины их истинной плотности  $\rho_n, \rho_{ц}, \rho_r, \rho_k$  в кг/л соответственно для извести, портландцемента, гипса, кремнеземистого компонента, принятая для рассчитываемого состава доля портландцемента в смешанном вяжущем  $n$ , отношение  $C_n$  массы кремнеземистого компонента к массе извести и  $C_{ц}$  – к массе портландцемента [1].

В этом случае объем, занимаемый единицей массы сухих материалов рассчитывается по формуле

$$W = m_n/\rho_n + m_n n/(1-n)/\rho_{ц} + m_n[C_n(1-n) + nC_{ц}]/(1-n)/\rho_n + 0,05 m_n/\rho_r.$$

Здесь  $m_n$  – масса навески извести, рассчитываемая по [1] для заданной средней плотности ячеистого бетона.

Результаты экспериментальной проверки на нескольких вариантах исходных данных показали достаточно точное совпадение величины  $W$ , определяемой в опытном замесе, с результатами аналитического расчета.

## **Литература**

1. Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона СН277-80. – М.: Стройиздат, 1981. - 47 с .
2. Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий по производству изделий из ячеистого и плотного бетонов автоклавного твердения. ОНТП -9 - 81.- Таллин: Минстройматериалов СССР, 1985. – 98 с.

УДК 614.841.33

### **Физико-механические характеристики бетонов на «кубовидном» щебне**

Полейко Н.Л., Осос Р.Ф., Ковшар С.Н., Бондарович А.И.,  
Полейко Д.Н.

Белорусский национальный технический университет

Одной из характеристик заполнителей является форма их зерен. В действующих нормативных документах на заполнители форму зерен принято характеризовать содержанием пластинчатых (лещадных) и игловатых зерен, толщина и ширина которых меньше длины в 3 раза и более. Эти зерна оказывают влияние на плотность упаковки в объеме. Многочисленными экспериментальными данными [1,2] было доказано, что наиболее плотная укладка достигается в заполнителе, содержащем зерна в виде различных правильных многогранников. «Кубовидный» щебень по форме зерен позволяет получать большую плотность упаковки, по сравнению, с обычным щебнем, так как; во-первых, содержит малое количество зерен пластинчатой лещадной и игловатой формы и во-вторых, характеризуется содержанием зерен кубовидной формы (соотношение толщины (ширины) к длине 1:2 и менее). В зависимости от качества «кубовидного» щебня содержание таких зерен в нем колеблется от 50 до 65 % по массе [3]. В связи с этим, представляет интерес исследование основных физико-механических характеристик бетонов на «кубовидном» щебне, поскольку в настоящее время данный вид заполнителя используется в основном в дорожном строительстве для устройства оснований под автомобильные дороги.

Предварительно в лабораторных условиях были проведены испытания по определению физико-механических свойств двух фракций «кубовидного» щебня.

Результаты испытаний по определению зернового состава приведены в таблице 1.

Таблица 1  
Зерновой состав обычного и кубовидного щебня

Наименование щебня (НД)	Частные остатки на ситах, %	Полные остатки, %	Требования НД
Кубовидный фр. 2-4 мм (СТБ 1311)	1,25 – 5,4	98,9	98-100
	2,5 – 86,0	93,5	95-100
	5,0 – 7,5	7,5	до 10
	7,5 – 0	0	Не допускается
Кубовидный фр. 6,3-10 (СТБ 1311)	5 – 8,5	99,2	95-100
	7,5 – 24,6	90,7	90-100
	10 – 64,3	66,1	30-80
	12,5 – 1,8	1,8	до 10
	15 – 0	0	Не допускается

Марку по дробимости крупного заполнителя определяли по степени разрушения пробы материала при сжатии в цилиндре при нормируемой нагрузке. Результаты испытаний приведены в таблице 2

Таблица 2  
Потеря массы при испытаниях на дробимость

Наименование щебня (НД)	Потеря массы при испытаниях на дробимость, %	Марка щебня по дробимости
Кубовидный фр. 2-4 (СТБ 13 11)	9,2	1400
Кубовидный фр. 6,3-10 (СТБ 1311)	11,5	1400

Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы определяли по ГОСТ 8269.0, а содержание зерен кубовидной формы определяли по СТБ 1311. Результаты испытаний представлены в таблице 3.

Таблица 3

Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы, содержание зерен кубовидной формы

Наименование щебня (НД)	Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы, %	Содержание зерен кубовидной формы, %
Кубовидный фр. 2-4 (СТБ 1311)	2,1	86,2
Кубовидный фр. 6,3-10 (СТБ 1311)	5,0	80,7

Насыпную плотность, среднюю плотность зерен крупного заполнителя и содержание зерен слабых пород определяли по ГОСТ 8269.0. Результаты испытаний представлены в таблице 4.

Таблица 4

Насыпная плотность, средняя плотность зерен и содержание слабых пород в крупном заполнителе

Наименование щебня (НД)	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Средняя плотность зерен, кг/м <sup>3</sup>	Содержание зерен слабых пород, %
Кубовидный фр.2-4 (СТБ 1311)	1320	2580	2,2
Кубовидный фр. 6,3-10 (СТБ 1311)	1390	2580	1,6

Целью экспериментальных исследований являлось получение сравнительных показателей основных физико-механических характеристик бетона (прочность на сжатие, прочность на растяжение при раскалывании), изготовленного с использованием обычного и «кубовидного» щебня. Исследования

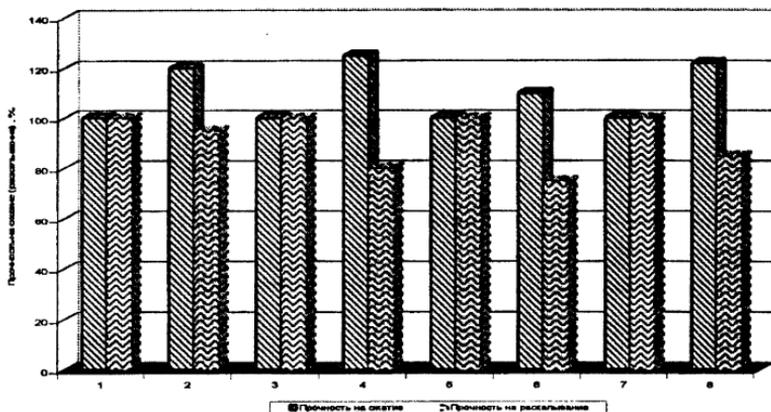
проводились на восьми составах бетонной смеси. Использовались следующие фракции заполнителей 5-10 мм; 10-15 мм; 15-20 мм и смеси фракций в соотношении 40 % фракции 5-10 мм и 60 % фракции 15-20 мм. Образцы для проведения испытаний готовились в лабораторных условиях и подвергались испытанием в возрасте 28 суток. Образцы перед испытанием хранились в нормально-влажностных условиях. В процессе испытаний определяли следующие показатели: прочность на сжатие, прочность на растяжение при раскалывании. Перед формованием образцов, с целью проверки правильности подобранных составов бетонных смесей, определяли среднюю плотность бетонной смеси. Результаты испытаний представлены в таблице 5.

Таблица 5

№ состава	Наименование и фракционный состав заполнителя	Средняя плотность бетонной смеси, кг/м <sup>3</sup>
№ 1	Обычный фр.5-10 мм	2410
№ 2	«Кубовидный» фр.5-10 мм	2430
№ 3	Обычный фр. 10-15 мм	2380
№ 4	«Кубовидный» фр. 10-15 мм	2390
№ 5	Обычный фр. 15-20 мм	2405
№ 6	«Кубовидный» фр. 15-20 мм	2420
№ 7	Обычный фр. 5-20 мм	2400
№ 8	«Кубовидный» фр. 5-20 мм	2430

Данные таблицы 6 показывают, что «кубовидный» щебень в бетонной смеси укладывается более «плотно», чем обычный щебень, что отражается на изменении средней плотности бетонной смеси и как следствие, на уменьшении выхода бетона в плотном теле. Различие в изменении средней плотности бетонной смеси зависит во-первых от фракционного состава заполнителя, а также от характеристик состава (соотношение растворной составляющей и крупного заполнителя, водоцементное отношение, удобоукладываемость и т.д.).

Результаты испытаний по определению прочности на сжатие и растяжение при раскалывании приведены на рисунке 1.



Данные, приведенные на рисунке показывают, что «кубовидный» щебень наряду с повышением прочности на сжатие, уменьшает сопротивление бетона разрушению при раскалывании. Прочность на сжатие бетонных образцов на «кубовидном» щебне возрастает в среднем примерно на 25 ...30 %, в то время как прочность на растяжение при раскалывании уменьшается на 5-10%.

Изменение прочностных показателей также зависит от гранулометрического состава заполнителя и характеристик состава бетонной смеси.

### Выводы

На основании полученных результатов экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

- применение «кубовидного» щебня позволяет повысить прочность бетона на сжатие;
- «кубовидный» щебень снижает прочность бетона на растяжение при раскалывании;

### Литература

1. С.М.Ицкович. Технология заполнителей бетона. - М.: Высшая школа, 1991.-С.272
2. И.Н.Ахвердов. Основы физики бетона. - М.: Стройиздат, 1981.- с.373
3. СТБ 1311-2002.Щебень кубовидный из плотных горных пород. Технические условия.
4. ГОСТ 12730.5-84.Бетоны. Методы определения водонепроницаемости. Приложение 1.

**Свойства бетонов на заполнителе из флюсового известняка**

Полейко Н.Л., Ковшар С.Н., Осос Р.Ф., Полейко Д.Н.  
Белорусский национальный технический университет

Разнообразные требования к бетонам по их эксплуатационным качествам, области применения, физико-техническим свойствам, требованиям долговечности и работа предприятий строительной индустрии в рыночных условиях; все это расширяет область экономического использования различных видов заполнителей

В данной статье рассматриваются результаты испытаний тяжелых бетонов на крупном заполнителе из осадочной горной породы – известняке. Флюсовый известняковый щебень является вторичным продуктом использования в металлургической промышленности, в частности на РУП «Белорусский металлургический завод». В технологии металлургического производства для выплавки стали, применяют флюсовый известняк (известняковый щебень) фракции 5 мм и ниже. Вторичным продуктом является щебень, который характеризуется содержанием зерен от 5 до 40 мм. Флюсовый известняк выпускают в соответствии с требованиями [1]. Химический состав и процентное содержание основных соединений приведено в таблице 1.

Химический состав флюсового известняка

Таблица 1

№ п/п	Наименование показателя	Содержание, % по массе
1.	Массовая доля суммы оксидов кальция и магния ( $\text{CaO} + \text{MgO}$ )	52,5 – 54,0
2.	Массовая доля оксида магния ( $\text{MgO}$ )	5,0
3.	Массовая доля оксида кремния ( $\text{SiO}_2$ )	1,5 - 2,0
4.	Массовая доля серы (S)	0,06 - 0,09
5.	Массовая доля фосфора (P)	0,06 – 0,09
6.	Массовая доля нерастворимого остатка в соляной кислоте	2,0 - 4,0

Как свидетельствуют данные, приведенные в таблице 1, флюсовый известняк представляет собой материал, состоящий

преимущественно из оксидов кальция и магния. Согласно требований [2], в качестве заполнителей для приготовления тяжелых бетонов наряду с изверженными горными породами могут применяться и материалы осадочного происхождения. Предварительно проведенные испытания по определению физико-механических характеристик щебня из флюсового известняка показали, что заполнитель состоит преимущественно из фракции 20-40 мм. По содержанию лещадных зерен, пылевидных частиц и марке по дробимости щебень из флюсового известняка удовлетворяет требованиям [2 и 3] (табл. 2).

Физико-механические характеристики щебня  
из флюсового известняка

Таблица 2

Содержание зерен, %, крупностью, мм					Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Плотность в уплотненном состоянии, кг/м <sup>3</sup>	Плотность зерен, кг/м <sup>3</sup>
>40	40-20	20-10	10-5	<5			
8	82	8	0,3	0,3	1278	1430	2610
Содержание зерен лещадной и игловатой формы – 16,3 % по массе;							
Содержание пылевидных частиц – 1,9 % по массе;							
Марка щебня по дробимости – 1000.							

Для применения данного щебня в качестве крупного заполнителя требуется его обогащение мелкими фракциями, т.к. при данном зерновом составе он не соответствует требованиям [2] и обладает повышенной пустотностью. Для обогащения известнякового щебня и получения смешанного заполнителя, применяли обычный гранитный щебень и природный гравий.

С целью определения рациональной области применения известнякового щебня были проведены исследования по изучению влияния данного заполнителя на прочностные и эксплуатационные свойства тяжелых бетонов. Были подобраны составы бетонов различных классов по прочности на сжатие. Результаты, полученные при испытании бетона на известняковом щебне, сравнивались с аналогичным бетоном, изготовленным на гранитном щебне. В лабораторных условиях изготавливались

опытные образцы, которые твердели в нормально-влажностных условиях и подвергались испытанию в возрасте 28 суток.

Составы бетона приведены в таблице 3. При подборе составов бетона использовали следующие материалы: песок природный с  $M_k=2,51$  и портландцемент ПЦ-500-Д20 ОАО «Красносельскстройматериалы».

Составы бетона для проведения исследований

Таблица 3

№ состава	Расход составляющих, кг на 1 м <sup>3</sup> бетонной смеси				В/Ц
	Цемент	Песок	Смешанный заполнитель	Гранитный щебень	
1	250	785	1200	-	0,6
2	350	745	1150	-	0,5
3	450	745	1100	-	0,4
4	250	780	-	1200	0,6
5	350	745	-	1150	0,5
6	450	740	-	1100	0,4

Прочность на сжатие и растяжение при раскалывании определялась на образцах-кубах с ребром 15 см. Результаты испытаний по представлены в таблице 4.

Прочность на сжатие и растяжение при раскалывании образцов, изготовленных на различных видах крупного заполнителя

Таблица 4

№ состава	Предел прочности*, МПа, в возрасте 28 сут при испытаниях на:	
	Сжатие	растяжение при раскалывании
Состав № 1	23,7 - 26,2	1,5-1,9
Состав № 2	33,0 - 36,4	2,4-2,8
Состав № 3	44,3 - 51,1	2,7-3,1
Состав № 4	22,7 - 25,8	1,4-2,0
Состав № 5	33,4-37,1	2,5-2,7
Состав № 6	46,7-49,5	2,8-3,0
Состав № 7	28,2-31,5	1,7-2,2

\*В таблице приведены значения минимального и максимального предела прочности, полученные при испытаниях.

Экспериментальные данные (таблица 4) показывают, что бетон на смешанном заполнителе по прочностным показателям не отличается от обычного бетона, изготовленного на гранитном щебне.

Для оценки морозостойкости и водонепроницаемости бетона изготовленного с использованием заполнителя из флюсового известняка готовились основные образцы на смешанном заполнителе и контрольные образцы на гранитном щебне. Образцы формовали из составов бетона с расходом цемента 250, 350 и 450 кг на м<sup>3</sup> при В/Ц = 0,6, 0,5 и 0,4. Морозостойкость и водонепроницаемость определяли по методике [4 и 5]. Результаты испытаний представлены в таблице 5.

Морозостойкость и водонепроницаемость образцов, изготовленных на смешанном заполнителе и гранитном щебне

Таблица 5

Вид заполнителя	Расход цемента	В/Ц	Водопоглощение, % по массе	W, МПа	F, циклы
Смешанный	250	0,6	7,2	0,2	75
Гранитный	250	0,6	7,7	0,2	75
Смешанный	350	0,5	5,8	0,4	100
Гранитный	350	0,5	6,3	0,4	100
Смешанный	450	0,4	4,2	0,6	150
Гранитный	450	0,4	4,6	0,6	150

Данные таблицы 5 свидетельствуют о том, что известняковый щебень не оказывает влияние на такие свойства бетона, как морозостойкость и водонепроницаемость. Незначительное различие в показателе водопоглощения образцов на смешанном и гранитном щебне может быть вызвано снижением капиллярной пористости цементного камня при использовании смешанного заполнителя. Капиллярная пористость цементного камня в бетоне определяется истинным водоцементным отношением, которое зависит от способности заполнителя поглощать часть воды при затворении бетонной смеси. По опытным данным количест-

во воды, поглощаемое зернами известнякового щебня при прочих равных условиях на 40 % выше, чем количество воды, поглощаемое зернами гранитного щебня.

В рамках выполненных исследований, были разработаны и прошли опытную апробацию составы бетонных смесей с использованием щебня из флюсового известняка, в частности для двух строительных предприятий г.Гомеля выполнены подборы бетонных смесей и разработаны рекомендации по применению флюсового известняка для изготовления ж/б изделий.

### **Выводы**

1. Применение известнякового щебня в качестве крупного заполнителя возможно путем его обогащения, т.е. приведения его зернового состава в соответствии с требованиями нормативной документации.
2. Щебень из флюсового известняка не оказывает влияние на прочностные показатели бетонов, а также не оказывает отрицательного влияния на морозостойкость и водонепроницаемость бетона.

### **Литература**

1. ТУ У 14-16-53-2000. Щебень из флюсового известняка.
2. ГОСТ 26633-91 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия.
3. ГОСТ 8267-93 Щебень и гравий из плотных горных пород. Технические условия.
4. ГОСТ 10060.1-95 Бетоны. Базовый метод определения морозостойкости.
5. ГОСТ 12730.5-84 Бетоны. Методы определения водонепроницаемости.
6. СТБ 1168-99 Бетоны. Метод контроля коррозионного состояния стали в бетоне и защитных свойств.

**Исследование деформативных свойств  
минераловатных плит и полимерминеральных клеевых  
составов, применяемых при тепловой изоляции наружных  
стен зданий**

Галузо Г.С., Коваженкова В.И., Галузо О.Г.  
Белорусский национальный технический университет  
Кузьмичев Р.В.

Научно-исследовательское и проектно-технологическое  
унитарное предприятие «Институт НИИПТИС»

Одним из путей энергосбережения в республике Беларусь является снижение теплотребления посредством тепловой реабилитации зданий. При тепловой модернизации наружных стен зданий используют ряд систем, известных под названием «Термошуба», «Радекс», «Пралеска-терма», «Гента» и др. Наиболее распространенные системы включают в себя эффективный жесткий утеплитель (минераловатную, стекловатную или пенополистирольную плиту), который крепится клеевым составом и пластмассовыми анкерами к наружной бетонной или кирпичной стене. Поверх утеплителя наносится клеевой полимерминеральный состав, армируется стеклосеткой и затем – защитно-отделочный слой.

Целью выполненных исследований, результаты которых изложены в данной статье, являлось экспериментальное определение в лабораторных условиях деформативных характеристик минераловатных плит фирм «Rocwooll», Гомельского завода строительных материалов, фирмы «Рагос» и пенополистирольных плит Минского КСИ, применяемых при тепловой реабилитации наружных стен зданий. Полученные данные использованы при совершенствовании расчета самонесущей комплексной конструкции утепления наружных стен зданий.

Определение деформативных характеристик (модуля упругости, коэффициента Пуассона) минераловатных и пенополистирольных плит проводили при действии монотонно возрастающей сжимающей нагрузки на призматических образцах, вырезанных из готовых плит. Деформативность плит (сжимаемость) определили на образцах – кубах. Размеры призматических образ-

цов, образцов-кубов и их средняя плотность приведены в табл. 1.

Размеры опытных образцов и их плотность

Таблица 1

Наименование материала	Шифр	Средняя плотность, кг/м <sup>2</sup>	Размеры образцов, мм	
			кубов	призм
Минеральная вата Гомельского ЗСМ	С 3	193,4	70x70x70	70x70x280
То же фирмы «FasRoc»	С 4	135,3	100x100x100	100x100x400
То же фирмы «Paroc»				
Paroc-Fas 4	С 2	142,3	50x50x50	50x70x200
Paroc-FaL	С 1	78,1	50x50x50	50x70x200
Пенополистирольные плиты Минского КСИ	С 5	25,2	50x50x50	50x70x200

Для определения модуля упругости и коэффициента Пуассона на образцах-призмах, вырезанных из минераловатных и пенополистирольных плит, измеряли продольные и поперечные деформации с помощью проволочных тензометрических датчиков сопротивления. База измерения 50 мм. Деформации фиксировали автоматическим электронным измерителем деформации марки АИД-4. Испытание на действие сжимающих нагрузок проводили на универсальной испытательной машине марки Р-50 с точностью измерения нагрузки в один Н. Деформации сжатия (сжимаемость) образцов-кубов фиксировали непрерывно электронным устройством этой же испытательной машины с точностью 0,01 мм. Образцы-призмы и образцы-кубы нагружали монотонно возрастающей нагрузкой. Образцы-призмы нагружали в направлении, перпендикулярном ребрам на плоскости плиты.

В таблице 2 приведены численные значения модуля упругости и коэффициента Пуассона для каждого вида плит, как средние значения по трем образцам при напряжениях, соответствующих 0,02...0,04 МПа. Напряжение, равное 0,04 МПа, соответствует условной прочности минераловатной плиты при 10% ее деформации.

Деформативные характеристики минераловатных и пенополистирольных плит

Таблица 2

Шифр Серии	Наименование	Модуль упругости при напряжении		Коэффициент Пуассона при $\sigma$	
		0,02 МПа	0,04 МПа	0,02 МПа	0,04 МПа
С 3	Минераловатная плита Гомельского КСМ	668	660	0,31	0,33
С 4	То же фирмы «FasRoc»	158	154	0,21	0,22
С 2	То же фирмы «Рогос» Рогос – Fas 4	420	416	0,32	0,35
С 1	То же фирмы «Рогос» Рогос – FaL	43	51	-	-
С 5	Пенополистирольные плиты Минского КСИ	50	53	0,14	0,15

Испытание образцов-призм проводили до напряжений, превышающих условную прочность в 1,6...1,9 раза. При напряжениях, превышающих в среднем в 1,5 раза условную прочность минеральной ваты «Рогос», отмечается более интенсивный рост продольных и поперечных деформаций материала, чем при меньших напряжениях. Указанный характер изменения относительных предельных деформаций для минераловатных плит Гомельского КСМ и минераловатных плит «Рогос Fas» наблюдается при более высоких напряжениях сжатия, равных 0,09...0,1

МПа. Для плит из пено-пласта полистирольного характер изменения продольных относительных деформаций от величины напряжений имеет иной характер, а именно – с увеличением напряжений интенсивность роста деформаций уменьшается, что свидетельствует об уплотнении материала. Аналогичный характер изменений относительных деформаций с увеличением напряжений сжатия отмечается и для минераловатных плит «Рарос – FaL».

Анализ данных, приведенных в таблице 2, показывает, что с увеличением напряжений от 0,01 до 0,04 МПа, значение модуля упругости и коэффициента Пуассона изменяется незначительно. Значение модуля упругости изменяется в пределах от 43 МПа для минераловатных плит «Рарос – FaL» до 668 МПа для минераловатных плит Гомельского КСМ и зависит от их средней плотности. Значение коэффициента Пуассона находится в пределах 0,21...0,35 для минераловатных плит и зависит от средней плотности материала. Для пенополистирольных плит эта характеристика имеет меньшее численное значение.

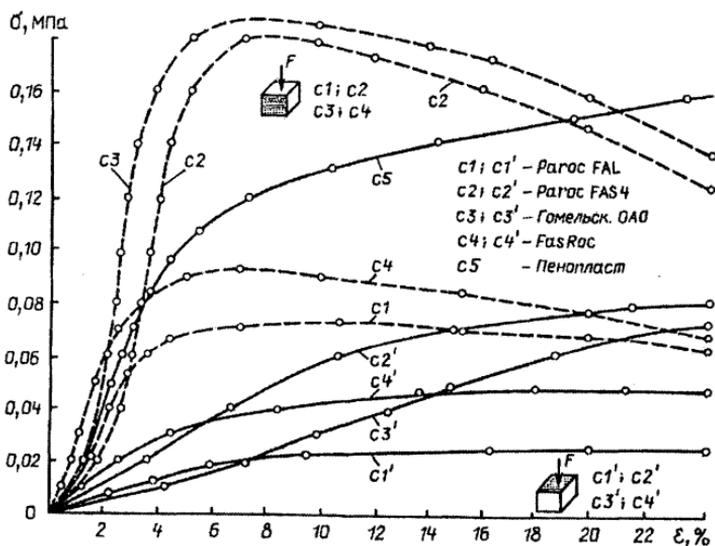


Рис. 1. Сжимаемость минераловатных и пенополистирольных образцов-кубов

На рис. 1 приведены зависимости изменения деформаций сжатия образцов-кубов от величины напряжений при двух вариантах приложения нагрузки. Первый вариант – нагрузка приложена в направлении плоскости плиты перпендикулярно гофрам на поверхности плиты. Второй вариант – нагрузка приложена перпендикулярно плоскости плиты.

Из представленных на рис.1 зависимостей следует, что наибольшую деформативность имеют образцы минераловатные при приложении нагрузки по второму варианту испытаний плит и наименьшую – при приложении нагрузки перпендикулярно граням. При напряжениях, равных 0,04 МПа, в первом варианте приложения нагрузки сжимаемость составляет в среднем 1,4...2,5 %, а во втором варианте приложения нагрузки сжимаемость соответствует 14%. Согласно ГОСТ17177-94 прочность на сжатие определяется при 10% сжимаемости. Исходя из указанного, прочность на сжатие при первом варианте нагружения соответствует 0,091...0,18 МПа, а при втором – от 0,02 до 0,05 МПа.

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования деформативных свойств (модуля упругости, сжимаемости и коэффициента Пуассона) на образцах, вырезанных из минераловатных плит Гомельского КСМ, фирм «Paros», «Rocswoll» и пенополистирольных плит Минского КСИ, применяемых при тепловой изоляции наружных стен зданий, позволили определить численные значения указанных характеристик в зависимости от вариантов приложения нагрузки (перпендикулярно ребрам на поверхности минераловатных плит, а также перпендикулярно поверхности плит).

УДК 625.85-033.5(083.13)

**Методика определения параметров работоспособности армирующих прослоек в конструкциях дорожных одежд нежесткого типа**

Смыковский А.И.  
РУП «БелдорНИИ»

Прочность и долговечность асфальтобетонных покрытий определяются стабильностью физико-механических и химических

свойств асфальтобетона и степенью их соответствия эксплуатационному режиму работы материала в составе конструкции.

Армирование асфальтобетонных конструкций рулонными материалами является одним из методов обеспечения долговременной работоспособности дорожных одежд при их усилении.

Известно, что одной из важнейших эксплуатационных проблем является обеспечение трещиностойкости дорожных покрытий. По известным данным до 80% протяженности дорог имеют поперечные трещины, причем до 20% имеют ширину раскрытия около 5 мм и являются сквозными. Данный дефект прямым образом влияет на режим работы покрытия, приводя к очевидному ухудшению технико-эксплуатационных параметров дорожных одежд.

До недавнего времени основным методом ремонта был метод усиления существующих конструкций новыми слоями асфальтобетона значительной толщины, что приводило к удорожанию строительства, а получаемый эффект был минимален.

Исследованиями, проводившимися в странах Западной Европы было установлено, что применение синтетических рулонных материалов в качестве армирующих прослоек (АП) позволяет получить ожидаемый эффект в виде увеличения межремонтных сроков за счет улучшения технико-эксплуатационных показателей дорог.

Номенклатура применяющихся рулонных материалов широка. Используются как синтетические материалы, так и стекловолокно. Основным фактором, влияющим на выбор конкретного материала, является его термостойкость, а также устойчивость против воздействия агрессивных сред. Прочность на растяжение наряду с плотностью материала АП должна обеспечивать надежную работу материала в составе конструкции.

С целью улучшения требуемых характеристик в последнее время стали применять комбинированные материалы, представляющие собой плотную основу из синтетических полотен, армированную сеткой из стекловолоконного жгута. Поиск оптимальных решений в этой области продолжается и возможно получение новых материалов с улучшенными свойствами, позволяющими использовать их в более широком эксплуатационном диапазоне.

В Республике Беларусь была проведена экспериментальная апробация возможности применения рулонных материалов при усилении дорожных конструкций, однако отмечено, что в сложившихся эксплуатационных условиях материалы трещинопрерывающих прослоек, использованных для усиления существующих покрытий, не всегда дают нужный эффект. Применение для опытного строительства широкой гаммы материалов при небольшой длине устраиваемых участков приводит к несопоставимости результатов.

Принимая во внимание возникающие проблемы при организации и производстве опытных работ по применению АП необходимо разработать оптимальные лабораторные методы контроля работоспособности трещинопрерывающих прослоек.

Существующие методы лабораторного определения пригодности рулонных материалов и стеклосеток не моделируют реальной работы дорожных конструкций, позволяют получить лишь ограниченный набор контролируемых параметров, что сказывается на объективности выводов.

Наиболее приближенным к нашим условиям эксплуатации дорожных конструкций является метод, разработанный в ГП «РосдорНИИ». Метод объективен, нагляден и дает возможность получить результаты, наиболее приближенные к реальным. К недостаткам можно отнести упрощенное воспроизведение работы дорожной конструкции в виде лабораторной модели, получение параметров, используемых только для определенного расчета и не пригодных для иных методик.

Принимая во внимание все вышеизложенные факты в РУП «БелдорНИИ» была создана новая лабораторная методика определения работоспособности АП и специальное устройство для ее осуществления. Суть этой методики в следующем.

Основным параметром, определив который можно уверенно говорить о пригодности использования АП в дорожном строительстве, необходимо принять их армирующую способность, которую можно определить через отношение прочностных показателей армированного покрытия к неармированному с получением коэффициента армирования покрытия ( $K_a$ ). Способность локально снижать сцепление старого покрытия и слоя усиления определяется коэффициентом сцепления ( $f$ ), который определя-

ется, как отношение показателей деформации армированного покрытия к неармированному.

Для осуществления этого способа предложено устройство, общий вид которого изображен на рис. 1.

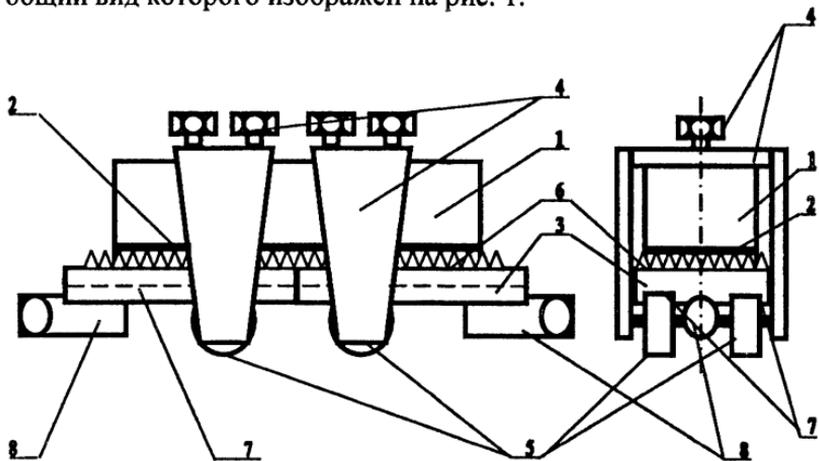


Рис. 1. Общий вид испытательного устройства

Испытательное устройство включает испытываемый образец 1 со стеклосеткой 2 или без нее, раздвижные детали 3 и прижимные части 4. Отличия заключаются в том, что испытываемый образец 1 изготовлен из асфальтобетона, каждая прижимная часть 4 снабжена опорой в виде шарикоподшипникового ролика 5, а металлические раздвижные детали 3 имеют искусственную шероховатость 6, при этом раздвижные детали 3, имеющие пазы 7 для свободного перемещения в плоскости испытания образца 1 относительно опор в виде шарикоподшипниковых роликов 5, позволяют испытать его на внецентренное растяжение.

Эффект испытания на внецентренное растяжение достигается тем, что прижимные части 4 жестко обжимают верхнюю часть образца 1, в то время как растягивающее усилие заставляет раздвижные детали 3 путем сцепления шероховатостей 6 с нижней частью образца 1 передавать нагрузку на стеклосетку 2, вызывая ее деформацию. Относительно нейтральной линии образца нагрузка прилагается с эксцентриситетом 0,5 высоты об-

разца. Создающийся момент сил приводит к внецентренному растяжению образца.

Определение работоспособности АП состоит в моделировании температурных напряжений в блочном основании дорожных одежд путем передачи от разрывной машины и измерения минимальных усилий, разрушающих серии специально изготовленных асфальтобетонных образцов (в дальнейшем – образцов) при их статическом нагружении с постоянной скоростью роста нагрузки, измерении линейной деформации образцов и вычислении напряжений в материале образцов при этих усилиях (прочности) в предположении его упругой работы. Получаемые данные необходимы для расчета коэффициента армирования конструкции ( $K_a$ ), а также для расчета коэффициента сцепления ( $f$ ) между слоями дорожных конструкций.

Образцы изготавливают и испытывают сериями. Число образцов в серии принимают равным шести, три из которых – основные, а три – контрольные.

Основные образцы изготавливают с армирующей прослойкой, а контрольные образцы готовят без укладки армирующей прослойки.

Испытания как основных, так и контрольных образцов проводят с одинаковыми требованиями.

По каждой серии основных образцов получают среднее значение прочностных показателей асфальтобетона  $R_{oc}$ , по каждой серии контрольных образцов получают среднее значение прочностных показателей асфальтобетона  $R_k$ .

По полученным данным определяют коэффициент армирования покрытия ( $K_a$ ) для каждого рулонного материала, используемого в качестве АП по формуле

$$K_a = \frac{R_{oc}}{R_k} \cdot \quad (1)$$

Также можно получить и коэффициент сцепления ( $f$ ) слоев конструкции, который вычисляется как отношение величины удлинения нижних частей контрольных образцов ( $d_k$ ) к величине удлинения нижних частей основных образцов ( $d_{oc}$ ) в каждой серии по формуле

$$f = \frac{d_{\kappa}}{d_{oc}}. \quad (2)$$

Более работоспособной считается та армирующая прослойка, коэффициент армирования  $K_a$  которой наибольший при наименьшем коэффициенте сцепления  $f$ .

По данной методике был испытан ряд материалов АП, применяющихся в дорожной отрасли. Результаты испытания приведены в таблице.

**Таблица. Результаты лабораторных испытаний АП**

№ п/п	<i>Вид материала</i>	$K_a$	$f$
1.	Стеклосетка «Хателит»	1,75	0,81
2.	Стеклосетка «Арматекс»	1,63	0,82
3.	Стеклосетка г. Полоцк	1,58	0,83
4.	Стеклосетка «СПАП-КАМА»	1,37	0,86
5.	Полотно СПВА	1,35	0,68
6.	Полиамидный геотекстиль	1,33	0,63
7.	Полиэфирный геотекстиль	1,27	0,58

Применение полученных результатов испытаний на практике позволило определить наиболее оптимальные материалы для применения в качестве АП при капитальном ремонте автомобильной дороги М1/Е30 (участок «Козловичи – Тельмы»).

Из имеющихся в наличии была выбрана сетка Полоцкого объединения «Стекловолокно», параметры работоспособности которой не намного ниже заграничных образцов, а цена значительно меньше. Опытная дорожная конструкция устраивалась по специальной технологии с использованием имеющихся средств механизации.

Анализ состояния покрытия, проведенный после 1,5 лет эксплуатации, засвидетельствовал отсутствие дефектов и подтвердил возможность использования новой методике в дорожной отрасли.

## Лазерный рефрактометр

Тузков Ю.Ф.

Белорусский национальный технический университет

В [1] был рассмотрен лазерный активный интерферометр для измерения угловых перемещений, в котором используется пошагово-компенсационный метод измерения перемещений, предложенный в [2].

В настоящем докладе рассматривается лазерный рефрактометр, схема которого представлена на рис.1.

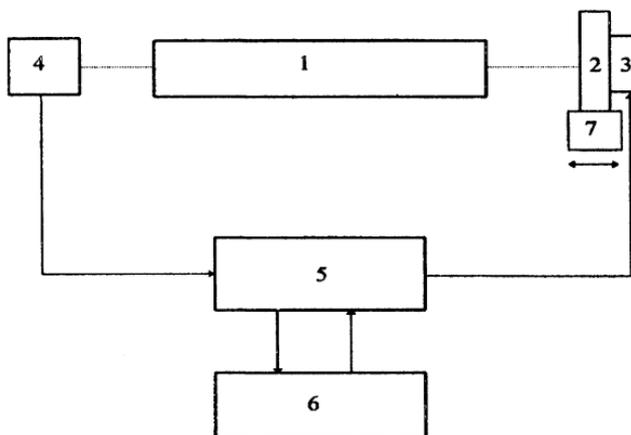


Рис.1.

## Схема лазерного рефрактометра

Рефрактометр содержит лазер 1, отражатель 2, закреплённый на компенсирующем приводе 3, фотоприёмник 4, экстремальную систему регулирования (ЭСР) 5, систему обработки информации (СОИ) 6. Отражатель 2 с компенсирующим приводом 3 смонтированы на приводе 7. Зеркала лазера 1 и отражатель 2 образуют линейный трёхзеркальный резонатор. Изменение длины оптического пути за счёт перемещения отражателя приводит к модуляции интенсивности лазерного излучения, причём полный цикл модуляции происходит при изменении длины оптического пути на  $\lambda/2$  [3,с.234]. Первый вход ЭСР 5 соединён с фо-

топриёмником 4, первый выход ЭСР 5 соединён с компенсирующим приводом 3, второй вход и второй выход ЭСР 5 соединены с выходом и входом СОИ 6.

Работа рефрактометра осуществляется следующим образом. С помощью ЭСР 5 отражатель 2 удерживается в положении, соответствующем сигналу минимальной интенсивности на фотоприёмнике 4. В качестве ЭСР может быть использована любая, известная в настоящее время. Отражателем может служить сферическое зеркало или уголкового отражатель. При перемещении отражателя 2 с помощью привода 7 на расстояние  $L$  ЭСР 5 компенсирует это перемещение путём изменения напряжения на компенсирующем приводе 3. В качестве компенсирующего привода обычно используется пьезокерамика. Однако диапазон перемещений пьезокерамики ограничен, поэтому необходимо использовать следующий алгоритм измерений. Когда напряжение на компенсирующем приводе 3 изменяется на  $\Delta U$ , соответствующее изменению длины оптического пути на  $\lambda/2$ , СОИ 6 вырабатывает сигнал для ЭСР 5 для ступенчатого изменения напряжения на компенсирующем приводе 3 на величину  $\Delta U$ , отражатель 2 перемещается на  $\lambda/2$ , ЭСР 5 автоматически “привязывается” к соседнему минимуму интенсивности излучения лазера и одновременно в СОИ 6 вырабатывается декрементный или инкрементный импульс в зависимости от знака изменения напряжения. Число импульсов соответствует изменению длины оптического пути на такое же число  $\lambda/2$ . Таким образом, сигнал на компенсирующем приводе 3 определяется по формуле:

$$U_x = m \cdot \Delta U + \Delta U_x, \quad (1)$$

где  $m$  - число импульсов;  $\Delta U_x$  - дробная часть сигнала на компенсирующем приводе 3, принимающая значения в интервале  $0 \leq U_x < \Delta U$ .

Показатель преломления воздуха определяют по формуле:

$$n = (U_x / \Delta U) \cdot (1/L) \cdot \lambda/2, \quad (2)$$

где  $U_x$  - сигнал на компенсирующем приводе отражателя;  $\Delta U$  - сигнал, соответствующий изменению оптической длины между лазером и отражателем на  $\lambda/2$ ;  $L$  - геометрическая длина перемещения отражателя;  $\lambda$  - длина волны излучения лазера.

Абсолютная погрешность определения показателя преломления, обусловленная неточностью определения величин напряжения на компенсирующем приводе отражателя и геометрической длины перемещения отражателя, равна:

$$\delta n = \frac{\lambda}{2} \left( \frac{\delta U_x}{\Delta U \cdot L} + \frac{\delta(\Delta U) \cdot U_x}{(\Delta U)^2 \cdot L} + \frac{U_x \cdot \delta L}{\Delta U \cdot L^2} \right) \approx \frac{\lambda}{2L} \left( \frac{\delta(\Delta U)}{\Delta U} + \frac{\delta L}{L} \right). \quad (3)$$

Относительные погрешности измерения постоянного напряжения и линейного расстояния согласно [4] составляют соответственно  $2,5 \cdot 10^{-3} \%$  и  $5 \cdot 10^{-3} \%$ .

Таким образом, абсолютная погрешность определения показателя преломления равна:

$$\delta n = 7,5 \cdot 10^{-5} \lambda. \quad (4)$$

При  $\lambda = 0,532 \cdot 10^{-6} \text{ м}$   $\delta n$  не превышает  $4 \cdot 10^{-11}$ .

### Литература

1. Зуйков И. Е., Тузков Ю. Ф. Лазерный активный интерферометр для измерения угловых перемещений // Потенциал науки – развитию промышленности, экономики, культуры, личности: Материалы межд. научн.–техн. конференции. – в 2-х т. –Т.1. – Мн.: УП«Технопринт», 2002. – С. 130-133.
2. Зуйков И. Е., Тузков Ю. Ф. Пошагово – компенсационный метод измерения линейных перемещений. // МНПК «Качество – 99» 10.11 – 12.11.1999г. Тезисы докладов. / ГОССТАНДАРТ. БелГИСС. – Минск, 1999. – С. 245 - 248.
3. Крылов К.И., Прокопенко В.Т., Митрофанов А.С. Применение лазеров в машиностроении и приборостроении. - Л.: Машиностроение, 1978-336с.
4. Основы метрологии и электрические измерения: Учебник для вузов / Б. Я. Авдеев, Е. М. Антонюк, Е. М. Душин и др.; Под ред. Е. М. Душина. - 6-е изд., перераб. и доп.- Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987.-480с.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Расчетная модель описывает напряженно–деформированное состояние произвольного сталежелезобетонного сечения (рис. 1), представляет собой систему интегральных уравнений и включает в себя:

- уравнения равновесия внешних и внутренних усилий в сечении;
- кинематические гипотезы распределения деформаций в сечении в упругопластической стадии работы конструкции;
- зависимости между деформациями и напряжениями (диаграммы деформирования), в общем виде немонотонные и негладкие;
- зависимости деформационной теории пластичности.

Система уравнений расчетной модели устанавливает связь между вектором внешней нагрузки  $f$  и вектором параметров деформаций  $u$ . Таким образом, возможны две постановки задачи: определение множества деформаций (и напряжений) по заданной внешней нагрузке, либо определение предельных усилий при заданной деформации. Отметим, что поставленные задачи могут не иметь решений, либо иметь несколько решений.

Расчетная модель сталежелезобетонных сечений является обобщением деформационной модели, используемой в теории железобетона [1, 6], а также методов, используемых для расчета сечений стальных конструкций по критерию ограниченных пластических деформаций [7, 9].

## 2. РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СЕЧЕНИЙ

Уравнения равновесия (интегрирование ведется по площади сечения  $A$ )

$$N_x - \int_A \sigma_x(y, z) dA = 0,$$

$$Q_y - \int_A \tau_{xy}(y, z) dA = 0, \quad Q_z - \int_A \tau_{xz}(y, z) dA = 0,$$

$$M_y - N_x(z_N - z_0) - \int_A \sigma_x(y, z)(z - z_0) dA = 0,$$

$$M_z - N_x(y_N - y_0) - \int_A \sigma_x(y, z)(y - y_0) dA = 0$$

или, то же, в матричном виде

$$f - F(\mathbf{u}) = 0,$$

$$\text{где } f = \left\{ \begin{array}{l} N_x \\ Q_y \\ Q_z \\ M_y - N_x(z_N - z_0) \\ M_z - N_x(y_N - y_0) \end{array} \right\} - \text{вектор нагрузок на сечение;}$$

$F(\mathbf{u})$  – вектор-функция внутренних усилий в сечении;

$\mathbf{u} = \{\varepsilon_{0x}, k_{xy}, k_{xz}, k_y, k_z\}^T$  – вектор параметров деформаций, где

$\varepsilon_{0x}$  – продольная относительная деформация в центре сопротивления изгибу от  $N_x$ ;

$k_{xy}, k_{xz}$  – параметры деформаций сдвига от  $Q_y, Q_z$ ;

$k_y, k_z$  – кривизны относительно соответствующих осей от  $M_y, M_z$ ;

$\sigma_x(y, z), \tau_{xy}(y, z), \tau_{xz}(y, z)$  – функции нормальных и касательных напряжений;

$y, z$  – координаты рассматриваемой точки сечения;

$y_N, z_N$  – координаты точки приложения продольного усилия  $N_x$ ;

$y_0, z_0$  – координаты центра сопротивления изгибу сечения (может не совпадать с центром тяжести сечения)

$$z_0 = \int_A z dA / \int_A dA, \quad (y, z).$$

Здесь и далее запись  $(y, z)$  означает, что недостающие формулы получаются круговой перестановкой индексов.

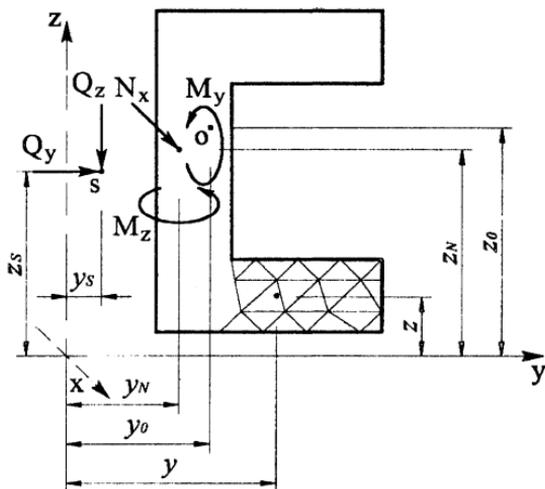


Рис. 1. Произвольное поперечное сечение стержнево-сталежелезобетонного элемента

В предлагаемой расчетной модели принимается следующее допущение: распределение относительных деформаций в упругопластической стадии эквивалентно их распределению в упругой стадии. Кроме того, предполагается, что поперечная нагрузка воспринимается только стальной частью сталежелезобетонного сечения.

Согласно допущению относительные продольные деформации в сечении в упругопластической стадии

$$\varepsilon_x(y, z) = \varepsilon_{0x} - k_y(z - z_0) - k_z(y - y_0),$$

$$\varepsilon_y = \varepsilon_z = -\mu_{pl} \varepsilon_x,$$

где  $\mu_{pl}$  – коэффициент Пуассона в упругопластической стадии.

Очевидно, что продольные деформации подчиняются гипотезе плоских сечений, т.е. деформация сечения не учитывается.

Относительные деформации сдвига в стальной части сечения

$$\gamma_{xy}(y, z) = k_{xy} \phi_{1,xy}(y, z) + k_{xz} \phi_{2,xy}(y, z);$$

$$\gamma_{xz}(y, z) = k_{xy} \phi_{2,xz}(y, z) + k_{xz} \phi_{1,xz}(y, z).$$

Для простоты, принимаем функции сдвига на основании формулы Журавского

$$\phi_{1,xy}(y) = \frac{S_z^o(y)}{I_z t_y(y)}, \quad \phi_{1,xz}(z) = \frac{S_y^o(z)}{I_y t_z(z)},$$

$$\phi_{2,xy}(y, z) = \phi_{2,xz}(y, z) = 0,$$

где  $S_z^o(y)$ ,  $S_y^o(z)$  – функции статических моментов отсеченных частей;

$t_y(y)$ ,  $t_z(z)$  – соответственно, ширина и высота сечения на уровне рассматриваемой точки.

Статические моменты отсеченных частей для рассматриваемой точки  $i$

$$S_y^o(z) = \int_{z_i}^{z_{max}} t_z(z)(z - z_0) dz, \quad (y, z),$$

где  $z_i$ ,  $z_{max}$  – координата рассматриваемой  $i$ -й точки и максимальная координата точки в сечении.

Кроме приведенных зависимостей в расчетную модель входят также диаграммы деформирования материалов ( $\sigma_i = f_k(\varepsilon_i)$ ,  $k=1, m$ ), связывающие интенсивности деформаций и напряжений. Интенсивности деформаций (как и последующие величины определяются в каждой точке сечения)

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{2(\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + \frac{3}{2}(\gamma_{xy}^2 + \gamma_{xz}^2)}.$$

Интенсивности напряжений определяются по диаграммам деформирования материалов, которые можно получить из диаграмм растяжения материалов  $\sigma_i - \varepsilon_i$

$$\varepsilon_i = \varepsilon_i + \frac{1 - 2\mu_{pl}}{E} G \varepsilon_i, \quad \sigma_i = \sigma_i,$$

где  $\mu_{pl}$  – переменный коэффициент Пуассона в упругопластической стадии, определяемый для каждой точки сечения

$$\mu_{pl} = 0,5 - \frac{0,5 - \mu_{el}}{E} \frac{\sigma_i}{\varepsilon_i},$$

где  $\mu_{el}$  – коэффициент Пуассона материала в упругой стадии.

Из уравнений Генки-Ильюшина деформационной теории пластичности

$$\varepsilon_x - \varepsilon_0 = \frac{3\varepsilon_i}{2\sigma_i} (\sigma_x - \sigma_0), \quad (x, y, z)$$

с учетом предположения об отсутствии давления между соседними продольными волокнами  $\sigma_y = \sigma_z = 0$  имеем выражение для нормального напряжения в упругопластической стадии

$$\sigma_x = \frac{\sigma_i}{\varepsilon_i} (\varepsilon_x - \varepsilon_0) .$$

В формулах  $\sigma_0$  и  $\varepsilon_0$  – средние напряжение (гидростатическое) и деформация.

Касательные напряжения в упругопластической стадии

$$\tau_{xy} = \frac{\sigma_i}{3 \varepsilon_i} \gamma_{xy} (y, z) .$$

В данной расчетной модели принимается, что поперечная нагрузка прикладывается к центру изгиба (сдвига) сечения, координаты которого

$$y_s = -S_{\varphi, y} / I_y, \quad z_s = S_{\varphi, z} / I_z, \\ S_{\varphi, y} = \int_A (z - z_0) \varphi(y, z) dA, \quad I_y = \int_A (z - z_0)^2 dA, \quad (y, z).$$

Определение функции кручения  $\varphi$ , как известно, сводится к однородной задаче Неймана

$$\Delta \varphi(y, z) = 0$$

при краевом условии выражающем отсутствие нагрузки на контуре сечения

$$\frac{\partial \varphi(y, z)}{\partial n} = z \cos \alpha - y \sin \alpha = z n_y - y n_z,$$

где  $\Delta$  – двумерный оператор Лапласа;

$n$ ,  $\alpha$  – нормаль к контуру сечения и угол ее наклона к оси  $Y$ .

Функция кручения определяется вариационным методом (в форме метода конечных элементов).

### 3. ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ

Методы решения расчетной модели можно разделить на три группы:

1. Итерационные (метод дополнительных нагрузок [5], метод переменных параметров упругости [2], комбинированный метод [7], метод дополнительных деформаций [2], ньютоно-подобные методы, обобщенный метод секущих и др.);

2. Методы продолжения по параметру [3, 4, 8];
3. Смешанные методы (методы продолжения по параметру с уточнением решения на шаге итерационным методом).

Из итерационных методов наиболее общим является комбинированный метод, так как его частными случаями являются метод переменных параметров упругости и метод дополнительных нагрузок.

Методы продолжения по параметру более медленные, но позволяют проследить напряженно-деформированное состояние сечения на всей истории нагружения, что в том числе дает возможность учесть временные процессы – коррозию, влияние температуры и др. Кроме того, некоторые из них позволяют исследовать “запредельную” работу сечения и найти все возможные решения. Среди методов продолжения по параметру, имеющих наилучшие вычислительные свойства отметим метод, использующий в качестве параметра длину дуги кривой решений (arc-length метод) [3].

Интегрирование по площади выполняется численно с использованием квадратурных немультимпликативных формул Гаусса по треугольнику, для чего все сечение предварительно разбивается на треугольники.

Приведенная расчетная модель реализована в программе FPLASTIC, состоящей из расчетного модуля и интерфейсного модуля, работающего под управлением пре-постпроцессора FEMAP.

Предлагаемая расчетная модель может использоваться при расчетах стержневых конструкций методом конечных элементов и является составной частью физически-нелинейного балочного конечного элемента.

### Литература

1. Байков В.Н., Додонов М.И., Расторгуев Б.С. Общий метод расчета железобетонных конструкций // Бетон и железобетон, № 5, 1987. – с. 13–17.
2. Биргер И.А. Круглые пластинки и оболочки вращения. – М.: Оборонгиз, 1961. – 367с.
3. Григолюк Э.И., Шалашилин В.И. Проблемы нелинейного деформирования: Метод продолжения по параметру в

нелинейных задачах механики твердого деформируемого тела. – М.: Наука. 1988. – 232с.

4. Дмитриев Л.Г., Касилов А.В. Вантовые покрытия. (Расчет и конструирование) – К.: Будівельник, 1967. – 171с.

5. Ильюшин А.А. Пластичность. – М.: Гостехиздат, 1948. – 376 с.

6. Лазовский Д.Н., Глухов Д.О. Численный анализ расчетной модели нормального сечения железобетонной конструкции проекта СНБ 5.03.01–98 / Материалы 54-ой международной научно-технической конференции – Часть 7. – Минск: БГПА, 2000. – с. 9.

7. Потапкин А.А. Проектирование стальных мостов с учетом пластических деформаций. – М.: Транспорт, 1984. – 200с.

8. Сидорович Е.М. Нелинейное деформирование, статическая и динамическая устойчивость пространственных стержневых систем. – Мн.: БГПА, 1999. – 200с.

9. Чернов Н. Л., Артюшкин И. А., Купченко Ю. В., Шебанин В. С. Расчет элементов стальных стержневых систем за пределами упругости по деформированной схеме // Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура. – 1991, №2. – С. 3 – 7.

УДК 76:621(075.8)

**Курсовое проектирование в дисциплине  
«Инженерная графика»**

Корытко Л.С., Кравченко М.В.

Белорусский национальный технический университет

В системе инженерного образования базовое значение имеет общеинженерная подготовка, важными составляющими которой являются графические дисциплины: инженерная графика, технический рисунок, компьютерная графика, развивающие пространственное мышление и обучающие технически грамотному выполнению чертежей, оказывающие значительное влияние на раскрытие творческого потенциала будущих специалистов. Эффективность графических дисциплин определяется с одной стороны фундаментальностью научных положений, на которых

строится обучение, а с другой – связью его содержания с практикой.

Одним из основных разделов дисциплины «Инженерная графика» является «Начертательная геометрия», которая как все другие отрасли математики, имеет огромное практическое значение. С помощью методов начертательной геометрии выполняются все производственные чертежи, без которых немислима творческая созидательная деятельность инженера.

Студенты строительных специальностей изучают специальные темы начертательной геометрии: проекции с числовыми отметками, перспективные и аксонометрические изображения, которые широко используются в проектировании транспортных строительных сооружений.

Метод проекций с числовыми отметками используется в инженерной графике при изображении предметов, размеры которых в плане значительно больше их вертикальных размеров. Этот метод широко применяется в проектировании различных инженерных сооружений на земной (топографической) поверхности: железных и автомобильных дорог, строительных площадок, мостов, карьеров, каналов, плотин, горных выработок, гидротехнических сооружений и т.д.

Курсовую работу по инженерной графике на тему: «Проектирование инженерных сооружений на топографической поверхности в проекциях с числовыми отметками» выполняют студенты факультетов транспортных коммуникаций и природных ресурсов и экологии. Она является одним из завершающих этапов графической подготовки студентов на кафедре инженерной графики и служит основой для выполнения графических работ на старших курсах. Каждому студенту выдается индивидуальное задание по проектированию участка дорожного полотна на заданной топографической поверхности, сопрягающегося с проектируемым мостом.

Курсовая работа состоит из следующих основных задач:

- 1) построение линии пересечения откосов земляного сооружения между собой и с поверхностью земли;
- 2) составление и вычерчивание продольного и поперечного профилей земной поверхности и проектируемого сооружения с указанием «черных» и «красных» отметок, высотных раз-

меров выемки и насыпи, уклонов сооружения и горизонтальных расстояний между характерными точками топографической поверхности и сооружения;

3) построение геологического разреза с обозначением горных пород;

4) изучение различных способов построения наглядного изображения рельефа местности и сооружения в аксонометрии и перспективе;

5) решение задач, имеющих практическое применение при проектировании и строительстве, связанных с производством земляных работ.

Эти задачи дают возможность получить студенту необходимый практикум для овладения данной темы, способствуют более широкому применению приемов начертательной геометрии как при изучении специальных дисциплин, так и в последующей его практической деятельности, и обязывают студента, наряду с освоением теоретических положений, овладевать навыками графического решения.

Пояснительная записка в возможно кратком, но точном и достаточном изложении, должна иметь соответствующую последовательность нешаблонного содержания обоснований по ходу построений.

Курсовая работа развивает у студентов такие необходимые для конструкторской деятельности качества, как пространственное воображение, образное и ассоциативное мышление, техническую интуицию, умение пополнять свои знания, приемы поиска и использования научно-технической информации. Она также способствует воспитанию эмоционально-волевых и нравственных качеств, необходимых при принятии самостоятельных решений. Таким образом, в процессе выполнения курсовой работы студент обучается инженерному подходу к решению конструкторских задач: восприятие и формирование идей, анализ и синтез возможных решений, оформление конструкторской документации.

Следует подчеркнуть, что при курсовом проектировании важна роль руководителя, который направляет всю работу студентов. Консультации помогают развитию максимальной само-

стоятельности работы студентов, ее планомерности, продуманности, обоснованности.

В связи с возрастающими требованиями к конструкторской подготовке и к общему творческому развитию будущих инженеров можно сформулировать задачи дальнейшего совершенствования курсового проектирования по инженерной графике:

обращать внимание студентов на философские проблемы проектирования и формировать у них конструкторское мышление;

ставить такие задачи, которые имеют перспективное применение, обучать методике проектирования;

внедрять элементы компьютерной графики и систем автоматизированного проектирования.

Кафедра «Инженерная графика строительного профиля» интенсивно работает в направлении качественной подготовки будущих специалистов данного профиля.

УДК 745.749:681.3

## **Трехмерное компьютерное моделирование объектов архитектуры и дизайна**

Садовский Ю.И.

Белорусский национальный технический университет

Одной из дисциплин, преподаваемой кафедрой «Инженерная графика строительного профиля» БНТУ, является компьютерная графика, основной целью которой является приобщение студентов архитектурно-строительных специальностей к средствам и методам связи пользователя с компьютером на уровне зрительных образов при решении задач архитектурного и инженерного проектирования.

Программой основой дисциплины с 1992 года является имеющая международный рейтинг в области САД-систем система автоматизации проектирования AutoCAD (в настоящее время версии 2002- 2005).

Кафедрой разработаны учебные программы по компьютерной графике для всех специальностей в зависимости от объема часов их учебной программы с максимальным учетом будущей профессиональной деятельности студентов.

Накопленный за двенадцать лет работы материал реализован в курсе лекций в объеме 18 часов, курсе практических занятий в объеме 18 часов и курсах лабораторных работ - базового и расширенного в объеме 18 часов каждый, а также лежит в основе соответствующих разделов разработанных кафедрой типовых программ дисциплин «Начертательная геометрия. Инженерная и машинная графика» для студентов строительных специальностей» и «Информатика» для студентов специальностей «Архитектура» и «Дизайн».

Именно у студентов этих специальностей в силу специфики проектируемых ими объектов – зданий и сооружений, относящихся к классу не полностью формализованных задач, наряду с плоскостным проектированием в курс введены элементы трехмерного проектирования объектов архитектуры и дизайна.

В основу проектирования этих объектов положена реализованная в система AutoCAD технология твердотельного модели-

рования 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.

Обычно на практических занятиях моделируются относительно несложные объекты – оконные и дверные блоки, витражи, стулья, столы, настольные лампы и т.д. На рис. 1 показаны примеры проектируемых трехмерных объектов.

Разработка более сложных проектов, например, фрагмента интерьера комнаты, производится в индивидуальном порядке.

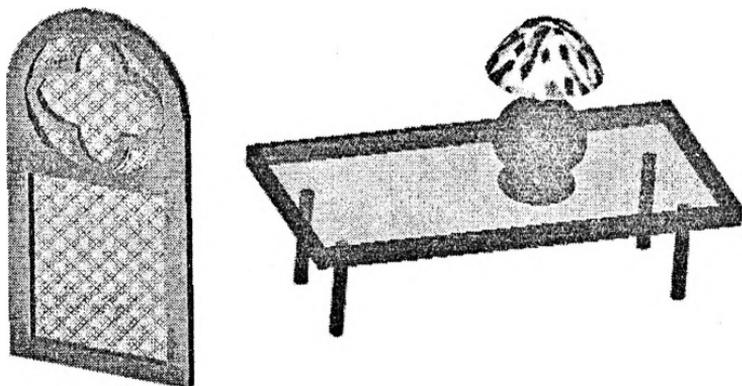


Рис. 1. Примеры моделируемых объектов

Важнейшим этапом моделирования после создания каркасной модели является ее визуализация – выполнение ряда операций по созданию фотореалистических изображений разной степени сложности.

Чаще всего при визуализации объектов простых форм на занятиях используется простая закраска (shading) объектов. Для более сложных объектов, в том числе криволинейных форм – тонирование (rendering) – более сложная комплексная процедура, включающая сглаживание контуров закрасенных аппрокси-

мирующих многоугольников с целью устранения эффекта полос Маха, присвоение объектам материалов и их генерация, создание фона и самой тонированной картины.

В основу этой достаточно сложной процедуры положены различные методы тонирования. В настоящее время в компьютерной графике чаще всего используются методы, основанные на алгоритмах Б. Фонга /1/, Г. Гуро /2/ и самом глобальном – алгоритме трассировки лучей, начатом работами А.Аппеля /3/ и продолженном Д. Букнайтом и К.Келли /4/. Большинство возможностей этих методов реализовано и в системе AutoCAD в различных режимах тонирования – Render, PhotoReal и PhotoTrase.

Работа с материалами включает два этапа: добавление материалов к чертежу и привязка их к объектам. Можно использовать стандартные материалы библиотеки AutoCAD, модифицированные на их основе, самостоятельно разработанные новые материалы и позаимствованные из библиотек других графических программ.

Учитывая ограниченный лимит времени занятий, чаще всего студентам предлагается использование стандартных материалов четырех групп – однородный материал, мрамор, гранит, дерево. Кроме того, стандартная библиотека AutoCAD позволяет использовать некоторые многоцветные текстурные заполнения для наложения на каркасные модели.

Создание собственных материалов студентами затруднено вследствие большого числа физических параметров, используемых при моделировании сложных материалов – текстуры, рассеяния, отражения, шероховатости, прозрачности, преломления, карт микрорельефа и т.д. Эффективное использование этих характеристик в реальных диапазонах проблематично из-за недостаточной подготовки студентов в соответствующих разделах физики.

Завершение работы в классе обычно заканчивается выбором фона и проведением тонирования с сохранением тонированной картинки.

К сожалению, использование более сложных элементов тонирования пока возможно только для применения их в индиви-

дуальных проектах наиболее продвинутых в компьютерной графике студентов, имеющих желание работать дома.

К числу этих вопросов относятся следующие. Во-первых, создание и настройка источников освещения. Как известно, в системе AutoCAD используется четыре вида освещения – фоновое, точечное, прожекторное и солнечное. По умолчанию при тонировании предполагается наличие только одного источника освещения позади точки наблюдения.

Во-вторых, создание теней по одному из трех реализованных в AutoCAD алгоритмов – построения объемной тени, карты теней и трассировки лучей.

В-третьих, создание сцены – пространственной компоновки построенных объектов, источников освещения и видами. При одной и той же компоновке, управляя установленными источниками освещения, можно получить две разные картинки - например, одну с удаленным источником освещения, имитирующим естественное дневное освещение, другую – с точечными источниками, имитирующими освещение в ночное время.

Одновременное выполнение всех описанных компонент тонирования при его выполнении приводит к длительному рендерингу (получение некоторых картин с несколькими источниками освещения может длиться десятками минут и даже часами).

Проработка этих вопросов на учебных занятиях возможна только при корректировке учебных программ с выделением дополнительных часов на трехмерную графику.

### **Литература**

1. Bui-Tuong Phong. Illumination for computer generated images: doctoral thesis.- University of Utah, 1973.
2. Henry Gouraud. Computer display of curved surfaces: doctoral thesis.- University of Utah, 1971.
3. Appel Arthur. Some techniques for shading machine rendering of solids //SJCC -1968. - Thompson Books, Washington- p. 37-45.
4. Bouknight Jack, Kelley Karl. An algorithm for producing half-toned computer graphic presentations with shadows and movable light sources// SJCC – 1970.- AFIPS Press, Montvale - p.1-10.

**Практическое применение теории  
формообразования поверхностей**

Тарасов В.В., Садовский Ю.И., Телеш Е.А.  
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Инженерная графика строительного профиля» ведет работы по прикладному применению кинематической модели формообразования поверхностей для разработки предложений по технологии изготовления новых эффективных строительных конструкций. Приоритет авторов в этой области защищен многочисленными авторскими свидетельствами на изобретения СССР и патентами РБ, в том числе и с участием студентов [1 -6].

Суть предложений заключается в конкретной технической интерпретации абстрактной кинематической модели формообразования поверхностей с заменой геометрических понятий направляющих и образующих на реальные проектные решения.

Этот принцип материализован в техническом решении формования железобетонных полых конструкций с калиброванным цилиндрическим отверстием методом центрифугирования (рис.1) [1].

В качестве образующей (калибрующего инструмента) используется стальной подпружиненный трос, скользящий при помощи катков по цилиндрическим поверхностям торцевых обечаек (направляющих). Для формования центробежным способом железобетонной полых конструкции в виде однополостного эллиптического гиперboloида вращения тросовый элемент устанавливается под углом к его продольной оси [2].



Рис.1

При необходимости, образующие и направляющие могут меняться местами трансформируясь от простых форм к более сложным. Так, в качестве образующих при формировании конических поверхностей, можно использовать шнеки различной формы (рис.2) [3]. В техническом решении задачи формирования сферического железобетонного резервуара используется гибкий самоприводной шнек, выполняющий функцию образующей. После подачи бетона в полость вращающейся сферической формы в нее вводится шнек, формирующий внутреннюю поверхность (рис.3) [4]. В случае необходимости изменения кривизны формируемой поверхности можно применять шнеки с изменяемой геометрией) [5].

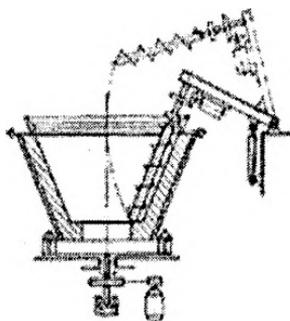


Рис.2

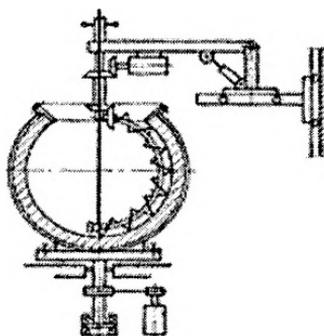


Рис.3

Для формирования центробежным способом эффективных железобетонных конструкций с нетрадиционным эллиптическим поперечным сечением полости было предложено образующие шнековые элементы перемещать по эллиптической траектории, для чего использовались направляющие в виде двух нерастяжимых тросов, закрепленных своими концами в неподвижных фокусах (рис.4) [6].

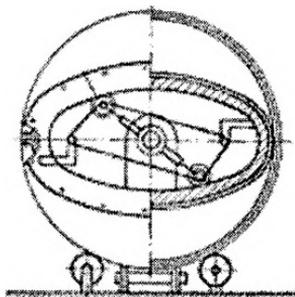


Рис. 4

Предлагаемые технические решения просты в своей логике, а значит, технологичны. Внедрение изобретений и патентов кафедры в технологию формирования железобетонных центрифугированных конструкций позволит создать на предприятиях стройиндустрии РБ эффективное современное производство, что во многом обеспечит достижение экономии материальных и энергетических ресурсов.

#### Литература

1. А.С. № 1357241 (СССР). Устройство для формирования трубчатых изделий из бетонных смесей /Тарасов В.В.- Оpubл. в Б.И., 1987, № 45.
2. А.С. № 1743882 (СССР). Устройство для формирования трубчатых изделий из бетонных смесей /Тарасов В.В., Ольшанская Л.С., Денисов А.Н.- Оpubл. в Б.И., 1992, № 24.

3. А.С. № 1337267 (СССР). Установка для вертикального формирования центрифугированием полых тел вращения из бетонных смесей /Тарасов В.В., Толстик В.А., Пастушков Г.П.- Оpubл. в Б.И., 1987, № 34.
4. А.С. № 1444157 (СССР). Устройство для формирования центрифугированных полых сферических изделий из бетонных смесей /Тарасов В.В.- Оpubл. в Б.И., 1988, № 46.
5. А.С. № 1512777 (СССР). Устройство для формирования центрифугированных пустотельных элементов /Тарасов В.В., Тарасова Ю.В.- Оpubл. в Б.И., 1989, № 37.
6. Патент РБ №4446 на изобретение. Установка для формирования бетонных изделий с замкнутым криволинейным поперечным сечением /Тарасов В.В., Гавриленко А.С., Шамколович И.П. – Оpubл. в Оф. бюл. «Изобретения. Полезные модели. Промышленные образцы», 2002, №2.

УДК 624.131.1: 629.017

**Место и значение изучения курса  
«Инженерная геология» в учебном процессе**

Колпашников Г.А.

Белорусский национальный технический университет

Усвоение курса инженерной геологии – одно из приоритетных направлений в получении знаний, необходимых при строительстве зданий и сооружений. Всякое инженерное сооружение в пределах данной местности воздействует в первую очередь на грунты в основании фундаментов. В результате воздействия инженерного сооружения на породы происходит осадка его основания. Величина и характер осадок могут быть различны в зависимости от веса сооружения, размера и заглубления фундамента, но главным образом от инженерно-геологических условий. В большинстве случаев величина осадки, если она равномерна по всей площади основания, имеет второстепенное значение, но она недопустима для таких инженерных сооружений, как железнодорожные мосты, некоторые заводские здания, плотины, т.е. конструкции, находящиеся в сфере влияния других объектов – движущегося транспорта, работы станков, напора воды в верх-

нем бьефе и др. Территория Республики Беларусь (РБ), располагаясь на западе Восточно-Европейской платформы, по сложности строения плейстоценовых отложений и особенностям развития опасных геологических процессов является ключевой для всей ледниковой зоны, где требуется диагностический подход при изучении грунтов и глубокое изучение ее инженерно-геологических особенностей. Поставить диагноз при инженерно-геологической оценке грунтов – это значит установить причины изменения состава, микроструктуры, физического состояния, прочностных, деформационных и других свойств.

Как показывает мировая практика строительства при недостаточно тщательном изучении инженерно-геологических условий строительной площадки могут возникнуть нестандартные ситуации, которые в ряде случаев переходят в чрезвычайные. Так в связи с деформациями кирпичных зданий на территории г. Сайншанда (Монголия) были изучены верхнемеловые глины прибрежной морской фации, которые залежали в основании этих зданий [1]. Комплексные исследования с использованием методов инженерной геологии позволили установить следующее. Глины агрегированы, слабо пластичны, разнонабухаемы. Проявляют просадочность при длительных компрессионных испытаниях. Как показал анализ микростроения в набухающих разновидностях глин меньше агрегатов и больше коэффициент свободы глинистой фракции. На основании полученных материалов к числу основных причин деформации зданий отнесены разнородность набухания глин и просадочности. Развитию этих процессов способствовали утечки техногенных вод из подземных коммуникаций.

Часто при изучении песчаных грунтов имеют место ошибочные представления об отнесении их к нормальным рыхлым пескам. Тщательные исследования показывают, что на самом деле это связные (облессованные) пески, которые следует относить к группе опесчаненных лессовидных отложений. В воздушно-сухом состоянии это кусочки «песка», которые легко ломаются, на изломе видны многочисленные макропоры в виде точечных углублений и микроколодцев.

Связные пески нельзя относить к нормальным песчаным разновидностям со стандартными значениями физико-

механических свойств, хотя такие ошибки допускаются при инженерно-геологических изысканиях. При проектировании как ленточных, так и свайных фундаментов следует учитывать названные выше особенности грунтов. В этих случаях необходимо проводить тщательные экспериментальные исследования в лабораторных условиях.

Опыт строительства и эксплуатации объектов в РБ показывает, что особую опасность представляют процессы, связанные с потерей несущей способности грунтов в основании зданий и сооружений [2-5]. Причины их появления могут быть самыми разнообразными. На территории РБ зафиксированы и изучены десятки случаев проявления опасных геологических процессов, приводящих к потере несущей способности грунтов. К ним могут быть отнесены суффозия, размягчения, оползни, осыпи, агрессивное воздействие грунтовых вод и др. Оценка и управление риском их проявления напрямую связано с изучением курса инженерной геологии, что позволяет улучшить качество геологических и инженерно-геологических изысканий в целях необходимого обеспечения исходных данных, оценить влияние природных геологических процессов – оползней, осыпей, набухания, просадок, суффозии, карста и др., исключить недостатки проектирования, учесть влияние техногенных и природных факторов на устойчивость строительных конструкций и др. Таким образом изучение курса инженерной геологии в учебном процессе даст возможность использовать полученные знания при наземном, подземном, гидротехническом, мелиоративном строительстве, а также при строительстве мостов, тоннелей, газопроводов, нефтепроводов и других инженерных объектов.

### Литература

1. Рашенко Т.Г. Нестандартные ситуации при инженерно-геологическом изучении дисперсных грунтов. Сергеевские чтения, вып. 3, материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (22-23 марта, 2001), М., ГЕОС, 2001, с. 59-62.
2. Коллашников Г.А., Ромашко Д.В., Ленкевич Р.И. Оценка степени риска в строительстве в связи с проявлением опасных геологических процессов. Вестник БНТУ, №2, 2002, с. 20-21.

3. Колпашников Г.А., Ромашко Д.В., Никитенко М.И. Особенности проявления опасных геологических процессов на территории Беларуси, их причины и последствия. Сборник материалов Международной научно-технической конференции «Геотехника Беларуси: наука и практика», №3-4, Минск, 2003, с. 267-272.
4. Колпашников Г.А., Ромашко Д.В. Исследование закономерностей распространения грунтовых толщ на территории Республики Беларусь и их фазового состояния в связи с оценкой прочностных и деформационных свойств для строительства. Труды международной научной конференции «Многообразие грунтов: морфология, причины, следствия». Изд-во МГУ, 2003, с. 107-108.
5. Тишин В.Г. Оценка и управление риском опасных оползневых процессов на урбанизированной территории Волжского склона в г. Ульяновске. Городские агломерации на оползневых территориях (часть II). Материалы Международной научной конференции, 15-17 октября 2003, г. Волгоград, с. 5-15.

УДК 69:658.5

### **Анализ затрат энергоресурсов при производстве строительно-монтажных работ**

**Баранов С.П., Земляков Г.В., Лозовский А.А.**  
Белорусский национальный технический университет

Одним из важнейших направлений повышения эффективности работы строительных организаций является снижение затрат энергоресурсов. В качестве основы для формирования мероприятий, обеспечивающих снижение этих затрат, могут быть использованы данные, включающие их выявление, анализ и классификацию.

В настоящее время реализуются различные мероприятия, направленные на снижение затрат энергоресурсов в строительстве. Большая работа проводится непосредственно при производстве строительно – монтажных работ. Преимущественно усилия специалистов, занимающихся вопросами экономии энергоресурсов в строительном производстве, направлены на совершен-

ствование отдельных технологических процессов. Много разработок прикладного характера и их внедрение в строительное производство направлено на сбережение энергоресурсов при производстве работ в зимних условиях.

В то же время анализ показал, что в строительстве имеются большие резервы для снижения затрат энергоресурсов. Еще мало внимания уделяется развитию энергосберегающей организации строительства, недостаточно используется функционально – системный подход к проблеме снижения затрат энергоресурсов при строительном – монтажных работ. При отсутствии комплексного подхода в каждом конкретном случае сложно, а часто и невозможно в полной мере определить резервы и пути снижения энергозатрат.

Основой такого подхода может служить четкое представление об использовании энергоресурсов при производстве строительном – монтажных работ. Выявление возможных энергозатрат в строительстве осуществлялось по разработанной методике, а в качестве объектов – представителей использовались стройки в г.г. Минске, Лиде и Гродно. Все выявленные затраты энергоресурсов в зависимости от назначения объединены в следующие группы.

Энергозатраты группы  $\mathcal{E}_1$  – затраты на технологические нужды, непосредственно связаны с технологией производства строительном – монтажных работ, их основное назначение – обеспечение нормального протекания технологического процесса. Эта группа предусматривает расход энергоресурсов на потребности, классифицированные по следующим видам:

$\mathcal{E}_{11}$  – затраты на разработку и перемещение грунта, включающие расход энергоресурсов на работу бульдозеров, скреперов, экскаваторов, механизмов и устройств для уплотнения грунта, прогрева и дробления мерзлого грунта и т.д. Количество затрат энергоресурсов этого вида резко возрастает при производстве работ в зимнее время.

$\mathcal{E}_{12}$  – затраты энергоресурсов на подачу материалов и конструкций к месту их использования и установки. Затраты этого вида связаны с работой механизмов, обеспечивающих горизонтальный и вертикальный транспорт материалов и конструкций в

пределах приобъектных складов, их подачу на рабочие места и установку в проектное положение.

$\mathcal{E}_{13}$  – затраты энергоресурсов на работу средств механизации, включающие затраты, необходимые для нормального протекания механизированных технологических процессов. Они включают затраты на работу компрессоров, сварочных аппаратов, средств малой механизации (бензопилы, электроинструмент, пневмоинструмент и др.).

$\mathcal{E}_{14}$  - затраты энергоресурсов на создание требуемого температурно-влажностного режима, обеспечивающего нормальное протекание физико-химических процессов: твердение вяжущих, расплавка материалов, процессы замораживания и др.

$\mathcal{E}_{15}$  - затраты энергоресурсов на оттаивание и сушку материалов, деталей и поверхностей.

$\mathcal{E}_{16}$  - расход энергоресурсов на создание нормального температурного режима в местах производства работ.

$\mathcal{E}_{17}$  - расход ресурсов на освещение рабочих мест.

Энергозатраты группы  $\mathcal{E}_2$  - затраты на транспортные нужды, включают затраты на все виды транспорта до приобъектных складов. Эта группа затрат энергоресурсов в соответствии с предлагаемой классификацией включает следующие виды:

$\mathcal{E}_{21}$  - затраты энергоресурсов на внеплощадочный транспорт строительных материалов, изделий и конструкций.

$\mathcal{E}_{22}$  - затраты энергоресурсов на внутриплощадочный транспорт строительных материалов, конструкций, деталей и оборудования. Этот вид затрат предусматривает транспортировку в пределах строительной площадки к месту использования или установки.

$\mathcal{E}_{23}$  - затраты энергоресурсов на внеплощадочную перевозку людей.

$\mathcal{E}_{24}$  - затраты энергоресурсов на внутриплощадочную перевозку людей и подъём их на этажи.

$\mathcal{E}_{25}$  - энергозатраты на трубопроводный транспорт

К группе затрат  $\mathcal{E}_3$  - затраты на отопление и кондиционирование, отнесены затраты на создание нормальных температурно-влажностных условий в помещениях. В соответ-

ствии с предлагаемой классификацией эта группа включает следующие виды затрат:

$\mathcal{E}_{31}$  - затраты энергоресурсов на отопление и кондиционирование воздуха помещений постоянной работы ИТР и служащих.

$\mathcal{E}_{32}$  - расход энергоресурсов на отопление помещений, характеризующихся продолжительным пребыванием людей: отопление помещений столовых, кабинетов по технике безопасности, комнат отдыха, классов для технической учебы и т.д.

$\mathcal{E}_{33}$  - расход энергоресурсов на отопление помещений, характеризующихся кратковременным пребыванием людей.

$\mathcal{E}_{34}$  - расход энергоресурсов на отопление складских помещений. Расход энергоресурсов группы  $\mathcal{E}_3$  полностью зависит от температуры наружного воздуха и сильно возрастает с ее понижением.

Группа затрат  $\mathcal{E}_4$  - затраты на освещение, охватывает все виды затрат на освещение, за исключением тех, которые отнесены к виду  $\mathcal{E}_{17}$ .

$\mathcal{E}_{41}$  - затраты на общее освещение строительной площадки.

$\mathcal{E}_{42}$  - затраты энергоресурсов на освещение дорог и проездов, мест складирования материалов и устройство сигнализации.

$\mathcal{E}_{43}$  - затраты энергоресурсов на освещение бытовых помещений. Их величина во многом определяется продолжительностью светового дня, нормами освещения и конструкцией помещений.

$\mathcal{E}_{44}$  - затраты энергоресурсов на освещение складских помещений. К группе  $\mathcal{E}_5$  отнесены затраты на автоматизацию процессов управления. В принятой классификации выделены следующие группы:

$\mathcal{E}_{51}$  - затраты энергоресурсов на работу средств вычислительной техники.

$\mathcal{E}_{52}$  - затраты энергоресурсов на обеспечение работы множительной техники.

$\mathcal{E}_{53}$  - затраты энергоресурсов на обеспечение работы средств связи.

Группа Э<sub>6</sub> включает все энергозатраты на бытовые нужды. В соответствии с предлагаемой классификацией в нее входят следующие виды затрат:

Э<sub>61</sub> – затраты энергоресурсов на удовлетворение санитарно – гигиенических требований работающих.

Э<sub>62</sub> – затраты энергоресурсов на приготовление и подогрев пищи.

Э<sub>63</sub> – затраты энергоресурсов на сушку одежды.

Э<sub>64</sub> – затраты энергоресурсов на обогрев рабочих.

Э<sub>65</sub> – затраты энергоресурсов на уборку территорий и помещений.

### Заключение

1. Осуществляемые в настоящее время работы, направленные на снижение энергоресурсов в строительстве, касаются, в основном, разработки и внедрения ресурсосберегающих технологий, машин и механизмов. В то же время недостаточно внимания уделяется комплексному подходу к этому вопросу, включая рассмотрение проблемы с позиций системного подхода и учетов энергосберегающей организации строительно – монтажных работ.

2. Выполнено выявление, классификация и анализ затрат энергоресурсов при производстве строительно – монтажных работ.

3. Анализ затрат энергоресурсов на нужды строительства позволяет судить о наличии возможностей сокращения их расхода, что требует проведения комплекса исследований по формированию энергоресурсосберегающих организационно – технологических мероприятий.

4. Данные классификации могут служить основой при формировании конкретных организационно – технических мероприятий, обеспечивающих снижение затрат энергоресурсов при производстве строительно – монтажных работ.

## Взаимосвязь затрат энергоресурсов в строительстве

Лозовский А.А.

Белорусский национальный технический университет

Общий расход энергоресурсов при выполнении работ в нормальных температурных условиях по принятым в классификации группам затрат ( $\mathcal{E}$ ) можно описать в виде выражения

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 + \dots + \mathcal{E}_i + \dots + \mathcal{E}_m = \sum_{i=1}^m \mathcal{E}_i,$$

где  $\mathcal{E}_1$  – затраты на технологические нужды;

$\mathcal{E}_2$  – затраты на транспортные нужды;

$\mathcal{E}_3$  – затраты на отопление;

$\mathcal{E}_4$  – затраты на освещение;

$\mathcal{E}_5$  – затраты на бытовые нужды;

$\mathcal{E}_m$  – прочие затраты энергоресурсов.

Так как каждая группа включает несколько видов затрат энергоресурсов, то затраты энергоресурсов  $j$ -го вида  $i$ -й группы будут выражены величиной  $\mathcal{E}_{ij}$ , а общие затраты составят

$$\mathcal{E} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \mathcal{E}_{ij},$$

где  $i=1,2,3,\dots,m$  - индекс группы затрат энергоресурсов;

$j=1,2,3,\dots,n$  - индекс вида затрат энергоресурсов в составе соответствующей группы.

Выполнение многих видов работ при понижении температуры окружающей среды характеризуется изменением величины расхода энергоресурсов. В большинстве случаев расход энергоресурсов в зимнее время увеличивается, например, на разработку мёрзлого грунта, тепловую обработку бетона и др., но иногда может и уменьшаться, например, за счёт сокращения расхода на водоотлив. В осенне-зимний период расход энергоресурсов также увеличивается в связи с сокращением продолжительности светового дня.

В связи с увеличением расхода энергоресурсов в зимнее время их затраты по одному виду ( $\mathcal{E}_{ij}$ ) составят

$$\mathcal{E}_{ij}^3 = k_{ij} \mathcal{E}_{ij},$$

где  $\mathcal{E}_{ij}^3$  - затраты энергоресурсов  $i$ -й группы  $j$ -го вида при выполнении работ в зимнее время;

$\mathcal{E}_{ij}$  - затраты энергоресурсов  $i$ -й группы  $j$ -го вида при выполнении работ в нормальных условиях;

$k_{ij}$  - коэффициент, учитывающий увеличение (сокращение) затрат энергоресурсов  $i$ -й группы  $j$ -го вида при производстве работ в зимнее время; величина  $k_{ij}$  зависит от вида работ, принятой технологии производства и температуры наружного воздуха;

Величина коэффициента  $k_{ij}$  может быть определена по формуле

$$k_{ij} = \frac{\mathcal{E}_{ij}^3}{\mathcal{E}_{ij}}.$$

В целом по группе при производстве строительно-монтажных работ в зимних условиях величина затрат энергоресурсов составляет

$$\mathcal{E}_i^3 = \sum_{j=1}^n \mathcal{E}_{ij} k_{ij},$$

а по всем или нескольким группам и видам затрат расход энергоресурсов будет

$$\mathcal{E}^3 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \mathcal{E}_{ij} k_{ij},$$

или

$$\mathcal{E}^3 = k \mathcal{E},$$

где  $\mathcal{E}$  - расход энергоресурсов в нормальных условиях;

$k$  - общий коэффициент увеличения (уменьшения) затрат энергоресурсов при выполнении рассматриваемого объема работ в зимнее время.

Величина коэффициента изменения расхода энергоресурсов может служить критерием цели при формировании организационно-технических мероприятий, направленных на сокращение затрат энергоресурсов при производстве строительно-монтажных работ в зимних условиях. Она зависит от величины

к<sub>ij</sub> каждой работы и «удельного веса» этих работ и может быть определена по формуле

$$k = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \mathcal{E}_{ij} k_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \mathcal{E}_{ij}}.$$

Дополнительный расход энергоресурсов, связанный с производством работ в зимних условиях, по одному виду затрат (Э<sub>ij</sub>) составляет

$$\mathcal{E}_{ij}^{\text{доп}} = \mathcal{E}_{ij} (k_{ij} - 1),$$

по группе затрат

$$\mathcal{E}_i^{\text{доп}} = \sum_{j=1}^n \mathcal{E}_{ij} (k - 1),$$

а по всем видам затрат

$$\mathcal{E}^{\text{доп}} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \mathcal{E}_{ij} (k - 1).$$

Общий расход энергоресурсов с учётом сокращения их потребления за счёт внедрения энергосберегающих организационно-технических мероприятий (Э<sub>0</sub>) может быть вычислен по формуле

$$\mathcal{E}_0 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \mathcal{E}_{ij} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \mathcal{E}_{ij} (k - 1) - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n M_{ij}.$$

где M<sub>ij</sub> - количество энергоресурсов, снижение расхода которых достигается за счёт реализации J-го мероприятия I-й группы.

Снижение затрат энергоресурсов от внедрения комплекса мероприятий одной группы составит

$$M_i = \sum_{j=1}^n M_{ij},$$

а нескольких или всех групп

$$M = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n M_{ij} .$$

Общий расход с учётом сокращения энергозатрат за счёт реализации ресурсосберегающих мероприятий ( $\mathcal{E}_0$ ) может быть представлен в общем виде

$$\mathcal{E}_0 = \mathcal{E} + \mathcal{E}_s - M .$$

### Заключение

Полученные зависимости отражают взаимосвязь затрат энергоресурсов при их комплексном рассмотрении совместно с возможными мероприятиями по их снижению и могут служить основой при разработке методики формирования энергоресурсосберегающих мероприятий.

УДК 697.245: [697.326.2 +697.43]:728.011.265

### Оценка различных вариантов теплоснабжения жилья с точки зрения их экономической эффективности на стадии проектирования

Щуровская Т.В., Голубова О.С.

Белорусский национальный технический университет

Беларусь – государство, недостаточно обеспеченное собственными топливно-энергетическими ресурсами. Около 90% потребляемых ресурсов республика вынуждена импортировать, что делает ее экономику особенно уязвимой от условий предложения внешних поставщиков.

Основным потребителем тепловой энергии в республике является население. На него приходится около 80% потребляемой энергии. При этом население оплачивает около 65% ее себестоимости.

Перед лицом перспективы стопроцентной оплаты коммунальных услуг населением остро встает проблема выбора экономически эффективного варианта теплоснабжения жилья еще на стадии проектирования.

Для сравнения различных вариантов теплоснабжения используется метод совокупных затрат. Совокупные затраты – это

сумма единовременных затрат и приведенных ежегодных эксплуатационных затрат. Ежегодные эксплуатационные затраты приводятся к настоящему моменту времени при помощи коэффициента аннуитета. В качестве нормы дисконтирования используется ставка рефинансирования Национального Банка Республики Беларусь. Наиболее экономически эффективным считается вариант с минимальными совокупными затратами.

Нами рассматриваются три варианта теплоснабжения жилого фонда:

- от централизованного источника (районная котельная, ТЭЦ);
- от индивидуальной надомной котельной, расположенной на крыше здания или в специальном пристроенном помещении;
- от индивидуальных газовых котелков, расположенных прямо в квартире (на кухне).

Единовременные затраты при теплоснабжении от централизованного источника включают:

- затраты на прокладку тепловых сетей от ближайшей котельной до жилого дома;
- стоимость оборудования индивидуального теплового пункта вместе с монтажом;
- затраты на увеличение мощности котельной (при необходимости).

Годовые эксплуатационные затраты в этом случае заключаются в оплате потребителем тепловой энергии, получаемой от централизованного источника. Они зависят от тепловой нагрузки здания и существующих тарифов на тепловую энергию.

При теплоснабжении от централизованного источника значительная часть тепловой теряется во время транспортировки к потребителю. В старых изношенных тепловых сетях эти потери могут достигать 30%.

Единовременные затраты при теплоснабжении от индивидуальной надомной котельной включают:

- затраты на строительство здания котельной;
- стоимость оборудования котельной вместе с монтажом;
- затраты на прокладку сетей электроснабжения;
- затраты на прокладку газопроводов среднего давления.

Годовые эксплуатационные затраты по данному варианту включают:

- затраты на топливо (природный газ);
- затраты на электроэнергию;
- затраты на текущий ремонт и техническое обслуживание оборудования котельной;
- затраты на заработную плату обслуживающего персонала.

Амортизационные отчисления на полное восстановление не включаются в эксплуатационные расходы, т.к. теплота, производимая надомной котельной, не идет на реализацию, а потребляется жильцами.

Единовременные затраты при теплоснабжении от индивидуальных поквартирных газовых котлов включают:

- стоимость газового отопительного оборудования для каждой квартиры с учетом затрат на монтаж;
- затраты на устройство вентиляционных каналов и дымоходов;
- затраты на установку вентиляторов для организации принудительной вытяжки.

В зависимости от конкретных условий и технического решения проекта в расчет могут быть включены и другие единовременные затраты.

Годовые эксплуатационные затраты включают:

- затраты на топливо (природный газ);
- затраты на электроэнергию;
- затраты на ремонт и техническое обслуживание поквартирного газового оборудования;
- затраты на заработную плату обслуживающего персонала.

Для данного варианта годовая тепловая нагрузка здания будет меньше, чем для предыдущих, т.к. газовый котел обеспечивает постоянную циркуляцию только контура системы отопления. Т.о., при необходимости получения горячей воды, циркуляция теплоносителя в системе отопления приостанавливается и включается контур горячего водоснабжения.

Однако, в расчетах трудно учесть экономию тепловой энергии, связанную с индивидуальным выбором жильцами комфортных условий. При установке в квартирах индивидуальных отопительных котлов жильцы могут по своему усмотрению регули-

ровать температуру воздуха в помещениях, что позволяет экономить до 40% газа.

Т.о. данная методика является перспективной для технико-экономического анализа на стадии проектирования и должна найти свое применение в строительстве.

### **Литература**

1. Бабук И.М. Инвестиции: финансирование и оценка экономической эффективности.- Мн.: «ВУЗ-ЮНИТИ», 1996.-220с.
2. Гусаков Б.И. Экономическая эффективность инвестиций собственника.- Мн.: НПДЖ «Финансы, учет, аудит», 1998.- 216с.
3. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование./ под ред. проф. Б.М. Хрусталева – Мн.: Дизайн ПРО, 1997.- 384с.
4. СНиП 2.04.14-88. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов./ СНБ. Мн.: 1998.

# Содержание

## Технические и прикладные науки

Электроэнергетика	3
Теплоэнергетика	50
Энергетическое строительство	94
Энергоэффективные технологии	143
Информационные технологии и автоматизация	165
Приборостроение	203
Автотракторостроение	241
Эксплуатация транспортных средств	278
Экономика, менеджмент, маркетинг и предпринимательство на транспорте	294
Разработка месторождений полезных ископаемых	356
Строительство	368

Научное издание

НАУКА –  
ОБРАЗОВАНИЮ,  
ПРОИЗВОДСТВУ,  
ЭКОНОМИКЕ

Материалы Второй международной научно-технической  
конференции  
В 2 томах

Том 1

Ответственный за выпуск Л.Э.Ляшенко

---

Подписано в печать 12.11.2004.  
Формат 60x84 1/16. Бумага типографская № 2.  
Печать офсетная. Гарнитура Таймс.  
Усл.печ.л. 27,8. Уч.-изд. л. 21,7. Тираж 150. Заказ 941.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Белорусский национальный технический университет.  
Лицензия № 02330/0056957 от 01.04.2004.  
220013, Минск, проспект Ф.Скорины, 65.