

ISSN 2709-5622

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

**ТРАНСПОРТ И ТРАНСПОРТНЫЕ  
СИСТЕМЫ:**  
конструирование, эксплуатация, технологии

Сборник научных статей

Основан в 2018 году

Выпуск 2

Минск  
БНТУ  
2020

УДК [656+625](082)  
ББК 39я43  
Т65

**Адрес редакции:** 220027, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Я. Коласа, 12  
Тел.: +375(17) 3310548 **E-mail:** d.kapsky@gmail.com  
**Web:** avto\_traktor\_bud@bntu.by

При цитировании материалов сборника ссылка обязательна. Перепечатка материалов допускается только по согласованию с редакцией и авторами.

Статьи данного выпуска содержат материалы теоретических и экспериментальных исследований автомобилей, тракторов и их двигателей. Рассматриваются вопросы эксплуатации и ремонта автомобильной техники, безопасности дорожного движения. Значительное место уделяется методике подготовки специалистов в сфере транспорта.

Сборник рассчитан на инженерно-технических работников заводов и научно-исследовательских лабораторий, преподавателей и аспирантов вузов.

© Белорусский национальный  
технический университет, 2020

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Главный редактор – Сергей Васильевич Харитончик.**

*Зам. главного редактора – Д.В. Капский, (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),*

*Зам. главного редактора – А.Г. Баханович, (Брестский технический университет, Брест, Республика Беларусь),*

*Технический секретарь – С.В. Богданович, (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь).*

### **Члены редакционной коллегии:**

*Л. Аартс (Институт исследований безопасности дорожного движения, Гаага, Нидерланды),*

*Б. Бекер (Дрезденский Институт автомобильных технологий, Дрезден, Германия),*

*В.П. Бойков (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),*

*В. Ванцевич (Алабамский университет в Бермингеме, Бермингем, США),*

*С. Гаца (Краковская политехника, Краков, Польша),*

*В.В. Гаевский (Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Москва, Российская Федерация),*

*А.К. Головнич (Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Республика Беларусь),*

*В. Иванов (Технический университет, Ильменау, Германия),*

*В.С. Ивашко (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),*

*Р.Б. Ивуть, (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),*

*И.В. Кабашкин (Институт транспорта и связи, Рига, Латвия),*

*В.А. Коробкин (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),*

*Г.М. Кухаренок (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),*

*А. Лаврешин (Лундский университет, Лунд, Швеция),*

*О.Н. Ларин (Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Москва, Российская Федерация),*

*А.О. Лобашов (Харьковский национальный университет городского хозяйства им. О.Н. Бекетова, Харьков, Украина),*

Э. Морис (университет Лафборо, Лафборо, Великобритания),  
П.Л. Мариев (ГНУ «Объединенный институт машиностроения,  
Минск, Республика Беларусь),  
П.А. Пегин (Санкт-Петербургский государственный университет  
гражданской авиации, Санкт-Петербург, Российская Федерация),  
Л. Персия (Римский институт Ла Сапиенца, Рим, Италия),  
В.П. Полищук (Национальный транспортный университет, Киев,  
Украина),  
И.Н. Пугачев (Тихоокеанский государственный университет, Хаба-  
ровск, Российская Федерация),  
С.А. Рынкевич, (Белорусский национальный технический универси-  
тет, Минск, Республика Беларусь),  
А.И. Рябчинский (Московский автомобильно-дорожный государ-  
ственный технический университет, Москва, Российская Федера-  
ция),  
И.С. Сазонов (Белорусско-российский университет, Могилев, Рес-  
публика Беларусь),  
А.В. Сараев (Харьковский национальный автомобильно-дорожный  
университет, Харьков, Украина),  
А.Т. Скойбеда, (Белорусский национальный технический универси-  
тет, Минск, Республика Беларусь),  
Л. Цъевек (ООО «Knorr-Bremse», Будапешт, Венгрия),  
М. Хириц (Грацский технический университет, Грац, Австрия),  
А.В. Шмелев (ГНУ «Объединенный институт машиностроения,  
Минск, Республика Беларусь),  
А.Г. Шумилин (Государственный комитет по науке и технологиям  
Республики Беларусь, Минск, Республика Беларусь),  
Д. Яннис (Национальный технический университет Афин, Афины,  
Греция).

## Оглавление

<i>Гук В.И., Запорожцева Е.В.</i> Динамика транспортного потока.....	7
<i>Гуськов В.В., Бойков В.П., Поварехо А.С., Павлова В.В., Лысанович П.В.</i> Проблемы автоматического регулирования давления в шинах мобильных машин.....	16
<i>Кухаренок Г.М., Березун В.И., Предко А.В.</i> Экспериментальная установка для исследования рабочего процесса дизеля.....	32
<i>Рынкевич С.А., Семенов И.Н.</i> Концептуальные вопросы оценки технического состояния гидрофицированных трансмиссий: состояние проблемы, обоснование параметров и выбор критериев качества автоматизированной диагностики.....	47
<i>Врубель Ю.А., Капский Д.В., Коржова А.В.</i> Оценка ежегодного экологического ущерба городским жителям, наносимого увеличением автомобильных выбросов в населенных пунктах.....	66
<i>Музыченко П.Б., Богоунова Г.В.</i> О проблемах уголовной ответственности за нарушения правил эксплуатации транспортных средств, безопасной работы транспорта и правил дорожного движения.....	79
<i>Степенко В.Е., Чернова О.А., Уланов В.В.</i> Обеспечение транспортной безопасности на внутреннем водном транспорте.....	92
<i>Сидоров С.А., Сонич О.А.</i> Имитационные модели трансмиссий легковых автомобилей.....	104
<i>Гурский А.С., Серебряков И.А.</i> Исследование влияния программы управления двигателем на эксплуатационные свойства автомобиля.....	111
<i>Ивашко В.С., Изоитко В.М., Буйкус К.В.</i> Исследование материалов для восстановления изношенных поверхностей высоконагруженных деталей активированным дуговым напылением.....	125
<i>Глазков Л.А., Жилинин Д.Л., Табулин А.А., Джежора С.В.</i> Определение состава и состояния моторных масел с помощью инфракрасной спектроскопии совместно	

со стандартизованными методиками.....	137
<i>Ващёнок Ю.В., Веренич И.А.</i> Очистка отработавших масел и рабочих жидкостей.....	146
<i>Бобровник А.И., Филипова Л.Г., Чикилевский Я.А.</i> Высокоточные приводы технологических машин.....	155
<i>Клоков Д.В., Гарабажиу А.А., Леонов Е. А.</i> Модель работы лесовозного автопоезда с учетом надежности.....	164
<i>Клоков Д.В., Гарабажиу А.А., Леонов Е. А.</i> Оценка соответствия типов компонентов ходовой части колесных скиддеров.....	174
<i>Гиль С.В., Лешкевич А.Ю., Марамыгина Т.А.</i> Анализ опыта апробации и внедрения в процесс обучения созданного учебно-методического обеспечения раздела «Компьютерная графика».....	182
<i>Гиль С.В., Лешкевич А.Ю.</i> Эффективность привлечения студентов первого курса к научным исследованиям.....	193
<i>Гиль С.В., канд. техн. наук., доц., Лешкевич А.Ю.</i> Участие студентов в научной работе как важнейшее условие становления современного специалиста-инженера.....	200
<i>Зелёный П.В.</i> Информационное обеспечение учебного процесса по разделам инженерной графики для будущих специалистов в области автотракторостроения.....	206
<i>Зелёный П.В.</i> Структурированный учебно-методический комплекс по начертательной геометрии – основа обучения инженерной графике будущих специалистов в области автотракторостроения.....	217
<i>Пашина Н.А.</i> Исследование мотивации успеха и боязни неудачи.....	229
<i>Bogdan Źółtowski, Mariusz Źółtowski, Alexander Pavarekha.</i> Description on destruction machines and constructions using vibration diagnostics.....	234
<i>Mariusz Źółtowski.</i> The implementation of new software in modal analysis bricks walls degradation measurements.....	255
<i>Bogdan Źółtowski, Mariusz Źółtowski.</i> State changes in vibration diagnostic and methods of modal analysis.....	263
<i>Бильк С.Ю.</i> Математическая модель курсового движения колесного тягача с полуприцепом с неголономными связями.....	278

## ДИНАМИКА ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА

### TRAFFIC FLOW DYNAMICS

**Гук В.И.**, д-р техн. наук, проф.,  
Харьковский национальный университет строительства  
и архитектуры, г. Харьков, Украина;  
**Запорожцева Е.В.**, канд. техн. наук, доц.,  
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет,  
г. Харьков, Украина

**V. Guk**, Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Kharkiv State Technical University of Building and Architecture,  
Kharkov, Ukraine;

**H. Zaporozhtseva**, Ph.D. in Engineering, Associate Professor,  
Kharkiv National Automobile and Highway University,  
Kharkov, Ukraine

*Динамика транспортного потока описана как непрерывное изменение состояния системы «дорога-трафик» в начале перегона (разгон), по перегону и в конце перегона (сжатие потока при торможении). Систематизированы уравнения состояний в виде изменения скорости и количества автомобилей в трафике под влиянием мощности трафика.*

*Ключевые слова: динамика трафика, количество потока, интенсивность, скорость, плотность, дорожный и транспортный потенциалы, эксергия.*

*The dynamics of the traffic flow as a continuous change in the state of the «road-traffic» system at the beginning of the road section (acceleration), within the road section and at the end of the road section (flow compression when braking) has been described. The equations of states have been systematized in the form of changes in the traffic speed and number of cars under the traffic power.*

*Keywords: traffic dynamics, flow amount, intensity, speed, density, road and transport potential, exergy.*

## **Введение**

Для решения различных прикладных задач, возникающих при расчете пропускной способности городских улиц и дорог, особенно с учетом различных методов и средств организации движения, в целях обеспечения требований безопасности, необходимо, прежде всего, составлять уравнения движения транспортного потока (трафика), что описывают его динамику на различных по геометрическим начертаниям элементах магистралей.

Разработкой теории транспортного потока занимались и занимаются многие специалисты разных стран [2, 5–9, 13] и др. Однако всё сводилось либо к моделированию взаимосвязи между интенсивностью и скоростью или к распределению интервалов между автомобилями, что явно является не полным раскрытием динамики трафика. Не учитывалась одна особенность автомобиля, что он одновременно является и источником трафика, и источником его скорости, т.е. дуальность автомобиля.

## **1. Постановка проблемы**

Как видно из приведенных в предыдущих исследованиях основных характеристик транспортного потока [1, 3, 4], для составления уравнений динамики трафика имеются все необходимые данные и предпосылки. Поэтому воспользуемся аналогиями между энергией и эксэргией, между дорожным потенциалом и кинетической энергией, между транспортным потенциалом и потенциальной энергией привлечем уравнения второго рода состояний непрерывных систем Лагранжа [4,10–12], а также значения эксэргии, дорожного и транспортного потенциалов, сопротивлений движению под влиянием плотности.

## **2. Результаты исследования**

С учетом выше сказанного и рекомендаций в [14] составим – общее уравнение динамики трафика

$$\frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial E_{\partial}}{\partial V} - \frac{\partial E_{\partial}}{\partial x} + \frac{\partial E_T}{\partial x} - \frac{\partial E(R)}{\partial t} = \frac{dE}{dt},$$

– общее уравнение изменения количества автомобилей в трафике

$$\frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial E_{\partial}}{\partial \lambda} - \frac{\partial E_{\partial}}{\partial \lambda} + \frac{\partial E_T}{\partial \lambda} - \frac{\partial(R)}{\partial t} = \frac{dE}{dt},$$

– после преобразования получим

$$\frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial}{\partial \dot{x}} \int J dx - \frac{\partial}{\partial x} \int J dx - \frac{\partial}{\partial x} \int \frac{1}{C} dx + \frac{d}{dt} \int Q dx = \frac{d}{dt} \int N dt; \quad (1)$$

и

$$\frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial}{\partial \lambda} \int C \partial \lambda \int C \partial \lambda + \frac{\partial}{\partial x} \int \frac{1}{J} \partial \lambda + \frac{d}{dt} \int \frac{1}{Q} d \lambda \int V dt = \frac{dE}{dt}, \quad (2)$$

где  $\partial E_{\partial}$  – дорожный потенциал;  $\partial E_T$  – транспортный потенциал;  $dE$  – эксергия или внешняя работоспособность системы (дорога – трафик);  $V$  – скорость трафика;  $x$  – участок пути;  $t$  – элементарное время;  $R$  – сопротивление движению;  $Q$  – плотность потока;  $N$  – интенсивность трафика;  $C$  – напряженность движения при сжатии трафика до его остановки;  $\lambda$  – количество трафика (автомобиль, их группа и т.д.);  $J$  – инерционность в трафике или медленное изменение скорости.

Взяв частные производные в уравнениях (1) и (2), найдем

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \dot{x}} \int J dx &= JV; & \frac{\partial}{\partial x} \int J dx &= JV; & \frac{\partial}{\partial x} \int \frac{1}{C} dx &= \frac{x}{C}; & \int Q dx &= Qx; \\ \frac{\partial}{\partial \lambda} \int C \partial \lambda &= CN; & \frac{\partial}{\partial \lambda} \int C \partial \lambda &= 0; & \frac{\partial}{\partial \lambda} \int \frac{1}{J} \partial \lambda &= \frac{\lambda}{J}; & \int \frac{1}{Q} d \lambda &= \frac{\lambda}{Q}. \end{aligned} \quad (3)$$

Учет полученных знаний в (3) и знание динамики транспортного потока на перегоне, перед перекрестком и после прохождения линии «стоп», а также положение автомобиля и действие на него друиx

окружающих автомобилей позволяют получить ряд уравнений состояния или описать динамику трафика, которые сведены и систематизированы в таблице 1.

Таблица 1 – Уравнение динамики автомобилей в транспортном потоке и изменения их количества в трафике

№ п/п	Уравнение	
	Изменение количества потока	Движение трафика
1	2	3
1. Общее уравнение		
1.1	$C \frac{d^2\lambda}{dt^2} + \frac{1}{Q} \cdot \frac{d\lambda}{dt} + \frac{\lambda}{J} = V(t)$	$J \frac{d^2x}{dt^2} + Q \frac{dx}{dt} + \frac{x}{C} = N(t)$
1.2	$C \frac{dN}{dt} + \frac{N}{Q} + \frac{\lambda}{J} = V(t)$	$J \frac{dV}{dt} + QN + \frac{x}{C} = N(t)$
2. В начале потока		
2.1	$C \frac{d^2\lambda}{dt^2} = V(t)$	$J \frac{d^2x}{dt^2} = N(t)$
2.2	$C \frac{dN}{dt} = V(t)$	$J \frac{dV}{dt} = N(t)$
3. В потоке		
3.1	$C \frac{d^2\lambda}{dt^2} + \frac{\lambda}{J} = V(t)$	$J \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{x}{C} = N(t)$
3.2	$C \frac{dN}{dt} + \frac{\lambda}{J} = V(t)$	$J \frac{dV}{dt} + \frac{x}{C} = N(t)$
4. В конце неплотного потока		
4.1	$C \frac{d^2\lambda}{dt^2} + \frac{\lambda}{J} = 0$	$J \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{x}{C} = 0$
4.2	$C \frac{dN}{dt} + \frac{\lambda}{J} = 0$	$J \frac{dV}{dt} + \frac{x}{C} = 0$
5. В конце плотного потока		
5.1	$C \frac{d^2\lambda}{dt^2} + \frac{1}{Q} \cdot \frac{d\lambda}{dt} + \frac{\lambda}{J} = 0$	$J \frac{d^2x}{dt^2} + Q \frac{dx}{dt} + \frac{x}{C} = 0$
5.2	$C \frac{dN}{dt} + \frac{N}{Q} + \frac{\lambda}{J} = 0$	$J \frac{dV}{dt} + QN + \frac{x}{C} = 0$

Описаны три наиболее характерные состояния движения автомобилей (т.е. динамика) в потоке в зависимости от их положения: в начале потока, в потоке и в конце потока (группы). Кроме того, рассмотрены три случая изменения состояния количества трафика в зависимости от начала отсчета: отсчет с первого автомобиля, когда на него не влияет скорость потока; отсчет начинается в произвольный момент времени от произвольного автомобиля; наблюдение состояния последних автомобилей в потоке, когда влияет скорость предшествующего потока, и мощность системы «дорога – трафик» иссякла.

Все приведенные дифференциальные уравнения (1–5) в таблице 1 описывают колебания дистанции между автомобилями около оптимального значения в сечении перегона. Уравнения (1–3) этой же таблицы показывают, что колебания происходят под влиянием возмущающей (движение трафика потока) силы (интенсивности или скорости).

Уравнения (4–5) описывают изменения в трафике дистанции и количества автомобилей в группе около устойчивого положения под влиянием транспортного потенциала  $E_T$  из-за близости автомобилей на пространственно-координатной оси.

Анализ общего вида уравнений, представленных в таблице 1, позволяет сделать вывод, что движение транспортного потока соответственно во времени и пространстве описываются при помощи конечного числа взаимосвязанных алгебраических или обыкновенных дифференциальных уравнений, поэтому для описания системы «дорога-трафик» в любой момент времени  $t_i$  используем единую математическую характеристику – переменную состояния. В результате этого динамика трафика, представленная в таблице 1 соответствующей совокупностью дифференциальных уравнений (1.2), (2.2), (3.2), (4.2), (5.2) первого порядка, решение которых, как известно, гораздо проще уравнений второго порядка.

Для решения уравнений движения (табл. 1) необходимо знание уравнения функциональных состояний. Это состояние можно определить из законов сохранения в сечении, на перекрёстке и на замкнутом маршруте движения, которые выведены в [3].

Приведенные уравнения описывают изменение состояния и динамику трафика через сечение проезжей части (мимо

наблюдателя) улицы или дороги во времени, так как положение наблюдателя не изменяется.

Для описания движения транспортного потока в пространстве полоса проезжей части улицы или дороги представляется суммой бесконечного числа последовательно соединённых элементарных участков длиной  $dx$ , где  $x$  – расстояние от начала отсчета (нулевого пикета). При этом учитывается, что  $Qdx, Jdx, Cdx$  – распределенные на элементарном участке соответственно плотность, инерционность и напряженность, а  $N(t, x)$  и  $V(t, x)$  – соответственно скорость и интенсивность на этом участке с абсциссой  $x$  в момент времени  $t$ . Полная длина улицы или дороги  $L$ . Теперь очевидно, что  $V(t, 0) = V_0(t), N(t, x) = N_L(t)$ , т.е. интенсивность, как и скорость, распределена в пространстве улиц  $L$  с единицей – авт./км. ч. Это уже удельная интенсивность.

Количество автомобилей, поступивших на элементарный участок  $dx$  за время  $dt$

$$[N(t, x) - N(t, x + dx)]dt = -\frac{\partial N_L}{\partial x} dxdt, \quad (4)$$

равно уменьшению дорожного потенциала или инерционности транспортного потока за время  $dt$

$$J[V(t + dt, x) - V(t, x)dx]dx = J\frac{\partial V}{\partial t} dt dx. \quad (5)$$

Так как сумма дорожного и транспортного потенциалов для участка  $dx$  должна быть постоянной, то сравнение (4) и (5) дает

$$\frac{\partial N_L}{\partial x} + J\frac{\partial V}{\partial t} = 0,$$

Это есть уравнение неразрывности трафика при движении на дороге единичной длины  $\hat{L}$  (1 км)

$$\hat{L} \frac{\partial N}{\partial x} + J \frac{\partial V}{\partial t} = 0. \quad (6)$$

В свою очередь, скорость автомобилей потока зависит от плотности потока и напряженности движения, поэтому изменение скорости на участке  $dx$  запишем из условия ее неразрывности как

$$-(\hat{L}) \frac{\partial V}{\partial x} dx = \frac{1}{Q} N dx + \frac{\partial N}{\partial t} C dx. \quad (7)$$

Теперь динамика трафика на полосе проезжей части опишется системой уравнений (6) и (7)

$$\begin{cases} \hat{L} \frac{\partial N}{\partial x} + J \frac{\partial V}{\partial t} = 0 \\ \hat{L} \frac{\partial V}{\partial x} dx + \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{1}{Q} N = 0. \end{cases}$$

Для полноты картины движения необходимо учесть трансформацию (сжимаемость) трафика за счет уменьшения динамического габарита за время  $dt$ , т.е.  $QVdxdt$ , что указанную систему приведет к виду

$$\begin{cases} \hat{L} \frac{\partial N}{\partial x} + J \frac{\partial V}{\partial t} + QV = 0 \\ \hat{L} \frac{\partial V}{\partial x} + C \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{N}{Q} = 0. \end{cases} \quad (8)$$

Система (8) дает математическое описание динамики транспортного потока на полосе улицы или дороги без учета начальных значений скорости и плотности, которые характеризуют качество дороги для свободного движения. Такое описание является полным. Поэтому дополнительно учтем входные величины, определяющие граничные условия.

$$\begin{cases} V(t, 0) = V_a(t) \\ V(t, L) = -\frac{N_L(t)}{Q_\phi} \end{cases} \quad (9)$$

## Выводы

Таким образом, уравнения (8) и (9) представляют исчерпывающую систему уравнений движения транспортного потока или динамики трафика, поскольку при вполне определенном начальном состоянии (9) однозначно описывают его движение.

Фактическая плотность  $Q_\phi$  потока постоянно изменяется во времени, поэтому транспортный поток представляет собой нестационарную систему даже при постоянных значениях переменных  $Q$  и  $S$  (динамический габарит), так как скорость потока находится под влиянием уклонов, поворотов и других геометрических элементов, но путь получения уравнения (8) при этом не изменяется.

Начальное состояние транспортного потока на дороге определяется распределением интенсивности и скорости по ее длине в момент времени  $t=0$ , т.е. функциями  $N(0,t)$  и  $V(0,t)$ . Состояние в текущий момент времени характеризуется  $N(L,t)$  и  $V(L,t)$ , т.е. не системой чисел, а уже системой функций.

## Литература

1. Валерий Гук Теория измерителей транспортного потока (параметры трафика) / В.И.Гук // монография. Palmagium. academic publishing. 2017. – 162 p.
2. Вол М. Анализ транспортных систем / М. Вол, Б. Мартин; пер. с англ. – М.: Транспорт, 1981. – 514 с.
3. Гук В.И. Элементы теории транспортных потоков и проектирование улиц и дорог / В.И. Гук. – К.: УМК ВО, 1991. – 254 с.
4. Гук В.І. Транспортні потоки : теорія та їх застосування в урбаністиці: монографія / В.І. Гук, Ю.М. Шкодовський. – Х.: Золоті сторінки, 2009. – 232 с.
5. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими / Д. Дрю; пер. с англ.: Е.Г. Коваленко и Г.Д. Шермана; под ред. Н.П. Бусленко. – М.: Транспорт, 1972. – 424 с.

6. Луканин В.Н. Автотранспортные потоки и окружающая среда: учебное пособие для вузов / В.Н. Луканин и др. –М.:ИНФРА-М, 2001. – 646 с.
7. Поттгофф Г. Учение о транспортных потоках / Поттгофф Г.; пер. с нем. – М.: Транспорт, 1975. – 344 с.
8. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения / Сильянов В.В.– М.: Транспорт, 1977. – 303 с.
9. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков/ Хейт Ф.; пер.с англ. – М.: Мир, 1966. – 286 с.
10. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления. Оценка параметров и состояния / Эйкхофф П.; пер. с англ. – М.: Мир, 1975. – 684 с.
11. May A.D. et al. Capacity and Level Service for Freeway Facilities, Fourth Interim Report. SAIC Corp., March 1999.
12. Daganzo C.F., Herman R. Kinetic Theory of Vehicular Traffic / N.Y.: Elsevir, 1971.
13. Гейзис Д.К. Теория транспортных потоков / Д.К. Гейзис, Л.К. Эдай // Проблемы перевозок; пер. с англ. (Тр. ин-та инж. по электротехнике и радиоэлектронике) – М.: Мир, 1968, т. 56 № 4, С. 93–108.
14. Запорожцева О.В. Початок динамічної теорії транспортного потоку / О.В. Запорожцева // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті: науковий журнал / Луцький НТУ; [редкол.: Пустюльга С.І. (гол. ред.) та ін.]. – Луцьк, 2018. – Вип. № 2(11). – С. 63–67.

## **ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ШИНАХ**

### **МОБИЛЬНЫХ МАШИН PROBLEMS OF AUTOMATIC TIRE PRESSURE CONTROL IN MOBILE CARS**

*Гуськов В.В.*, д-р техн. наук, проф.,  
*Бойков В.П.*, д-р техн. наук, проф.,  
*Поварехо А.С.*, канд. техн. наук, доц.,  
*Павлова В.В.*, канд. техн. наук, доц., *Лысанович П.В.*, аспирант,  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Беларусь

*V. Guskov*, Doctor of technical Sciences, Professor,  
*V. Boykov*, Doctor of technical Sciences, Professor,  
*A. Pavarekha*, Ph.D. in Engineering, Associate professor,  
*V. Pavlova*, Ph.D. in Engineering, Associate professor,  
*P. Lysanovich*, postgraduate,  
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

*Исследован процесс взаимодействия колесного движителя с  
грунтовой поверхностью при изменении давления воздуха в шине.  
Установлено влияние давления воздуха на тягово-сцепные свой-  
ства колесных машин. Предложена система автоматического ре-  
гулирования давления воздуха в шинах мобильных машин в зависи-  
мости от дорожных условий.*

*Ключевые слова: движитель колесный, давление, проходимость,  
регулирование, буксование, поверхность грунтовая.*

*Studies of the process of interaction of the wheel drive with the  
ground surface when the air pressure in the tire. As a result of researches  
it is established that the size of air pressure in tires renders essential  
influence on traction properties of wheel cars. As a result, the design of*

*the system of automatic control of air pressure in the tires of mobile machines, depending on the road conditions.*

*Keywords: wheel drive, pressure, permeability, regulation, slipping, ground surface.*

## **Введение**

Известен ряд способов повышения тягово-сцепных свойств колесных тракторов, основными из которых являются: использование полного привода, сдвигание или страивание шин, использование балласта, применение догрузателей сцепного веса, блокировка межосевых и межколесных дифференциалов.

В последнее время развивается один из способов повышения тягово-сцепных свойств и проходимости машин по грунтам со слабой несущей способностью – регулирование давления воздуха в шинах ведущих колес трактора.

Обычно последствия использования неправильно подобранного давления в шинах недооценивают. А ведь вследствие этого машина не может полностью реализовать свой потенциал. Растет коэффициент буксования и снижается тяговая мощность трактора. Чтобы снизить буксование и улучшить передачу тяговой мощности, начинают навешивать дополнительный балласт. Результаты проведенных исследований показали, однако, что это – не самый эффективный инструмент для уменьшения буксования. Увеличивая общую массу трактора, мы увеличиваем нагрузку на почву, повреждая ее, да и экономический результат вызывает сомнения.

При небольших рабочих скоростях (9...12 км/ч), например, при выполнении основной обработки почвы, тяговую мощность ограничивает пятно контакта шины с почвой.

Сама по себе почва не может «воспринять» большое окружное усилие на колесе. Вращающиеся колеса не передают полностью ту мощность, которую они через трансмиссию получили от двигателя. Основной задачей становится снижение коэффициента буксования за счет улучшения сцепления шин и почвы.

Со снижением давления в шине увеличивается пятно контакта с почвой, а значит, нагрузка распределяется по большей площади. Вследствие меньшего давления, шины в меньшей степени заглубляются в почву. Таким образом, снижается сопротивление качению и

меньше мощности растрчивается на уплотнение почвы. К тому же за счет увеличения опорной поверхности улучшаются сцепные свойства шины с почвой, а значит, на нее можно передать большую мощность.

Тяговая мощность и буксование связаны воедино, и без первого не будет второго. Уровень буксования, превышающий 15 %, приводит к повреждению почвы. Что же касается сопротивления качению, то при движении по шоссе оно тем меньше, чем больше давление в шинах. В поле ситуация диаметрально противоположна: чем меньше давление, тем меньше глубина захода колеса в почву и соответственно меньше сопротивление качению.

В 2017 г. на международной выставке сельскохозяйственных тракторов и машин фирма «Fendt» (ФРГ) представила сельскохозяйственный колесный трактор тягового класса 5,0 с двигателем мощностью 360 л.с. с системой регулирования воздуха в шинах (рисунок 1).



Рисунок 1 – Трактор фирмы Fendt на полевых испытаниях по регулированию давления воздуха в шинах

Фирма провела исследование влияния давления воздуха в шинах этого трактора на его тягово-сцепные свойства при работе на суглинке нормальной влажности ( $w=14-16\%$ ) при различных сельскохозяйственных работах. В результате исследований было выявлено существенное повышение мощности на крюке при регулировании давления, рисунок 2.

Также существенно понижается и расход топлива при различного вида работах. Давление в шинах регулировалось согласно таблице 1.

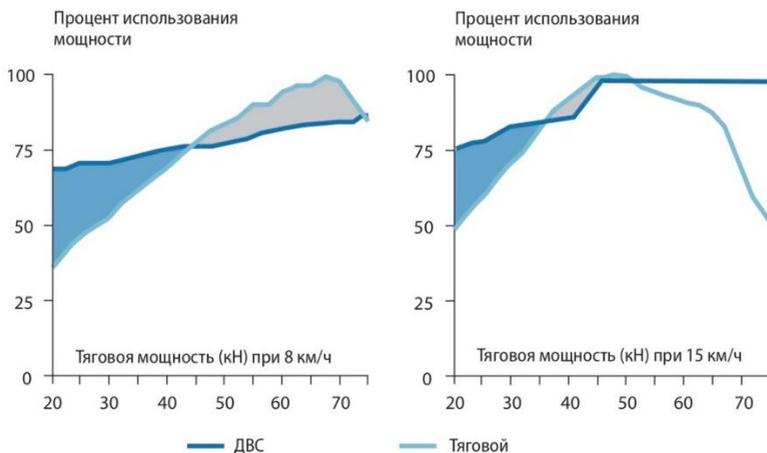


Рисунок 2 – Взаимозависимость относительных показателей тяговой мощности и мощности ДВС

При этом нужно отметить, что давление регулировалось водителем при остановке трактора в зависимости от сезона, категории грунтовой поверхности и вида работ, что, по нашему мнению, снижает эффективность рассматриваемого метода.

Таблица 1 – Подбор давления

Фронтальный балласт	Давление в шинах			
	Транспортные работы		Полевые работы	
	Передняя ось	Задняя ось	Передняя ось	Задняя ось
отсутствует	0,8 бар	1,6 бар	0,6 бар	0,6 бар
1250 кг	1,4 бар	1,6 бар	1,2 бар	0,6 бар
2500 кг	2,4 бар	1,6 бар	1,6 бар	0,6 бар

# 1. Теоретическое обоснование процесса взаимодействия ведущего колеса колесных машин с грунтовой поверхностью

## 1.1. Физико-механические свойства грунтовой поверхности

При воздействии ходовых органов машины на грунт в последнем возникают деформации, значение и характер которых обусловлены действием внешних и внутренних сил, вызывающих смещение частиц друг относительно друга, а также изменение среднего расстояния между частицами. Если после устранения внешнего воздействия частицы грунта вернуться в первоначальное положение, то деформация считается *упругой*, если положение частиц после снятия нагрузки отличается от первоначального, то наблюдается *остаточная* деформация. Если остаточная деформация равна общей деформации, то речь идет о *пластической* деформации.

Реальные грунты не являются чисто упругими и пластическими. Один и тот же грунт при различных условиях деформации проявляет свойства и упругости, и пластичности. При малых нагрузках деформация прямо пропорциональна им, т.е. грунт проявляет себя как упругое тело (участок *I*, рисунок 3). При дальнейшем увеличении нагрузки относительный прирост деформации возрастает (участок *II*, рисунок 3), в этом состоянии грунт близок к упруго-пластичным средам. При какой-то предельной нагрузке происходит увеличение деформации без ощутимого возрастания напряжения (участок *III*, рисунок 3).

Деформации грунтов, находящихся в естественном состоянии, представляют собой особый вид деформаций, свойственный только полидисперсным системам при условии, что силы отталкивания приближаются к значениям сил сцепления. Поэтому даже при линейной зависимости между напряжением и деформацией (малые нагрузки) после снятия нагрузки наблюдаются большие остаточные деформации.

При взаимодействии движителей мобильных машин с грунтом последний подвергается смятию, сдвигу в разных направлениях, в результате чего в нем возникают поля *нормальных* и *касательных напряжений*, распространяющихся в глубину и в разные стороны от

места приложения нагрузки. От способности грунта выдерживать указанные напряжение зависят глубина колеи, образуемой движителями машины, сила сопротивления движению за счет смятия грунта опорной частью колеса и образования колеи, а также сила сцепления. Поэтому сопротивление грунтов сжатию и сдвигу является основным показателем, влияющим на тягово-сцепные качества машин.

Известно, что тягово-сцепные и скоростные свойства мобильной машины проявляются при взаимодействии ее ходового аппарата с поверхностью движения. Поверхность движения может быть искусственной (асфальт, бетон, булыжник и др.) и естественной (целина, залежь, пахота и др.). В свою очередь, естественная поверхность может быть минерального (глина, песок и пр.) и торфяно-болотного происхождения (торфяники с остатками разного рода растительности).

Тягово-сцепные свойства многоцелевых колесных машин (МКМ) зависят, с одной стороны, от параметров машины (ее движителя), с другой – от физико-механических свойств грунтовой поверхности.

Грунтовая поверхность характеризуется составом грунта (минеральные грунты, торфяники), сопротивлением ее смятию и сдвигу, влажностью, плотностью, пористостью и др.

Одним из основных свойств является сопротивление грунтов сжатию и сдвигу под действием динамической нагрузки. В механике грунтов в основном рассматриваются зависимости сжатия и сдвига от статической нагрузки. Процесс взаимодействия движителя мобильной машины характеризуется переменным неустановившимся режимом перехода относительного покоя к относительному движению.

Одними из зависимостей сопротивления сжатию и сдвигу, которые адекватно отражают динамический процесс взаимодействия ведущего и ведомого колес движителя машины с грунтовой поверхностью являются зависимости, предложенные профессором В.В. Кацыгиным [6]. На рисунке 3 показана зависимость нормальных напряжений  $\sigma$  от глубины погружения  $h$ , а на рисунке 4 – напряжений сдвига  $\tau$  от деформации  $\Delta$ .

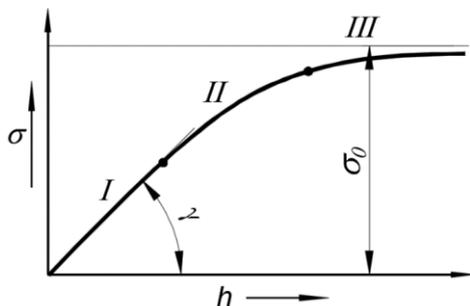
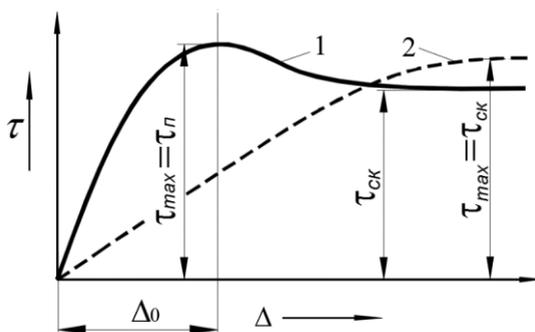


Рисунок 3 – Зависимость нормальных напряжений  $\sigma$  от глубины погружения  $h$  штампа

Нормальное напряжение определяется по формуле:

$$\sigma = \sigma_0 \cdot th \left( \frac{k}{\sigma_0} \cdot h \right), \quad (1)$$

где  $\sigma_0$  – несущая способность грунта;  $k$  – коэффициент объемного смятия грунта;  $h$  – глубина погружения штампа.



1 – плотные грунты; 2 – пластичные грунты

Рисунок 4 – Зависимость напряжений сдвига  $\tau$  от деформаций  $\Delta$

Напряжения сдвига, возникающие при деформации грунта:

$$\tau = f_{ск} \cdot q_x \cdot \left( 1 + \frac{f_n}{ch \frac{\Delta}{k_\tau}} \right) \cdot th \frac{\Delta}{k_\tau}, \quad (2)$$

где  $q_x$  – давление колеса на грунт;  $f_{ск}$  – коэффициент трения скольжения;  $f_n$  – коэффициент трения покоя;  $k_\tau$  – коэффициент деформации грунта;  $\Delta$  – деформация сдвига.

Особенностью этих зависимостей является то, что они имеют реальное происхождение, а коэффициент  $k_\tau$  пропорционален предельной деформации сдвига  $\Delta_0$ , т.е.

$$k_\tau = f(\Delta_0).$$

## 1.2. Тягово-сцепные свойства колес МКМ

Применение вышеприведенных зависимостей к процессу взаимодействия колесного движителя с грунтовой поверхностью дало возможность с большой достоверностью определить тягово-сцепные качества машины при движении по указанной поверхности [1, 4, 7].

Сила  $F_{сnp}$  сопротивления движению за счет смятия грунта опорной поверхностью колеса и глубина колеи определяются на основе расчетной схемы (рисунок 5) с помощью уравнений (3) и (4).

На рисунке 5 приняты следующие обозначения:  $r_0$ ,  $r_{cm}$ ,  $r_d$  – номинальный, статический и динамический радиусы колеса;  $c$  – горизонтальная координата приложения реакции грунтовой поверхности;  $F_T$ ,  $M_k$  – толкающая сила и крутящий момент, действующие на колесо;  $h$ ,  $h_{ш}$  – глубина колеи и деформация шины под действием нагрузки  $G$

$$F_{сnp} = \int_0^{h_0} b \cdot \sigma_0 \cdot th \left[ \frac{k \cdot r_{np}}{\sigma_0} \cdot \ln \frac{r_{np} - h}{r_{np} - h_0} \right] dh; \quad (3)$$



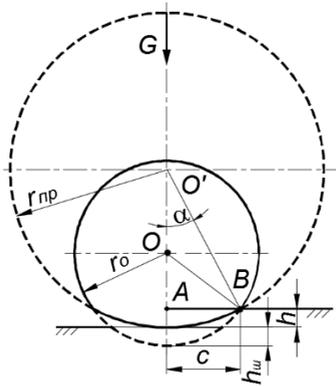


Рисунок 6 – Замена эластичного колеса радиусом  $r_0$  жестким колесом радиусом  $r_{np}$

Касательная сила тяги (движущая сила) определяется на основании рисунка 7 согласно выражению (5).

$$F_k = \int_0^{L_{np}} b \cdot f_{ск} \cdot q_x \cdot \left( 1 + \frac{f_n}{ch \frac{\delta_x \cdot L}{k_\tau}} \right) \cdot th \frac{\delta_x \cdot L}{k_\tau} dL, \quad (5)$$

где  $L_{np}$  – приведенная длина опорной части колеса (AB, рисунок 6);  $q_x$  – давление движителя на грунт.

$$L_{pr} = r_0 \cdot \arctg \sqrt{\frac{2 \cdot r_0 \cdot h - h^2}{r_{np} - h}} + \sqrt{2 \cdot r_0 \cdot h}.$$

где  $\delta$  – буксование колеса ( $0 \leq \delta \leq 1$ ).

### 1.3. Буксование ведущих колес колесных машин

Рассмотрим процесс возникновения буксования колеса используя расчетную схему, представленную на рисунке 7 [2, 3].

Как уже указывалось выше, тягово-сцепные свойства мобильных машин, в частности колесных тракторов, зависят от буксования колес машины, которое определяется силами трения и сдвигом грунта

почвозацепами в сторону, обратную направлению движения последней.

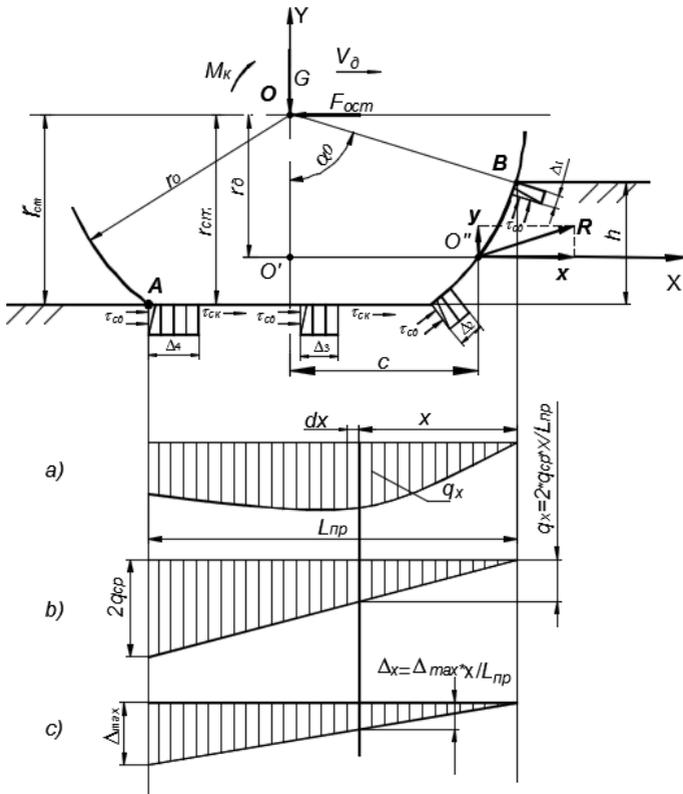


Рисунок 7 – Схема взаимодействия ведущего колеса с грунтовой поверхностью

Теоретически передача ведущего момента обязательно должна сопровождаться буксованием, в результате чего ось колеса перемещается как бы на соответствующее расстояние назад. В этом, главным образом, заключается физическая сущность буксования ведущих колёс на деформируемой поверхности и причина снижения их поступательной скорости. Дополнительное незначительное снижение поступательной скорости ведущих колёс обуславливается тангенциальными деформациями шин. Благодаря эластичности шин в

окружном направлении участки её, приближающиеся при качении колеса к площадке контакта шины с грунтом, под действием ведущего момента сжимаются, вследствие чего путь, проходимый колесом за один оборот, уменьшается. Из сказанного выше следует, что сцепление опорной поверхности колеса с грунтом происходит за счёт сил трения, возникающих между шиной и грунтом, и силы сдвига и среза грунтовых кирпичей, зажатых между грунтозацепами. При движении колеса ( $v=const$ ) сдвиг и срез грунтовых кирпичей происходит в основном в период выхода последнего грунтозацепа опорной поверхности колеса из грунта (рисунок 7). В этот момент нагрузка от вышедшего из зацепления грунтозацепа перераспределяется на остальные, находящиеся в зацеплении. Все грунтозацепы сдвигают и срезают грунт на одинаковую величину причём первый сдвигается на величину  $\Delta_1$ , второй на величину  $\Delta_1+\Delta_1=2\cdot\Delta_1$ , третий на  $\Delta_1+\Delta_1+\Delta_1=3\cdot\Delta_1$  и т.д. Поскольку первый грунтозацеп пройдёт все стадии зацепления от входа в грунт до выхода из него, наибольший сдвиг и срез грунта при выходе его из зацепления равен  $\Delta_{max}=n\cdot\Delta_1$  (здесь  $n$  – число грунтозацепов в зацеплении опорной поверхности колеса с грунтом).

С другой стороны, наибольший сдвиг и срез грунта можно представить как произведение коэффициента буксования  $\delta$  на длину опорной поверхности колеса  $L_{np}$ , т.е.  $\Delta_{max} = \delta \cdot L_{np}$ .

При движении по грунтовой поверхности движущая сила растёт в зависимости от буксования  $\delta$  до определенного предела  $\delta_{opt}$ , а затем начинает снижаться (рисунок 8).

Это объясняется тем, что при взаимодействии шины, имеющей грунтозацепы, с грунтовой поверхностью последние сдвигают грунт в направлении, обратном движению машины и на участке от  $0$  до  $\delta_{opt}$  движущая сила пропорциональна усилиям сдвига  $T_{cd}$ .

При достижении буксования  $\delta_{opt}$  грунтозацепы срезают грунтовые «кирпичи» и образуется «земляное» колесо, т.е. трение сдвига  $T_{cd}$  заменяется трением скольжения  $T_{ck}$ . Известно, что  $T_{cd} \geq T_{ck}$ .

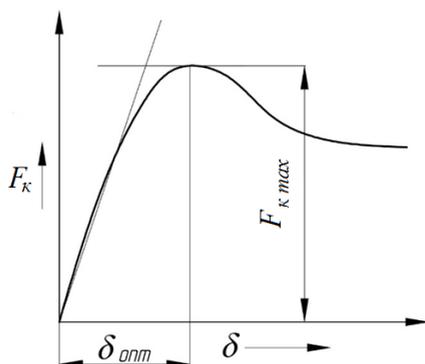


Рисунок 8 – Зависимость движущей силы от буксования при работе колесной машины на стерне суглинка нормальной влажности

Таким образом, при буксовании колеса имеется два режима буксования (рисунок 8):

- сила тяги растет с увеличением буксования;
- сила тяги падает и стремится к постоянной величине, обусловленной силами трения «земляного» колеса с грунтовой поверхностью.

## 2. Влияние давления воздуха в шинах ведущих колес на тягово-сцепные качества машины

Результаты исследований процесса взаимодействия колесного движителя с грунтовой поверхностью, проведенные сотрудниками кафедры «Тракторы» БНТУ [1, 2, 3] показали, что при снижении давления  $p_w$  воздуха в шинах ведущих колес трактора увеличивается сила тяги  $F_k$  и уменьшается сила сопротивления движению за счет образования колеи  $F_{сnp}$  и наоборот (рисунок 9).

При увеличении давления воздуха в шине до  $p_w max$  наступает потеря тягово-сцепных свойств машины. Особенно это явление заметно при движении трактора по грунтам со слабой несущей способностью типа торфяников или на минеральных грунтах при большой влажности.

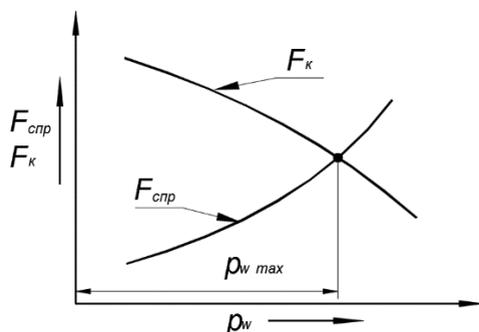


Рисунок 9 – Зависимость тягово-цепных свойств колесного трактора от давления воздуха в шине при работе на стерне суглинка нормальной влажности

### 3. Автоматическое регулирование давления воздуха в шинах мобильных машин

В настоящее время регулирование давления воздуха осуществляется ручным способом при остановке машины. Такое регулирование не всегда успешно. Например, если машина при движении попадает на участок грунта слабой несущей способности, то при ручном регулировании она теряет проходимость или ухудшаются ее тягово-цепные свойства за счет увеличения буксования.

Нами предлагается создать систему автоматического регулирования давления, функционирующую в соответствии с дорожными условиями. Она основывается на том, что при достижении касательной силы тяги максимального значения и дальнейшем увеличении буксования (рисунок 8) начинает работать электронное устройство, позволяющее снизить давление воздуха в шинах машины.

В результате исследований предложено два направления оценки необходимости регулирования давления воздуха в шине.

Первый путь требует установки датчиков, определяющих максимальную  $F_k$  силу, и электронного устройства, реализующего зависимость  $F_k = f(\delta)$ . При этом реализуется уравнение вида:

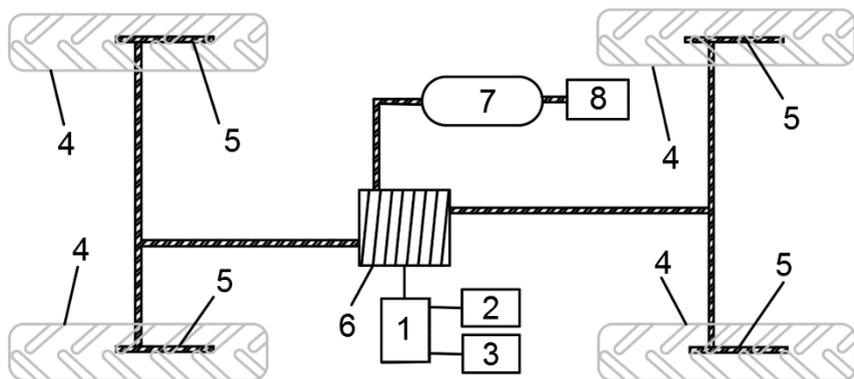
$$\frac{\partial F_k}{\partial \delta} \rightarrow 0.$$

Второй путь требует установки датчиков теоретической  $V_T = \omega \cdot r_k$  и действительной  $V_d = V_T \cdot (1 - \delta)$  скорости движения трактора (рисунок 8). При этом реализуется уравнение вида:

$$\frac{\partial \delta}{\partial F_k} \rightarrow \infty.$$

На рисунке 10 показан один из вариантов предлагаемой системы автоматического регулирования давления воздуха в шинах мобильных машин.

Воздух от компрессора 1 подается в ресивер 4, из которого при помощи шинного клапана 5, управляемого электронным блоком 9, непосредственно в шину. Управление давлением воздуха в шинах осуществляется электронным блоком по сигналам от датчика реальной скорости 7, датчика теоретической скорости 8 и датчиков крутящего момента 6 путем управления шинными клапанами.



- 1 – электронный блок; 2 – датчик крутящего момента; 3 – датчик буксования;  
 4 – колесо; 5 – шинный клапан; 6 – распределитель воздуха;  
 7 – ресивер; 8 – компрессор

Рисунок 10 – Принципиальная схема системы автоматического регулирования давления воздуха в шинах

## **Заключение**

1. Установлено, что регулирование давления воздуха в шинах мобильных машин влияет на их тягово-сцепные свойства.

2. Ручное регулирование обладает рядом недостатков при движении машины на различных грунтовых поверхностях, когда требуется быстрое изменение давления.

3. Возможно создать систему регулирования давления, которая обеспечивает автоматическое регулирование давления в шинах в зависимости от дорожных условий.

## **Литература**

1. Агейкин Я.С. Проходимость автомобилей. – М.: Машиностроение, 1981 – 232 с., ил.

2. Бабков В.Ф. Проходимость колесных машин по грунту / В.Ф. Бабков, А.К. Бируля, В.М. Сиденко. – М.: Автотрансиздат, 1959. – 189 с., ил.

3. Беккер М.Г. Введение в теорию систем местность-машина. Ч. I. Местность. Ч. II. Машина. Пер. с англ. Гуськова В.В. М.: Машиностроение. 1973. – 520 с., ил.

4. Гуськов В.В. Оптимальные параметры сельскохозяйственных тракторов / В.В.Гуськов. – М.: Машиностроение, 1966. – 196 с., ил.

5. Гуськов В.В. Тракторы: Теория / В.В. Гуськов, Н.Н. Велев, Ю.Е. Атаманов и др.; Под общ. ред. В. В. Гуськова. – М.: Машиностроение, 1988. – 376 с., ил.

6. Кацыгин В.В. Некоторые вопросы деформации почв. «Вопросы сельскохозяйственной механики», Т. XIII. – Минск: Сельхозгиз, 1964. – с. 117...185.

7. Колобов Г. Г., Парфенов А. П. Тяговые характеристики тракторов. М.: «Машиностроение», 1972. – 157 с., ил.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА  
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДИЗЕЛЯ**

**EXPERIMENTAL INSTALLATION FOR THE RESEARCHING  
OF THE WORKING PROCESS OF DIESEL**

*Кухаренок Г.М.*, д-р. техн. наук, проф.;  
*Березун В.И.*, канд. техн. наук; *Предко А.В.*, ст. препод.  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Беларусь

*G. Kukhareнок*, doctor of technical Sciences, Professor;  
*V. Berezun*, Ph.D. in Engineering, *A. Predko*, senior lecturer  
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

*Разработана экспериментальная установка на базе современного испытательного и измерительного оборудования. Отличительными особенностями установки являются: автоматизация процесса измерения и осреднения результатов, оперативный мониторинг изменения индикаторной диаграммы, момента начала и продолжительности впрыска, контроль степени рециркуляции отработавших газов по концентрации CO<sub>2</sub> в отработавших газах и свежем заряде, соответствующая по материальному обеспечению, методике измерений, точности, перечню контролируемых и измеряемых параметров международным требованиям Правил ЕЭК ООН № 96.*

*Ключевые слова: оборудование измерительное, дизель, диаграмма индикаторная, газы отработавшие, рециркуляция газов, точность измерений.*

*The experimental installation on the basis of modern test and measuring equipment is developed. The distinctive features of the installation are: automation of the measurement process and averaging of the results, operational monitoring of changes in the indicator diagram, the start and duration of injection, control of the degree of exhaust gas recirculation by the concentration of CO<sub>2</sub> in the exhaust gases and fresh charge, corresponding to the material support, measurement methods, accuracy, the list*

of controlled and measured parameters to the international requirements of UNECE Regulation No. 96.

*Keywords: measuring equipment, diesel, chart indication, exhaust gases, recirculation of gases, the measurement accuracy.*

## Введение

Экспериментальная установка предназначена для исследования влияния конструктивных и регулировочных параметров дизелей на показатели рабочего процесса [3,4].

Установка (рисунок 1) состоит из дизеля серии Д-245 производства ОАО «Управляющая компания холдинга «МИНСКИЙ МОТОРНЫЙ ЗАВОД» (4ЧН11/12,5) мощностью 90 кВт, установленного на тормозной стенд, системы управления и активного контроля параметров топливоподачи дизеля, режимами нагружения, комплекса индицирования и систем измерения параметров работы дизеля и состава отработавших газов согласно требованиям действующих нормативных документов [1, 2].

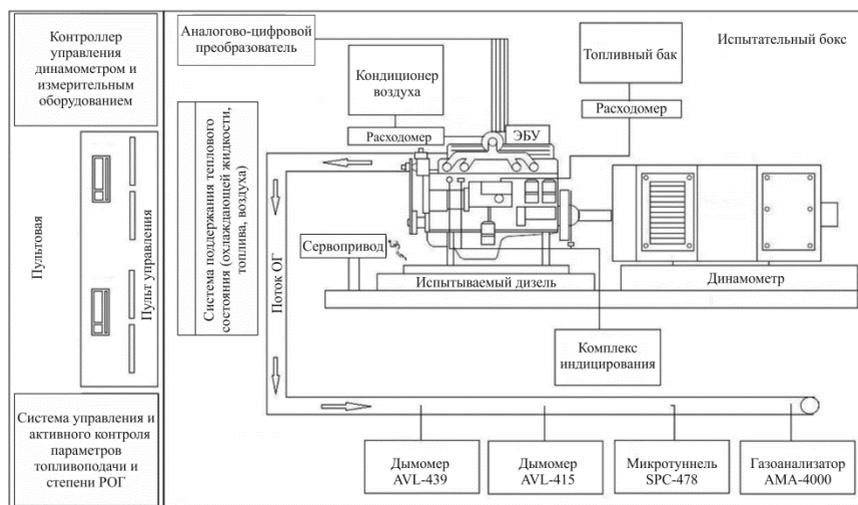


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки для исследования рабочего процесса дизеля

## 1. Тормозной стенд

Тормозной стенд представляет собой динамометр постоянного тока (максимальная мощность 247 кВт) с принудительным воздушным охлаждением и комплексом оборудования, предназначенного для измерения крутящего момента ( $M_{к \max} = 813 \text{ Н}\cdot\text{м}$  при  $n = 1330 \text{ мин}^{-1}$ ) с одновременным изменением частоты вращения.

Измерение крутящего момента основано на измерении реактивного момента между нагрузкой динамометра и динамометром. Для измерения реактивной силы применяется измерительный фланец, содержащий тензометрический датчик Т10F (рисунок 2), сигнал от которого обрабатывается в нормированный аналоговый или FM-модулированный сигнал.

Калибровка динамометра производится посредством подвешивания специальных грузов на калибровочные плечи длиной 1,0197 м, и корректировки калибровочной кривой согласно расчетным значениям крутящего момента при разрыве механической связи между измерительным фланцем и дизелем путем демонтажа карданной муфты. Для расчета значение гравитационного ускорения принималось равным  $9,8067 \text{ м/с}^2$ .

Для измерения частоты вращения с обратной стороны вала машины установлен инкрементный датчик IRC 305, имеющий диапазон измерения  $300 \dots 2900 \text{ мин}^{-1}$ .

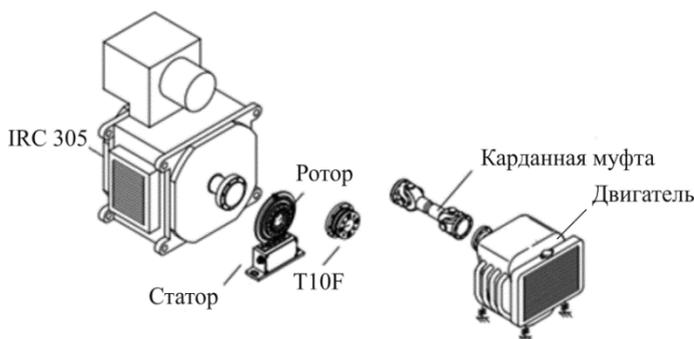


Рисунок 2 – Схема тормозного стенда

Дизель установлен на стойки крепления через демпфирующие подушки, подсоединен к кардану тормозного стенда и отцентрирован (рисунок 3).



Рисунок 3 – Дизель, установленный на тормозной стенд

Датчики давления и температуры смонтированы на деталях систем дизеля путем доработки характерных мест под установку переходных штуцеров, бонок и переходных проставок. Сигнал от датчиков после аналогово-цифрового преобразователя посредством измерительных каналов подается в систему управления стенда.

Соответствующие системы дизеля подсоединяются к стендовым системам поддержания теплового состояния охлаждающей жидкости, топлива и наддувочного воздуха.

Для охлаждения моторного масла используется штатный жидкостно-масляный теплообменник.

Дизельное топливо под действием гидростатического давления из топливных баков, закрепленных на стене бокса, подводится к расходомеру топлива AVL-735S и после кондиционера топлива AVL-753C, регулятора давления, фильтра тонкой и грубой очистки направляется к топливному насосу высокого давления дизеля.

Расходомер воздуха ИРВИС-РС-4, стационарно закрепленный на стене после воздушного фильтра, подсоединен к турбокомпрессору

посредством металлических труб, резиновых патрубков и хомутов. Принцип действия прибора основан на эффекте формирования в следе за телом обтекания цепочки вихрей, частота следования которых пропорциональна объемному расходу, определяемому на основании измерения скорости охлаждения сопротивления термопреобразователя потоком рабочего газа, теплофизических свойств газа (давления и температуры). Диапазон измерения расходомера воздуха 180...7000 м<sup>3</sup>/ч; пределы основной относительной погрешности в диапазоне работы до 0,2 измерительной шкалы 1,3 % и свыше – 1 %; пределы допускаемой относительной погрешности по выходу стандартного интерфейса каналов измерения температуры и давления составляют соответственно 0,5 % и 0,6 %.

Влажность воздуха на впуске измеряется емкостным гигротермодатчиком канального исполнения, обеспечивающим измерение влажности в рабочей области от 0 до 100 % с временем отклика – 10 с.

Для исключения поджатия потока на всасывании за счет разряжения, длина компенсационных патрубков между трубами не превышает 5 мм.

Выпуск отработавших газов (ОГ) организован через принудительную систему дымоудаления с разряжением в системе после заслонки, не превышающим 0,5 кПа. Для исключения влияния на результаты испытаний система вентиляции картерных газов дизеля отключена, газы после сапуна удаляются из бокса за счет работы системы вытяжной вентиляции.

Разряжение на впуске и противодействие на выпуске, оговоренные в технических условиях на дизель, устанавливаются заслонками стендовых систем впуска и выпуска, и на номинальном режиме работы дизеля составляют 7 кПа.

Приток и охлаждение воздуха осуществляется кондиционером. Температура в испытательном боксе и температура впускного воздуха поддерживается автономной системой кондиционирования в диапазоне 20±3 °С.

Расход топлива измеряется массовым расходомером с кориолисовым датчиком потока. Диапазон измерения расходомера находится в диапазоне 0...125 кг/ч; частота опроса датчика составляет 10 Гц.

Кондиционер топлива поддерживает температуру в диапазоне  $38\pm 2$  °С.

Температура охлаждающей жидкости и температура наддувочного воздуха контролируется системой управления стендом и поддерживаются в диапазоне  $85\pm 3$  °С и  $45\pm 3$  °С соответственно.

Температура выхлопных газов измеряется термопарами с диапазоном измерения 200...1200 °С, остальные температуры измеряются датчиками сопротивления с диапазоном измерения 50...300°С.

При проведении метрологической аттестации стенда калибровка датчиков измерения температуры осуществляется путем нагрева датчика в калибраторе температуры АТС 650В с внешним термометром, прошедшими поверку в РУП «Белорусский государственный институт метрологии», по двум точкам калибровочной кривой. Проверка измеряемых значений проводится по измерительным каналам стенда, используемым в процессе измерения. В случае с высокотемпературными датчиками, верхний диапазон калибровки составляет 650 °С.

Для измерения давления применяются микромеханические датчики мембранного типа DMP331 с чувствительным элементом DSP401, который, совместно со встроенным электронным усилителем и температурным компенсатором, вмонтированы в общий корпус из нержавеющей стали. В качестве наполнителя используется масло, питание датчика осуществляется источником постоянного тока. При проведении метрологической аттестации стенда для воспроизведения давления, к каналу измерения подключается пневматическая помпа и эталонный датчик IDOS, проходящие периодическую поверку в РУП «Белорусский государственный институт метрологии».

Перечень измеряемых параметров с погрешностью измерений, соответствующим требованиям нормативных документов [1, 2] сведен в таблицу.

В контуре измерения расхода топлива помимо механического топливоподкачивающего насоса дизеля дополнительно используются два электрических насоса для обеспечения работы расходомера и кондиционера топлива. Поэтому для обеспечения устойчивой работы аккумуляторной системы топливоподдачи необходимо проведение процедуры регулировки давления в подводящей и отводящей

топливных магистралях. Настройка вентиля регулятора давления производится таким образом, чтобы достичь минимальной амплитуды мгновенных значений расхода топлива на номинальном режиме работы дизеля.

Таблица 1 – Измеряемые параметры

Измеряемый параметр	Обозначение	Ед. измерения	Погрешность измерения
1	2	3	4
Частота вращения коленчатого вала	$n$	мин <sup>-1</sup>	0,2%
Крутящий момент	$M_k$	Н·м	0,5%
Часовой расход топлива	$G_t$	кг/ч	±0,25%
Объемный расход воздуха	$V_v$	м <sup>3</sup> /ч	±1...1,3%
Барометрическое давление	$B_0$	кПа	±0,1 кПа
Относительная влажность воздуха	$\psi$	%	±3,5%
Температура воздуха на впуске	$t_{вп}$	°С	±1 °С
Температура воздушного заряда после смешивания с рециркулируемыми газами	$t_{см}$	°С	±1 °С
Температура масла	$t_m$	°С	±3 °С
Температура охлаждающей жидкости	$t_{ож}$	°С	±3 °С
Температура воздуха после ТКР	$t_k$	°С	±1 °С
Температура воздуха после ОНВ	$t_{к'}$	°С	±1 °С
Температура ОГ перед ТКР	$t_{tr}$	°С	±10 °С
Температура ОГ после ТКР	$t_{r'}$	°С	±10 °С
Температура ОГ после охладителя РОГ	$t_{рог}$	°С	±1 °С
Давление на впуске	$p_{вп}$	кПа	±0,05 кПа
Давление наддува после ТКР	$p_k$	кПа	±1 кПа
Давление наддува после ОНВ	$p_{к'}$	кПа	±0,5 кПа
Давление выпуска перед ТКР	$p_r$	кПа	±1 кПа
Давление выпуска после ТКР	$p_{r'}$	кПа	±0,5 кПа
Давление впрыска топлива	$p_{впр}$	МПа	±0,05 МПа
Объемная концентрация $THC$ в ОГ	$C_{THC}$	ppm	±2,2%
Объемная концентрация $NO_x$ в ОГ	$C_{NO_x}$	ppm	±2,3%
Объемная концентрация $CO$ в ОГ	$C_{CO}$	ppm	±2%
Объемная концентрация $CO_2$ в ОГ	$C_{CO_2}$	%	±0,8%
Объемная концентрация $CO_2$ воздуха после смешивания с ОГ	$C_{CO_2\text{ РОГ}}$	%	±0,8%
Дымность ОГ	$N$	% HSU	±1 %

## 2. Система индицирования

Для проведения индицирования между маховиком и карданной муфтой был установлен специальный диск (рисунок 4), проградуированный через 0,5 градуса поворота коленчатого вала, крепящийся посредством шпилек к маховику.



Рисунок 4 – Система индицирования дизеля

Оптический датчик положения коленчатого вала с синхронизирующим диском, определяющие частоту записи давления газов в цилиндре, позволяют определить местоположение маховика и производить высокочастотную запись сигналов в зависимости от положения коленчатого вала.

Пьезоэлектрический датчик давления имеет погрешность измерения  $\pm 2\%$  в диапазоне измеряемых величин 3...20 МПа. Датчик смонтирован в специальный адаптер, который установлен в головку блока цилиндров вместо свечи накаливания первого цилиндра без дополнительной доработки узла.

Сигнал управления форсункой регистрируется при помощи токовых клещей, закрепленных на жгутах проводов дизеля.

Измерительные сигналы после блоков усилителей и аналого-цифровых преобразователей записывается комплексом индицирования AVL INDIMASTER ADVANCED 670. Определение ВМТ корректируется при помощи предварительной автоматической обработки индикаторной диаграммы до начала испытаний, предусмотренных программным обеспечением измерительного комплекса, при прокрутке дизеля от балансирной машины без подачи управляющего сигнала на форсунки (без топливоподачи) [5].

Для вывода на рабочий экран мгновенных значений давления газов в цилиндре, сигнала управления форсункой в виде графической зависимости от угла поворота коленчатого вала, частоты вращения коленчатого вала и других параметров, предусмотренных программным комплексом IndiCom 1.3, сформирована рабочая область, включающая настройку измерительных каналов, блоков усилителей и параметров сенсоров.

В момент изменения параметров топливоподачи осуществляется мониторинг изменения индикаторной диаграммы. После стабилизации параметров дизеля, синхронно с началом измерения параметров тормозным стендом, записываются данные индицирования в отдельный файл. Значения давления газов в цилиндре фиксируются на протяжении 50-ти циклов сгорания, после чего усредняются.

### **3. Оборудование для определения экологических показателей**

Измерение газообразных составляющих ОГ осуществляется газоаналитическим комплексом АМА 4000 (рисунок 5) производства фирмы "Pierburg" (Германия), регистрирующим объемные концентрации  $THC$ ,  $NOx$ ,  $CO$ ,  $CO_2$  и  $CO_2$  в системе рециркуляции отработавших газов (РОГ).

Проба ОГ забирается из выхлопной трубы испытательного стенда принудительно через пробоотборный зонд посредством насоса. После подогреваемого фильтра по обогреваемым линиям, температура в которых для предотвращения образования конденсата поддерживалась блоком нагрева пробы со встроенным регулятором температуры на уровне 190 °С, отобранная проба подается в измерительные камеры приборов [6].

Измерение  $THC$  происходит анализатором, работающим на основе метода ионизации атомов органических углеродов в водородном пламени, что обеспечивает протекание электрического тока, пропорционального атомам углерода, между электродами различных потенциалов.

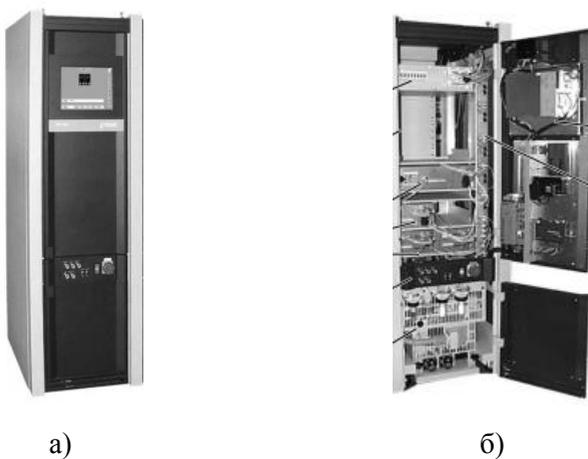


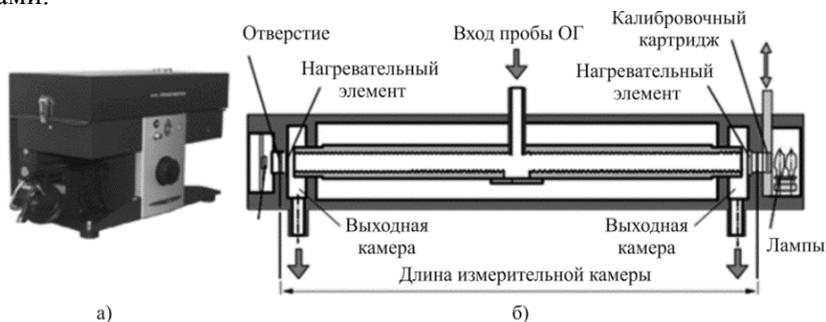
Рисунок 5 – Газоаналитический комплекс АМА-4000

Выбросы  $NOx$  определяются прибором, принцип работы которого основан на интенсивности хемилюминесцентного излучения при окислении  $NO$  в среде  $O_3$ . Световой поток, излучаемый при реакции, пропускается через оптический фильтр на датчик фотоумножителя, который преобразуется в электрический сигнал, пропорциональный люминесцентной интенсивности.

Для измерения  $CO$ ,  $CO_2$  и  $CO_2$  роф используются приборы с принципом работы основанном на распознавании спектра поглощения инфракрасного излучения, пропускаемого через пробу ОГ. На основании разницы электрических сигналов датчиков, фиксирующих непоглощенное инфракрасное излучение от референсного газа, не содержащего анализируемые компоненты, и анализируемой пробы определяется концентрация соответствующих компонентов ОГ.

Перед измерением концентрации газовых компонентов производится калибровка, заключающаяся в пропускании через измерительные камеры приборов соответствующих калибровочных газов с концентрацией, соответствующей диапазону измерения. После завершения испытаний проводится повторная проверка анализаторов путем повторного пропускания калибровочных газов через измерительные камеры приборов. Расхождение величин концентрации калибровочных газов до и после измерения не должна превышать 2 %.

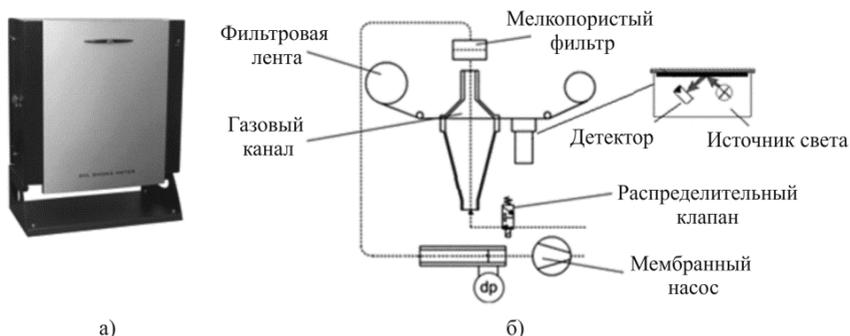
Дымность ОГ определяется дымомером *AVL-439* (рисунок 6), измеряющим потерю интенсивности светового потока (преломление, поглощение или отражение) между источником и приемником (детектором) в измерительной камере определенной длины. Прозрачность выхлопного газа вычисляется по закону Бира-Ламберта [7]. Перед началом испытаний проводится проверка детектора при помощи стекол с известными параметрами затемненности. Разрешение измерения составляет 1 Гц, единица измерения может определяться по шкале *Hartridge* в % *HSU* или  $\text{м}^{-1}$  в виде коэффициента поглощения  $k$ . Поток пробы 40...49 л/мин через измерительную камеру с фотометрической базой 0,43 м обеспечивается двумя мембранными насосами.



а) внешний вид; б) схема работы  
Рисунок 6 – Дымомер *AVL-439*

Для определения концентрации сажи в ОГ используется прибор *AVL-415* (рисунок 7), принцип действия которого основан на учете степени почернения фильтрующей бумаги после пропускания пробы ОГ [8].

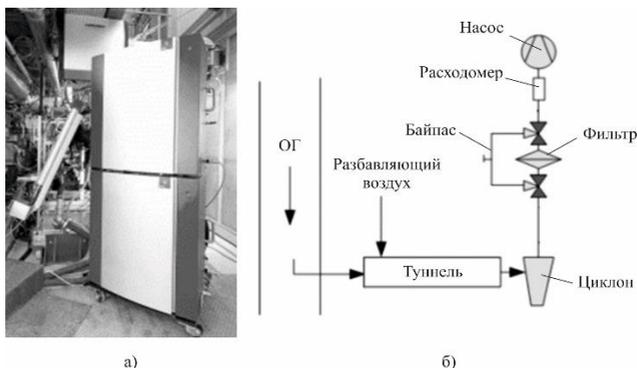
Предел измерения прибора составляет  $0 \dots 10 \text{ FSN}$  с разрешающей способностью  $0,01 \text{ FSN}$  и относительной погрешностью  $\pm 2 \%$ . Эффективная длина измерения прибора составляет 405 мм, стандартизованная *ISO 10054*. Значение *FSN* представляет собой результат измерения пробы  $330 \text{ см}^3$  (при давлении 1 бар и температуре 298 К), образующей на фильтрующей ленте пятно диаметром 32 мм.



а) общий вид; б) схема работы  
Рисунок 7 – Дымомер *AVL-415*

Для обеспечения сопоставимости результатов во всем диапазоне измерений, объем просасываемой пробы определяется в автоматическом режиме исходя из условия обеспечения степени почернения  $PB=2,5$  (рекомендуемый диапазон  $0,5 \dots 5$ ). При этом время измерения составляет 6 с на 1 литр пробы, которое обеспечивается производительностью мембранного насоса, управляемым микроконтроллером на основании показаний датчиков давления, температуры и объема пробы ОГ.

Выброс дисперсных частиц измеряется гравиметрическим методом при помощи микротуннеля *SPC-478* частично-поточного разбавления потока ОГ (рисунок 8). Через фильтр диаметром 47 мм пропускается проба, разбавленная воздухом. Значение коэффициента отбора пробы ОГ в процессе измерения поддерживается на одном уровне. Коэффициент разбавления изменяется автоматически с учетом изменения расхода ОГ на различных режимах работы для обеспечения постоянного расхода газа через фильтр.



а) общий вид; б) схема работы  
Рисунок 8 – Микротуннель SPC-478

Скорость потока через фильтр является регламентированным показателем и для диаметра фильтра 47 мм эта величина не должна превышать 100 см/с, что соответствует расходу 1,2 г/с. Максимальная температура пробы перед фильтром во время измерения не должна превышать 52 °С, а рекомендованная минимальная загрузка фильтра, которая позволяет обеспечить высокую повторяемость и сопоставимость результатов измерения, составляет 0,5 мг. Максимальное значение перепада давления на фильтре рекомендуется не превышать 150 мбар [9]. Перед измерением проводится проверка на герметичность газовых контуров под давлением и в вакууме, калибровка внутреннего расходомера во всем диапазоне работы и степени открытия байпасного клапана с целью минимизации пульсаций потока в процессе измерения. При настройке параметров разбавления, проба пропускается по байпасному каналу мимо кассеты с фильтрами за счет перенаправления газового потока распределительными клапанами.

Масса твердых частиц определяется взвешиванием фильтров до и после измерения на электронных весах *Mettler Toledo MX5/A* (рисунок 9), имеющих диапазон измерения до 5,1 г и класс точности 1а, в камере кондиционирования с температурой 22 °С и относительной влажностью 45 %. Стабилизация фильтров осуществляется не менее 8 часов до первичного взвешивания и не менее 12 часов после испытаний. Производится дополнительное взвешивание двух эталонных

фильтров, которые постоянно находятся в камере кондиционирования. Разность при контрольном взвешивании должна составлять не более 1 мкг.



Рисунок 9 – Электронные весы *Mettler Toledo MX5/A*

При необходимости степень РОГ определяется на основании измеренных концентраций  $CO_2$  [10, 11]:

$$\rho_p = \frac{c_{CO_2} - c_{CO_2\text{ вк}}}{c_{CO_2\text{ РОГ}} - c_{CO_2\text{ вк}}},$$

где  $c_{CO_2}$  – объемная концентрация  $CO_2$  в выпускном коллекторе, *ppm*;  $c_{CO_2\text{ РОГ}}$  – объемная концентрация  $CO_2$  во впускном коллекторе, *ppm*;  $c_{CO_2\text{ вк}}$  – объемная концентрация  $CO_2$  во внешней среде, *ppm*.

Определение промежуточных и итоговых удельных показателей выбросов вредных веществ производится согласно методике Правил ЕЭК ООН № 96.

## Литература

1. ГОСТ 18509–88. Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний. – Введ. 1990-01.01. – М.: Изд-во стандартов, 1988 – 41 с.

2. ГОСТ 14846–81. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний. – Введ. 1982-01.01. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 41 с.
3. Кухаренок, Г. М. Рабочий процесс высокооборотных дизелей. Методы и средства совершенствования / Г.М. Кухаренок. – Минск: БГПА, 1999. – 180 с.
4. Кухаренок, Г. М. Снижение выбросов вредных веществ дизельных двигателей / Г. М. Кухаренок, А. Н. Петрученко, В. И. Березун. – Москва: Новое знание, 2014. – 220 с.
5. Concerto Software Version 3.7. – Graz: AVL List, 2004. – 916 p. (86).
6. Operating Instructions AMA 4000. – Graz: AVL List, 2004. – 32 p. (87).
7. Operating Instructions AVL 439. – Graz: AVL List, 2004. – 170 p. (88).
8. Smoke value measurement with the Filter-Paper-Method. – Graz: AVL List, 2004. – 112 p. (89).
9. Product Guide AVL SMART SAMPLER 478 – Graz: AVL List, 2004. – 176 p. (90).
10. Needham, J. The Low NO<sub>x</sub> Truck Engine / J. Needham, D. Doyle, A. Nicol // SAE Technical Paper. – 1991. – № 910731. – P. 1–12. (91).
11. Havenith, C. Low Emission Heavy Duty Diesel Engine for Europe / C. Havenith, J. Needham, A. Nicol, C. Such // SAE Technical Paper. – 1993. – № 932959. – P. 1–14. (92).

**КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ  
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГИДРОФИЦИРОВАННЫХ  
ТРАНСМИССИЙ: СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ,  
ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ВЫБОР КРИТЕРИЕВ  
КАЧЕСТВА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ДИАГНОСТИКИ**

**TECHNICAL CONDITION HYDRAULIC TRANSMISSION:  
STATUS OF THE PROBLEM, RATIONALE OF PARAMETERS  
AND SELECTION OF THE CRITERIA OF QUALITY  
OF AUTOMATED DIAGNOSTICS**

*Рынкевич С.А.*, д-р техн. наук, доц.,  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Беларусь;

*Семенов И.Н.*, маг. техн. наук, ст. препод.,  
Брестский государственный технический университет,  
г. Брест, Беларусь

*S. Rynkevich*, Doctor of technical Sciences, Associate professor,  
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

*I. Semenov*, master of technical Sciences, senior lecturer,  
Brest state technical University, Brest, Belarus

*Рассмотрены концептуальные вопросы оценки технического состояния гидрофицированных трансмиссий. Обозначена проблема диагностирования технического состояния мобильных машин и приведены современные подходы при ее решении. Описаны условия эксплуатации и режимы работы легковых и других автомобилей с гидрофицированными трансмиссиями. Обоснован выбор ряда диагностических параметров и критериев качества оценки технического состояния современных трансмиссий. Рассмотрены перспективные типы автоматизированных трансмиссий.*

*Ключевые слова:* гидрофицированная трансмиссия, диагностика, техническое состояние, параметр диагностирования, критерий качества, автоматизация, адаптивная система.

*Conceptual issues of evaluation of technical condition of hydraulic transmissions. The problem of diagnosing the technical condition of mobile machines is indicated and modern approaches to its solution are given. OPIE-Sana'a operating conditions and modes of operation of cars and other vehicles with hydraulic transmissions. The choice of a number of diagnostic parameters and quality criteria for assessing the technical condition of modern transmissions is substantiated. Perspective types of automatic transmissions are considered.*

*Key words: hydraulic transmission, diagnostics, technical condition, diagnostic parameter, quality criterion, automation, adaptive system.*

## **Введение**

Легковой автомобиль (ЛА), оснащенный гидрофицированной трансмиссией (ГТ), представляет собой очень сложную, иерархически организованную систему взаимодействующих механизмов и деталей. Эти элементы информационно связаны и целенаправленно функционируют. По своему функциональному назначению ЛА как система охватывает ряд взаимообусловленных аспектов: топливно-экономический, экологический, энергетический, устойчивости и управляемости, безопасности и надежности, виброзащиты, улучшения условий труда и комфортабельности водителя и пассажиров, управления движением, а также навигации и сервиса. Каждый из этих аспектов имеет большую значимость, занимает важное место и неразрывно связан со всеми из перечисленных элементов.

**Обзор научных публикаций** по основной проблеме исследования показал, что ЛА, как объект диагностирования функционирует в очень сложных условиях внешней среды, которые чрезвычайно разнообразны и определяются параметрами дорожных, эксплуатационно-технических, природно-климатических характеристик, маршрутами и фазами движения, режимами нагружения трансмиссии, а также различными (в том числе и нештатными) ситуациями. В связи с этим важно правильно и своевременно управлять всеми механизмами и подсистемами автомобиля. При этом очень важно и нужно учитывать поведение человека как субъективного элемента всей системы: непредсказуемость водителя при воздействии на органы управления ЛА, его психофизическое и эмоциональное состояние, степень усталости, квалификацию с учетом особенностей поведения

других участников движения. Этим вопросам посвящен ряд публикаций отечественных и зарубежных ученых.

Переходя от функционального назначения элементов ЛА и его ГТ к структурным взаимосвязям, можно считать каждый перечисленный выше аспект подсистемой выбранного для анализа типа транспортного средства [1]. Автоматизация любого из упомянутых аспектов представляет собой чрезвычайно сложную проблему и вместе с тем имеет большое значение для обеспечения высокого технического уровня современных ЛА. Одновременное решение всей проблемы в целом невозможно в силу ее большой сложности и многогранности, поэтому следует решать ее поэтапно [1–3].

Рассматривая эти элементы-аспекты с точки зрения оценки технического состояния, отметим следующее: все эти аспекты участвуют в организации процесса эксплуатации транспортного средства (ЛА), поэтому их физические свойства должны исследоваться для того, чтобы получить характеристики, требуемые для учета в алгоритмах диагностики. Здесь важно эффективно, обеспечивая высокий КПД, управлять режимами двигателя и теми подсистемами, которые осуществляют получение энергии. Сюда входит: регулирование подачи компонентов рабочей смеси (топлива и воздуха) в цилиндры ДВС, управление процессами смесеобразования, фазами газораспределения, регулирование зажигания, управление процессом сгорания смеси, циркуляцией и выпуском отработавших газов. Во-вторых, нужно рационально распорядиться энергией и передать ее на движитель с минимальными потерями. Для этого следует управлять трансмиссией и теми подсистемами, которые преобразуют параметры потока энергии (моментов и угловых скоростей) и передают ее на движитель (ведущие колеса). В-третьих, поскольку речь идет о регулировании скорости и безопасности движения, к управлению причастна и тормозная система, т.е. важно обеспечивать проходимость и устойчивость автомобиля, организовывать процессы трогания, замедления и торможения. Все это непосредственно связано с оценкой технического состояния (ОТС) трансмиссии, двигателя и тормозной системы как важных звеньев, влияющих на безопасность дорожного движения, качество автомобильных перевозок и др. [4].

*Условия эксплуатации и режимы работы ЛА влияют на качество процессов ОТС.* Эти условия и режимы чрезвычайно разнообразны и определяются множеством обстоятельств, которыми являются условия эксплуатации, типовые режимы, характеристики маршрутов, фазы движения. Условия эксплуатации бывают дорожными, природно-климатическими и эксплуатационно-техническими. Эксплуатация ЛА происходит в различных типовых режимах, которые включают в себя фазы движения машины: разгон, установившееся равномерное движение, замедление, торможение, остановки. Фазы движения являются элементами ездовых циклов. Все разнообразие условий эксплуатации не поддается точному математическому описанию, относится к случайным событиям и на практике воплощается в реальные маршруты движения [3–5]. Маршруты классифицируются по различным признакам. В зависимости от рельефа местности маршруты бывают равнинные, горно-холмистые, горные и высокогорные. В зависимости от условий применения транспортного средства маршруты бывают магистральные, городские, карьерные и др. Если иметь в виду дороги с усовершенствованным покрытием, то можно выделить три характерных типа маршрутов по сложности условий их эксплуатации: магистральные, горные и городские. Различают комбинированные маршруты, например, магистрально-холмистые, горно-холмистые, а также пригородные, межрайонные, местные и т.д., которые относятся к частным случаям типовых маршрутов.

Рассмотренные обстоятельства оказывают непосредственное влияние на формирование тягово-скоростных и топливно-экономических показателей эксплуатируемого ЛА, а также обеспечение его безопасности и надежности. В связи с этим необходимо осуществлять дифференцированный их учет при синтезе алгоритмов управления в процессе комплексных исследований их влияния на показатели эффективности и качества, научно-технического прогнозирования на стадии проектировании перспективных систем управления и диагностики. Ориентация на уже достигнутый уровень обеспечения высоких технико-экономических показателей ЛА, решения вопросов обеспечения надежности и безопасности, управляемости и устойчивости, виброзащиты и комфортабельности и т.д. является не всегда

оправданной ввиду неточности учета фактических режимов движения, неучета и недоучета всего многообразия факторов и условий работы ЛА и их подсистем.

Дорожные условия являются одним из важнейших факторов, оказывающих непосредственное влияние на выбор оптимальных характеристик управления энергетическими режимами ЛА. Причем дорожные условия эксплуатации ЛА различных моделей, типов и назначения зачастую могут значительно отличаться друг от друга. Условия эксплуатации ЛА, которые отличаются типом привода, кузова, объемом двигателя, существенно разнятся и порой по своему многообразию намного превосходят условия, в которых эксплуатируются легковые автомобили общего назначения. Так, ЛА повышенной проходимости (джипы, универсалы, внедорожные ЛА), предназначены для эксплуатации в тяжелых дорожных условиях. Широкая география эксплуатации таких машин и особенности их целевого использования (районы Крайнего Севера, Арктики, Сибири, Урала, Дальнего Востока, пересеченная местность, бездорожье, заболоченная местность и т.д.) приводит к тому, что математическое ожидание коэффициента сопротивления движению  $m_{\psi}$  изменяется в широких пределах: от 0,022 (асфальтобетонные дороги) и 0,045–0,08 (грунтовые дороги различного качества) до 0,16–0,45 (бездорожье и заболоченная местность).

Важной характеристикой эксплуатации ЛА является расстояние перевозки пассажиров и/или грузов.

## **1. Автоматизация гидрофицированных механизмов мобильных машин при определении их технического состояния**

В конструкциях современных автомобилей широкое применение получили гидрофицированные механизмы, в том числе гидромеханические передачи (ГМП) и механические трансмиссии (ГМТ) [4–6].

Для качественного определения технического состояния ГТ ЛА, оперативной постановки технического диагноза, своевременного выявления опасных отклонений параметров, обнаружения отказов и скрытых дефектов, предотвращения появления неисправностей и прогнозирования остаточного ресурса необходимо использовать со-

временную научную методологию, основанную на экспериментальных и теоретических методах исследований и новых способах обработки результатов исследований.

ГМП и ГМТ относятся к бесступенчатым передачам (БП). Поскольку у них КПД сравнительно низкий и диапазон регулирования вращающего момента и скорости ограничен, то БП обычно используют в сочетании с механическими зубчатыми передачами, позволяющими повысить КПД трансмиссии и получить необходимый диапазон регулирования. В зависимости от типа используемой БП различают следующие виды трансмиссии: ГМТ, гидрообъемно-механические (ГОМТ) и электромеханические (ЭМТ). Одним из существенных достоинств этих видов трансмиссий является их хорошая приспособленность к автоматическому управлению процессами трансформации параметров потока энергии, передаваемой к ведущим колесам [4, 5].

Применение ГМТ и ГМП в конструкциях автомобилей, в частности, ЛА, увеличивает срок службы двигателя и трансмиссии, а также повышает проходимость и комфортабельность за счет более плавного изменения момента на ведущих колесах, трогания с места и разгона.

Основная проблема автоматизации диагностирования гидрофицированных мобильных машин и ОТС ГТ связана с многообразием и огромной сложностью происходящих при функционировании ГТ процессов. Для решения этой проблемы необходимо использование современных технологий и методов, основанных на других подходах, отличных от тех, которые опираются на принципы классической теории автоматического управления [3].

Использование современных технологий позволяет выйти на новый уровень проектирования автоматических устройств – уровень создания адаптивных мехатронных бортовых систем (АМБС). Создание АМБС позволяет решить ряд проблем [4–6].

Во-первых, появляется возможность создания систем управления/диагностирования, использующих большое количество информации различной физической природы. Во-вторых, возникают условия для создания и реализации гибких алгоритмов, позволяющих системам приспосабливаться к изменению различных ситуаций и условий эксплуатации. В-третьих, упрощается конструкция автоматиче-

ских систем и снижается стоимость создаваемых изделий. В-четвертых, появляются возможности использования программ управления/диагностирования в режиме реального времени. В-пятых, такие системы наделяются интеллектуальными качествами, приобретая способность к обучению (самообучению). Это выражается в расширении и значительном пополнении базы знаний таких систем в процессе эксплуатации объекта диагностирования; накоплению и осмыслению информации; запоминанию и распознаванию различных ситуаций, в том числе проявлений неисправностей, причин и условий их возникновения.

В современном автомобилестроении разрабатываемые АМБС и такая их разновидность, как системы технического диагностирования (СТД), должны обеспечивать следующие основные функции [5]:

- оперативное определение технического состояния основных механизмов ММ в текущий момент времени;
- комплексное диагностирование параметров элементов и механизмов трансмиссии, тормозной системы, подвески, гидропривода;
- непрерывный контроль (мониторинг) основных параметров механизмов и их элементов (температуры, давления масла в магистралях и фрикционах, расхода рабочей жидкости и др.);
- идентификация и предотвращение опасных ситуаций в процессе управления движением автомобиля при функционировании всех подсистем;
- защита от ошибочных управляющих действий водителя;
- анализ информации о текущих процессах с выдачей водителю оперативных сигналов отклонений от технических требований;
- прием информации от других измерительных систем по любому из стандартных интерфейсов и протоколов;
- выдача результатов диагностирования в текстовом и графическом виде;
- отображение текущего состояния машины (ЛА в частности) в графическом режиме на дисплее в удобном для водителя виде.

На рисунке 1 показан общий вид экспертной интеллектуальной системы диагностирования ГТ и технология процесса ОТС ГТ. На данной схеме обозначены процедуры сбора, обработки и визуализации информации.

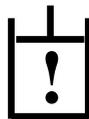
Для визуализации различной информации могут использоваться пиктографические изображения. При этом при отсутствии сигнала

цвет пиктограммы серый, а при наличии сигнала индицируемая пиктограмма имеет определенный цвет. Может быть обеспечен удобный доступ оператора для перехода к окну коротких текстовых сообщений о возникших неисправностях гидросистемы.



Рисунок 1 – Технология диагностирования ГТ посредством экспертной интеллектуальной системы

Например, при кратковременном нажатии на символ вместо основной панели на дисплей выводится расширенная информация о месте и возможных причинах неисправности гидропривода ГТ, а также рекомендации водителю.



При длительном нажатии на данный символ вместо «Основной панели» на экран выводится «ПАНЕЛЬ ГИДРОСИСТЕМ», где отображаются значения всех контролируемых параметров гидропривода ГТ.

Может быть предусмотрена механическая кнопка «ГИДРОСИСТЕМА» для выполнения функций управления процессом.

Пиктограммы лучше компоновать единым блоком в зоне наилучшей видимости водителя. Должен быть обеспечен удобный доступ водителя к управлению режимами дисплея. Может соблюдаться приоритет информации, например, по убыванию.

Международным стандартом SAE J1939-73 специально для автомобильной диагностики разработан комплекс требований для построения диагностических электронных систем. Там же приведены базовая нотация и синтаксис используемых языков, позволяющих создавать программные коды для программирования микроконтроллеров [5].

Перспективный уровень автоматизации транспортной техники – проектирование легковых автомобилей с комбинированной и гибридной энергетической установкой (КГЭУ), оснащенными АМБС.

Легковые автомобили с КГЭУ и АМБС отличаются от традиционных наличием двух двигателей (ДВС и электрического). Интерес к таким автомобилям вызван также тем, что они обладают меньшим расходом топлива и меньшей токсичностью отработавших газов, что весьма актуально для крупных городов с большим автомобильным парком.

Таким образом, гибридный автомобиль – автомобиль, использующий для привода ведущих колёс более одного источника энергии.

Современные автопроизводители часто прибегают к совместному использованию двигателя внутреннего сгорания и электродвигателя, что позволяет избежать работы ДВС в режиме малых нагрузок, а также реализовывать рекуперацию кинетической энергии, повышая топливную эффективность силовой установки. Другой распространённый вид гибридов – автомобили, в которых ДВС совмещён с двигателями, работающими на сжатом воздухе.

Первоначально идея «электрической коробки передач», то есть замены механической коробки передач электрическими проводами, была воплощена на железнодорожном транспорте и в большегрузных карьерных самосвалах. Применение этой схемы обусловлено значительными сложностями механической передачи значительного, и при этом изменяемого крутящего момента на колеса транспортного средства. Двигатели внутреннего сгорания обладают определённой нагрузочной характеристикой (зависимостью отдаваемой мощности от частоты вращения вала), которая имеет оптимальные показатели только в узком интервале, который, как правило, смещён в сторону высоких оборотов. Частично этот недостаток компенсируют, применяя механические коробки передач, которые, однако, ухудшают общий КПД системы за счёт собственных потерь. Дополнительной сложностью является невозможность изменения направления вращения вала ДВС для обеспечения заднего хода машины.

Нагрузочная же характеристика электродвигателя практически равномерна во всём диапазоне рабочих частот; он может быть мгновенно запущен, остановлен и реверсирован, а также не требует холостого хода, что позволяет исключить из трансмиссии механизм сцепления – а в некоторых случаях и полностью от неё избавиться, разместив электродвигатели непосредственно в колёсах (мотор-колесо).

В случае применения электротрансмиссии двигатель, работающий на обычном топливе, вращает электрогенератор; вырабатываемый ток через систему управления передаётся на электродвигатели, которые и приводят в движение транспортное средство. В этом случае уместно сравнение такого типа привода с размещённой на электромобиле электростанцией, вырабатывающей электричество для его движения. Схема работы гибридного автомобиля с АМБС в целом аналогична, но значительно модифицирована. В первую очередь, добавлением промежуточного накопителя энергии – как правило, аккумуляторной батареи, имеющей меньшую, чем у «абсолютного» электромобиля, ёмкость и, соответственно, меньшую массу.

Гибридный автомобиль с АМБС сочетает в себе преимущества электромобиля и автомобиля с двигателем внутреннего сгорания: больший коэффициент полезного действия электромобилей (80–90 % по сравнению с 35–50 % у автомобилей с ДВС) и большой запас хода на одной заправке автомобиля с ДВС.

Ввиду ряда преимуществ автоматических гидромеханических коробок передач (ГМКП) по сравнению с другими типами передач в гибридных автомобилях (их трансмиссиях) целесообразно применять именно ГМКП.

Ввиду определенных преимуществ автоматических гидромеханических коробок передач в гибридных автомобилях (трансмиссиях) с АМБС целесообразно применять именно эти передачи.

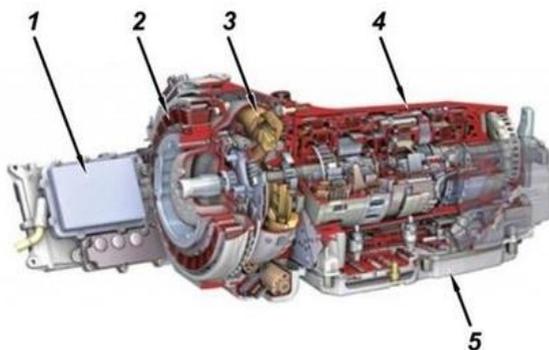
Главное преимущество гибридного автомобиля – снижение расхода топлива и уровня токсичности вредных отработавших газов, что достигается полной автоматизацией управления работой двигателей с помощью бортового компьютера – начиная от своевременного отключения двигателя во время остановки в транспортном потоке, с возможностью немедленного возобновления движения без его запуска, исключительно на запасённой в накопителе энергии, и заканчивая более сложным механизмом рекуперации – использование кинетической энергии движущегося автомобиля при торможении для зарядки накопителя при работе электродвигателя в режиме электрогенератора. Как и в случае с электромеханической трансмиссией, двигатель внутреннего сгорания, как правило, работает на оптимальных режимах.

На самые ранние модели автомобиля «Хонда-Инсайт» устанавливалась механическая коробка передач с ручным переключением. Вскоре на смену механической коробке пришла бесступенчатая коробка передач (CVT), чаще называемая вариатор. Подобный вариатор часто устанавливается и на обычные автомобили с двигателем внутреннего сгорания.

На автомобиле Mercedes-Benz S400 BlueHYBRID устанавливается обычная семиступенчатая автоматическая гидромеханическая коробка передач 7G-TRONIC, которая устанавливается на многие автомобили Mercedes-Benz S-класса. В этой коробке передач, для согласованной работы с электродвигателем гибридной силовой установки, был только перенастроен блок управления коробки передач и установлен дополнительный электрический масляный насос.

На рисунке 2 показано, что мотор-генератор расположен в картере гидротрансформатора.

Некоторые типовые схемы гибридных транспортных средств рассмотрены в [7–11].



1 – электронный блок управления (ЭБУ) коробки передач; 2 – мотор-генератор; 3 – гидротрансформатор; 4 – механическая часть коробки передач с планетарными рядами; 5 – электрогидравлический блок управления коробкой передач

Рисунок 2 – Автоматическая семиступенчатая коробка передач 7G-TRONIC автомобиля Mercedes-Benz S400 BlueHYBRID

## 2. Обоснование выбора диагностических параметров ГТ ЛА

Авторами осуществлен выбор параметров диагностирования и предложены технические, технико-экономические и технологические критерии выбора предельных значений параметров.

Источником формирования технических диагнозов, характеризующих состояние ГТ, служит комплекс информации об изменении характеристик диагностических параметров. Количество информации, предоставляемой системе диагностирования (СД), должно быть необходимым и достаточным для достоверной однозначной идентификации режимов работы ГМП и формирования адекватных происходящим процессам диагнозов, обеспечивающих безопасность и надежность [2, 3, 5].

Для получения необходимой информации СД снабжается датчиками. К датчикам предъявляются требования по качеству регистрации и формирования информации. Высокое качество обеспечивают датчики цифровой информации [5, 9, 10]. Такой вид информации необходим при использовании электронных систем [9–11]. При обосновании и выборе конкретных типов датчиков для получения необходимой информации учитывается мнение разработчиков электронных блоков и систем [5, 10].

Исходя из анализа условий работы автомобилей установлено, что для обеспечения качественного диагностирования их механизмов необходимо использовать определенный комплекс диагностических параметров. Поскольку одновременно осуществляется и управление машиной, и ее диагностирование, то некоторые информационные переменные служат также диагностическими параметрами и используются и в том, и в другом случае.

Для того чтобы можно было использовать некоторый параметр объекта в качестве диагностического, он должен обретаать следующие свойства [10]:

быть функционально важным для оценки технического состояния машины;

- быть однозначным, т.е. должен отсутствовать его переход от возрастающей функции к убывающей (или наоборот) в зависимости от наработки автомобиля или изменения его структурного параметра от начального до предельного значения. Этим обеспечивается соответствие каждому значению структурного параметра только одного, вполне определенного значения параметра выходного процесса;

- быть чувствительным (информативным). Чувствительность характеризуется величиной и скоростью приращения выходного параметра при достаточно малом изменении структурного параметра. Чем больше это приращение, тем выше чувствительность данного параметра выходного процесса;

- обладать стабильностью при многократных измерениях, характеризующейся величиной рассеивания значений относительно среднего значения параметра при постоянных условиях измерения;

- обладать дифференцирующей способностью, позволяющей разделять и локализовать неисправности различных элементов объекта по месту их возникновения (до составных частей элементов, до конкретного сопряжения, детали при наличии нескольких одноименных сопряжений, деталей в элементе);

- обеспечивать технологичность и экономичность, определяемые удобством определения параметра при диагностировании, соответствующими трудовыми и материальными затратами [2, 4, 6].

При выборе диагностических параметров необходимо учитывать: уровень разрабатываемых математических моделей, отражающих функциональные зависимости между конструктивными параметрами объекта и диагностическими параметрами; точность и степень

совершенства существующих технических средств измерения параметров, а также возможность разработки и применения новых средств, удовлетворяющих требованиям к классу точности, условиям эксплуатации, стоимости и т. д.; уровень приспособленности объекта к автоматизации процесса диагностирования; возможность связи разрабатываемой системы диагностирования с бортовыми электронно-вычислительными комплексами, а также уровень использования новых информационных технологий; экономическую целесообразность и эффективность разработки и использования системы диагностирования.

При этом количество выбранных диагностических параметров должно быть достаточным для решения задачи установления диагноза.

Для этого проводят целесообразное ограничение используемого количества параметров путем корреляционного анализа [4].

Количество параметров состояния объекта сравнительно велико, поэтому возникает задача целесообразного ограничения используемого их количества. При этом выявляются статистические корреляционные связи между искомыми параметрами.

Оценка корреляционной связи между предполагаемыми параметрами  $x_i$  и  $x_j$  осуществляется по величине коэффициента парной корреляции  $r_{x_i x_j}$ , вычисляемой по формуле

$$r_{x_i x_j} = \frac{1}{(N-1)\sigma_{x_i}\sigma_{x_j}} \left( \sum_{u=1}^N x_{iu}x_{ju} - N\bar{x}_i\bar{x}_j \right), \quad i, j = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где  $N$  – количество проведенных вычислительных опытов (объем выборки);  $\sigma_{x_i}, \sigma_{x_j}$  – среднеквадратические отклонения переменных

$x_i$  и  $x_j$ ;  $\bar{x}_i, \bar{x}_j$  – выборочные средние этих же переменных;

$x_{iu}, x_{ju}$  – значения переменных  $x_i$  и  $x_j$  в  $u$ -ом опыте (элементы выборки исследуемых переменных);  $n$  – количество параметров объекта диагностирования.

Прежде чем вычислять коэффициенты корреляции, определяют выборочные средние и выборочные дисперсии всех анализируемых параметров:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N x_{iu}, \quad i = \overline{1, n}; \quad (2)$$

$$S_{x_i}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{u=1}^N (x_{iu} - \bar{x}_i)^2, \quad i = \overline{1, n}; \quad (3)$$

где  $S_{x_i}^2$  – выборочная дисперсия параметра  $x_i$ .

Формула (2) является моделью среднего и определяет среднее значение переменной  $x_i$  в серии опытов. Дисперсия  $S_{x_i}^2$  оценивает погрешность полученной модели среднего. Она в дальнейшем используется при оценке адекватности регрессионных моделей.

Среднеквадратическое отклонение  $\sigma_{x_i}$ , входящее в формулу (3), вычисляют по выражению:

$$\sigma_{x_i} = \sqrt{S_{x_i}^2}; \quad (4)$$

Значения коэффициентов парной корреляции находятся в пределах  $-1 \leq r_{x_i x_j} \leq +1$ . Чем ближе по абсолютной величине значение коэффициента корреляции к единице, тем более тесная корреляционная связь между исследуемыми переменными. Если  $r_{x_i x_j}$  положительно, это означает, что с увеличением  $x_i$  значение  $x_j$  возрастает. При отрицательном  $r_{x_i x_j}$  увеличение  $x_i$  приводит к уменьшению  $x_j$ . Если значение  $|r_{x_i x_j}|$  близко к единице, одну из информационных переменных  $x_i$  или  $x_j$  можно исключить из модели алгоритма управления. Исключать рекомендуется ту переменную, которая

имеет меньшую корреляцию с параметром характеристики управления  $V_k$ , т.е. переменную с меньшим коэффициентом корреляции  $r_{V_k x_i}$ . Однако при этом следует учитывать доступность переменной  $x_i$  для измерения на транспортном средстве, погрешности при ее измерении, функциональной и статистической обработке.

Результаты корреляционного анализа представляют собой корреляционные матрицы, элементами которых являются коэффициенты парной корреляции.

Для того, чтобы в полной мере отражать информацию о техническом состоянии ГМП, с использованием метода корреляционного анализа была установлена необходимая и достаточная совокупность диагностических параметров (ДП) [4, 5].

Основные ДП ЛА с ГТ следующие:

- *механические ДП*, т.е. частоты вращения валов двигателя, турбинного ГДТ и выходного КП  $n_d, n_T, n_B$ , об/мин;
- *гидравлические ДП*, к которым относятся:
  - главное давление гидросистемы ГМП  $p_{ГЛ}$ , Па;
  - давление перед фильтром главной магистрали  $p_\phi$ , Па;
  - гидравлическое сопротивление фильтра  $\Delta p_\phi$ , Па;
  - давление в каналах фрикционов  $p_{\phi i}$ , Па;
  - амплитуда пульсации давления в каналах фрикционов  $A_{pi}$ , Па;
  - давление ГДТ  $p_{ГДТ}$ , Па;
  - давление системы смазки ГМП  $p_{см}$ , Па;
- *тепловые ДП* – это температура рабочей жидкости в магистралях и на выходе (входе) ГДТ  $T_{ГДТ}$ , К;
- *прочие ДП*, к которым относятся *электрические и временные ДП*:

- сигналы индикаторов включения тормоза-замедлителя  $S_{Т.З}$
- и селектора переключения передач  $S_{С.П}$ ;
- сигналы датчиков окончания заполнения цилиндра фрикциона  $S_{О.З}$  и обнаружения фрикционов, включенных в данный момент  $S_{О.Ф}$ ;
- время регулирования давления во фрикционе при переключении передач  $t_p$ , с;
- эталонное время буксования фрикционов коробки передач  $t_{Э}$ , с;
- предельное время буксования фрикционов коробки передач  $t_{Г.П}$ , с;
- сигнал индикатора неисправности датчика скорости  $D_v$ ;
- номинальный ток управления пропорциональными электромагнитами фрикционов ГМП  $I_{ном}$ , А;
- напряжение на обмотке электромагнитных клапанов  $U_{эк}$ , В;
- сила тока на обмотке электромагнитных клапанов  $I_{эк}$ , А;
- количество переключений передач  $k_{кп}$  и блокировок ГДТ  $k_{ГДТ}$ ;
- сигнал индикатора уровня масла в баке  $S_6$ ;
- время задержки формирования нового сигнала управления  $t_{зy}$ , с.

Основные *косвенные* и *прогнозируемые* параметры:

- КПД насоса: объемный  $\eta_0$  и полный  $\eta_H$ ;
- полный КПД гидропривода  $\eta_{гп}$ ;
- коэффициент подачи насоса  $K_Q$ ;
- остаточный ресурс ГТ и ее элементов  $t_{ост}$  и  $t_{ост i}$ , ч.

На основе комплекса теоретических и экспериментальных исследований и анализа ТС ГМП должен быть получен перечень допустимых и предельных значений параметров. Для этих целей необходимы специальные исследования [5, 6, 7, 14, 15].

## **Выводы**

При создании систем автоматизированной адаптивной диагностики гидрофицированных трансмиссий легковых автомобилей решаются задачи обоснования и выбора диагностических параметров и критериев качества определения технического состояния. При этом целесообразно проведение комплекса теоретических и экспериментальных исследований по изучению физических свойств ГТ как объекта диагностики с применением математического моделирования для получения предельно допустимых значений диагностических параметров и взаимозависимостей между параметрами диагностирования и критериями оценки, которые затем закладываются в основу алгоритмов оперативной и адаптивной диагностики для бортовых (встроенных в ЛА) и стационарных диагностических систем.

## **Литература**

1. Тарасик В.П. Интеллектуальные системы управления автотранспортными средствами / В.П. Тарасик, С.А. Рынкевич. – Минск: УП «Технопринт», 2004. – 512 с. : ил.
2. Тарасик В.П. Технологии искусственного интеллекта в диагностировании автотранспортных средств / В.П. Тарасик, С.А. Рынкевич. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2007. – 280 с. : ил.
3. Рынкевич, С.А. Новые технологии и проблемы науки на транспорте / С.А. Рынкевич. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2009. – 337 с.: ил.
4. Диагностирование гидромеханических передач мобильных машин / Н.Н. Горбатенко, А.Н. Егоров, В.В. Региня, С.А. Рынкевич, В.П. Тарасик, Г.Л. Антипенко; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. В.П. Тарасика. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2010. – 511 с.: ил.
5. Скойбеда, А.Т. Гидромеханические передачи мобильных машин. Проектирование и диагностика / А.Т. Скойбеда, С.А. Рынкевич. – Могилев: УПКП «Могилев. обл. укруп. типогр. им. С. Соболя», 2014. – 230 с. : ил.
6. Гируцкий, О.И. Развитие конструкций и перспективы автоматических трансмиссий / О.И. Гируцкий, В.П. Тарасик, С.А. Рынкевич // Наука и образование (электронное научн.-технич. издание). – 2014. – №3. – С. 59–94.

7. Рынкевич, С.А. Управление и диагностика мобильных машин на основе бортовой микроэлектроники: этапы и перспективы / С.А. Рынкевич // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2015. – № 3 (44). – С. 57–67.
8. Рынкевич, С.А. Экспериментальные исследования физических свойств гидропривода мобильной машины / С.А. Рынкевич, И.Ю. Хадкевич // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2015. – № 4 (45). – С. 56–67.
9. Рынкевич, С.А. Автоматизация трансмиссий гидрофицированных мобильных машин / С.А. Рынкевич // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2015. – № 4 (45). – С. 68–78.
10. Рынкевич, С.А. Проектирование, эксплуатация и диагностика мобильных машин / С.А. Рынкевич, В.В. Кутузов. – Могилев: Белорус.-Росс. ун-т, 2016. – 223 с. : ил.
11. Рынкевич, С.А. Автоматизация проектирования гидрофицированных строительно-дорожных машин / Кафедра СДПТМиО». История становления и развития». – 21 ноября 2014 г. – С. 101–114.
12. Рынкевич, С.А. Комплексная идентификация технического состояния ГМП / С. А. Рынкевич // Автомобильная промышленность. – 2012. – № 9. – С. 27–31.
13. Тарасик, В.П. Метод оперативного диагностирования гидромеханической передачи автомобиля на режиме гностического пробега / В.П. Тарасик, С.А. Рынкевич // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2011. – № 2 (31). – С. 104–112.
14. Рынкевич С.А. Создание электронных систем управления и диагностирования для мобильных машин // Сборник трудов науч.-метод. конф., посвященной 45-летию Белорусско-Российского ун-та. – Могилев, 2007. – С. 3–7.
15. Тарасик В.П. Проблемы диагностирования автотранспортных средств и пути их решения / В.П. Тарасик, С.А. Рынкевич // Вестник Белорусско-Российского университета. – Могилев, 2007. – №1 (14). – С. 57–66.

**ОЦЕНКА ЕЖЕГОДНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЩЕРБА  
ГОРОДСКИМ ЖИТЕЛЯМ, НАНОСИМОГО  
УВЕЛИЧЕНИЕМ АВТОМОБИЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ  
В НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ**

**ASSESSMENT OF THE ANNUAL ENVIRONMENTAL DAMAGE  
TO URBAN RESIDENTS CAUSED BY THE INCREASE  
IN AUTOMOBILE EMISSIONS IN SETTLEMENTS**

*Врубель Ю.А.*, канд. техн. наук, доц.,  
*Капский Д.В.*, д-р техн. наук, доц.,  
*Коржова А.В.*, маг. техн. наук, инженер,  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Беларусь

*Y. Vrubel*, Ph.D. in Engineering, Associate professor,  
*D. Kapski*, Doctor of technical Sciences, Associate professor,  
*A. Korzhova*, Master of Science (Engineering), researcher,  
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

*В настоящее время негативные аспекты автомобилизации по существу приняли глобальный характер. Поэтому, на сегодняшний момент важно разрабатывать и принимать к исполнению правовые документы, направленные на снижение негативных аспектов, которые влечет быстрый рост количества транспортных средств и интенсивности их использования.*

*Целью данной статьи является оценка числа ежегодно погибающих городских жителей в результате повышенного уровня выбросов вредных веществ от автомобилей из-за неоптимальной организации дорожного движения. Объектом исследования являются уровень автомобилизации и активность использования легкового автомобиля. Предмет исследования – статистические данные.*

*Ключевые слова: автомобилизация, заболеваемость, смертность, фактор риска, регрессионный анализ.*

*Currently, the negative aspects of motorization are essentially global in nature. Therefore, at the moment it is important to develop and adopt legal documents aimed at reducing the negative aspects that lead to a rapid increase in the number of vehicles and the intensity of their use.*

*The purpose of this article is to estimate the number of annually dying urban residents as a result of increased levels of emissions of harmful substances from cars due to the non-optimal organization of traffic. The object of the study is the level of motorization and activity of the use of a car. The subject of the research is statistical data.*

*Key words: motorization, morbidity, mortality, risk factor, regression analysis.*

## **Введение**

Дорожный транспорт, оказывающий обществу до 70 % всего объема транспортного обслуживания, представляет собой огромную социально-производственную систему. В эту систему входят такие подсистемы, как дороги, транспортные средства, автомобильные перевозки, подготовка кадров, организация дорожного движения и др. Дорожное движение, в котором непосредственно производится транспортная услуга, функционально входит в подсистему организации дорожного движения, целью которой является упорядочение процесса движения и повышения его качества. Целью остальных подсистем и звеньев системы дорожного транспорта является создание надлежащих условий для нормального функционирования процесса дорожного движения и минимизации последствий неизбежных издержек этого процесса.

Качество дорожного движения – это совокупное свойство, оценивающее степень соответствия дорожного движения своему назначению. Качество дорожного движения включает такие свойства, как аварийность, экологичность, экономичность и социологичность, а также производительность, надежность и комфортабельность. Как представляется, первые четыре свойства – аварийность, экологичность, экономичность и социологичность – являются главными и в достаточной, хотя и не в полной мере оценивают наиболее важные и востребованные стороны процесса дорожного движения. Остальные свойства – производительность, надежность и комфортабельность, также оценивают важные стороны процесса движения, но не столь

востребованные. Более того, эти свойства в значительной степени реализуются через главные свойства. Например, недостаточная производительность чаще всего проявляется в случаях неоптимального регулирования и, как правило, оценивается совокупностью основных свойств, и лишь крайне редко она проявляется самостоятельно в виде недостаточной пропускной способности. Надежность дорожного движения также проявляется крайне редко – только в случаях природных или техногенных потрясений. Что касается комфортабельности дорожного движения, то она в значительной мере относится к области социальных отношений. В данной работе будут рассматриваться только четыре главные свойства дорожного движения, которые в достаточной (для стандартных задач) степени определяют его качество.

Качество дорожного движения или его отдельных свойств можно оценить по величине потерь в дорожном движении – чем меньше потери, тем выше качество.

*Экологические потери* – это стоимость превышающих минимальные значения выбросов вредных веществ в атмосферу, загрязнения воды и почвы, воздействия шума, вибрации и электромагнитных излучений. Основными причинами повышенного уровня экологических потерь являются: перегрузки отдельных участков улично-дорожной сети; повышенный уровень маневрирования интенсивных потоков, включая торможения, остановки и разгоны; вынужденное снижение скорости и движение на неэкономичных режимах; перепробег в любых его проявлениях; неудовлетворительное техническое состояние транспортных средств и т.д. Даже, казалось бы, такие «полезные» начинания, как понижение установленного предела скорости, установка искусственных препятствий на нагруженных улицах или обязательное включение головного света в дневное время при хорошей видимости, приводят к повышенному расходу топлива и увеличению экологических (не говоря уже об экономических) потерь, что многократно перечеркивает кажущиеся «выигрыши».

В экологических потерях следует различать произведенный и потребленный вред. Одно дело, когда нагруженная городская магистраль проложена через незаселенную, например, промышленно-складскую зону, и совсем другое дело, когда эта же магистраль вплотную примыкает к жилым зданиям, больницам, дет-

ским учреждениям и т.п. Очевидно, при одинаковом произведенном вреде потребленный вред во втором случае будет несопоставимо бóльшим.

Экологические потери характеризуются тем коварным свойством, что их действие отложено во времени на довольно значительный период. В результате, сегодняшнее поколение пожинает плоды экологической деятельности прошлых поколений, а плоды нашей деятельности будут пожинать потомки. Опасность заключается в том, что результаты могут оказаться непредсказуемо страшными, к примеру, исчезновение озонового слоя или генетические изменения в самом человеке.

В общем, здоровье населения обусловлено комплексным воздействием факторов, определяющихся образом жизни человека, состоянием среды его обитания (атмосферного воздуха, воды, почвы, уровня благосостояния общества и др.), наследственностью, состоянием здравоохранения [1, 8, 9]. Факторы, потенциально опасные для здоровья человека и способствующие возникновению заболеваний, называются факторами риска. Классификация факторов риска представлена в таблице 1.

Автомобилизация – процесс, ведущий к возникновению и (или) росту влияния двух из перечисленных в таблице 1 факторов риска – содержание опасных соединений в атмосферном воздухе и снижение физической активности. В данной статье рассмотрены именно эти факторы риска.

В «Концепции обеспечения безопасности дорожного движения в Республике Беларусь» [12], разработанной согласно Указу Президента Республики Беларусь № 551 от 28 ноября 2005 года и утвержденной Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 14 июня 2006 г. № 757, указано, что дорожное движение содержит не одну, а четыре основные угрозы – аварийную, экологическую, социальную и экономическую. Повышение качества дорожного движения подразумевает снижение потерь во всех видах опасности, но никак не снижение потерь в одном виде за счет многократного их увеличения в других видах. Более того, установлено, что применение искусственных неровностей в исторических трендах снижения аварийности не обеспечило [10,11,13].

Таблица 1 – Классификация факторов риска [1]

Факторы риска	Социально-экономические	Низкий уровень благосостояния; неблагоприятные условия труда; семейно-бытовые проблемы
	Социально-биологические	Отягощенная наследственность; психологическая дезадаптация; перенесенные заболевания
	Социально-гигиенические	Вредные привычки; несбалансированное питание; низкая физическая активность; нерациональный режим труда и отдыха; низкий уровень медицинской грамотности
	Эколого-гигиенические	Содержание опасных соединений в воде; неблагоприятные климатические условия; содержание опасных соединений в почве; содержание опасных соединений в пищевых продуктах; содержание опасных соединений в атмосферном воздухе
	Медико-организационные	Низкий уровень квалификации персонала; несоответствие медицинских услуг стандартам; низкий уровень доступности и качества помощи; низкий уровень медицинской активности пациентов

Качество дорожного движения, которое определяется совокупностью его основных свойств – безопасности (аварийности), экологичности, экономичности и социологичности, должно оцениваться комплексно, с учетом всех составляющих, особенно экологического воздействия, которое так отсрочено и опосредованно действует на участников дорожного движения – все население страны. Если не использовать критерий «потери», то качество каждого из этих свойств определяется отдельно по своим частным оценочным критериям, которые несовместимы для разных свойств, что сильно затрудняет оценку совокупного (по всем основным свойствам) качества дорожного движения.

## 1. Общие положения

Целью «Оценки» является информирование о масштабах одного из подвидов экологических потерь из-за игнорирования существующей ОДД экологической угрозы. Поскольку экологические потери, из-за увеличения «тесноты» и ухудшения режима движения, увеличиваются, по нарастающей, немного быстрее роста числа автомобилей, то отношение ОДД к экологии, в какой-то мере допустимое еще несколько десятилетий назад, при 50 авт./1000 жителей, совершенно неприемлемо сегодня, при уровне порядка 400 авт./1000 жителей, поскольку уже реально угрожает здоровью нации.

Сначала, по данным ЕС, будет определена доля городских жителей, ежегодно умирающих от болезней, связанных с экологией. Затем по этой доле будет оценено число городских жителей Беларуси, ежегодно умирающих от болезней, связанных с автомобильными выбросами в городах, в начале и конце исследуемого 10-летнего периода (с 2006 по 2016 гг.), *без учета* увеличения объема выбросов исключительно по вине ОДД. Затем будет оценена доля увеличения выбросов исключительно по вине ОДД в общем объеме увеличения выбросов за исследуемый 10-летний период. Наконец, будет оценено число горожан, ежегодно умирающих из-за увеличения автомобильных выбросов в городах исключительно по вине ОДД и сделано сравнение его с числом спасенных в «городских» авариях.

## **2. Оценка доли горожан, ежегодно умирающих от «экологических» болезней (по данным европейского союза)**

Исходные данные:

– число людей, ежегодно умирающих в ЕС от «экологических» болезней.....	400·10 <sup>3</sup>
– население ЕС.....	502·10 <sup>6</sup>
– продолжительность жизни.....	80
– число городских жителей.....	380·10 <sup>6</sup>
– принято, что доля городских жителей, умирающих от «экологических» болезней, в 2 раза, больше, чем эта доля сельских жителей	

$$\Delta_3 = 400 \cdot 10^3 : [(380 \cdot 10^6 + 61 \cdot 10^6) : 80] = 0,072.$$

## **3. Оценка числа городских жителей Беларуси, ежегодно умирающих от автомобильных выбросов в городах без учета увеличения объема этих выбросов по вине ОДД**

Исходные данные:

– население Беларуси.....	9 680 000
– продолжительность жизни .....	73
– доля городских жителей .....	0,763
– доля автомобильных выбросов в экологическом загрязнении городов.....	0,5
– увеличение числа автомобилей за рассматриваемый период (10 лет).....	1,5

$$N_{e2007} = 9\,680\,000 : 73 \cdot 0,763 \cdot 0,072 \cdot 0,5 = 3642;$$

$$N_{e2016} = 3642 \cdot 1,5 = 5463.$$

#### **4. Оценка доли увеличения объема автомобильных выбросов в городах за исследуемый период по вине ОДД**

Объем выбросов автомобиля, при прочих равных условиях, зависит от объема сжигаемого топлива, качества его сгорания и продолжительности нахождения автомобиля на исследуемом участке. Эти факторы определяются режимом движения, включающим скорость и равномерность движения, наличие торможений, остановок, простоев и разгонов. Относительный (по отношению к условной 1) объем выбросов оценивается коэффициентом  $K_{mv}$ , который показывает, во сколько раз исследуемый объем выбросов отличается от эталонного, равного 1. В качестве эталона принят объем выбросов при равномерном движении автомобиля со скоростью 60 км/ч (16,67 м/с) с расходом топлива 1 см<sup>3</sup>/с (3,6 л/ч или 6 л/100 км) и идеальном сгорании топлива, оцениваемом 1. При простое автомобиля с работающим двигателем удельный расход топлива принят равным 0,278 см<sup>3</sup>/с (1 л/ч), а при разгоне – 1,5 см<sup>3</sup>/с (5,4 л/ч). В результате, при простое автомобиля с работающим двигателем удельный объем выбросов равен  $K^0_{mVn} = 0,278 \times 2,5 = 0,7$ , а при разгоне –  $K^0_{mVn} = 1,5 \times 2,5 = 3,75$ . Поскольку торможение может осуществляться тормозной системой ( $K^0_{mVn} = 1$ ), накатом ( $K^0_{mVn} \approx 0,7$ ) или двигателем ( $K^0_{mVn} > 1$ ), то принято, что  $K^0_{mVn} = 1$ .

Используя эти исходные данные и некоторые допущения, ниже приведены значения коэффициентов  $K_{mv}$ , с учетом времени нахождения автомобиля на исследуемом участке, для типовых объектов городской улично-дорожной сети, а также возможные способы их снижения.

***Регулируемый перекресток без поворотных потоков, или пешеходный переход на нагруженных улицах без координации.***

Режим: остановка – простой 5 с – разгон до скорости 60 км/ч при ускорении 3 м/с<sup>2</sup> (продолжительностью 5,55с).

$K_{mv} = 8,7$ ; снижение до минимума ( $K_{mv} = 1$ ) достигается действенной координацией.

**Регулируемый перекресток с поворотным движением (20 %) на нагруженных улицах без координации.**

Режим движения поворотных потоков: остановка и простой 5 с перед стоп-линией – разгон – перемещение – остановка и простой 20 с перед главным встречным потоком (для левого поворота), и перед пешеходами (для правого поворота).

$K_{mV} = 10,2$ ; снижается до  $K_{mV} = 1,6$  действенной координацией.

**Пешеходный переход со светофорным регулированием типа «Выбор».**

Устанавливается на ненагруженных улицах, работает в режиме желтого мигания; пешеход, в зависимости от обстановки, имеет право выбора режима перехода – либо без задержки, в нерегулируемом режиме, на желтый мигающий сигнал, либо, после нажатия кнопки, с задержкой порядка 8 с – на зеленый (а транспорту – красный) сигнал. Режим движения: остановка – простой 8 с – разгон до 60 км/ч; вероятность остановки – 0,15.

$K_{mV} = 1,4$ .

**Регулируемый пешеходный переход с пешеходно-вызывным устройством (ПВУ).**

Режим движения: остановка – простой 13 с – разгон до 60 км/ч; вероятность остановки – 0,2.

$K_{mV} = 2,1$ .

На нагруженных улицах снижение до  $K_{mV} = 1$  достигается действенной координацией; на ненагруженных улицах снижение до  $K_{mV} = 1,4$  возможно путем перехода на регулирование типа «Выбор».

**Искусственная неровность перед пешеходным переходом.**

Режимы движения:

1 – на переходе имеются пешеходы: торможение – остановка и простой 10 с – разгон до скорости 20 км/ч – проезд препятствия на этой скорости – разгон до скорости 60 км/ч. Вероятность режима – 0,2.  $K_{mV} = 7,0$ .

2 – на переходе нет пешеходов: торможение до 20 км/ч – переезд препятствия на этой скорости – разгон до скорости 60 км/ч. Вероятность режима – 0,8.  $K_{mV} = 5,4$ .

$$K_{mV\text{ИИИ}} = 7,0 \times 0,2 + 5,4 \times 0,8 = 5,7.$$

Уменьшение выбросов до  $K_{mv} = 1$  возможно на нагруженных улицах путем организации регулируемого пешеходного перехода с включением его в систему координации. На ненагруженных улицах уменьшение выбросов до  $K_{mv} = 1,5 \div 2$  может быть достигнуто организацией регулируемых пешеходных переходов с ПВУ или типа «Выбор». На всех нерегулируемых пешеходных переходах водители и, особенно, пешеходы нуждаются в игнорируемой ОДД технической и правовой помощи для оценки опасности конфликта транспорт – пешеход.

#### ***Уличные заторы (пробки).***

Режим движения (условный): простой транспорта на нескольких перегонах до заторообразующего перекрестка в течение времени горения на нем запрещающего сигнала – разгон и движение со скоростью порядка  $20 \div 30$  км/ч в течение времени горения разрешающего сигнала на заторообразующем перекрестке с последующим повторением приведенного цикла. Средняя скорость движения находится в пределах  $10 \div 15$  км/ч.

$K_{mv} \approx 10$  (см.; приложение 3а, п. 5).

Заторы устраняются путем организации гибкого координированного регулирования, увеличения пропускной способности на критических перекрестках в «заторовом» направлении и т.д.

#### ***Неравномерность движения на нагруженных улицах.***

Она характеризует общий уровень ОДД, включая экологию. В приложении 3а на рис. 1–4 показана неравномерность движения на нагруженных улицах г. Минска. Значения коэффициента  $K_{mv}$ , определенных по графику на рис. 5, находятся в пределах от 7,5 при средней скорости 19 км/ч, до 2,5 при средней скорости 42 км/ч. Средние значения:  $K_{mv} = 5$  при скорости  $V_{cp} = 30$  км/ч.

Таким образом, по вине ОДД, средняя скорость движения 30 км/ч является явно заниженной, а средний уровень выбросов  $K_{mv} = 5$ , для наших современных, послевоенных улиц, явно завышен. Тем более, что даже при существующей ОДД мы имеем пример увеличения почти в 1,5 раза (до 42 км/ч) средней скорости, при снижении в два раза (до  $K_{mv} = 2,5$ ) уровня выбросов. Это говорит о больших возможностях и реальности снижения уровня автомобильных выбросов в наших городах методами ОДД.

### ***Оценка доли дополнительных выбросов по вине ОДД.***

Из приведенного следует, что объем автомобильных выбросов на наших нагруженных улицах, на которые приходится более 70 % объема городского автомобильного движения, относительно большой,  $K_{mv} = 5$ , и имеются реальные возможности его снижения в 2 раза. К сожалению, существующая ОДД игнорирует экологию и не использует эти возможности, что приводит к невынужденным потерям. Однако, эта ситуация является типовой и, в той или иной мере, учтена при определении доли горожан, умирающих от экологических проблем,  $\Delta_3 = 7,2$ .

Здесь же, для целей данной «Оценки» рассматриваются «дополнительные» выбросы по вине ОДД, которые, очевидно, не были учтены при определении  $\Delta_3$ .

1 – опережающее увеличение объема выбросов при увеличении количества автомобилей. Это происходит потому, что на улицах становится «теснее» и заметно ухудшаются режимы движения, что дополнительно увеличивает объем выбросов. Темпы увеличения выбросов зависят от загрузки улиц – чем выше загрузка, тем больше увеличиваются выбросы. Для наших улиц с загрузкой, приближающейся к высокой, увеличение выбросов, по оценкам, находится в пределах 15 %.

2 – использование в целях снижения числа погибших в «городских» авариях антиэкологических методов и приемов. Речь идет о преднамеренном ухудшении режимов движения, в т.ч. и установкой около 6 тысяч антисоциальных, экономических и экологических искусственных неровностей, каждая из которых в 80 % времени абсолютно бессмысленно (пешеходов нет) увеличивает выбросы в 5,4 раза. Доля этих выбросов в общем объеме составляет, по оценкам, 10–15%.

3 – нечеткая формулировка и неправильное толкование разрешения нерегулируемого конфликта транспорт-пешеход заставляет водителя невынужденно останавливаться с последующим разгоном, что увеличивает выбросы в 4 раза. Этот и другие, не рассматриваемые здесь источники дополнительных выбросов оцениваются величиной порядка 5 %.

В сумме, дополнительные выбросы, по оценкам, составляют около 30–35 %. В качестве расчетного принято увеличение выбросов на 25 %.

В этом случае, число горожан, ежегодно умирающих из-за «дополнительных» выбросов по вине ОДД равно:

$$N_{e\ 2016\ доп.} = 5\ 463 \times 0,25 = 1365.$$

Это значит, что за каждого человека из 370, спасенных в «городских» авариях, кроме больших социальных и экономических потерь, мы платим жизнью 3-х горожан, умирающих от «экологических» болезней из-за увеличения выбросов по вине ОДД, что неприемлемо.

В данной статье на основе статистических данных выполнена оценка числа погибающих ежегодно городских жителей в результате недостатков в организации дорожного движения, которые вызывают повышение уровня выбросов вредных веществ в ареалах обитания. Такие результаты позволяет констатировать целесообразность признания проблемы автомобилизации и разработки на государственном уровне целенаправленной стратегии по сдерживанию роста автомобилизации и степени использования автомобилей, особенно в городах, а также мероприятий, повышающих качество дорожного движения методами его организации (введение координированного регулирования, адаптивного управления движением, оптимизацию (приоритезацию) движения маршрутного пассажирского транспорта и пр.).

Необходимо разработать такие модели, которые учитывали бы экономическую и социальную составляющие экологического ущерба, зависящие от объема ВВП, учитывающие реальные и возможные страховые выплаты, время не трудоспособности граждан, смертность по причине экологического воздействия и т.д. Необходимо определять фактические и тем более прогнозируемые общие издержки процесса движения, включая вынужденные и невынужденные. Для этого должны быть разработаны действенные методики экспериментального определения (измерения) и прогнозирования всех издержек во всех четырех основных свойствах дорожного движения. При этом серьезную проблему представляет сбор и первичная обработка исходных данных, что обусловлено особенностями процесса дорожного движения – массовостью, рассредоточенностью, неравномерностью, непрерывностью и т.д.

Необходимо осуществить выбор критериев, разделяющих фактические издержки на вынужденные и невынужденные. Например, из

чего исходить при определении потерь от выбросов вредных веществ в атмосферу, если минимальные выбросы имеют место при скорости потока порядка 60–70 км/ч, а разрешенная скорость на загородных дорогах составляет 90 км/ч и на автомагистралях – 120 км/ч.

Имеются сложности с определением социально-экономической стоимости издержек, особенно имеющих значимую социальную составляющую. В первую очередь это относится к аварийным и экологическим потерям. Следует проводить исследования с точки зрения разработки моделей определения социальных составляющих экологических потерь.

## Литература

1. Факторы, влияющие на здоровье населения. Классификация. Заболевания, связанные с факторами риска [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.studfiles.ru/preview/2548073/>. Дата доступа 08.03.17.

2. Физическая активность и здоровье в Европе / Публикация // Всемирная организация здравоохранения. Европа; Под редакцией: Nick Cavill, Sonja Kahlmeier и Francesca Racioppi. Дания, 42 с.

3. Загрязнение автотранспортом окружающей среды [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ustroistvo-avtomobilya.ru/sistemy-snizheniya-toksichnosti/zagryaznenie-avtotransportom>. Дата доступа 7.03.17.

4. Здоровье и население Республике Беларусь / Статистический сборник // Национальный статистический комитет Республики Беларусь; редкол.: В.И. Зиновский [и др.]. – Минск (2014), 218 с.

5. Данные о сети, кадрах организаций здравоохранения и заболеваемости населения в Республике Беларусь: Статистический бюллетень. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск (2016), 51 с.

6. Транспорт и связь в Республике Беларусь: Статистический сборник. Национальный статистический комитет Республики Беларусь; редкол.: И.В. Медведева [и др.]. Минск (2016), 115 с.

7. Энергетическая статистика [Электронный ресурс] Национальный статистический комитет Республики Беларусь. Гомель, 2016. Режим доступа: [http://belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/otrasl-statistiki/energeticheskaya-statistika/operativnye-dannye\\_3/potreblenie-](http://belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/otrasl-statistiki/energeticheskaya-statistika/operativnye-dannye_3/potreblenie-)

toplivno-energeticheskikh-resursov-naseleniem/. Дата доступа: 01.05.2014.

8. Названа причина преждевременной смерти сотен тысяч европейцев в год [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://42.tut.by/564454>. Дата доступа 13.09.17.

9. Врубель Ю. А. Водителю о дорожном движении: пособие для слушателей учебного центра подготовки, повышения квалификации переподготовки кадров автотракторного факультета / Ю. А. Врубель, Д. В. Капский. – 3-е изд., дораб. – Минск: БНТУ, 2010. – 139 с.

10. Врубель Ю. А. Потери в дорожном движении: монография / Ю. А. Врубель. – Минск: БНТУ, 2003. – 380 с.

11. Врубель Ю. А. Определение потерь в дорожном движении: монография / Ю. А. Врубель, Д. В. Капский, Е. Н. Кот. – Минск: БНТУ, 2006. – 240 с.

12. Об утверждении Концепции обеспечения безопасности дорожного движения в Республике Беларусь: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 14 июня 2006г., №757 // Национальный реестр правовых актов Респ. Беларусь. –2006. – № 5/22459.

13. Врубель Ю. А. Опасности в дорожном движении: монография / Ю. А. Врубель, Д.В. Капский. – Москва: Новое Знание, 2013. – 244 с.

**О ПРОБЛЕМАХ УГОЛОВНОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ  
ЗА НАРУШЕНИЯ ПРАВИЛ ЭКСПЛУАТАЦИИ  
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ, БЕЗОПАСНОЙ РАБОТЫ  
ТРАНСПОРТА И ПРАВИЛ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ**

**ABOUT PROBLEMS OF CRIMINAL RESPONSIBILITY  
FOR VIOLATIONS OF THE RULES OF OPERATION  
OF VEHICLES SAFE OPERATION OF TRANSPORT  
AND TRAFFIC RULES**

*Музыченко П.Б.*, канд. юрид. наук, доц., *Богунова Г.В.*, ст. препод.,  
Тихоокеанский государственный университет,  
г. Хабаровск, Российская Федерация

*P. Muzychenko*, Ph. D. in judicial Sciences, Associate professor,  
*G. Bogunova*, senior lecturer,  
Pacific national University, Khabarovsk, Russian Federation

*В Российской Федерации всегда уделялось и уделяется значительное внимание проблемам дорожной безопасности. Большая протяженность автомобильных дорог, огромное количество транспортных средств в стране приводит к большому количеству дорожно-транспортных происшествий, часть из которых, к сожалению, являются последствиями преступного пренебрежения правилами дорожного движения. В статье рассматривается юридический анализ составов преступлений, предусмотренных статьями 263.1 УК РФ – нарушение требований в области транспортной безопасности, 264 УК РФ – нарушение лицом, управляющим автомобилем, трамваем либо другим механическим транспортным средством, правил дорожного движения или эксплуатации транспортных средств и ст. 268 УК РФ – нарушение правил, обеспечивающих безопасную работу транспорта, а также вопрос о повышении уголовной ответственности пешеходов, которые как показывает практика нередко являются виновниками дорожно-транспортных происшествий.*

*Ключевые слова:* транспортные средства, безопасность движения транспорта; нарушение правил, обеспечивающих безопасную работу транспорта; требования в области транспортной безопасности, участники движения; эксплуатация транспорта, уголовная ответственность.

*In the Russian Federation, considerable attention has always been paid to the problems of road safety. A large length of roads, a huge number of vehicles in the country leads to a large number of road accidents, some of which, unfortunately, are the consequences of criminal neglect of traffic rules. The article deals with the legal analysis of the crimes under articles 263.1 of the criminal code-violation of the requirements in the field of transport security, 264 of the criminal code - violation by a person driving a car, tram or other motor vehicle, traffic rules or operation of vehicles and article 268 of the criminal code – violation of the rules ensuring the safe operation of transport, as well as the issue of increasing the criminal liability of pedestrians, which, as practice, are often the perpetrators of road accidents.*

*Keywords:* vehicles, traffic safety; violation of the rules ensuring the safe operation of transport; requirements in the field of transport security, traffic participants; operation of transport, criminal liability/

В Российской Федерации всегда уделялось и уделяется значительное внимание проблемам дорожной безопасности. Большая протяженность автомобильных дорог, огромное количество транспортных средств в стране приводит к большому количеству дорожно-транспортных происшествий, часть из которых, к сожалению, являются последствиями преступного пренебрежения правилами дорожного движения. А сам транспорт при неправильной эксплуатации или несоблюдении правил дорожного движения, является источником тяжелых травм, а также трагических последствий. Гражданский кодекс Российской Федерации в статье № 1079 признает использование транспортных средств деятельностью, создающей повышенную опасность [1]. Однако, что же является деятельностью, создающей повышенную опасность при использовании транспортных средств? И что такое транспортное средство как источник повышенной опас-

ности? Ведь это главные вопросы при квалификации деяний, предусмотренных Кодексом об административных правонарушениях [2] и Уголовным Кодексом Российской Федерации [3].

Подробный правовой анализ этих правовых категорий провел ученый Баландин В.С., который он приводит в своей статье «Транспортное средство как источник повышенной опасности» [4]. По его мнению, ответить на данные вопросы должен анализ мнений ученых по правильному толкованию источника повышенной опасности.

Проблема понятия источника повышенной опасности в юридической литературе до настоящего времени остается спорной. Продолжаются споры о том, что является источником повышенной опасности: либо это свойства предметов и сил природы, либо это объекты, обладающие особыми свойствами, которые создают повышенную опасность для окружающих, либо это люди и их деятельность, связанная с эксплуатацией источников повышенной опасности. Эта неопределенность наглядно видна при анализе ст. 1079 ГК РФ.

Федеральным законом «О безопасности дорожного движения» в статье 2 приводится понятие «транспортное средство» как устройство, предназначенное для перевозки по дорогам людей, грузов или оборудования, установленного на нем [5].

«Автомобиль, являясь сложным техническим устройством, представляет собой комплексный источник повышенной опасности независимо от того, движется он или нет», именно такую формулировку предлагают ученые С.Н. Абрамов и А.Ф. Попов [6]. Они обосновывают эту формулировку наличием в автомобиле вредных химических веществ, таких как бензин, масло, щелочь и др. Как они обосновывают вполне возможно вытекание этих веществ и причинение вреда как здоровью окружающих, так и окружающей среде, а также возможности воспламенения бензина с тяжкими последствиями.

Можно согласиться с выводом, что в силу обладания комплексом вредоносных свойств транспортное средство представляет повышенную опасность как находясь в движении, так и в неподвижном состоянии, то оно должно быть признано источником повышенной опасности. Возникают сомнения только насчет велосипеда или гужевой повозки. Здесь предлагается данные вопросы решать судом по конкретному уголовному делу, на основе заключений технических экс-

пертиз. Вопрос о признании источником повышенной опасности неподвижного транспортного средства должен решаться по свойствам автомобиля, которые стали причиной вреда.

Мы согласны с Баландиным В.С., который указывает, что при анализе понятийного аппарата источника повышенной опасности, включая транспортные средства, можно сформулировать следующее определение: источник повышенной опасности — это устройство для перевозки людей либо грузов, которое в движении проявляет вредоносные свойства, не контролируемые человеком, а также в неподвижном состоянии из-за наличия в нем опасных веществ. Данная формулировка позволяет более точно квалифицировать правоотношения, возникающие в результате причинения вреда транспортным средством, как правило, в результате ДТП, с точки зрения реализации норм ГК РФ [4].

Официальные статистические данные за 2014–2016 гг., имеющиеся в Генеральной прокуратуре Российской Федерации [7], свидетельствуют о сокращении на 22 % за последние три года преступлений, предусмотренных статьей 264 УК РФ (нарушение правил дорожного движения и эксплуатации транспортных средств). Отрицательная динамика отмечается и в 2017 г. (-6,6 %).

Всего таких деяний было зарегистрировано: в 2014 г. – 28 437, в 2015 г. – 26 662, в 2016 г. – 22 013. От преступлений, связанных с нарушением правил дорожного движения, за последние полтора года пострадало 37 тыс. человек, в том числе почти 16 тыс. женщин, 7,8 тыс. пожилых граждан, 3,8 тыс. несовершеннолетних. Свыше 22 тыс. лиц был причинен тяжкий вред здоровью, а в 13,3 тыс. случаях в результате совершения таких преступлений наступила смерть.

В прошлом году на долю последствий преступного пренебрежения правилами дорожного движения приходился почти каждый третий погибший (31,4 %) от всех уголовно-наказуемых деяний, а их общее количество сопоставимо с жертвами убийств (9,6 тыс.). В текущем году ситуация кардинально не поменялась [7].

Транспортная безопасность - одна из важнейших социальных проблем в современном обществе. Научно-технический процесс непосредственно связан с развитием транспорта, транспортной инфраструктуры. Политика обеспечения транспортной безопасности Российской Федерации основывается на соблюдении Конституции [8] и

законодательства Российской Федерации, общепризнанных принципов и норм международного права. Решение и меры, принимаемые органами государственной власти в области укрепления транспортной безопасности должны быть понятны каждому гражданину, носить упреждающий характер, обеспечивать равенство всех перед законом и неотвратимость ответственности, кроме того они должны опираться на широкую поддержку общества.

3 февраля 2014 года Федеральным законом № 15-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам обеспечения транспортной безопасности» [9] в Уголовный Кодекс Российской Федерации была введена новая статья 263.1 – нарушение требований в области транспортной безопасности, предусматривающая санкции за нарушения требований транспортной безопасности. Федеральный закон от 9 февраля 2007 г. № 16-ФЗ «О транспортной безопасности» является основным нормативно правовым актом, регламентирующим данную статью [10]. Все основные понятия, касающиеся транспортной безопасности раскрыты в данном законе.

Состав преступления состоит из двух частей, так в первой части – это неисполнение требований по соблюдению транспортной безопасности на объектах транспортной инфраструктуры и транспортных средствах, а во второй части, это неисполнение требований по обеспечению транспортной безопасности объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств, лицом, ответственным за обеспечение транспортной безопасности.

Объектом этого преступления является нарушение требований транспортной безопасности. Данный термин раскрыт в Федеральном законе «О транспортной безопасности» от 9 февраля 2007 г. № 16-ФЗ [10]. Он означает состояние защищенности объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств от актов незаконного вмешательства. Данный термин рассматривается в четырех направлениях:

1. Требования по обеспечению транспортной безопасности по видам транспорта, в том числе требования к антитеррористической защищенности объектов (территорий), учитывающие уровни безопасности.

2. Требования по обеспечению транспортной безопасности объектов транспортной инфраструктуры по видам транспорта на этапе их проектирования и строительства.

3. Требования по обеспечению транспортной безопасности объектов (зданий, строений, сооружений), не являющихся объектами транспортной инфраструктуры и расположенных на земельных участках, прилегающих к объектам транспортной инфраструктуры и отнесенных в соответствии с земельным законодательством Российской Федерации к охраняемым зонам земель транспорта, учитывающие уровни безопасности.

4. Требования по соблюдению транспортной безопасности для физических лиц, следующих либо находящихся на объектах транспортной инфраструктуры или транспортных средствах, по видам транспорта.

Все данные требования устанавливаются Правительством Российской Федерации и обязательны к выполнению физическими и юридическими лицами, при обеспечении транспортной безопасности.

Объективная сторона преступления может быть выражена как в форме действия, так и бездействия.

Субъектом выступает вменяемое физическое лицо, достигшее возраста 16 лет, которое находится на объекте транспортной инфраструктуры и обязано соблюдать требования в области транспортной безопасности. Законодатель предусматривает лишь неосторожную форму вины.

Установление субъективной стороны очень важно и для установления объективной стороны преступления. Так как действие или бездействие признается преступным лишь тогда, когда поведение находится под контролем воли и сознания лица его совершающего. Поэтому в объективную сторону включаются только те вредные последствия, которые виновный предвидел или в отдельных случаях должен и мог предвидеть, другими словами, те последствия, которые охватывались умыслом или неосторожностью виновного. Субъективная сторона рассматриваемого преступления характеризуется тем, что в силу прямого указания в законе по отношению к названному в ст. 263.1 УК РФ последствиям может быть только неосторожная форма вины. И это является непонятным, при квалификации

умышленной формы вины. При преступной неосторожности виновный сознает, что не исполняет требования по обеспечению транспортной безопасности на объектах транспортной инфраструктуры и транспортных средствах, предвидит возможность наступления указанных в диспозиции ст. 263.1 УК РФ последствий своего деяния, но без достаточных оснований рассчитывает на их предотвращение либо не предвидит возможность наступления таких последствий своего деяния, хотя при необходимой внимательности и предусмотрительности должен был и мог их предвидеть.

Для квалификации преступления необходимо наступление причинения тяжкого вреда здоровью, или крупного ущерба. Крупным ущербом признается ущерб, сумма которого превышает один миллион рублей. За деяние не имеющие тяжкого вреда здоровью, или крупного ущерба наступает административная ответственность по статье 11.15.1. КоАП РФ «Нарушение требований в области транспортной безопасности» [2]. Законодатель не раскрывает состав правонарушения, а лишь поясняет, что административная ответственность наступает, в случае, если действия или бездействия по соблюдению и обеспечению транспортной безопасности не содержат признаков преступления.

Статья 264 УК РФ устанавливает уголовную ответственность за нарушение лицом, управляющим автомобилем, трамваем либо другим механическим транспортным средством, правил дорожного движения или эксплуатации транспортных средств, повлекшее по неосторожности причинение тяжкого вреда здоровью человека или смерть человека [3].

Предметом преступления являются механические транспортные средства. Механические транспортные средства должны быть самоходными, т.е. иметь автомобильный двигатель. К ним относятся автомобили, автобусы, троллейбусы, трамваи, мотоциклы, квадроциклы, мопеды, иные транспортные средства, на управление которыми в соответствии с законодательством Российской Федерации о безопасности дорожного движения предоставляется специально право, а также тракторы, самоходные дорожно-строительные и иные самоходные машины [11].

В связи с новыми изменениями ПДД от 8 ноября 2017 года к механическим транспортным средствам относят «мопеды». «Мопед» –

двух- или трёхколесное механическое транспортное средство, максимальная конструктивная скорость которого не превышает 50 км/ч, имеющее двигатель внутреннего сгорания с рабочим объемом, не превышающим 50 куб. см, или электродвигатель номинальной максимальной мощностью в режиме длительной нагрузки более 0,25 кВт и менее 4 кВт [12].

Ответственность по статье 264 УК РФ наступает при условии, если на момент управления транспортным средством в состоянии опьянения водитель является лицом, подвергнутым административному наказанию по части 1 или 3 статьи 12.8 КоАП РФ за управление транспортным средством в состоянии опьянения или по статье 12.26 КоАП РФ [2] за невыполнение законного требования уполномоченного должностного лица о прохождении медицинского освидетельствования на состояние опьянения либо имеет судимость за совершенные преступления, предусмотренные частями 2, 4 или 6 статьи 264 УК РФ.

Не имеет значения для привлечения виновного к уголовной ответственности лишение ранее прав на управление транспортным средством или отсутствие водительского удостоверения. Нарушение правил безопасности движения заключается в несоблюдении очередности проезда перекрестков, в неподчинении сигналам светофора или жестам регулировщика, в превышении скорости, в выезде на встречную полосу движения, нарушениях при неправильном обгоне, в несоблюдении требований дорожных знаков, а также при нарушениях правил эксплуатации транспортных средств, которые могут выражаться в перевозке пассажиров на необорудованном транспортном средстве, передаче управления ненадлежащему лицу, перевозке негабаритных грузов. [11].

Следует обратить внимание на то, что при нарушении лицом, управляющим автомобилем, трамваем либо другим механическим транспортным средством, правил дорожного движения или эксплуатации транспортных средств, повлекшее по неосторожности причинение среднего вреда здоровью человека, законодатель предусматривает не уголовную ответственность, а административную ответственность. По нашему мнению, законодателю необходимо увеличить меру наказания, то есть водитель, управляющий транспортным средством при причинении среднего вреда здоровью должен нести уголовную ответственность.

Если говорить в целом о значении статьи 264 УК РФ, то она, прежде всего, направлена на охрану безопасности дорожного движения, и, в первую очередь, на охрану жизни человека.

Однако, по нашему мнению, необходимо в часть 1 статьи 264 внести изменения, дополнив ее следующими положениями:

1. Указать средний и тяжелый вред здоровью человека
2. Указать слово «мопед» – как транспортное механическое средство
3. Усилить ответственность водителей за наезд на пешеходов.

Согласно статье 268 УК РФ «Нарушения правил, обеспечивающих безопасную работу транспорта», общественная опасность таких деяний заключается в том, что они как правило причиняют телесные повреждения людям, влекут их гибель и причиняют крупный материальный ущерб.

Общим и родовым объектом данного преступления выступают общественные отношения, охраняемые государством в сфере охраны общественной безопасности и общественного порядка. Безопасность движения и эксплуатации транспорта является непосредственным объектом данного преступления. Она обеспечивается соблюдением правил, обеспечивающих безопасную работу транспорта, как лицами, ответственными за вождение и эксплуатацию транспорта, так и другими участниками движения. Дополнительным объектом могут быть жизнь и здоровье людей.

Ответственность иных лиц, нарушающих правила, обеспечивающие безопасную работу транспорта, также регламентируется в статье 268 УК РФ. При этом нарушение данных правил не увязывается с видом транспортных средств. Это может быть железнодорожный, воздушный, автомобильный, водный транспорт.

Суть таких преступлений заключается в искусственных барьерах, создаваемых лицами, не управляющими транспортными средствами, но отвечающими за безопасность их работы. Поэтому преступлением не может быть сама эксплуатация неисправных автомобилей, лодок, несоблюдении водителями правил проезда, маневрирования, при управлении автомобильным транспортом или плавающим средством в состоянии опьянения и т.д. В данных случаях квалификация деяния зависит от ситуации и от его правового положения, либо лицо привлекается к ответственности по ст. 263 УК РФ, если он является

работником транспорта, обязанным соблюдать правила безопасности в силу выполняемой работы, либо по статьям о преступлениях против личности или собственности, если он не является таковым.

Объективная сторона анализируемого преступления выражается в форме действия либо бездействия.

Обязательными признаками объективной стороны являются последствия нарушения правил безопасности движения или эксплуатации транспортных средств, а также причинная связь с указанным деянием и последствиями: причинение по неосторожности тяжкого вреда здоровью человека (ч. 1 ст. 268 УК РФ), повлекшие по неосторожности смерти человека (ч. 2 ст. 268 УК РФ) или двух и более лиц (ч. 3 ст. 268 УК РФ).

Большинство посягательств совершается пешеходами в сфере безопасности дорожного движения путем действия. Среди пешеходов наиболее часто встречающимися нарушениями, имеющими тяжкие последствия, являются переход проезжей части вне пешеходного перехода и в неустановленном месте, переход дороги в опасной близости перед движущимся транспортным средством, игнорирование сигналов светофора, нетрезвое состояние и т.д. Кроме того много случаев нарушений пешеходами Правил дорожного движения путем бездействия. В качестве примеров можно привести ситуации, когда пешеходы, создавая опасную ситуацию просто стоят посередине дороги и разговаривают, или в нетрезвом состоянии лежат на проезжей части дороги и т.п.

Субъективная сторона преступления характеризуется виной в форме неосторожности в виде легкомыслия или небрежности.

Мотивы и цели, лежащие в основе поведения нарушителя, могут быть самыми различными – от хулиганской выходки (пробежать дорогу на спор перед близко идущим транспортом, как это нередко делают дети и подростки), так и до самых благородных – спасти жизнь человеку. Мотивы и цели могут быть учтены в определенных случаях в качестве обстоятельств, смягчающих наказание.

В данном преступлении субъектом является вменяемое физическое лицо, возрастом 16-и лет, и, обязательно, участвующее в движении транспортных средств. Им может быть погонщик скота, водитель, пассажир пешеход, велосипедист и т.д. При этом не исключается уголовная ответственность лиц, управляющих гужевым транс-

портом. Действия водителя гужевого транспорта должны быть квалифицированы по данной статье лишь при условии нарушения, которое привело к ДТП с механическим транспортным средством. В других случаях по ст. 268 УК РФ его ответственность (например, наезд на пешехода) исключается.

Рассматривая вопрос о повышении уголовной ответственности пешеходов можно сделать вывод, что пешеходы крайне редко привлекаются к уголовной ответственности по ст. 268 УК РФ, но случаи привлечения всё же имеются, один из них можно рассмотреть на конкретном примере [13].

Взрослая 51-летняя женщина, няня ребенка, проигнорировав запрещающий сигнал светофора, вышла на проезжую часть вместе со своей 4-летней воспитанницей. Пройдя примерно 2,5 м, она увидела приближающуюся машину. Женщина оценила ситуацию и решила закончить переход проезжей части. Ускорив шаг, пешеходы успели пересечь еще одну полосу для движения, в совокупности около 7 м, когда девочка попала под колеса двигавшегося по третьей полосе ВАЗ 2110.

Комментируя данную ситуацию, можно сказать, что нельзя привлечь к административной или уголовной ответственности пешехода, который ведет ребенка слева от себя, но закон позволяет наказать его в том случае, если ребенку во время движения по причине нарушения правил безопасности будет причинен тяжкий вред здоровью. Именно так и произошло в описанной ситуации. Женщина-пешеход изначально нарушила Правила дорожного движения, выйдя вместе с ребенком на пешеходный переход на запрещающий сигнал светофора. Однако это еще не являлось достаточным основанием для привлечения ее к уголовной ответственности, которая наступает в случае причинения тяжкого вреда здоровью. В дорожно-транспортных происшествиях с участием пешеходов, даже если они сами нарушили Правила, выйдя на красный сигнал или перебегая дорогу в неположенном месте, проводится расследование. В том числе в обязательном порядке назначается автотехническую экспертизу, чтобы установить, имел ли водитель возможность остановиться, когда увидел впереди себя опасность, и, если бы эксперт установил, что водитель мог избежать наезда, применив экстренное торможение, но не сделал этого, ответственность была бы возложена и на него. Но ре-

зультаты экспертизы по данному делу были отрицательные, водитель не располагал такой возможностью, и к уголовной ответственности была привлечена воспитатель, переводившая девочку. Ее действия квалифицировали по ч. 1 ст. 268 УК РФ, которая предполагает наказание в виде ограничения свободы до трех лет либо арест на срок от 2-х до 4-х месяцев, либо лишение свободы до 2-х лет. Уголовное дело рассматривалось в районном суде, где воспитатель была признана виновной в совершении преступления, но, так как родители ребенка настаивали на примирении с подсудимой, возместившей им ущерб, судом было принято решение о прекращении уголовного дела за примирением сторон [13].

Проанализировав данное уголовное дело, можно сделать вывод, что необходимо принять меры ужесточения наказания по статье 268 УК РФ, а именно повысить сроки ограничения, ареста и лишения свободы.

Скорейшее решение данных проблем, внесение изменений в действующее законодательство и дальнейшее формирование уголовного-правового механизма контроля за нарушениями правил эксплуатации транспортных средств, безопасной работы транспорта и правил дорожного движения несомненно приведет к снижению аварийности на дорогах и поможет дальнейшему развитию страны.

## **Литература**

1. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть вторая) от 26.01.1996 г. № 14-ФЗ (ред. от 23.05.2018) // Собрание законодательства РФ. - 1996, № 5. – Ст. 410.

2. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях от 30.12.2001 г. № 195 ФЗ (ред. от 03.10.2017) // Москва: Юрист. – 2017. – 215 с.

3. Уголовный кодекс Российской Федерации от 13.06.1996 № 63 ФЗ (ред. От 26.08.2017) // Москва: Юрист, 2017. –215 с.

4. Баландин В. С. Транспортное средство как источник повышенной опасности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://wiselawyer.ru/poleznoe/16285-transportnoe-sredstvo-istochnik-povyshennoj-opasnosti> (дата обращения 02.07.2018).

5. О безопасности дорожного движения: Федеральный закон от 10 декабря 1995 г. № 196-ФЗ (ред. от 26.07.2017) // Собрание законодательства Российской Федерации. – 1995. № 50. – Ст. 4873.

6. Абрамов С. Н., Попов А.Ф. Источник повышенной опасности: проблемы понятийного аппарата // Законодательство. – 2004. – № 1, 2.

7. Генеральная прокуратура России обобщила статистические данные о преступлениях в сфере безопасности движения и эксплуатации транспорта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.genproc.gov.ru/smi/news/news-1249812/> (дата обращения 02.07.2018).

8. Конституция Российской Федерации (принята всенародным голосованием 12.12.1993) (с учетом поправок, внесенных Законами РФ о поправках к Конституции РФ от 30.12.2008 № 6-ФКЗ, от 30.12.2008 № 7-ФКЗ, от 05.02.2014 № 2-ФКЗ, от 21.07.2014 № 11-ФКЗ) // Собрании законодательства РФ. – 2014, № 31, ст. 4398.

9. О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам обеспечения транспортной безопасности: Федеральный закон от 03.02.2014 г. № 15-ФЗ // Российская газета. – 2014. – № 24.

10. О транспортной безопасности: Федеральный закон от 09.02.2007 г. № 16-ФЗ (ред. от 06.07.2016) // Российская газета. – 2017. – № 31.

11. О судебной практике по делам о преступлениях, связанных с нарушением правил дорожного движения и эксплуатации транспортных средств, а также с их неправомерным завладением без цели хищения: постановление Пленума Верховного от 09.12.2008 г. № 25 (ред. от 24.05.2016) // Бюллетень Верховного Суда РФ. – 2009. – № 2. – Ст. 1210.

12. О внесении изменений в Правила дорожного движения Российской Федерации: Постановление Правительства РФ от 28 июня 2017 г. № 761 // Собрание законодательства РФ. – 2017. – № 28. – Ст. 4139.

13. Законные требования. Уголовная ответственность для пешеходов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ogazam.ru/publications/2012/3/552/> (дата обращения 02.07.2018).

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ  
НА ВНУТРЕННЕМ ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ**

**ENSURING THE TRANSPORT SAFETY ON AN INTERNAL  
WATER TRANSPORT**

**Степенко В. Е.**, д-р юрид. наук, доц.,  
**Чернова О. А.**, канд. юрид. наук, доц.,  
Тихоокеанский государственный университет,  
Хабаровск, Российская федерация,  
**Уланов В. В.**, юрисконсульт,  
Хабаровск, Российская федерация

**V. Stepenko**, Doctor of judicial science, Associate professor,  
**O. Chernova**, Ph. D. in judicial Sciences, Associate professor,  
Pacific national University, Khabarovsk, Russian Federation;  
**V. Ulanov**, lawyer,  
Khabarovsk, Russian Federation

*В статье рассматривается современное состояние правового регулирования в сфере обеспечения транспортной безопасности. Особое внимание уделено специальному правовому регулированию обеспечения безопасности на внутреннем водном транспорте. Авторами определены проблемы правового регулирования и вносятся предложения по улучшению реализации существующих мер безопасности, применяемых на объектах внутреннего водного транспорта.*

*Ключевые слова: транспорт, внутренний водный транспорт, транспортная безопасность, меры безопасности.*

*The article deals the modern state of the legal regulation in the field of providing of the transport safety. The special attention is spared to the special legal regulation of providing of safety on an internal water transport. Authors are certain the problems of the legal regulation and brought in suggestion on the improvement of the existing measures of safety implementation implied by the internal water transport.*

*Keywords: transport, internal water transport, transport safety, security arrangements.*

Институт транспортной безопасности в российском законодательстве претерпевает существенные изменения на протяжении последних трёх лет. Это связано и с возрастанием террористической угрозы, и с изменениями экономических интересов России в международных отношениях, и с комплексной работой в области совершенствования политики по обеспечению национальной безопасности [1]. Внесенные в Федеральный закон «О транспортной безопасности» от 09.02.2007 № 16-ФЗ (ред. от 06.07.2016, далее – ФЗ № 16) изменения были связаны, прежде всего, с наделением юридических лиц, аккредитованных и аттестованных в качестве сил обеспечения транспортной безопасности, полномочиями правоохранительных структур и подразделений ведомственной охраны по проведению досмотра лиц и обеспечению безопасности на объектах транспортной инфраструктуры (далее – ОТИ) [2].

В настоящее время транспортная безопасность в Российской Федерации, как и десять лет назад рассматривается законодателями исключительно с позиции состояния защищенности транспортной инфраструктуры и транспортных средств от противоправных действий. Категорирование и оценка уязвимости объектов транспортной инфраструктуры, меры, которые силы обеспечения безопасности уполномочены принимать, разработаны с учетом гармоничного встраивания нормативного регулирования транспортной безопасности в систему обеспечения общественной и государственной безопасности в целом [3]. Основной акцент на сегодняшний день делается на вовлечение собственных сил собственников транспортных средств и объектов транспортной инфраструктуры или ведомственной охраны на транспорте в деятельность по обеспечению транспортной безопасности.

Актуальность исследования видится в том, что установленные законодателем меры обеспечения транспортной безопасности, распределение полномочий по её обеспечению между разными федеральными органами исполнительной власти в зависимости от вида транспорта, а также само содержание ФЗ № 16 «О транспортной безопасности» в недостаточной мере отвечает нуждам перевозчиков, пасса-

жиров, владельцев транспортной инфраструктуры в части установления режима контроля за техническим состоянием объектов и условиями эксплуатации транспортных средств. Вопросы обеспечения транспортной безопасности рассматриваются не в комплексе и без учета специфики соответствующего предмета правоотношений.

Согласно «Стратегии развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации на период до 2030 года» [4], утвержденной распоряжением Правительства РФ от 29.02.2016 № 327-р, эксплуатируемая сеть внутренних водных путей (далее – ВВП) России составляла 101,7 тыс. км. Большая часть этих путей обладает развитой инфраструктурой по организации и обслуживанию судоходства. На ВВП расположены 723 судоходных гидротехнических сооружения, являющихся федеральной собственностью, из них 335 сооружений включены в отраслевой Регистр судоходных гидротехнических сооружений, подлежащих декларированию безопасности. На реках России функционирует более 130 портов, имеющих соответствующие подъездные пути и оснащенных 828 береговыми и 247 плавучими кранами. Состав флота речных судоходных компаний многообразен и позволяет выполнять перевозки практически всех видов грузов. При этом 94 % грузов и 86 % перевозок пассажиров выполняются предприятиями негосударственных форм собственности [5].

Внутренний водный транспорт (далее – ВВТ) – один из видов водного транспорта, применяемый в перевозках грузов и пассажиров по рекам, озерам и каналам речных систем (речное судоходство) [6]. По грузо- и пассажирообороту речной транспорт уступает автомобильному и железнодорожному транспорту.

Специальное правовое регулирование в области транспортной безопасности на объектах ВВТ основывается на Кодексе внутреннего водного транспорта Российской Федерации (далее – КВВТ РФ). Этим Кодексом предусмотрены нормы, обязательные для соблюдения на ОТИ и транспортных средствах всеми субъектами правоотношений – перевозчиками, пассажирами, специализированными организациями (к которым КВВТ РФ относит также лоцманские службы). КВВТ РФ регламентирует вопрос создания системы управления безопасностью судна, что само по себе является большим достижением в сфере транспортной безопасности. Такой подход в частности дает понять, что разрозненный характер норм о транспортной

безопасности обусловлен невозможностью учесть в одном законодательном акте всех особенностей эксплуатации конкретного вида транспорта ввиду как технологических, так и экономических особенностей. Вместе с тем, имеются и другие позиции. Так, В.А. Вайпан считает, что КВВТ РФ наряду с другими видовыми кодексами носит комплексный характер и воздействует на разнородные частные и публичные отношения, возникающие на различных видах транспорта [7]. На наш взгляд, следует согласиться с мнением В.А. Дозорцева, который полагает, что в подобных актах невозможно выделить общие правовые положения, так как они надлежащим образом обслуживают только узкие направления, а не широкие сферы. Именно поэтому к транспортной сфере следует применять дифференцированное правовое регулирование [8].

КВВТ РФ называет ВВТ «одним из видов транспорта, представляющего собой производственно-технологический комплекс с входящими в него организациями, осуществляющими судоходство и иную связанную с судоходством деятельность на внутренних водных путях Российской Федерации» [6]. Анализ приведенного понятия показывает, что существенными элементами ВВТ в РФ является «производственно-технологический комплекс» и «организации, осуществляющие судоходство и иную связанную с судоходством деятельность».

Понятие «производственно-технологический комплекс» подразумевает под собой наличие самих ВВП, акваторий и специальных ОТИ ВВТ. Согласно статье 1 ФЗ № 16 ОТИ ВВТ – это «порты, которые расположены на внутренних водных путях и в которых осуществляются посадка (высадка) пассажиров и (или) перевалка грузов повышенной опасности», то есть гидротехнические сооружения. Расширенный перечень гидротехнических сооружений содержится в Федеральном законе от 21.07.1997 № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений» [9], который относит к этим сооружениям различные сооружения, здания, устройства и иные объекты, предназначенные для использования водных ресурсов и предотвращения негативного воздействия вод и жидких отходов, за исключением объектов централизованных систем горячего водоснабжения, холодного водоснабжения и (или) водоотведения. К иным объектам, чье использование КВВТ РФ не запрещено, в частности относятся навигационные огни, размещаемые вдоль береговой полосы.

Помимо упомянутого выше перечня необходимо обратить внимание и на определение, данное инфраструктуре ВВП, которая представляет из себя «совокупность объектов, обеспечивающих судоходство по внутренним водным путям и включающих в себя судоходные гидротехнические сооружения, маяки, рейды, пункты отстоя судов технического флота, места убежища, средства навигационного оборудования, объекты электроэнергетики, технологические сети связи и сооружения связи, системы сигнализации, информационные комплексы и системы управления движением судов, и иных обеспечивающих функционирование внутренних водных путей объектов».

Отдельное внимание уделено понятию «причал», согласно статье 3 КВВТ им является «гидротехническое сооружение, имеющее устройства для безопасного подхода судов и предназначенное для безопасной стоянки судов, их загрузки, разгрузки и обслуживания, а также посадки пассажиров на суда и высадки их с судов». В свою очередь, речной порт – «комплекс сооружений, расположенных на земельном участке и акватории внутренних водных путей, обустроенных и оборудованных в целях обслуживания пассажиров и судов, погрузки, выгрузки, приема, хранения и выдачи грузов, взаимодействия с другими видами транспорта. Порт (причал), в котором хотя бы одно из юридических лиц или один из индивидуальных предпринимателей осуществляет в силу закона или на основании лицензии деятельность, связанную с перевозками внутренним водным транспортом, по обращению любого физического или юридического лица, является портом или причалом общего пользования» [6].

Необходимо отметить, что КВВТ РФ к числу ОТИ относит также и плавучие объекты – несамоходное плавучее сооружение, не являющееся судном, к которым согласно статье 3, среди прочего, относятся: дебаркадер; плавучий (находящийся на воде) дом, гостиница, ресторан; понтон, плот; наплавной мост; плавучий причал; другое подобное техническое сооружение.

Отметим, что отсутствие в КВВТ РФ легальных правовых дефиниций приводит к тому, что понятия «безопасность судоходства» и «безопасность плавания» смешиваются даже в пределах одной статьи КВВТ, что порождает правовую коллизию. Так, в пункте 1 статьи 41 КВВТ РФ говорится, что государственные лоцманские службы и негосударственные организации по лоцманской проводке судов со-

здаются в целях обеспечения безопасности плавания судов по внутренним водным путям и предотвращения транспортных происшествий с судами [6]. В пункте 4 этой же статьи установлено, что в целях обеспечения безопасности судоходства лоцман вправе приостановить лоцманскую проводку судна до наступления обстоятельств, позволяющих обеспечить безопасность судоходства. При этом в соответствии со статьей 3 КВВТ РФ «судоходство – это деятельность, связанная с использованием на внутренних водных путях судов для перевозок грузов, пассажиров и их багажа, почтовых отправок, буксировки судов и иных плавучих объектов, проведения поиска, разведки и добычи полезных ископаемых, строительных, путевых, гидротехнических, подводно-технических и других подобных работ, лоцманской и ледокольной проводки, спасательных операций, осуществления мероприятий по охране водных объектов, защите их от загрязнения и засорения, подъема затонувшего имущества, проведения мероприятий по контролю, научных исследований, учебных, спортивных, культурных и иных целей». То есть лоцманская деятельность является частью судоходства [6].

Постановление Правительства РФ от 16.07.2016 № 678 «О требованиях по обеспечению транспортной безопасности, в том числе требованиях к антитеррористической защищенности объектов (территорий), учитывающих уровни безопасности для различных категорий объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств морского и речного транспорта» [10] устанавливает ряд мер, обращенных к субъектам транспортной инфраструктуры (далее – СТИ), по обеспечению безопасности широкого круга ОТИ и транспортных средств ВВТ. Одна из таких мер обязывает СТИ назначить лицо, ответственное за обеспечение транспортной безопасности как на всем СТИ, так и на группе ОТИ или транспортном средстве.

Согласно приказу Минтранса РФ от 03.03.2014 № 58 (ред. от 16.06.2015) «Об утверждении Правил пропуска судов через шлюзы внутренних водных путей» (далее – Правила пропуска судов через шлюзы) в части обеспечения безопасности судоходства администрация бассейна внутренних водных путей осуществляет содержание ВВП, пропуск судов и плавучих объектов через судоходные гидротехнические сооружения (шлюзы) [11].

В соответствии с приказом Минтранса РФ от 01.03.2010 № 47 «Об утверждении Порядка диспетчерского регулирования движения судов на внутренних водных путях Российской Федерации» (далее – Правила диспетчерского регулирования) администрация бассейна ВВП непосредственно через диспетчеров организует диспетчерское регулирование движения судов и управление движением судов на участках внутренних водных путей, организацию технологической связи на ВВП путем взаимодействия диспетчеров и капитанов судов [12].

Приказ Минтранса РФ от 14.10.2002 № 129 (ред. от 31.03.2003) «Об утверждении Правил плавания по внутренним водным путям Российской Федерации» (далее – Правила плавания) обращен к экипажам судов, юридическим лицам и индивидуальным предпринимателям, осуществляющим судоходство на внутренних водных путях, связанное с эксплуатацией и использованием плавучих объектов, содержанием судоходных водных путей и гидротехнических сооружений при плавании по ВВП РФ [13].

Специальное правовое регулирование обеспечения транспортной безопасности на объектах транспортной инфраструктуры и транспортных средствах внутреннего водного транспорта, таким образом, осуществляется в соответствии с КВВТ РФ, Правилами плавания, Правилами движения и стоянки, Правилами пропуска судов через шлюзы, Правилами диспетчерского регулирования, утвержденными Минтрансом РФ, согласно части 3 статьи 34 КВВТ РФ [6].

Организационно-правовой механизм обеспечения транспортной безопасности, с одной стороны, включает в себя нормы права, действующие в области обеспечения транспортной безопасности, а с другой – систему субъектов правоотношения, наделенных правами и обязанностями (либо полномочиями) в рассматриваемой сфере. В системе мер по обеспечению транспортной безопасности наряду с Минтрансом России также задействованы:

– Ространснадзор, как федеральный орган исполнительной власти, осуществляющий федеральный государственный контроль (надзор) в области транспортной безопасности;

– федеральные агентства, подведомственные Минтрансу России, как компетентные органы в области обеспечения транспортной безопасности (Росавтодор, Росморречфлот, Росжелдор, Росавиация);

– аккредитованные компетентными органами специализированные организации в области обеспечения транспортной безопасности, осуществляющие проведение оценки уязвимости на ОТИ и транспортных средствах;

– непосредственно сами СТИ, являющиеся собственниками ОТИ и транспортных средств или использующие их на законном основании;

– правоохранительные органы, в том числе ФСБ России, МВД России, прокуратура.

Минтранс РФ осуществляет нормативно-правовое регулирование; подведомственный ему Ространснадзор реализует контрольные и надзорные функции за деятельностью субъектов транспортной инфраструктуры и перевозчиков по соблюдению положений нормативно-правовых актов о транспортной безопасности; федеральные агентства, непосредственно взаимодействуя с субъектами транспортной инфраструктуры и перевозчиками, предоставляют государственные услуги по лицензированию, аттестации, аккредитации и сертификации, категорированию и оценки уязвимости объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств.

СТИ, в свою очередь, выполняют обязанности по соблюдению требований транспортной безопасности на принадлежащих им ОТИ и транспортных средствах, а также организации своевременного информирования государственных органов об угрозах совершения актов незаконного вмешательства.

Деятельность специализированной организации по обеспечению транспортной безопасности зачастую не является её основным видом деятельности. По состоянию на 01.06.2017 в Реестр аккредитованных организаций на проведение оценки уязвимости ОТИ и транспортных средств морского и ВВТ Росморречфлотом внесено 178 организаций различных организационно-правовых форм (бюджетные учреждения, общества с ограниченной ответственностью и другие). Деятельность их осуществляется на основании полученной лицензии.

СТИ и перевозчиков можно назвать первичными субъектами в области обеспечения транспортной безопасности, в обязанности которых входит проведение категорирования и планирования транспортной безопасности на ОТИ и транспортных средствах. Именно от СТИ и перевозчиков поступает информация об угрозах совершения актов незаконного вмешательства.

Содержание деятельности по обеспечению транспортной безопасности требует проведения специальных мероприятий, относящихся к оперативно-розыскной деятельности, использования информации закрытого характера, организации досмотра, дополнительного досмотра, повторного досмотра, наблюдения и собеседования в целях обеспечения транспортной безопасности. Эти мероприятия возлагаются на создаваемые юридическими лицами подразделения транспортной безопасности и силы обеспечения транспортной безопасности, подлежащие аккредитации и аттестации специализированными организациями.

Основной же проблемой введенных мер обеспечения транспортной безопасности является непропорциональное, с точки зрения перевозчиков и субъектов транспортной инфраструктуры, перераспределение полномочий в сфере обеспечения безопасности между правоохранительными органами и хозяйствующими субъектами. По мнению участников V Всероссийской конференции «Транспортная безопасность и технологии противодействия терроризму. Итоги и решения» [14], проводимой ежегодно Минтрансом России, непропорциональность выражена в установлении избыточных и необоснованных требований безопасности. В частности, пунктами 5, 10 статьи 12.2 ФЗ № 16 на СТИ и перевозчика возлагается обязанность по организации дополнительного досмотра с целью распознавания и идентификации предметов и веществ, выявленных в ходе досмотра, которые могут быть использованы для совершения актов незаконного вмешательства.

По нашему мнению, на СТИ целесообразно возложить обязанность исключительно по «выявлению опасных предметов и веществ в ходе проведения досмотра, дополнительного досмотра». В свою очередь, для непосредственного «распознавания» и «идентификации» выявленных предметов и веществ, которые могут быть использованы для совершения актов незаконного вмешательства, целесообразно привлекать подразделения МВД России и ФСБ России. С другой стороны, поскольку лица, осуществляющие защиту ОТИ и транспортных средств от актов незаконного вмешательства, проходят специальную подготовку, можно говорить и о целесообразности наличия подобной обязанности. Вместе с тем, при проведении указанной процедуры возможно отказаться от обязательности составления акта

дополнительного досмотра и ведения журнала таких актов, исключив данную обязанность из пункта 8 Правил досмотра. При этом предусмотреть обязательность по ведению подобного журнала в случае обнаружения в процессе дополнительного досмотра предметов и веществ, включенных в «Перечни оружия, взрывчатых веществ или других устройств, предметов и веществ, в отношении которых установлен запрет или ограничение на перемещение в зону транспортной безопасности или ее часть», утвержденные приказом Министерства транспорта РФ от 23.07.2015 № 227) [15].

Таким образом, в целях предупреждения актов незаконного вмешательства на объектах транспортной инфраструктуры и транспортных средствах, необходимости соблюдения баланса частных и публичных интересов, а также обеспечения безопасности лиц в зоне транспортной безопасности, предлагается скорректировать организационно-правовой механизм по обеспечению транспортной безопасности в отношении порядка проведения дополнительного и повторного досмотра. Считаю необходимым изложить пункт 3 статьи 12.2 Федерального закона «О транспортной безопасности» 2007 года в следующей редакции:

«3. В ходе проведения досмотра, повторного досмотра в целях обеспечения транспортной безопасности осуществляются мероприятия по обследованию физических лиц, транспортных средств, грузов, багажа, почтовых отправлений, ручной клади и личных вещей, находящихся у физических лиц, иных материальных объектов, направленные на обнаружение предметов и веществ, имеющих внешние признаки схожести с оружием, взрывчатыми веществами или другими устройствами, предметами и веществами, в отношении которых установлены запрет или ограничение на перемещение в зону транспортной безопасности или ее часть, и (или) которые могут быть использованы для совершения актов незаконного вмешательства, а также на выявление лиц, не имеющих правовых оснований для прохода (проезда) в зону транспортной безопасности или ее часть».

Что касается вопроса о минимальном количестве сил обеспечения транспортной безопасности, необходимых для последующей их аккредитации в качестве подразделения транспортной безопасности, то предлагается не учитывать сотрудников подразделений в качестве членов экипажа и внести изменения в приказ Минтранса РФ от 01.11.2002 № 138 (ред. от 11.01.2011). Это позволит перевозчикам

самостоятельно разрешать вопрос о необходимом количестве аккредитуемых ими сотрудников, исходя из собственных интересов.

## Литература

1. Стратегия национальной безопасности Российской Федерации: указ Президента Российской Федерации от 31.12.2015 № 683 [Б.и.] // Собрание законодательства РФ. – 2016. – № 1 (часть II). – Ст. 212.

2. О транспортной безопасности: федер. закон от 09.02.2007 № 16-ФЗ (ред. от 06.07.2016) // Собрание законодательства РФ. 2007. – № 7. Ст. 837 ; 2016. - № 26 (Часть I). - Ст. 3870.

3. Шободоева А. В. Теория национальной безопасности Российской Федерации: учебник в 2 ч. / А. В. Шободоева. – Иркутск: Изд-во БГУ, 2017. – 223 с.

4. Стратегия развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации на период до 2030 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 29.02.2016 № 327-р [Б.и.] // Собрание законодательства РФ. – 07.03.2016. – № 10. – Ст. 1462.

5. Транспорт в цифрах [Электронный ресурс] // сайт Министерства транспорта Российской Федерации. – [Б. и., б. г.]. – Режим доступа: <https://www.mintrans.ru/activity> (дата обращения 01.05.17).

6. Кодекс внутреннего водного транспорта РФ от 07.03.2001 № 24-ФЗ (ред. от 03.07.2016) // Собрание законодательства РФ. – 12.03.2001. – № 11. – Ст. 1001 ; 2016. – № 27 (часть II). – Ст. 4300.

7. Вайпан В. А. Состояние и тенденции развития контрактной системы / В. А. Вайпан // Журнал предпринимательского и корпоративного права. – 2016. – № 3. – С. 8–9.

8. Дозорцев В. А. Один кодекс или два? (Нужен ли хозяйственный кодекс наряду с гражданским?) // Вестник гражданского права. – 2008. – № 4. – [Электронный ресурс] / Юридический портал. Режим доступа: <http://www.center-bereg.ru/b9732.html> (дата обращения 01.07.2018)

9. О безопасности гидротехнических сооружений: федер. закон от 21.07.1997 № 117-ФЗ // Собрание законодательства РФ. – 1997. – № 30. – Ст. 3589 ; 2016. – № 27 (Часть I). – Ст. 4188.

10. О требованиях по обеспечению транспортной безопасности, в том числе требованиях к антитеррористической защищенности объ-

ектов (территорий), учитывающих уровни безопасности для различных категорий объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств морского и речного транспорта: постановление Правительства Российской Федерации от 16.07.2016 № 678 [Б.и.] // Собрание законодательства РФ. – 2016. – № 31. – Ст. 5012.

11. Об утверждении Правил пропуска судов через шлюзы внутренних водных путей: приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 03.03.2014 № 58 (ред. от 16.06.2015) // Российская газета. – 2014. – 22 авг.; Официальный интернет-портал правовой информации. – Режим доступа: <http://www.pravo.gov.ru>. (дата обращения 16.05.2017).

12. Об утверждении Порядка диспетчерского регулирования движения судов на внутренних водных путях Российской Федерации: приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 01.03.2010 № 47 [Б.и.] // Российская газета. – 2010. – 07 мая.

13. Об утверждении Правил плавания по внутренним водным путям Российской Федерации: приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 14.10.2002 № 129 (ред. от 31.03.2003) // Российская газета. – 2003. – 25 янв. ; 2003. – 16 апр.

14. Рекомендации Пятой ежегодной Всероссийской конференции «Транспортная безопасность и технологии противодействия терроризму-2016» [Электронный ресурс] // Транспортная безопасность и технологии. – Режим доступа: <http://transport.securitymedia.ru> (дата обращения 01.05.17).

15. Об утверждении Правил проведения досмотра, дополнительного досмотра, повторного досмотра в целях обеспечения транспортной безопасности: приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 23.07.2015 № 227 [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации. – Режим доступа: <http://www.pravo.gov.ru> (дата обращения 05.05.2017).

**ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ТРАНСМИССИЙ  
ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ**

**IMITATION MODELS OF TRANSMISSIONS  
OF PASSENGER CARS**

**Сидоров С.А.**, канд. техн. наук, доц., **Сонич О.А.**, ст. препод.,  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Беларусь

**S. Sidarau**, Ph.D. in Engineering, Associate professor,  
**O. Sonich**, senior lecturer,  
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

*Предложены модели, разработанные в программном пакете LMS Imagine.Lab AMESim, включающие подмодели источника крутящего момента, ступенчатой коробки передач либо механического вариатора, полуосей, главной передачи, межколесного дифференциала, карданных шарниров и колес. Модели предназначена для исследования трансмиссий переднеприводных и заднеприводных легковых автомобилей с механической трансмиссией при движении на различных режимах и в различных дорожных условиях.*

*Ключевые слова: транспортное средство, трансмиссия, имитационная модель, подмодель.*

*The models developed in the LMS Imagine.Lab AMESim software package are proposed, which include submodels of the torque source, manual gearbox or mechanical variator, semi-axles, main gear, inter-wheel differential, cardan joints and wheels. The model is designed to investigate the transmission of a front-wheel and rear-wheel vehicle with a manual transmission while driving in different modes and under different road conditions.*

*Key words: vehicle, transmission, imitation model, submodel.*

В Республике Беларусь на протяжении вот уже нескольких лет ведутся активные работы по организации выпуска легковых автомобилей. Так, построен завод и осуществляется производство полного цикла,

включая сварку, окраску и сборку, автомобилей Geely Atlas и Geely Emgrand предприятием СЗАО «Белджи» [1], освоена сборка кроссоверов Zotye T600 и электромобилей Zotie E200EV и Z500EV, а также крупно-узловая сборка автомобилей Citroen и Peugeot предприятием СП ЗАО «Юнисон» [2]. Дальнейшее освоение производства такого рода техники предполагает создание конструкторского бюро. Внедрение собственных конструкторских и технологических решений позволит снизить себестоимость и повысить уровень локализации применяемых комплектующих. При этом обойтись без проведения опытно-конструкторских работ и исследований не удастся.

Колесное транспортное средство, в том числе легковой автомобиль, представляет собой сложную динамическую систему, состоящую из ряда масс, соединенных между собой с помощью упругих соединений. Все узлы и соединения в процессе работы подвергаются определенным воздействиям от двигателя и дорожных неровностей, в результате чего возникают дополнительные перемещения отдельных деталей и узлов кроме тех, которые предусматриваются при проектировании. Такие перемещения происходят периодически и оказывают вредное воздействие на прочность и долговечность деталей и узлов силовой передачи, а тем самым на прочность и долговечность всей динамической системы. Полное исследование всех колебательных процессов, происходящих в транспортном средстве, трудно осуществить на практике. В связи с этим используются различные методы анализа системы транспортного средства [3].

Параметры ходовой системы и ее привод определяют динамику взаимодействия колес с опорной поверхностью, нагруженность деталей трансмиссии при разгоне и торможении и долговечность большинства механизмов колесных транспортных средств. Ходовая система и ее привод являются агрегатами, изменение параметров которых влияет практически на весь комплекс основных показателей автомобилей и тракторов.

В настоящее время при проектировании колесных транспортных средств повсеместно широко применяются пакеты компьютерного моделирования. Такие средства обладают различной степенью сложности и возможностями, и позволяют еще на стадии проектирования в достаточно короткий срок провести все необходимые расчеты.

Работниками кафедры «Автомобили» Белорусского национального технического университета совместно с научно-исследовательской испытательной лабораторией транспортных средств филиала БНТУ «Научно-исследовательский политехнический институт» разработаны

имитационные модели, позволяющие проводить исследования элементов трансмиссий, таких как шестерни механической коробки передач с ручным управлением либо механического бесступенчатого вариатора, шестерни главной передачи и межколесного дифференциала, полуоси, карданные шарниры равных или неравных угловых скоростей переднеприводного транспортного средства.

Модели разработаны в программном пакете LMS Imagine.Lab AMESim. Преимуществами данного пакета является достаточно обширная библиотека встроенных компонентов, представляющих модели узлов и агрегатов машин, что позволяет быстро создавать и рассчитывать поведение сложных мехатронных систем, возможность создания интуитивно понятного эскиза модели с помощью интерактивного графического интерфейса, а также возможность взаимодействия с другими программами, например, MATLAB Simulink. В настоящее время данный программный пакет используется в различных областях техники, начиная от авиации и космонавтики и заканчивая автомобильной и общей промышленностью [3].

Приведенная на рисунке 1 модель включает подмодели источника крутящего момента, механической коробки передач с ручным управлением, главной передачи с межколесным дифференциалом, полуосей, карданных шарниров, шин в контакте с опорной поверхностью, нагрузки от веса колесной машины, тормозной системы и воздействия дороги.

Подмодель двигателя достаточно проста и включает в себя источник крутящего момента с ограничением на частоте вращения, изменение которого можно описать в табличном виде, и учитывает инерционные, упругие и диссипативные элементы привода трансмиссии. Выходным параметром данной подмодели является крутящий момент. Подмодель может быть использована как для моделирования двигателя внутреннего сгорания, так и электродвигателя. Для детального моделирования нагрузок с конкретным типом двигателя целесообразно использовать специализированные подмодели из библиотеки IFP Drive. Однако в этом случае модель усложняется как дополнительными внутренними, так и входными параметрами, что в большинстве случаев представляется не целесообразным.

Для моделирования механической коробки передач использована подмодель, также входящая в библиотеку IFP Drive, позволяющая моделировать коробки с числом передач от 1 до 16 и учитывающая момент инерции первичного вала, передаточные числа и коэффициент полезного

действия для каждой ступени в отдельности. Однако она не пригодна для детального моделирования отдельных элементов, например, синхронизаторов, шестерен, подшипников. Для этих целей необходимо создание более сложной подмодели с использованием элементов библиотеки Powertrain пакета LMS Imagine.Lab AMESim.

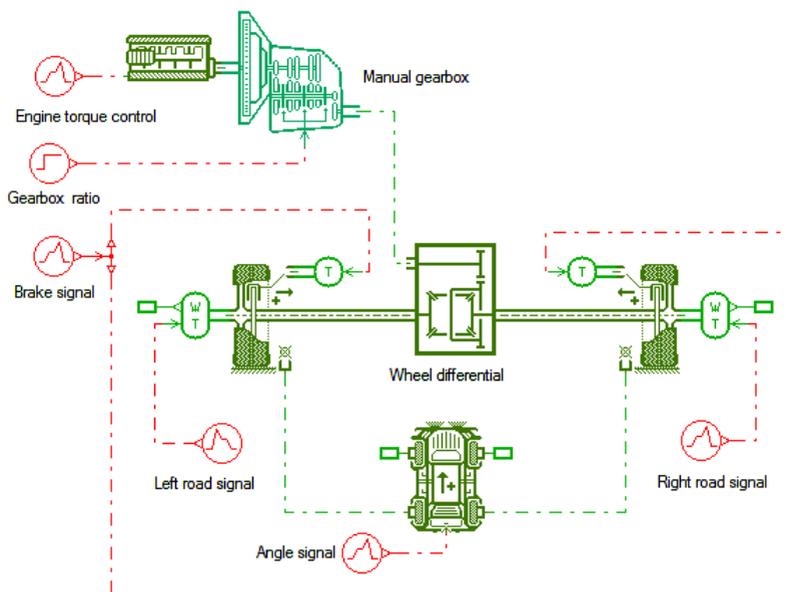


Рисунок 1 – Схема модели для исследования трансмиссии заднеприводного легкового автомобиля с механической коробкой передач

Также с использованием стандартных элементов библиотеки Powertrain был достаточно подробно смоделированы межосевой дифференциал, полуоси, карданные шарниры. Внутренние параметры элементов, входящих в подмодели, учитывают кинематические передаточные отношения, инерционные, упругие и диссипативные характеристики. В частности, кинематические параметры шестерен дифференциала, их моменты инерции, параметры жесткости и демпфирования полуосей, угол карданного шарнира и разность фаз между его ведущей и ведомой частями.

Использована подмодель шины в контакте с дорогой, входящая в ту же библиотеку. Подмодель учитывает радиус и момент инерции колеса, вертикальную нагрузку от веса колесной машины, изменяющуюся при

изменении угла подъема/спуска, а также позволяет отдельно учитывать момент сопротивления и тормозной момент.

Нагрузка на колесо от веса транспортного средства моделируется с использованием стандартной динамической подмодели из библиотеки Powertrain, также используемой для расчета продольного ускорения, скорости и перемещения автомобиля. Данная подмодель позволяет учитывать, помимо массы и инерции, параметры сопротивления воздуха, в частности коэффициент обтекаемости и площадь поперечного сечения транспортного средства, плотность воздуха и скорость встречного потока воздуха. Входным параметром для подмодели также является уклон дороги.

Для моделирования сопротивления качению от дороги к каждому колесу с использованием подмодели источника крутящего момента подводится момент сопротивления, изменение значения которого во времени можно задавать.

Воздействие тормозного момента в модели организовано подмоделью источника крутящего момента из стандартной библиотеки Mechanical. Значение момента одинаково для обоих колес передней оси и изменяется по задаваемой зависимости. При необходимости для каждого из колес оси возможно задание своего тормозного момента.

Модель, приведенная на рисунке 2, отличается наличием подмодели бесступенчатого механического вариатора из библиотеки IFP Drive. Подмодель позволяет учитывать моменты инерции ведущего и ведомого шкивов, коэффициент трения, коэффициент полезного действия. Входными параметрами подмодели являются состояние муфты сцепления и передаточное отношение.

Для детального моделирования работы вариатора целесообразнее использовать специальную подмодель бесступенчатой трансмиссии (CVT) из библиотеки Powertrain. У такой подмодели половина каждого шкива может перемещаться в осевом направлении, чтобы изменить рабочие радиусы ремня на шкивах. При этом учитываются моменты инерции шкивов. Входными параметрами у такой подмодели являются сила, скорость и смещение каждой из половин шкивов в отдельности.

На рисунке 3 показана схема имитационной модели для исследования трансмиссии автомобиля с электрической силовой установкой и бесступенчатым механическим вариатором. В данной модели использованы подмодели электромотора из специализированной библиотеки IFP Drive и аккумуляторной батареи из библиотеки Electric Motors and Drives.

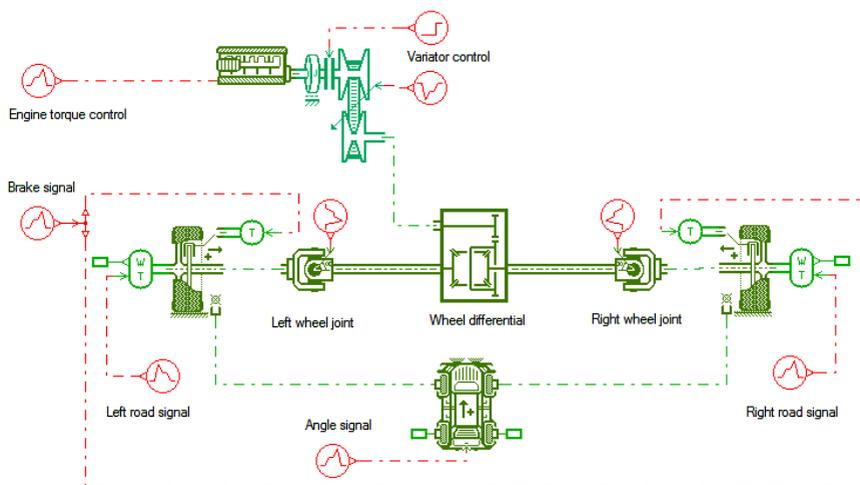


Рисунок 2 – Схема модели для исследования трансмиссии переднеприводного легкового автомобиля с механическим бесступенчатым вариатором

Подмодель батареи характеризует источник напряжения с внутренним сопротивлением. Внутренние параметры подмодели позволяют учитывать номинальную мощность, емкость, степень заряда, количество ячеек в батарее. Тепловые и химические процессы при этом не учитываются. Выходные данные подмодели – напряжение и сила тока рассчитываются на основе данных, полученных с помощью линейной экстраполяции.

Подмодель электродвигателя представляет собой статическую энергетическую модель электродвигателя / генератора и его преобразователя, использующую файлы данных для определения ограниченного крутящего момента и потери мощности. Выходными параметрами подмодели являются крутящий момент и частота вращения вала. Подмодель позволяет реализовывать различные законы управления изменением крутящего момента.

Разработанные модели в дальнейшем могут быть достаточно легко модифицированы и доработаны с учетом конкретных задач и использованы при расчете и конструировании колесных транспортных средств как с передним, так и задним и полным приводом.

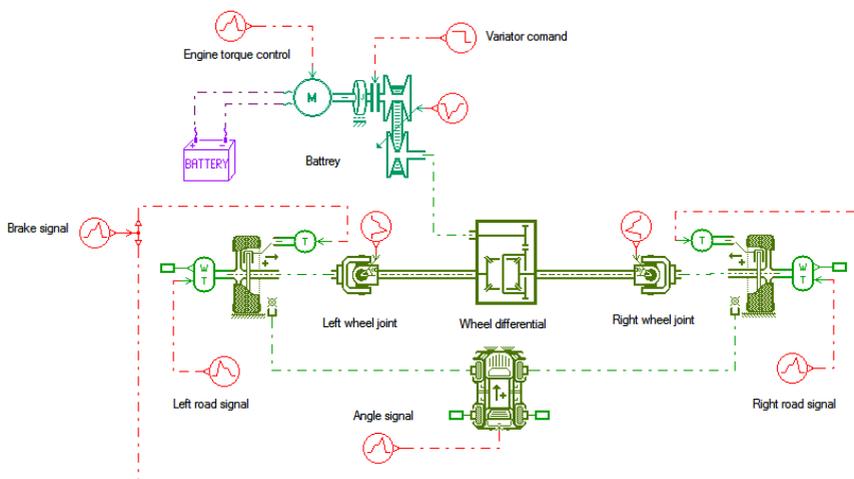


Рисунок 3 – Схема модели для исследования трансмиссии переднеприводного легкового автомобиля с электродвигателем и механическим бесступенчатым вариатором

В случае заинтересованности со стороны производителей колесных транспортных средств кафедра «Автомобили» сможет провести полноценное моделирование как трансмиссии, так и других систем, и агрегатов, а также верификацию и параметризацию моделей.

## Литература

1. <http://belgee.by/> Официальный сайт СЗАО «Белджи». Режим доступа: свободный. Дата доступа 10.12.2018.
2. <http://unison.by/novosti/prezentacia-electro-zotyе>. Официальный сайт СП ЗАО «Юнисон». Режим доступа: свободный. Дата доступа 10.12.2018.
3. Гимадиев, А. Г. LMS Imagine.Lab AMESim как эффективное средство моделирования динамических процессов в мехатронных системах [Электронный ресурс]: электрон. учеб. пособие / А.Г. Гимадиев, П.И. Грешняков, А.Ф. Синяков; - Электрон. текстовые и граф. дан. (4,8 Мбайт). – Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2014.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОГРАММЫ УПРАВЛЕНИЯ  
ДВИГАТЕЛЕМ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА  
АВТОМОБИЛЯ**

**THE INVESTIGATION OF INFLUENCE OF THE ENGINE  
CONTROL PROGRAM ON THE PERFORMANCE OF A CAR**

*Гурский А.С.*, канд. техн. наук, доц., *Серебряков И.А.*, аспирант,  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

*A. Gursky*, Ph.D. in Engineering, Associate professor, *I. Serabrakov*,  
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

*На сегодняшний день современные автомобили повсеместно оснащаются электронными системами управления двигателем.*

*Программы управления двигателем, которыми комплектуются стандартные блоки управления, являются усредненными и должны обеспечивать работу любого заводского двигателя, несмотря на то, что в процессе изготовления, и тем более в процессе эксплуатации физические характеристики двигателей могут различаться.*

*Владение алгоритмом работы системы, данными карт зажигания, состава смеси, а также проведение испытаний с использованием правильно подобранных контрольно-диагностических параметров позволяют скорректировать программу электронного блока управления (ЭБУ), тем самым улучшив динамические и экономические показатели работы бензинового ДВС.*

*Ключевые слова: электронный блок управления, бензиновый двигатель внутреннего сгорания, состав смеси, угол опережения зажигания, карта зажигания, цикловое наполнение, диагностические параметры.*

*Today, modern cars are equipped with electronic engine management systems.*

*The engine control programs which the standard control units are completed are universal and must ensure the operation of any factory engine, despite the fact that the physical characteristics of the engine may change during the manufacturing process, and even more so during operation.*

*Possession of the algorithm of the system, data ignition maps, the composition of the mixture, as well as testing using properly selected diagnostic and control parameters, allow you to adjust the program of the electronic control unit (ECU), thereby optimizing the dynamic and economic performance of the gasoline engine.*

*Keywords: electronic control unit, gasoline internal combustion engine, mixture composition, ignition advance angle, ignition map, cycle filling, diagnostic parameters.*

## **Введение**

В автомобилестроении, при массовом производстве бюджетных автомобилей используется стандартное программное обеспечение с идентичными параметрами, регулирующими работу двигателя.

Программы управления двигателем, которыми комплектуются стандартные блоки управления, являются усредненными и должны обеспечивать работу любого заводского двигателя, несмотря на то, что в процессе изготовления, и тем более в процессе эксплуатации физические характеристики двигателей могут различаться. Это говорит о целесообразности корректировки программы блока управления двигателем в процессе эксплуатации.

## **1. Алгоритм работы системы управления двигателем**

Рассматривая двигатель, как объект управления, выделяется следующая совокупность элементов системы управления двигателем [1]: элементы, производящие и сбор информации о работе двигателя (датчики), устройства переработки информации (электронные блоки управления) и исполнительные элементы.

В данной статье рассматриваются программная составляющая устройств переработки информации и её изменение. В качестве при-

мера рассматривается блок управления двигателем Январь 7.2, который является аналогом ЭБУ Bosch 7.9.7. Схема подключения выводов блоков идентичная, однако Январь 7.2 обладает несколько иной архитектурой, что позволяет пользователям вносить изменения в стандартное программное обеспечение (далее ПО) блока.

По аналогии может осуществляться корректировка программы ЭБУ М86. Эта ЭСУД устанавливается с конца 2015 года на автомобили Лада Веста и XRAY.

Для максимально эффективной работы двигателя ему необходим правильно подобранный состав смеси для всех режимов работы. Состав смеси обусловлен многими факторами, главными из которых являются количество топлива и количество воздуха, поступающие в двигатель за определенный временной промежуток. Величиной, характеризующей количество воздуха, поступающего в цилиндр двигателя за один цикл, является цикловое наполнение. Понятие базового циклового наполнения вводится для дальнейшего проведения расчетов блоками управления на основании данной величины. Калибровку базового циклового наполнения, находящуюся в ЭБУ, наглядно можно представить следующим образом (рисунок 1)

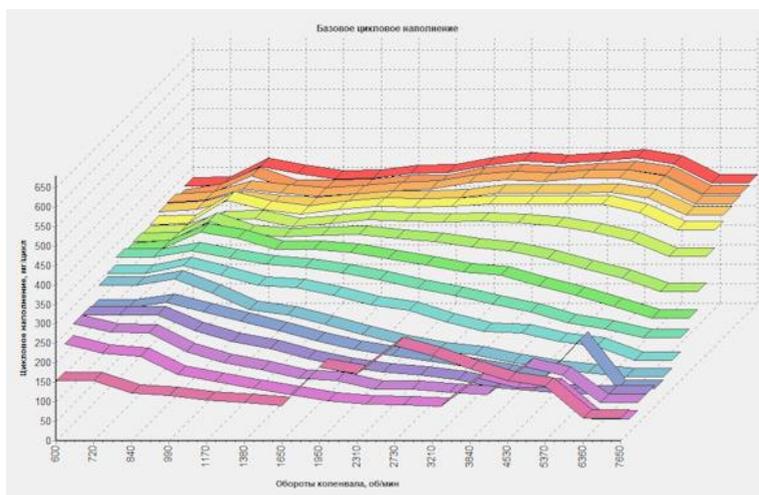


Рисунок 1 – Зависимость базового циклового наполнения от нагрузки и частоты вращения коленчатого вала двигателя

В современных системах управления рабочим процессом бензинового двигателя, имеющих (или не имеющих) кинематическую связь между положением педали акселератора [2] и дроссельной заслонкой, нашли применение два вида управления цикловым наполнением, различающиеся задачами, решаемыми в процессе управления. Это управление цикловым наполнением в области малых цикловых наполнений, применяемое для регулирования частоты вращения коленчатого вала двигателя на режиме холостого хода и управление величиной циклового наполнения на режиме частичных и полных нагрузок, с задачей формирования требуемой внешней скоростной характеристики двигателя. Рассмотрим второй режим.

Анализ корреляции токсичных выбросов сположением и характером движения автомобиля в области частичных нагрузок показывает, что значительная доля выбросов углеводородов с отработавшими газами вызвана явлениями, происходящими при работе двигателя с малым цикловым наполнением, в момент перехода от режима установившегося движения к принудительному холостому ходу, а также при выходе на режим полных нагрузок. Известно, что в этих условиях наблюдается значительный рост коэффициента остаточных газов, что приводит к нарушению процесса сгорания вплоть до пропуска тактов. Несгоревшее топливо поступает в выпускную систему, где частично догорает, что сопровождается характерными хлопками, а частично выбрасывается в атмосферу. Отсюда вытекает задача управления цикловым наполнением на режиме ЧН, заключающаяся в необходимости ограничения величины циклового наполнения на уровне достаточном для поддержания устойчивого сгорания с одной стороны, и существенно не ухудшающем тяговые свойства двигателя с другой. Данный вопрос регулирования смесеобразования и циклового наполнения рассматривается далее в статье.

Как правило, при выборе регулировок рабочего процесса, стремятся выбрать угол опережения зажигания соответствующий максимальной эффективности рабочего процесса. Однако это не всегда возможно. Необходимость уменьшения угла опережения зажигания относительно оптимальной регулировки, может быть вызвана требованиями ограничения токсичности выбросов, в частности необходимостью снижения выбросов  $CO$  и  $CH$  при работе прогретого двигателя или необходимостью увеличения температуры отработавших

газов для интенсификации прогрева каталитического нейтрализатора и т.д.

Рассмотрим основные элементы алгоритма управления углом опережения зажигания (УОЗ). Выбор того или иного источника, определяющего величину УОЗ в зависимости от положения режимной точки, регулировок и режима работы двигателя, выполняется диспетчером режимов. В режиме пуска, значение угла опережения зажигания определяется в соответствии с регулировками в зависимости от частоты вращения коленчатого вала. При переходе на режим холостого хода УОЗ вычисляется как сумма трех параметров: базового УОЗ, поправки, зависящей от температуры охлаждающей жидкости и поправки, формируемой регулятором частоты вращения коленчатого вала по углу опережения зажигания. Более сложная процедура вычисления УОЗ используется на режимах частичных нагрузок и полной мощности. Это связано с тем, что на этих режимах диапазон изменения положений режимной точки максимален, а существующая нелинейность изменения требуемого УОЗ не может быть описана простыми зависимостями.

Основной таблицей при расчете УОЗ в этих режимах является карта, отражающая его зависимость от циклового наполнения и частоты вращения двигателя. Карта калибровок в виде трёхмерной поверхности приведена на рисунке 2. Оптимальная величина УОЗ определяется как алгебраическая сумма составляющих этой карты, заложенных в постоянную память ЭБУ, и следующих поправок: по температуре охлаждающей жидкости, по температуре впускного воздуха, для прогрева датчика кислорода и прогрева катализатора, от определяемого ЭБУ режима движения (например, резкое нажатие на педаль газа, дифференцируя сигнал с датчика положения дроссельной заслонки) [9]. В этот перечень включены основные поправки, перечень которых зависит от конкретной ЭСУД и постоянно расширяется.

Отдельно стоит отметить резервный (аварийный) режим блока управления, который позволяет эксплуатировать автомобиль с неисправными датчиками. В данном режиме, когда один или несколько каналов получения информации отсутствуют, работа электронного блока управления обеспечивается резервными калибровками (например, при отсутствии сигнала массового расхода воздуха вместо таб-

лицы базового циклового наполнения используется таблица наполнения в зависимости от степени открытия дроссельной заслонки). Разумеется, что в таком режиме нормальные эксплуатационные характеристики двигателя не обеспечиваются. Резервная карта угла опережения зажигания показана на рисунке 3.

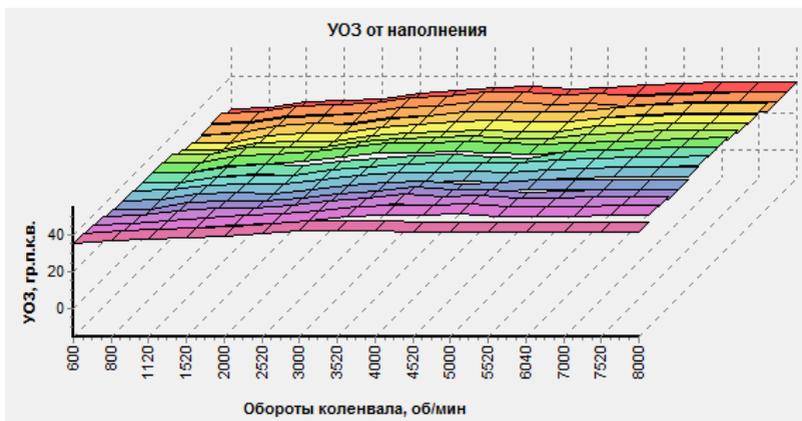


Рисунок 2 – Зависимость угла опережения зажигания от циклового наполнения и частоты вращения коленчатого вала двигателя

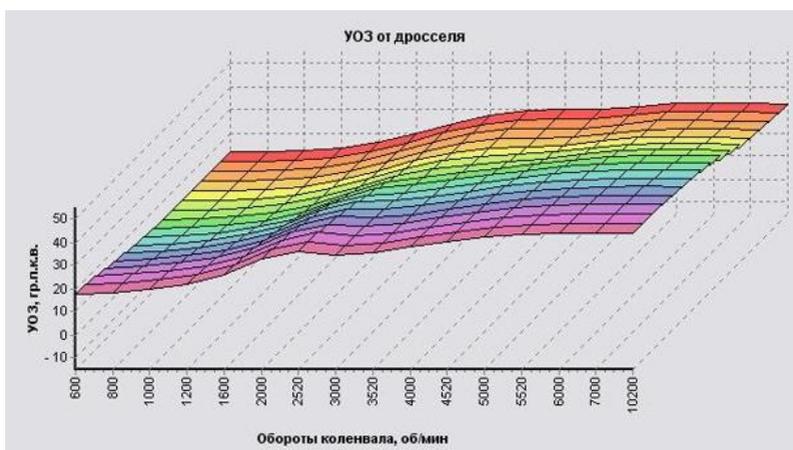


Рисунок 3 – Зависимость угла опережения зажигания от нагрузки и частоты вращения коленчатого вала двигателя. Используется в аварийном режиме

## 2. Процесс корректировки программы управления ЭБУ

Корректировку программного обеспечения при ходовых испытаниях автомобиля можно производить, руководствуясь следующим алгоритмом.

1. Производим подключение компьютера к электронному блоку управления автомобилем с помощью K-Line адаптера, соединяем адаптер и диагностический разъём,

2. Запускаем программу Atomic Tune.

3. После установления связи мы увидим отображение актуальных диагностических данных в программе, а также коды неисправностей, при их наличии.

4. Открываем в программе Atomic Tune. заранее подготовленную программу блока управления (как правило, такой вариант применяется, если нам необходимо достичь значительного увеличения динамических характеристик, например, программу на базе спортивной j7es) либо стандартную программу dm\_53, актуальную для нашего двигателя.

5. Основной задачей корректировки программы является получение новых таблиц базового циклового наполнения (БЦН) и поправки циклового наполнения (ПЦН). Их можно посмотреть во вкладках «Генерируемое БЦН», «Генерируемое ПЦН».

6. Переходим на вкладку «Попадание в РТ».

7. Если двигатель прогреет до рабочей температуры, датчик кислорода прогреет, программа автоматически начнёт работу, о чём будет свидетельствовать надпись: «Идёт обучение».

8. Таблица «Попадание в РТ» отображает процесс откатки. Каждая ячейка таблицы – рабочая точка. Необходимо заполнить как можно больше ячеек в этой таблице. По вертикали шкале отображается частота вращения коленчатого вала, по горизонтальной – процент открытия дроссельной заслонки.

Например, для получения обученной точки в 30 % и 3000 об/мин, нам надо чтобы частота вращения двигателя и положение дроссельной заслонки, попадающие в диапазон по частоте 2730–3210 и по степени открытия 29–37 находились в этом диапазоне как можно больший промежуток времени. Каждые 4 цикла двигателя, параметры ко-

того находятся в данном диапазоне, будут составлять одну рабочую точку. Задача заключается в том, чтобы получить как можно больше обученных точек.

9. При дорожных испытаниях таблица будет заполняться по диагонали, т.к. при увеличении степени открытия дроссельной заслонки автоматически будет и увеличиваться частота вращения, при небольших углах открытия двигатель не разовьёт высокие частоты вращения в связи с различными сопротивлениями (воздуха, качения шин и др.). Степень открытия дроссельной заслонки повышается плавно, и точки в таблице постепенно заполняются.

По результатам проведённых испытаний таблица примет вид, пример которого продемонстрирован на рисунке 4. В каждой ячейке, отмеченной зелёным цветом отображено количество рабочих точек, которые прошли обучение.

По результатам дорожных или стендовых испытаний автомобиля программа автоматически генерирует недостающие точки в таблице базового циклового наполнения (рисунок 5).

В процессе сопоставления имеющей базового циклового наполнения с показаниями датчика кислорода, о составе смеси, программа рассчитывает поправку циклового наполнения для каждой рабочей точки (рисунок 6)

Рекомендуется, чтобы значения в таблице поправки должны попадать в диапазон 0,98–1.02. Это будет свидетельствовать о точном подборе состава смеси [8]. При несоответствии данному интервалу дорожные испытания повторяют уже на базе отредактированной программы ЭБУ.

По умолчанию, программа сохранит калибровки и лог в той же папке, где лежит программа, с которой производилась работа.

После настройки основных калибровок блока управления двигателем может выполняться корректировка угла опережения зажигания. Данная корректировка особенно актуальная, если автомобиль заправляется качественным высокооктановым топливом, которое позволяет избегать детонации в довольно широких пределах изменения угла опережения зажигания.

Угол опережения зажигания можно корректировать в режиме *on-line* как на инженерном (т.е. позволяющем корректировать данные

программы ЭБУ в режиме реального времени) так и на неинженерном блоке управления Январь 7.2. В программах openOLT либо R-tuner можно менять УОЗ в режиме on-line на обычном блоке.

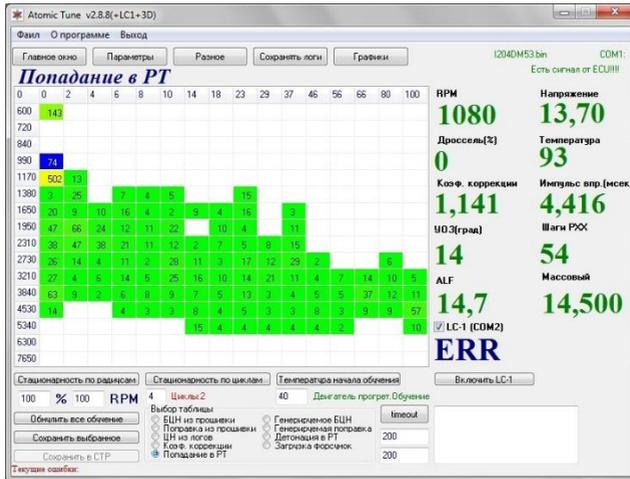


Рисунок 4 – Рабочее окно программы Atomic Tune отображающее заполнение информации о рабочих точках

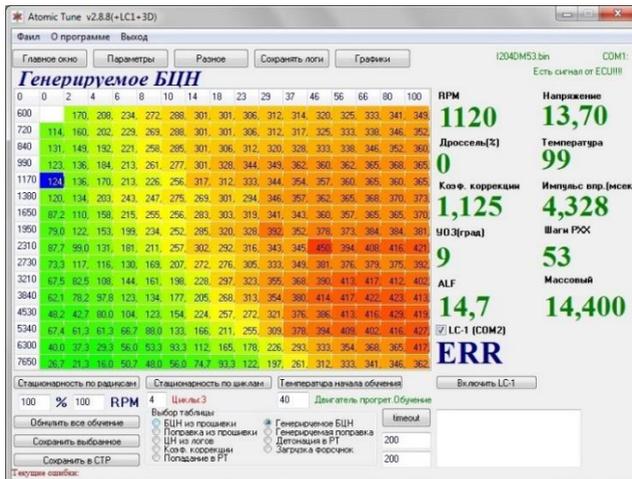


Рисунок 5 – Рабочее окно программы Atomic Tune с полученной, а также сгенерированной таблицей БЦН

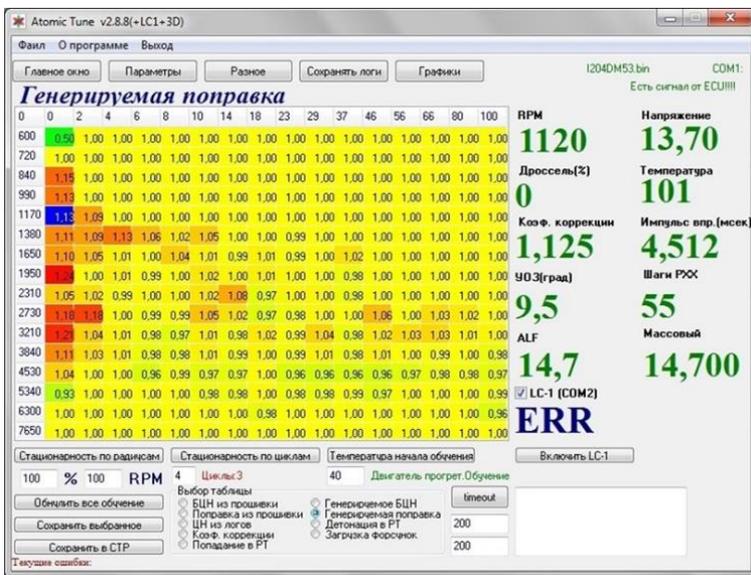


Рисунок 6 – Рабочее окно программы Atomic Tune с рассчитанной таблицей поправки циклового наполнения

При первичной подготовке программы управления кривые изменения УОЗ в базовой карте калибровок делаются ровными, без всяких резких перегибов, провалов. Затем во всём диапазоне рекомендуется его снизить на 2–3 градуса.

Корректировка угла опережения зажигания осуществляется по следующему принципу: увеличиваем угол зажигания по половине градуса в выбранном диапазоне частоты вращения коленчатого вала двигателя. При улучшении динамических характеристик двигателя продолжаем корректировку угла в сторону увеличения. Для объективности показаний целесообразным представляется использование телеметрического оборудования. При начале детонационных шумов в двигателе необходимо прекратить увеличение угла и снизить его на 1–2 градуса в сторону уменьшения.

		Базовый УОЗ 2															
		Обороты коленвала, об/мин															
		288	672	1056	1440	1824	2208	2592	2976	3328	3712	4096	4480	4864	5248	5632	6016
Цикловое наполнение, мг/цикл	21,7	16,13	16,13	23,63	40,88	43,50	47,25	48,38	48,00	46,88	44,63	43,13	42,00	41,63	42,00	42,75	45,38
	48,8	16,13	16,13	23,63	40,50	42,75	46,88	48,00	47,63	46,13	43,88	42,38	41,25	40,88	41,63	42,38	44,63
	97,7	16,13	16,13	21,00	39,75	41,63	46,13	46,88	46,13	45,00	43,13	42,00	39,75	39,38	39,75	40,88	43,88
	151,9	16,13	12,00	18,75	37,50	39,38	43,13	43,88	43,88	43,13	40,88	39,75	37,88	37,88	37,88	38,25	42,00
	200,8	16,13	12,00	18,38	32,63	35,25	38,25	39,75	41,63	40,13	37,88	36,75	35,25	34,88	34,88	35,25	39,38
	249,6	9,00	9,75	18,38	25,88	29,63	31,88	34,50	37,50	36,75	34,50	33,38	32,25	31,88	32,25	32,25	34,88
	298,4	4,13	4,88	10,13	17,63	22,88	24,75	27,75	31,50	31,88	30,75	29,63	28,88	27,75	27,38	27,38	29,25
	347,3	1,50	1,88	4,13	11,25	16,13	19,13	22,50	26,25	27,38	27,38	26,63	25,50	24,00	24,38	24,00	23,63
	417,8	-2,25	-2,63	-2,63	4,13	9,38	12,75	17,25	19,50	21,75	22,50	22,13	20,63	20,25	20,25	19,88	19,50
	477,5	-4,50	-5,63	-6,00	0,75	4,13	8,63	13,13	14,63	18,00	18,75	18,00	17,25	18,00	18,00	17,63	17,25
	526,3	-6,00	-7,13	-7,50	-1,88	0,75	5,25	10,50	12,00	15,38	16,13	15,75	15,38	16,50	16,50	16,50	16,13
	634,8	-9,00	-10,88	-10,88	-5,25	-2,63	1,50	7,13	8,63	12,00	12,75	13,50	13,13	15,00	15,00	15,00	14,63

Рисунок 7 – Матрица угла опережения зажигания в зависимости от наполнения в программе OpenOLT

### 3. Результаты экспериментального исследования

Были проведены исследования микропроцессорной системы «MOTRONIC» Январь 7.2 ВАЗ 2110 на базе стенда НТЦ – 15.40.1 «Система питания двигателя с распределенным впрыском топлива» [6] а также на автомобиле, оснащённом ЭСУД.

Предварительно были внесены изменения в программу блока управления с помощью программы ChipTuningPro. Основная калибровка УОЗ была переработана по отношению к стандартной (рисунок 8). УОЗ отложен по вертикальной оси, частота вращения двигателя по горизонтальной. Также была полностью оптимизирована таблица базового циклового наполнения в программе Atomic Tune по алгоритму, приведенному в данной статье. Программа была испытана на двигателе ВАЗ 2103, оснащённом ЭСУД на базе ЭБУ Январь 7.2.

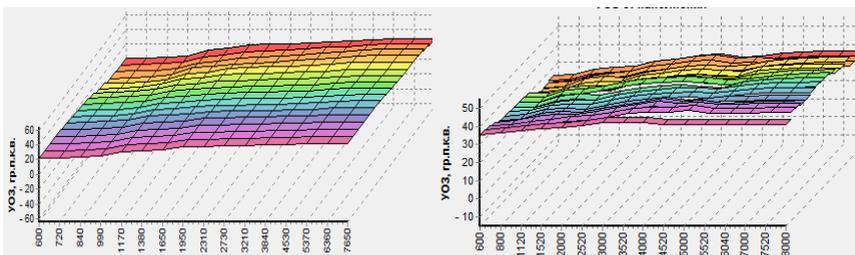


Рисунок 8 – Сравнение карт зажигания до и после внесения изменений в калибровку

Используя программу «OpenDiag» произвели проверку изменения угла опережения зажигания в зависимости от изменения положения дроссельной заслонки и частоты вращения коленчатого вала на стенде НТЦ – 15.40.1. Результаты измерений занесли в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты измерений УОЗ на стенде

Частота вращения коленвала, об/мин	Угол открытия дроссельной заслонки						
	24°	34°	44°	54°	63°	72°	84°
480	6	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5
1000	15,5	16,0	18,0	20,0	21,5	23,5	24,0
1520	19,5	21,0	23,5	27,0	30,0	33,0	33,0
2000	24,5	25,5	28,0	30,5	33,0	35,5	35,5
2520	25,5	26,0	28,5	32,0	34,5	36,75	36,5
3000	27,0	27,0	28,5	31,5	34,0	37,0	37,5
3520	27,5	27,5	29,0	32,5	35,5	37,5	37,5
4000	28,5	28,5	29,5	33,0	36,0	37,5	37,5
4520	29,0	29,0	33,0	37,5	37,5	37,5	37,5
5000	30,	30,0	34,0	38,0	38,0	38,0	38,0

Анализируя заданные базовые калибровки и полученные в результате на стенде в лабораторных условиях становится очевидно, что УОЗ не изменился прямо пропорционально внесенным в программу изменениям, однако в целом заметно полное алгебраическое соответствие заданной и полученной величин [7]. На практике процесс функционирования двигателя автомобиля изменился в лучшую сторону, однозначно можно утверждать о значительно более плавной и стабильной кривой изменения крутящего момента. На данный момент планируются испытания на стенде тягово-мощностных показателей [10]

## Выводы

Экономия топлива от дополнительной корректировки заводской программы управления двигателем позволит выйти на самоокупаемость данной операции уже через 10000 километров пробега. В правильно настроенном двигателе увеличивается мощность и крутящий момент, становится шире полка крутящего момента. Экологические

показатели, как правило, не ухудшаются, или происходит их незначительное снижение, которое окупается возросшей управляемостью двигателя и меньшим расходом топлива в установившихся режимах.

## Литература

1. Гиравец А.К. Теория управления автомобильным бензиновым двигателем. Научное издание /

2. Савич, Е. Л. Диагностирование электронных систем управления автомобилей / Е. Л. Савич, А. С. Гурский; Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2005. – 22 с. – Рус. – Деп. в ГУ «БелИСА» 30.03.2005 г., № Д200521.

3. Гурский, А. С. Современные технологии диагностирования электронных систем управления автомобилем / А. С. Гурский // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 7-й Международной научно-технической конференции. – Минск: БНТУ, 2009. – С. 31.

4. Гурский, А. С. Проблемы диагностирования приборов электрооборудования автомобилей / А. С. Гурский, В. К. Ярошевич // Современные проблемы освоения новой техники, технологии, организации технического сервиса в АПК. – Минск, 2010. – С. 123–128.

5. Серебряков, И. А. Способ диагностирования электронного блока Mechatronic роботизированной коробки передач DSG / И. А. Серебряков, А. С. Гурский // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 13-й Международной научно-технической конференции. – Минск: БНТУ, 2015. – Т. 2. – С. 84–85.

6. НТЦ-15.40.1 «Система питания двигателем с распределенным впрыском топлива» // НТП «Центр» [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: [http://ntpcentr.com/ru/catalog/15\\_00/15\\_40\\_1/](http://ntpcentr.com/ru/catalog/15_00/15_40_1/). – Дата доступа: 10.05.2017.

7. Серебряков, И.А. Особенности использования мотор-тестера при диагностировании современных систем автомобиля/ Е.Л. Савич, А.С. Гурский, И.А. Серебряков/ Автомобиле- и тракторостроение: сб. статей по материалам Международной науч.-практ. конф., Минск, 14–18 мая. 2018 г.

8. Серебряков, И.А. Проблема выбора программного обеспечения в учебном процессе технического вуза / И.А. Серебряков, Н.Г. Се-

ребрякова// Математика и информатика в естественнонаучном и гуманитарном образовании: матер. междунар. научно-практ. конф., Минск, 20–21 апреля 2012 г. / Министерство образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т; редкол.: В.А. Еровенко [и др.]. - Минск, 2012. - С. 266–268.

9. Электрический прерыватель для системы зажигания двигателей внутреннего сгорания: пат. 4686 Респ. Беларусь, МПК F02P 7/06 / Г.А. Самко, А. С. Гурский; заявитель Белорусская государственная академия. – № а 19981201; заявл. 30.12.98; опубл. 30.09.02 // Афiцыйны бюл. / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. – 2003. – № 4. – С.19 – 21.

10. Гурский, А. С. Стенд для диагностирования различных типов роботизированных коробок передач = Stand for diagnosis of various types robotic transmission / А. С. Гурский, И. А. Серебряков // Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов. Безопасность дорожного движения: сборник научных трудов (По результатам Международной научно-практической конференции) / Белорусский национальный технический университет [и др.]. – Минск: БНТУ, 2016. – С. 428–431.

11. Гурский А.С., Серебряков И.А. Метод диагностирования коробок передач DSG// Изобретатель. – 2016. – №10(202). – С. 43–45.

12. Смирнов, Ю. А. Электронные и микропроцессорные системы управления автомобилей / Ю. А. Смирнов, А. В. Муханов. – СПб.: Лань, 2012. – 624 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ  
ИЗНОШЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ  
ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ АКТИВИРОВАННЫМ  
ДУГОВЫМ НАПЫЛЕНИЕМ**

**RESEARCH OF MATERIALS FOR THE RESTORATION  
OF WEARIED SURFACES OF HIGHLY LOADED DETAILS  
BY ACTIVATED ARC SPRAYING**

*Ивашко В.С.*, д-р техн. наук, проф.,  
*Изоитко В.М.*, канд. техн. наук, доц.,  
*Буйкус К.В.*, канд. техн. наук, доц.,

Белорусский национальный технический университета,  
г. Минск, Республика Беларусь

*V. Ivashko*, Doctor of technical Sciences, Professor,  
*V. Izoitko*, Ph.D. in Engineering, Associate professor,  
*K. Buikus*, Ph.D. in Engineering, Associate professor,  
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

*Рассмотрен процесс восстановления рабочих поверхностей трения коленчатых валов дизелей активированным дуговым напылением. Представлены результаты исследований триботехнических характеристик напыленных покрытий из проволочных материалов различного химического состава. Показано, что наиболее высокими антифрикционными свойствами обладают покрытия, напыленные из проволоки, содержащей 0,8 % углерода, 16 % хрома, 4 % кремния, 3 % молибдена.*

*Ключевые слова: напыление, проволока, трибологические испытания, машина трения, коэффициент трения.*

*The process of restoring the working surfaces of friction of crankshafts of diesel engines by activated arc spraying is considered. The results of studies of the tribological characteristics of sprayed coatings of wire materials of different chemical composition are presented. It is shown that*

*the coatings sprayed from wire containing 0,8 % carbon, 16 % chromium, 4 % silicon, 3 % molybdenum have the highest antifriction properties.*

*Keywords: spraying, wire, tribological tests, friction machine, friction coefficient.*

## **Введение**

Нанесение защитных покрытий из проволочных материалов электродуговыми методами считается наиболее экономически эффективным методом восстановления деталей машин. По данным «Metallisation UK» дуговым напылением наносятся более 75 % металлических покрытий [1]. Использование тепла электрической дуги для плавления электродов позволяет внедрять этот энергосберегающий метод в условиях, как крупных ремонтных предприятий с массовым производством, так и небольших мастерских с единичным и уникальным производством. Освоение новых проволочных материалов, применяемых для сварочных работ, открывает возможность восстанавливать детали машин, работающих в условиях трения со смазкой, посадочных мест под подшипники качения, деталей, подвергающихся коррозионному и фреттинг-изнашиванию.

Плавление электродной проволоки открытой электрической дугой – высокотемпературным концентрированным источником нагрева – вызывает необходимость принимать меры по защите зоны плавления металла и расплавленных частиц от окисляющего воздействия кислорода воздуха. Использование инертных газов ввиду их большого (более 1,5 м/мин) расхода экономически нецелесообразно. Целесообразно связать кислород воздуха в реакции горения с углеводородным топливом. Жидкие топлива (керосин, бензин) применяются в некоторых устройствах для напыления покрытий. Высокотемпературная струя продуктов сгорания таких устройств содержит твердые частицы углерода, которые попадают на поверхность обрабатываемой детали и остаются там, ухудшая качество покрытий. Газообразное топливо для организации процесса горения подается через простейшие смесители-дозаторы, что позволяет значительно облегчить конструкцию металлизатора и оперативно изменять окислительно-восстановительные свойства распыляющей струи [2–4].

Широким распространением в ремонтном производстве метод активированного дугового напыления обязан доступности и сравнительно невысокой цене источника нагрева — электрической дуги. Для получения электрической дуги можно использовать серийные источники сварочного тока с жесткой вольтамперной характеристикой с диапазоном регулировки напряжения от 22 до 40 В и номинальным током более 500 А. Практически для распыления полнотельных стальных проволок диаметром до 2 мм достаточно иметь диапазон регулировки тока от 120 до 220 А. Запас по току необходим для обеспечения бесперебойного протекания переходных процессов.

Восстановления посадочных мест под подшипники качения производится хорошо зарекомендовавшими себя проволоками Св-08Г2С, 20Х13. Подшипники скольжения с удельными нагрузками до 7–8 МН/м<sup>2</sup> можно восстанавливать проволоками 40Х13, 38ХМЮА, что достаточно для большинства машин и механизмов, а также коленчатых валов бензиновых двигателей внутреннего сгорания.

Восстановление тяжелонагруженных (свыше 8 МН/м<sup>2</sup>) валов дизелей требует применения материалов, обладающих более высокими триботехническими свойствами. Такие материалы выпускаются рядом зарубежных фирм и применяются на предприятиях, имеющих электродуговые металлзаторы.

Цель работы — определение требований к свойствам наносимого материала для восстановления изношенных высоконагруженных поверхностей деталей на примере шеек коленчатых валов дизелей методом активированного дугового напыления.

## **1. Методика исследований**

Образцы покрытий изготовлены следующим образом. На стальные ролики произведено напыление слоев проволоками различных составов. Для оценки пар трения были изготовлены «колодочки» из подшипникового сплава и бронзы СЗО и в лаборатории определены триботехнические свойства пар трения по следующим методикам.

Методика испытаний на сопротивляемость заеданию при скольжении. Оборудование - машина трения марки СМЦ-2. Схема испытания – ролик-колодочка. Приработка образцов – по специальному режиму до полного контакта всей поверхности трения колодочки.

Режимы испытания были выбраны следующие:

1. Нагрузка ступенчатая - через 10 кг при каждой нагрузке испытания велись в течение не менее 5 минут.

2. Скорость перемещения ролика относительно колодочки – 1,03 м/с.

3. Смазка М14ВЦ, капельная - одна капля в 15–20 с.

4. Ролики изготавливались из стали, на рабочую поверхность были напылены различные материалы с условными обозначениями: №№ 1, 2, 3, 4, 5. Примерный состав материалов приведен в таблице № 1. Для сравнения были изготовлены ролики из стали, которая применяется для коленчатых валов (ролик № 0). Наружный диаметр всех роликов составлял  $40 \pm 0,02$  мм. Ширина роликов -  $10 \pm 0,1$  мм. Механической обработкой наружного диаметра (шлифование и полирование) обеспечивали шероховатость  $Ra = 0,30-0,20$  мкм.

Таблица 1 – Химический состав проволок

Образец	Примерный химический состав проволочных материалов						
	C	Cr	B	Si	Mn	Mo	W
0	0.38	1.3	0.3	0.27	0.55	0.25	-
1	0.45	5.5	-	0.6	1.6	0.6	-
2	4.4	23.5	-	1.5(V)	3.5(Nb)	6.5	2.2
3	0.18	13.0	-	0.3	1.2	1.5	0.25
4	0.8	16.0	3.5	4.0	-	3.0	-
5	0.40	13.0	0.6	0.8	0.8	-	-

5. Колодочки изготавливались из бронзы СЗО. Ширина колодочки  $10 \pm 0,05$  мм. Поверхность трения составляла  $100 \text{ мм}^2$ . Твердость Бр СЗО составляла НВ 42–45. Чистота поверхности трения колодочек  $Rz = 12-15$  мкм. После приработки чистота поверхности трения составляла  $Rz = 1-2,5$  мкм.

6. Испытания проводились при температуре окружающего воздуха  $18-20$  °С.

7. Объем испытаний. Испытанию подвергалось шесть роликов в паре с бронзовыми колодочками. Каждый вариант испытывался трижды при ступенчатом давлении от 1,0 до  $22,0 \text{ МН/м}^2$  с шагом  $1,0 \text{ МН/м}^2$ .

В процессе испытания велась запись момента трения, и проводилось наблюдение за появлением паров смазки и фиксирование нагрузки, при которой появляются пары смазки. Данная методика позволяет получать зависимость коэффициента трения от нагрузки.

По характеру этой зависимости можно определять при какой нагрузке (критическом давлении  $P_{кр}$ ) происходит разрушение масляного слоя и начинается металлическое контактирование трущихся поверхностей со значительным выделением теплоты и образованием паров масла, схватыванием, заеданием или интенсивным изнашиванием трущихся поверхностей.

В результате получали зависимость момента трения  $M_{тр}$  от давления  $P$ . Затем путем расчета определяли коэффициент трения, строили график зависимости коэффициента трения  $f$  от давления  $P$ .

После испытаний по определению критического давления перехода от смешанного трения к стабильному режиму нарушения сплошности масляного слоя  $P_{кр}$  и коэффициент трения  $f$ , были проведены испытания на износ по второй методике.

Оборудование — машина трения марки СМЦ-2. Схема испытания: ролик – колодочка, приработка до 100 % контакта поверхности колодочки.

1. Давление – 10,0 МН/м<sup>2</sup>.
2. Смазка капельная, масло – М14ВЦ
3. Скорость перемещения ролика относительно колодочки – 1,03 м/с.
4. Время испытания – 50 часов.
5. Измерение величины износа по потере массы роликов и колодочек за 50 ч.

6. Объем испытаний. Длительным испытаниям на износостойкость подвергались три вида роликов: № 0, № 3 и № 4. Эти ролики были выбраны по результатам испытаний по первой методике. Ролики № 3 были выбраны как показавшие неудовлетворительные свойства. Ролики № 4, как показавшие лучшие свойства. Ролики № 0, как материал достаточно хорошо известный, используемый для колленчатых валов. Нагрузка в 10 МН/м<sup>2</sup> была выбрана, как средняя нагрузка на вкладыши дизелей.

## 2. Результаты испытаний и обсуждение

На рисунке 1 представлена усредненная зависимость коэффициента трения  $f$  от давления  $P$  для каждого из трех образцов одного материала, нанесённого активированным дуговым напылением. Пред-

ставленные графики позволяют судить о средних значениях и стабильности триботехнических свойств каждой пары трения. У всех испытанных материалов зависимость  $f$  от  $P$  имеет общие явления закономерности:

1) В интервале малых значений давления  $P$  при его повышении коэффициент трения  $f$  снижается и достигает минимального значения 0,015–0,025. Это происходит за счет снижения толщины масляной пленки и снижения вязкости масла от повышения давления и температуры. Минимальный  $f$  соответствует граничному трению;

2) После достижения минимального значения  $f$  начинается медленный его рост, что связано с нарушением сплошности масляного слоя, с металлическим контактированием поверхностей трения и увеличением тепловыделения. Этот участок кривой соответствует режиму смешанного трения;

3) Медленный рост  $f$  при увеличении давления переходит в скачкообразный рост  $f$  до значения 0,05–0,07;

4) При достижении  $f = 0,05$  тепловыделение от трения достигает значения, при котором начинается испарение смазки и кратковременное

схватывание отдельных участков поверхностей трения роликов и колодочек. Давление, при котором  $f = 0,05$ , является критическим  $P_{кр}$ ;

5) При достижении значения  $f = 0,06–0,07$  идет интенсивное окисление и износ поверхностей трения, а  $f$  остается стабильным или незначительно снижается при увеличении давления. Такое поведение пар трения объясняется изменением физико-химических свойств бронзы под воздействием температуры.

Отмеченные для всех пар трения явления, связанные с переходом от одного режима трения к другому, возникают у различных пар трения при разных давлениях  $P$ , что видно из полученных результатов (см. рисунок 1). Очень важным показателем, характеризующим пару трения, является критическое давление перехода от смешанного трения к режиму разрушения масляного слоя  $P_{кр}$ , при котором начинается заедание.

Пары трения, составленные из образцов, напыленные разными проволоками показали различные значения  $P_{кр}$ . Для удобства анализа значений  $P_{кр}$  сведены в таблице 2, значения которой показывают, что наиболее высокое и стабильное значение  $P_{кр}$  имеет пара

«ролики №4 – БрСЗО». Для этой пары  $P_{кр.ср} = 15,0 \text{ МН/м}^2$ , второе значение  $P_{кр.ср} = 13,3 \text{ МН/м}^2$  имеют пары «№ 2 + БрСЗО». Стабильность значения  $P_{кр}$  у каждой пары получилась разная. Разница между  $P_{кр.мин}$  и  $P_{кр.макс}$  составляет разброс значений этого показателя. Минимальный он у роликов № 0, № 4, а максимальный у роликов № 2.

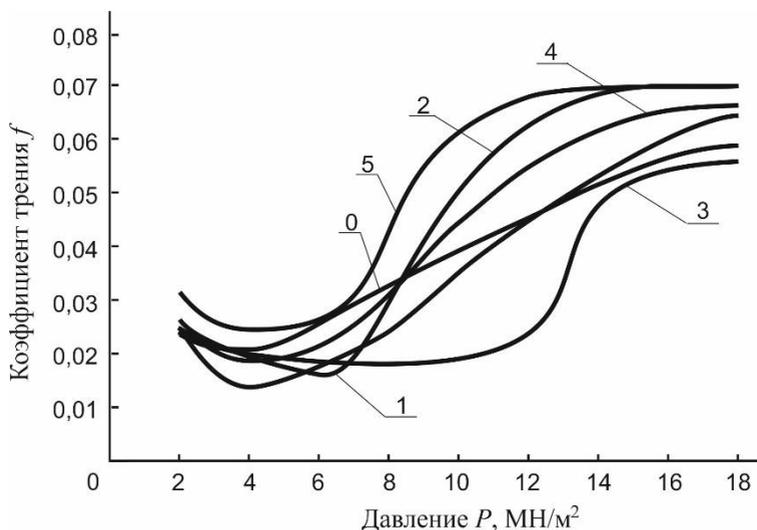


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента трения от давления (номера графиков совпадают с номерами образцов табл. 1)

В таблице 2 приведены также минимальные значения коэффициента трения и давление, при котором они получены, для каждой пары трения. Данный показатель характеризует фрикционные свойства пары трения в режиме граничного трения. Как видно, ролики №4 по этому показателю обладает некоторым преимуществом, его характеризует более высокое критическое давление перехода от смешанного трения к режиму устойчивого разрушения масляного слоя  $P_{кр}$  при котором начинается заедание.

Оценка состояния поверхностей трения роликов и бронзовых колодочек после окончания испытаний, представленная в таблице 3, также характеризует триботехнические свойства, подтверждая результаты, полученные при испытании по методике 1.

Таблица 2 – Зависимость критического давления от химического состава

Ролик	Критическое давление $P_{кр}$ , МН/м <sup>2</sup>			Оценка результатов $P_{кр}$	Минимальное значение коэффициента трения
	минимальное	максимальное	среднее		
0	11,0	14,8	14,0	Высокое значение	0,018-0,020
1	8,3	11,2	10,7	Невысокое значение	0,019-0,020
2	10,0	16,0	13,1	Нестабильное значение	0,014-0,020
3	8,0	12,0	9,5	Самое низкое значение	0,019-0,020
4	13,3	17,0	15,0	Самое высокое и стабильное значение	0,015-0,017
5	8,0	11,5	10,2	Невысокое значение	0,019-0,024

Таблица 3 – Состояния поверхностей трения

Ролик	Состояние поверхности трения роликов при визуальном осмотре	Состояние поверхности трения бронзы Бр.СЗО	Оценка состояния поверхностей трения
0	Гладкая, без рисков, слабо окисленная	Гладкая, окисленная, износ равномерный	Удовлетворительно
1	Окисленная, покрыта рисками	Окисленная, покрыта рисками, изношена	Неудовлетворительно
2	Окисленная, покрыта мелкими рисками	Окисленная, гладкая, износ незначительный	Неудовлетворительно
3	Окисленная, с глубокими рисками	Окисленная, изношенная, много рисков	Неудовлетворительно
4	Гладкая, не окисленная	Не окисленная, гладкая, износ равномерный	Удовлетворительно
5	Окисленная, покрыта рисками	Окисленная, покрыта рисками	Неудовлетворительно

Представленные в таблице 4 результаты испытаний на износ показывают, что по износостойкости ролики № 4 и № 0 равнозначны, а ролики № 3 изнашиваются в 2 раза больше чем № 4 и № 0. Бронза СЗО имеет износ при испытании с роликами №3 в 3 раза больше, чем при испытании с роликами № 0 и в 2 раза больше, чем при испытании с роликами № 4.

Таблица 4 – Результаты испытаний на износ

Наименование трущегося тела	Номер образца покрытия		
	0	3	4
	Износ, мм		
Контртело БрС30	0,18	0,4	0,2
Покрытие	0,03	0,06	0,02

Результаты проведенных исследований подтверждают предположение [5], что изнашивание напыленных стальных покрытий при высоких нагрузках будет идти менее интенсивно, чем цельносталльных поверхностей деталей. У последних после истирания и выноса из зоны трения оксидной пленки увеличивается склонность к схватыванию неокисленных сопрягаемых поверхностей и возрастает вероятность перехода к внутреннему трению, сопровождающемуся выкрашиванием глубинных блоков. У покрытий же после выработки очередного слоя открывается поверхность, в которой перемежаются участки чистого металла и пленки оксидов. Роль оксидов двоякая: с одной стороны, они играют роль сухой смазки и снижают коэффициент трения, с другой – охрупчивают и уменьшают прочность напыленного слоя. Применение плотной высокоскоростной газовой струи и восстановительной атмосферы при активированном дуговом напылении повышает дисперсность структуры, снижает количество оксидов, количество и величину пор в напыленном слое [6–11]. Поперечный размер микротрещин, образующихся под действием приложенной нагрузки, недостаточен для разрыва межзатомных связей на участках чистого металла; и они не вызывают разрушения покрытия в целом.

## Заключение

1. Самыми высокими триботехническими свойствами из испытанных образцов обладают ролики № 4, которые по  $P_{кр}$  превосходят стальные ролики, изготовленные из материала, применяющегося для изготовления коленчатых валов № 0.

2. Критическое давление перехода от смешанного трения к режиму разрушения масляного слоя  $P_{крср}$  у образцов № 4 самое высокое и равняется  $15,0 \text{ МН/м}^2$ , что хорошо согласуется с результатами ра-

нее проведенных исследований [12, 13] по изучению влияния маслоудерживающей способности поверхности трения на её износостойкость.

3. Коэффициент трения, в режиме граничной смазки, у образцов № 4 равен 0,15–0,25, и имеет такое значение в широком интервале давлений 1,0–12 МН/м<sup>2</sup>.

4. Износ роликов № 4 на 15 % меньше, чем стали (№ 0), износ бронзовых колодочек при этом незначительно выше, чем их износ при испытании со сталью.

5. При испытании роликов № 4 их поверхности трения и поверхности трения бронзы не имели окисления во всем диапазоне нагрузок (1,0–22,0 МН/м<sup>2</sup>).

6. Несколько худшие триботехнические свойства имеют образцы № 2, они также имеют большой разброс значений  $P_{кр}$ . Затем следуют ролик № 1, № 5, № 3. Нестабильные значения  $P_{кр}$  у данного сплава видимо являются следствием различного нагрева частиц наполнителя, имеющего значительный разброс по величине. Этих недостатков лишен материал №4, в котором применен порошковый наполнитель стабильного гранулометрического состава.

Таким образом, проведенный анализ результатов исследования позволяют рекомендовать для восстановления изношенных поверхностей шеек коленчатых валов транспортных дизелей методом активированного дугового напыления состав материала порошковой проволоки, соответствующий образцам № 4 (0,8 % углерода, 16 % хрома, 4 % кремния, 3 % молибдена).

## Литература

1. Ивашко, В.С. Активированная дуговая металлизация – перспективный способ нанесения износостойких покрытий на детали дорожно-строительных машин и коррозионностойких покрытий на элементы строительных металлоконструкций [Текст] / В.С. Ивашко, А.И. Шевцов, К.В. Буйкус // Известия Белорусской инженерной академии. – 1998. – № 2. – С. 14–16.

2. Ивашко В. С., Восстановление деталей узлов трения активированной дуговой металлизацией [Текст] / В.С. Ивашко, М.А. Белоцерковский, К.В. Буйкус // Автоматическая сварка. – 1999. – № 4. – С. 38–40.

3. Ивашко, В. С. Восстановление деталей нанесение покрытий электродуговым напылением [Текст] / В.С. Ивашко, К.В. Буйкус, С.С. Шамович // Материалы междунар. научно-технической конференции «Инженерия поверхности и реновация изделий», 28–30 мая 2002 г., г. Ялта. – Киев: АТМ Украины, 2002. – С. 61–63.

4. Ивашко, В. С. Современные способы нанесения покрытий на изношенные поверхности деталей типа «круглые стержни» [Текст] / В.С. Ивашко, К.В. Буйкус, А.С. Савич // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК : доклады республиканской научно-практической конференции на 20-й Международной специализированной выставке «Белагро-2010», г Минск, 10 июня 2010 г. – Минск, 2011. – С. 130–138.

5. Кудинов, В. В. Нанесение плазмой тугоплавких покрытий [Текст] / В.В. Кудинов, В.М. Иванов. – М. : Машиностроение, 1981. – 192 с.

6. Структура и свойства стальных покрытий, нанесенных методом активированной дуговой металлизации [Текст] / Ю.С. Коробов [и др.] // Сварочное производство. – 1997. – №1. – С. 4–6.

7. Триботехнические исследования покрытий для восстановления деталей автотракторной техники [Текст] / В.С. Ивашко [и др.] // Инженерия поверхности и реновации изделий: Материалы 12-й Международной научно-технической конференции, 04–08 июня 2012 г., г. Ялта-Киев, 2012 г. – Киев: АТМ Украины. – 2012. – С.118–120.

8. Ивашко, В. С. Физико-механические свойства напыленных покрытий [Текст] / В.С. Ивашко, В.Г. Жданко, К.В. Буйкус // Материалы 9-ого международного научно-технического семинара «Современные проблемы подготовки производства, заготовительного производства, обработки, сборки и ремонта в промышленности и на транспорте», 23–27.02.2009 г., г. Свалява, Карпаты. – Киев : АТМ Украины.– С. 103–107.

9. Ивашко, В. С. Повышение физико-химических свойств газотермических покрытий на рабочих поверхностях деталей автомобилей [Текст] / В.С. Ивашко, К.В. Буйкус // Материалы X Международной научно-технической конференции «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» – Винница, 2017. – С. 57–60.

10. Ивашко, В. С. Повышение физико-механических свойств газотермически напыленных покрытий механической активацией

[Текст] / В.С. Ивашко, К.В. Буйкус // Материалы 15-й международной научно-технической конференции «Наука – образованию, производству, экономике» / в 4-х томах. Том 2. – Минск : БНТУ, 2017. – С. 117.

11. Ивашко, В. С. Исследование материалов для восстановления шеек валов активированным электродуговым напылением / В.С. Ивашко, К.В. Буйкус // Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов. Безопасность дорожного движения // Сборник научных трудов по результатам Международной научно-практической конференции. – Минск : БНТУ, 2016. – С. 486–490.

12. Роль адгезии смазочного масла при граничной смазке [Текст] / А.Ф. Ильющенко [и др.] // Трение и износ. – 1998. – Т. 19. – № 3. – С. 23–25.

13. Анализ корреляции между маслоудерживающей способностью и износостойкостью напыленных защитных покрытий [Текст] / А. С. Никитина [и др.] // Республиканский межведомственный сборник «Сварка и родственные технологии». —Минск, 2000. – Вып. 3. – С. 85–87.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА И СОСТОЯНИЯ МОТОРНЫХ  
МАСЕЛ С ПОМОЩЬЮ ИНФРАКРАСНОЙ  
СПЕКТРОСКОПИИ СОВМЕСТНО  
СО СТАНДАРТИЗОВАННЫМИ МЕТОДИКАМИ**

**DETERMINATION OF THE COMPOSITION AND CONDITION  
OF MOTOR OILS USING INFRARED SPECTROSCOPY  
IN CONJUNCTION WITH STANDARDIZED TECHNIQUES**

*Глазков Л.А.*, канд. техн. наук, *Жилянн Д.Л.*, инженер,  
*Табулин А.А.*, инженер, *Джежора С.В.* ст. препод.,  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Беларусь

*L. Glazkov*, Ph.D. in Engineering, *D. Zhilyanin*, researcher,  
*A. Tabulin*, researcher, *S. Jegora*, senior lecturer,  
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

*Проведены исследования масел моторных с помощью инфракрасной спектроскопии совместно со стандартизованным методом для определения состава и наличия пакета присадок.*

*Ключевые слова: масло моторное, спектроскопия, присадка, методы испытаний.*

*Motor oils were studied using infrared spectroscopy together with a standardized method to determine the composition and availability of an additive package.*

*Keywords: engine oil, spectroscopy, additive, testing methods.*

## **Введение**

Одним из основных методов диагностики технического состояния технологического оборудования, такого как компрессоры, насосы, газопоршневые агрегаты, редукторы, трансформаторы, двигатели внутреннего сгорания является анализ масел. Данный метод исполь-

зуются в основном фирмами-изготовителями промышленного и технологического оборудования. Методы оценки разрабатываются под конкретное оборудование и, как правило, не стандартизированы. Поэтому производители оборудования, в котором используются масла, разрабатывают требования, предъявляемые к маслам (допуски, спецификации и т.д.). Некоторые производители устанавливают требования в виде процесса сертификации, который должна пройти фирма-изготовитель смазочных материалов, чтобы получить допуск применения на их оборудовании.

## **1. Анализ применяемых методов**

Разрабатываемые методы оценки состояния применяемых масел считаются достаточно эффективными. Согласно имеющимся данным, дефекты оборудования, обнаруживаемые при анализе масла, подтверждаются в 95 % случаев при разборе агрегата. В этом случае, анализ масла позволяет получить достоверную информацию о техническом состоянии уплотнений, подшипников, эффективности работы присадок, наличии включений, содержании воды, параметров состояния смазочного материала.

Мониторинг смазочного материала, работающего в механизме, характеризуется следующими преимуществами:

- остановка и разборка оборудования не требуется;
- обнаружение неисправностей на самой ранней стадии возникновения;
- своевременная замена масла (по его фактическому состоянию, а не по пробегу);
- низкие затраты на проведение анализа.

Рабочий ресурс оборудования во многом зависит от состояния масла, которое в ходе эксплуатации подвергается различным воздействиям:

- термическое;
- воздействие окружающей атмосферы;
- химическое взаимодействие с различными материалами;
- воздействие электрического поля (для трансформаторных и изоляционных масел) и др.

В процессе эксплуатации происходит деструкция присадок, отчего смазочные материалы «стареют», в результате чего ухудшаются их функциональные (эксплуатационные) свойства.

Смазочный материал, потерявший свои эксплуатационные свойства в несколько раз увеличивает скорость износа двигателя и в итоге приводит к поломке. Поэтому для обнаружения изменений качества смазочных материалов и возможных загрязнений, необходимо проводить систематический мониторинг.

В настоящий момент мониторинг смазочных материалов осуществляется путем испытаний (сертификации, паспортизации) свежего масла на соответствие ГОСТ или ТНПА производителя по регламентированным стандартами методам, которые существуют для определения каждого отдельного показателя качества масла (вязкости, температуры вспышки, воспламенения, общего щелочного числа и др.).

В дальнейшем, отработавшее некоторое время в машине масло, можно проверить, используя параметры, указанные в соответствующих ГОСТах или спецификациях изготовителя и следить за их изменением.

Однако применить стандартизованные методы анализа можно не всегда. Один из примеров является метод определения щелочного и кислотного числа по ГОСТ 11362-96 «Нефтепродукты и смазочные материалы. Число нейтрализации. Метод потенциметрического титрования». Метод определяет общее кислотное число, кислотное число сильных кислот, кислотность, общее щелочное число, щелочное число сильных щелочей в нефтепродуктах и смазочных материалах. Этот метод характеризует относительное изменение масел в процессе окисления, не зависящее от цвета и других свойств масел. При этом данный стандарт не применяют для измерения абсолютного кислотного или щелочного числа с целью определения поведения масла в условиях эксплуатации, так как в свежих маслах и маслах, находящихся в эксплуатации, соединения кислого характера включают органические и минеральные кислоты, эфиры, фенольные соединения, лактоны, смолы, соли тяжелых металлов, соли аммония и других слабых оснований, соли многоосновных кислот, а также ингибиторы и детергенты.

В настоящее время распространенным методом для анализа масла становится инфракрасная спектроскопия. Метод основан на изучении спектров взаимодействия излучения (в том числе электромагнитного излучения, акустических волн и др.) с веществом. В основе метода рассматривается такое физическое явление, как инфракрасное излучение. Все тела, твёрдые и жидкие, нагретые до определённой температуры, излучают энергию в инфракрасном спектре. При этом длины волн, излучаемые телом, зависят от температуры нагревания: чем выше температура, тем короче длина волны и выше интенсивность излучения. Метод инфракрасной спектроскопии дает представление об относительных положениях молекул в течение очень коротких промежутков времени, позволяет оценить характер связи между ними, а также определить структурно-информационные свойства различных веществ. [3], [4]

Инфракрасная спектроскопия (ИК спектроскопия), относится к разделу молекулярной оптической спектроскопии, изучающей спектры поглощения и отражения электромагнитного излучения в инфракрасной области. В координатах интенсивность поглощенного излучения - длина волны (волновое число) инфракрасный спектр представляет собой сложную кривую с большим числом максимумов и минимумов. [1], [2] На рисунке 1 представлен спектр моторного масла, применяемого в газопоршневых агрегатах.

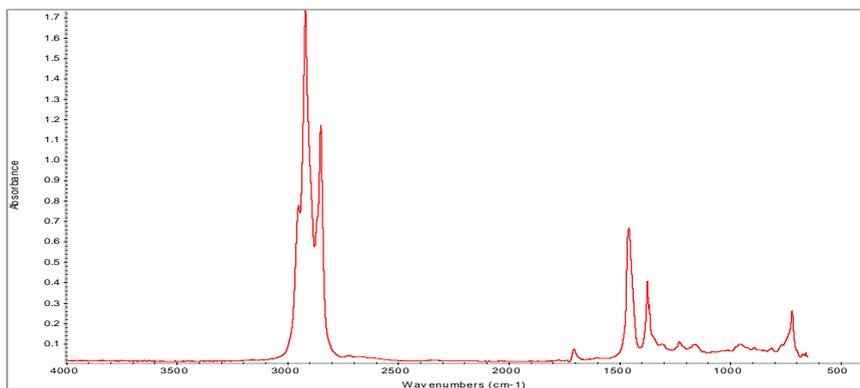


Рисунок 1 – Моторное масло, применяемое в газопоршневых агрегатах

Полосы поглощения появляются в результате переходов между колебательными уровнями основного электронного состояния изучаемой системы. Спектральные характеристики (положения максимумов полос, их полуширина, интенсивность) индивидуальной молекулы зависят от масс составляющих ее атомов, геометрии строения, особенностей межатомных сил, распределения заряда и др. Поэтому инфракрасные спектры отличаются большой индивидуальностью, что и определяет их ценность при идентификации и изучении строения соединений. [5], [6], [7]

Метод инфракрасной спектроскопии является универсальным физико-химическим методом, который применяется в исследовании структурных особенностей различных органических и неорганических соединений. Метод основан на явлении поглощения группами атомов испытуемого объекта электромагнитных излучений в инфракрасном диапазоне. Поглощение связано с возбуждением молекулярных колебаний квантами инфракрасного света. При облучении молекулы инфракрасным излучением поглощаются только те кванты, частоты которых соответствуют частотам валентных, деформационных и вибрационных колебаний молекул. [8], [9], [10], [11], [12]

## **2. Проведение испытаний**

В настоящее время в Республике Беларусь остро стоит вопрос о рациональном расходе материалов и ресурсов в работе промышленных предприятий.

На Белорусском газоперерабатывающем заводе РУП «Производственное объединение «Белоруснефть», город Речица (БГПЗ) с целью максимального использования и переработки поступающего по трубопроводам попутного нефтяного газа с Речицкого и Осташковичского месторождений 30 ноября 2006 года был введен в эксплуатацию участок теплоэлектроцентрали (сокращенно – УТЭЦ).

УТЭЦ состоит из восьми агрегатов (далее - ГПА) на базе газопоршневых двигателей JMS620 компании GE Jenbacher общей вырабатываемой мощностью 24 МВт электрической и 20,6 Гкал/ч тепловой энергии. В качестве топлива ГПА используют отбензиненный газ собственного производства. Вырабатываемая электроэнергия используется как на собственные нужды завода, так и реализуется в

сети «Гомельэнерго» (энергосеть г. Речица). Тепловая энергия используется в технологических процессах нагрева теплоносителя для БППЗ, подогрева нефти на участке подготовки нефти Нефтегазодобывающего управления «Речицанефть», отопления производственных и бытовых помещений завода.

Состояние ГПА в процессе эксплуатации можно косвенно оценить по состоянию применяемого в них рабочего масла и фильтрующих элементов. Изготовитель ГПА определил перечень допущенных к применению моторных масел для газовых двигателей. Требования к состоянию эксплуатируемого масла указаны в инструкции по эксплуатации - установлены предельные значения по показателям, при которых необходимо провести замену масла. Также в инструкции приводятся рекомендуемые интервалы замены масла.

Одной из проблем применения рабочего масла, является их совместимость при смене смазочного материала (другой производитель смазочных материалов, новая спецификация смазочного материала по сравнению с предыдущей и т.д.). Эту проблему можно решить путем применения стандартизированных методов и сравнения ИК-спектров применяемого ранее продукта и нового продукта, планируемого на замену.

В Научно-исследовательской испытательной лаборатории «Гидропневмосистем и нефтепродуктов» филиала БНТУ «Научно-исследовательский политехнический институт» были проведены исследования свежих масел: масло моторное Shell Mysella S5N SAE 40 (планируется использоваться на ГПА) и масло моторное Mobil Pegasus 705 SAE 40 (применяется на ГПА) на инфракрасном Фурье спектрометре Nicolet 6700 (изготовитель Thermo Electric Corporation, Соединенные Штаты, свидетельство о поверке № МН0166750-5018, срок действия поверки до 14.03.2019).

Полученные спектры указаны на рисунке 2.

Анализируя полученную информацию можно прийти к выводу об идентичности применяемых основных углеводородов в структурах исследуемых продуктов.

ГОСТ 11244-76 «Нефть. Метод определения потенциального содержания дистиллятных и остаточных масел» распространяется на нефть и устанавливает метод определения потенциального содержания дистиллятных и остаточных масел. Сущность метода заключа-

ется в разгонке нефти на фракции, депарафинизации, дасфальтизации и адсорбционном разделении полученных фракций и остатков, последовательном смешении отдельных групп углеводородов и определении в полученных смесях физико-химических показателей. Стандарт можно применить в области адсорбционного разделения исследуемых масел.

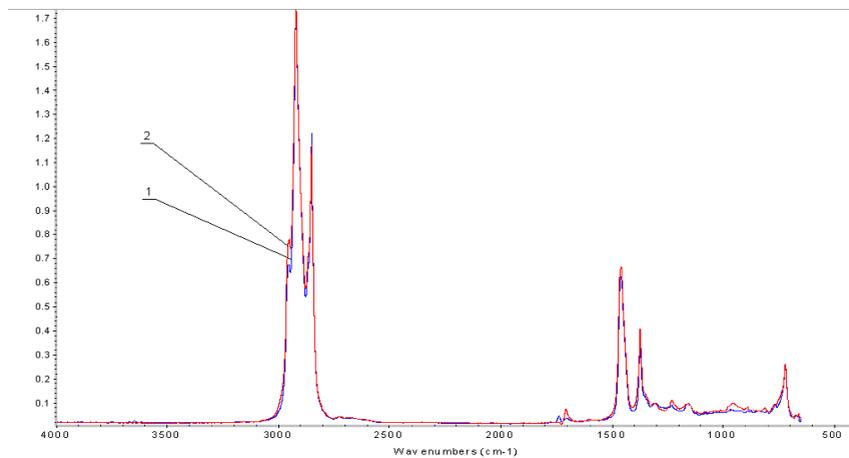


Рисунок 2 – Спектры: масло моторное Shell Mysella S5N SAE 40 [1],  
масло моторное Mobil Pegasus 705 SAE 40 [2]

Полученные результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний масла моторного Shell Mysella S5N SAE 40 и масла моторного Mobil Pegasus 705 SAE 40.

Наименование показателей	Результат испытаний масел моторных		Метод испытаний
	Shell Mysella S5N SAE 40	Mobil Pegasus 705 SAE 40	
Групповой состав, % масс:			ГОСТ 12244-76
нафтено-парафиновые углеводороды	94,89	73,79	
I группа ароматических углеводородов	2,63	23,68	
концентрат смолистых соединений	2,48	2,53	

Исходя из представленных результатов можно сделать предположение, что масло моторное Shell Mysella S5N SAE 40 имеет в своей структуре базового масла 94,89 % минеральной основы; 2,63 % синтетический компонент, остальное 2,48 % содержится предположительно присадки, обнаруживаемые как смолистые соединения, а масло моторное Mobil Pegasus 705 SAE 40 имеет в своей структуре базового масла 73,79 % минеральной основы; 23,68 % синтетический компонент; остальное 2,53 % содержится предположительно присадки, обнаруживаемые как смолистые соединения.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что присадки, которые могут вступить в реакцию с серой, попадающей в масло в результате «прорывов» в картер выхлопных газов и ведущие к образованию органических кислот и солей в масле в одинаковом процентном соотношении.

Полученную разницу в групповом составе по нафтено-парафиновым углеводородам в результате испытаний проведенных по методике ГОСТ 11244-76 «Нефть. Метод определения потенциального содержания дистиллятных и остаточных масел» можно увидеть на ИК-спектре в полосе поглощения  $2950\text{ см}^{-1}$  на рисунке 3.

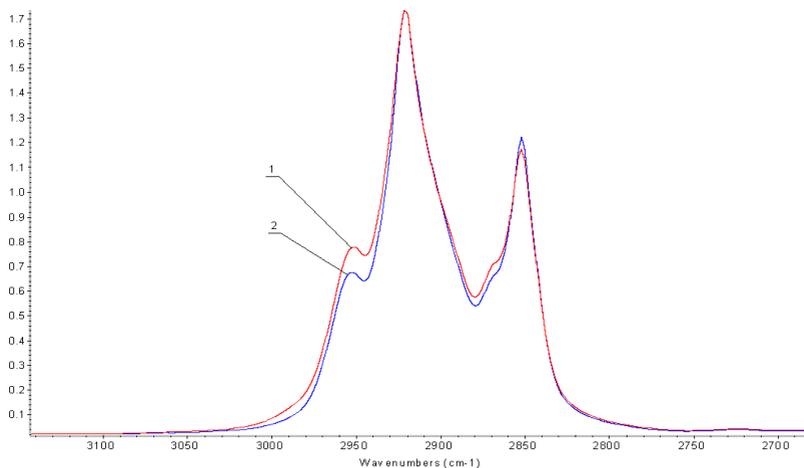


Рисунок 3 - Спектры в области от  $3000\text{ см}^{-1}$  до  $2800\text{ см}^{-1}$ : масло моторное Mobil Pegasus 705 SAE 40 [1], масло моторное Shell Mysella S5N SAE 40 [2]

## Заключение

Сочетание результатов, полученных при ИК-спектроскопии и стандартизованным методом позволяют сделать вывод:

- об идентичности пакета присадок в маслах моторных Shell Mysella S5N SAE 40 и Mobil Pegasus 705 SAE 40;
- об возможности исследования старения в данных маслах независимо от марки масла;
- в дальнейшем будут проводиться исследования процессов старения масла находящегося в эксплуатации с целью установления оптимальных сроков замены масла и фильтра для минимизации расходов на эксплуатацию газопоршневых агрегатов.

## Литература

1. Юхневич Г.В. Инфракрасная спектроскопия воды. М. 1973.
2. Карякин А.В. Кривенцова Г.А. Состояние воды в органических и неорганических соединениях. М. 1973.
3. Прикладная ИК-спектроскопия, Смит А.Л., 1982.
4. Грибов Л.А. Введение в молекулярную спектроскопию. М. 1976.
5. Митчелл Дж., Смит Д. Акватрия: Пер. с англ. М. 1980.
6. Эйзенберг Д., Кауцман В. Структура и свойства воды. : Пер. с англ. Л. 1975.
7. Вербалович В.П. Инфракрасная спектроскопия биологических мембран. Наука. Казахская ССР. Алма-Ата.1977.
8. Беллами Л., Инфракрасные спектры молекул, пер. с англ., М., 1957;
9. Кросс А., Введение в практическую инфракрасную спектроскопию, пер. с англ., М., 1961;
10. Казицына Л.А., Куплетская Н.Б. Применение УФ, ИК, ЯМР и масс-спектроскопии в органической химии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979.
11. Ярославский Н. Г., Методика и аппаратура длинноволновой инфракрасной спектроскопии, «Успехи физических наук», 1957, т. 2
12. Богомолов А.И., Гайле А.А., Громова В.В. и др. Химия нефти и газа. Учебное пособие для вузов. СПб; Химия, 1995.

## ОЧИСТКА ОТРАБОТАВШИХ МАСЕЛ И РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ

### CLEANING OF USED OILS AND WORKING FLUIDS

**Вацёнок Ю.В.**, магистрант, **Веренич И.А.**, канд. техн. наук, доц.,  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

**Yu. Vashchyonok**, Master student,  
**I. Verenich**, Ph.D. in Engineering, Associate professor,  
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

*Проанализированы способы очистки отработанных масел. Предложено разбить отработанные масла и жидкости на 4 группы по способам их применения в технике. Для принятия решения о способе очистки или регенерации необходимо определить основные свойства и фракционный состав жидкости методом спектрального анализа. Проведены исследования по загрязнённости отработавшего масла гидропривода погрузчика.*

*Ключевые слова: очистка. регенерация. масло. класс чистоты. методы фильтрации.*

*The methods of purification of waste oils are analyzed. It is proposed to divide the waste oils and liquids into 4 groups according to the methods of their application in engineering. To make a decision on the method of purification or regeneration, it is necessary to determine the basic properties and fractional composition of the liquid by spectral analysis. Studies have been conducted on the contamination of the spent oil of the hydraulic drive of the loader.*

*Keywords: cleaning. regeneration. oil. purity class. filtering methods.*

#### **Введение**

Исследования многих авторов [8, 9, 10 и др.] показывают, что на надежность и работоспособность различных машин и гидросистем

большое влияние оказывает загрязненность жидкостей и масел. По имеющимся данным, число отказов гидравлических агрегатов, вызванное присутствием в рабочей жидкости гидросистемы механических примесей, достигает 12–15 % от общего числа отказов [10]. При соблюдении необходимых требований к чистоте гидросистемы удастся повысить надежность гидроприводов и уменьшить эксплуатационные расходы в [1]. Повышение тонкости фильтрации рабочей жидкости (РЖ) в гидросистеме с 25 до 5 мкм увеличивает ресурс насосов в 10 раз и гидроаппаратуры – в 5–7 раз. Однако фильтрация (или другие средства очистки) обеспечивает наибольший эффект лишь при комплексном соблюдении требований по типам применяемых масел, правилам их хранения и транспортирования, качеству очистки и герметизации гидросистем, регламентам их эксплуатации.

Каждый механизм в процессе своей работы поддается совершенно разным нагрузкам, поэтому масла также должны обладать различными свойствами, которые будут максимально удовлетворять потребности техники.

Классификации свойств и требования к показателям качества масел и гидравлических жидкостей достаточно полно приведены в информационных источниках [3, 5, 6]. Основные свойства смазочных масел и рабочих жидкостей условно разбивают на 4 группы: физические, эксплуатационные, реологические и экологические.

Масла и другие технические жидкости при применении их в качестве рабочей жидкости гидроприводов, смазывающего, охлаждающего, теплоносителя и изоляционного материала в процессе естественного старения и старения от механических воздействий изменяют свои первоначальные свойства и через определенный срок должны быть заменены свежими.

При большом парке техники, в этой ситуации перед предприятием возникают вопросы: покупки нового масла и утилизации отработавшего. Если покупка нового масла несёт только финансовые убытки, то его утилизация, помимо финансовых затрат, может быть экологически опасна. Регенерация отработанных масел и повторное их использование может дать существенный экономический эффект и обеспечить ресурсосбережение [11].

Любое масло, состоящее из нефтепродуктов, является опасным для природы, так при попадании в почву один литр масла способен

загрязнить до миллиона литров питьевой воды. Обращаясь к ТР/ТС 030/12: При обращении отработанной продукции запрещается:

– сброс (слив) в водоемы, на почву и в канализационные сети общего пользования;

– вывоз на полигоны для бытовых и промышленных отходов с последующим захоронением[4];

В связи с этим существует немало методов очистки и восстановления масла. Они делятся на: физические методы (отстаивание, сепарация, фильтрация), физико-химические методы (адсорбция, коагуляция, термовакuumная сушка, селективное растворение) и химические методы (кислотная обработка, щелочная обработка).

Отработанные масла условно можно разбить на 4 группы: 1 – масла с холодных установок; 2 – моторные масла двигателей внутреннего сгорания; 3 – моторные масла газогенераторных установок; 4 – синтетические масла и синтетические жидкости. Способ и технологический процесс очистки и регенерации будет существенно зависеть от группы отработанных масел.

Для 1-й группы отработанных масел можно применить только методы фильтрации, в то время как для остальных групп необходимо использовать специальные способы очистки и регенерации.

Механические примеси могут удаляться при помощи центробежной очистки (в большинстве случаев очистка от механических примесей совмещена с очисткой от воды, что является преимуществом метода). Основные недостатки:

– удаление механических примесей только до 12 – 13 класса чистоты, в то время, как действующий ГОСТ требует 7 – 8 класс чистоты;

– трудоемкость процесса очистки от механических примесей.

Сернокислотная очистка. Для удаления из нефтепродуктов непредельных углеводородов, смолистых и азотистых соединений используют 96 %-й раствор серной кислоты. Количество рассчитывают исходя из объема очищаемого масла (0,5–1 % от массы масла). Масло обрабатывается серной кислотой в кислотной мешалке при перемешивании воздухом и после спуска кислого гудрона поступает в контактную мешалку, которая оборудована перемешивающим механизмом, приводимым в действие от электродвигателя через редуктор (реже – воздушным перемешиванием). В контактной мешалке масло

нагревается при помощи парового подогревателя, после чего обрабатывается отбеливающей глиной.

В результате сернокислотной очистки образуется большое количество кислого гудрона – трудно утилизируемого и экологически опасного отхода. Кроме того, сернокислотная очистка обеспечивает не полное удаление инородных веществ из отработанных масел, в настоящее время практически не применяется [2].

Адсорбционная очистка отработанных масел заключается в использовании способности веществ, служащих адсорбентами, удерживать загрязняющие масло продукты на своей поверхности. В качестве адсорбентов применяют вещества природного происхождения (бокситы, природные цеолиты) и полученные искусственным путем (силикагель, окись алюминия, алюмосиликатные соединения, синтетические цеолиты). Недостатки данной очистки – это необходимость утилизации большого количества адсорбента, загрязняющего окружающую среду [1].

По статистике компаний производителей гидравлики Danfos (Дания), Parker (США), POCLAIN HYDRAULICS (Франция), Пневмостроймашина (Российская Федерация), именно из-за механических примесей (грязь, стружка и т.д.) выходят из строя 90% гидронасосов и гидромоторов. Так как попадая в аксиально или радиально поршневой насос, который имеет частоту вращения 1450 об/мин от электродвигателя и от  $\approx 650$  до  $\approx 2500$  об/мин от двигателя внутреннего сгорания, частицы разрушают качающий узел (плунжера, бронзовые подпятники, блок, распределительную шайбу и т.д.).

### **Повышение класса чистоты масел методом фильтрационной очистки**

Самый распространённый и доступный всем метод фильтрации (рисунок 1). Масло нагнетается через мелкие отверстия (поры) фильтра, в результате чего примеси задерживаются на его поверхности. Они способны обеспечить высокую степень очистки. В качестве фильтрующей среды используют одноразовые фильтры картонные, стекловолоконные и т.д.

Особенно важно проводить подобную фильтрацию масла после ремонтных работ в гидросистеме.

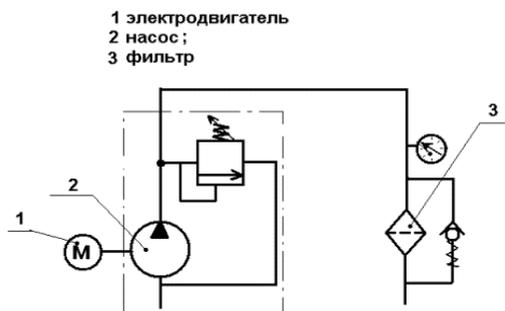


Рисунок 1 – Принципиальная схема установки

Составляющие части гидравлических узлов при работе системы обваливаются масляной плёнкой. Таким образом частицы, размер которых равен толщине гидродинамического слоя или больше, и которые могут войти в зазор между поршнями и блоком, между подпятниками и распределителем и т.д. вызывает износ этих поверхностей. Различная твёрдость материалов загрязнения так же играют важную роль при определении величины повреждений. Известно, что наиболее негативные последствия возникнут в том случае, если размер частиц загрязнения будет примерно равен размеру масляной плёнки.

Так зазор между блоком и поршнями аксиального насоса составляет от 25 до 50 мкм, а зазоры в регулирующей аппаратуре насосов (регуляторы мощности и т.д.) от 15 мкм. Соответственно класс чистоты масла должен быть не более 7. Иногда сами производители масел рекомендуют фильтровать даже новое масло, т.к. класс чистоты в бочке не нормируется.

Следовательно, исходя из соображений, изложенных выше, рекомендуется контролировать величину загрязнений в системе.

Когда требуется очистить масло от частиц более 15 мкм, в полнопоточных фильтрах, т.к. плотность их высока может возникнуть большое противодействие в системе и вывести фильтр из строя. Для такой тонкой очистки системы используем байпасное фильтрование, схемы подключения приведены на рисунке 2.

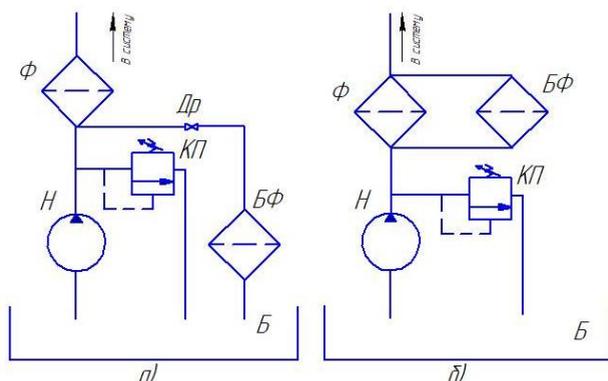


Рисунок 2. Подключение байпасных фильтров:  
 а) через дроссель, б) параллельное.

Дополнительные фильтры тонкой очистки подключаются или параллельно основному, или имеют независимую линию питания от вспомогательного насоса. Через байпасный фильтр проходит часть масла (около 10 %) и постепенно таким методом фильтруется весь объём масла в системе.

Эффективность использования байпасных фильтров проверялась на универсальном стенде для испытаний и исследований фильтров рабочих жидкостей гидросистем в лаборатории кафедры «Гидропневмоавтоматика и гидропневмопривод» БНТУ. Схема стенда и порядок подключения приведены на рисунке 3.

Стенд включает в себя бак емкостью 50 л, насос Н1 постоянной производительности, технологический фильтр ТФ с перепускным клапаном, дроссели регулируемые ДР1-ДР5, расходомер, электромагнитный клапан ЭК, манометры М1 и М2, дифференциальный манометр ДМ, мешалка с приводным электродвигателем ЭД2, краны К1-К4, позволяющие брать пробы жидкости в различных точках для определения частоты, теплообменник, датчик температуры Т, фильтра БФ1 и БФ2. К стенду прилагались: датчики перепада давлений, фотометрические счётные анализаторы ФС-151 и ПКЖ-902, хронометры, различные загрязнители и испытуемые фильтры.

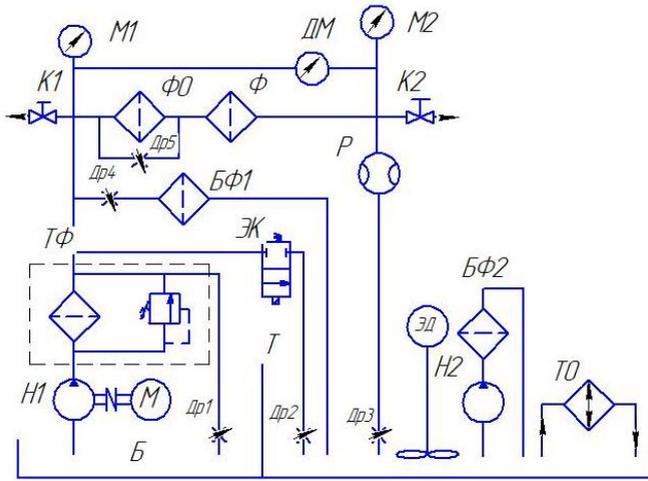


Рисунок 3. Схема гидравлического универсального стенда для испытания фильтров

Для испытания применялось отработавшее индустриальное гидравлическое масло марки НЛР 46, из фронтального универсального погрузчика Амкорд А342С, после наработки 2000 м/часов. В таблице 1 приведены результаты испытаний.

Таблица 1 – Результаты эксперимента

№	Количество частиц				Класс чистоты
	От 5 до10	От 10 до25	От 25 до 50	От 50 до 100	
До фильтра БФ1					
1	15656	8513	847	96	10
2	15702	8434	786	101	10
3	15672	8479	811	94	10
После фильтра БФ1					
1	1867	913	76	7	7
2	1938	1046	84	14	7
3	1894	1022	81	6	7
После фильтра БФ2					
1	945	474	45	1	6
2	1053	449	51	2	6
3	937	481	49	1	6

С помощью байпасных фильтров удалялись также замешанные вода и дизельное топливо. Вода удалялась через 30 мин, в то время как дизельное топливо удалялось очень плохо даже на момент 90 мин. Вязкость жидкости в зависимости от времени испытаний менялась за 7 часов с полнопоточными фильтрами на  $4 \text{ мм}^2/\text{г}$ , а с байпасным методом на  $2 \text{ мм}^2/\text{г}$ .

## Заключение

В результате исследования рабочей жидкости гидросистемы погрузчика по загрязнённости механическими частицами установлено, что отработавшее масло имело класс чистоты 10. Согласно ГОСТ 17216-2001, такое масло должно быть заменено свежим. После фильтрации методом байпасных фильтров, на разработанной установке, рабочая жидкость имела класс чистоты 6, что соответствует требованиям гидросистемы погрузчика. Таким образом данное очищенное масло можно использовать повторно.

## Литература

1. Шашкин, П. И. Регенерация отработанных нефтяных масел / П. И. Шашкин, И. В. Брай. – М.: Химия, 1970. – 301 с.
2. Коваленко, В. П. Очистка нефтепродуктов от загрязнений / В. П. Коваленко, В. Е. Турчанин. – М.: Недра, 1990. – 160 с.
3. Кламанн Д. Смазки и родственные продукты. Синтез. Свойства. Применение. Международные стандарты: Пер. с англ. / Под ред. Ю. С. Заславского. – М.: Химия, 1988. – 488с.
4. Технический регламент таможенного союза ТР ТС 030/2012 «О требованиях к смазочным материалам, маслам и специальным жидкостям».
5. Свешников, В.К. Станочные гидроприводы: справочник / В.К. Свешников, А.А. Усов – М.: Машиностроение, 2008. – 464 с.
6. Рабочие жидкости систем гидропривода: Учеб. пособие для студ. спец. «Гидравлические. и пневматические. машины», «Прикладная механика», «Инженерная механика» / В.А. Трофимов, О.М. Яхно, Р.И. Солонин. – К.: НТУУ «КПИ», 2009. – 184 с.
7. Чистота рабочих жидкостей и масел. Определение класса чистоты рабочей жидкости: Методические указания к выполнению лабораторной работы «Рабочие жидкости, смазки и уплотнения

гидропневмосистем» для специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» / сост.: И. А. Веренич, Д. Л. Жилиянин, Тини Мурад Абубакер Ахмед; Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Гидропневмоавтоматика и гидропневмопривод». – Минск: БНТУ, 2006. – 27 с.

8. Никитин Г.А. Влияние загрязненности рабочей жидкости на надежность работы гидросистем летательных аппаратов /Г.А. Никитин, С.В. Чирков. – М.: Транспорт, 1969 – 184 с.

9. Hocutt M.G. Establising Hydraulic system Operational Coutamination limits. SAE. Aerospact Fluid Power Systems and Equipment Conference. Los Angeles (California), 1965, p. 233–237.

10. Надежность гидравлических систем воздушных судов / Т.М. Башта, В.Д. Бабанская, Ю.С. Головки и др.; Под ред. Т.М. Башты – М.: Транспорт, 1986. – 279 с.

11. Тарасов В.В. Регенерация отработанных моторных масел тронковых дизелей в судовых условиях /В.В. Тарасов, Г.П. Кича. – Морской государственный университет им. Адмирала Г.И. Невельского. – Труды университета – Владивосток, 2016. – 47 с.

12. Диагностика технического состояния машин: практикум для студентов специальности 1-37 01 03 «Тракторостроение» / Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Тракторы»; сост.: В. П. Бойков [и др.]. – Минск: БНТУ, 2012. – 116 с.

13. Хенке Х. Жидкостная хроматография / Х. Хенке. Москва: Химия, 2009. –264 с.

14. Ахметов С.А. Экологическая химмотология топлив и масел. Учебное пособие Москва, 2008. – 150с.

## ВЫСОКОТОЧНЫЕ ПРИВОДЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

### HIGH-PRECISION DRIVES OF TECHNOLOGICAL MACHINES

*Бобровник А.И.*, д-р техн.наук, проф., *Филипова Л.Г.*, ст. препод.,  
*Чикилевский Я.А.*, студент,  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

**A. Bobrovnik**, Doctor of technical Sciences, Professor,  
**L. Filipova**, Senior Lecturer, **Ya. Chikilevsky**, Student,  
Belarusian National Technical University, Minsk.

*В приводах технологических машин широкое применение нашли наряду с электрическими и гидравлическими приводами механические передачи, содержащие сложные кинематические цепи с использованием планетарных узлов и упругих звеньев, повышающих точность работы машин. Предложен упруго-эластичный привод, обеспечивающий снижение колебаний момента сопротивления. Проведенные испытания опытного образца, смонтированных в трансмиссиях трактора, показали уменьшение динамических нагрузок в 1,5 раза, улучшение условий работы двигателя, сокращены переходные процессы в приводе при неустановившихся нагрузках.*

*Ключевые слова: технологические машины, электрические, гидравлические приводы, планетарный узел, момент сопротивления, нагрузка.*

*Along with electric and hydraulic drives, mechanical gears containing complex kinematic chains using planetary assemblies and elastic links that increase the accuracy of the machines work have found wide application in drives of technological machines. An elastic-elastic drive is proposed to reduce the fluctuations of the moment of resistance. The tests of the prototype, mounted in the tractor's transmissions, showed a decrease in dynamic loads by 1.5 times, improved engine operating conditions, reduced transients in the drive under unsteady loads.*

*Keywords: technological machines, electric, hydraulic drives, planetary node, moment of resistance, load.*

## **Введение**

При выполнении разных технологических операций используют различные виды приводов в зависимости от используемого источника энергии – электродвигателя или гидронасоса. Энергия может передаваться механическим приводом, содержащим зубчатые колеса, валы, опоры, муфты, карданы, упругие элементы, или гидравлическим путем с помощью гидронасоса, гидромотора постоянной или переменной производительности и др. В последнее время находят применение двухпоточные приводы с применением планетарных передач, когда энергия может передаваться к рабочему органу двумя путями – механическим и гидравлическим.

В кинематические цепи часто вводят гидромуфты или гидротрансформаторы, которые значительно снижают инерционные нагрузки машин. При этом пиковые нагрузки снижаются до 3 раз по сравнению с механическим приводом. Широко применяются для снижения угловых крутильных колебаний демпферы колебаний, которые подразделяются на упруго-фрикционные, гидравлические и резинометаллические. Однако недостаточно внимания уделяется анализу упругих элементов, устанавливаемых в сложных кинематических цепях приводов машин.

## **Высокоточные приводы технологических машин**

Рассеивание энергии в механической системе происходит в материале деталей и элементах соединений между деталями конструкции. Первое называют внутренним демпфированием, а второе – конструкционным демпфированием [1, 2].

Анализ амплитудно-частотных характеристик механизмов с упругой муфтой при малом демпфировании показывает, что в режимах разбега могут возникать резонансные колебания, если угловая скорость установившегося движения больше собственной частоты.

Характер резонансных кривых колебаний системы в рабочем режиме зависит от вида нагрузки. Упругая нагрузка, создаваемая присоединенными к рабочему органу упругими элементами: пружинами, рессорами, упругими ограничителями хода или упругими

свойствами обрабатываемой среды и т.д., вызывает смещение резонанса в область более высоких частот.

При обосновании схемы высокоточных приводов рассматривались три варианта подвода и распределения крутящего момента на звеньях дополнительно установленной планетарной передачи (таблица 1). Из условия габаритов конструкции выбран вариант, когда крутящий момент подводится на водило, которое жестко связано с ведомым колесом передачи и двумя параллельными потоками распределяется на солнечную шестерню и эпициклическую (рисунок 1), связанную соответственно с торсионом и полым валом. Момент на ведущем колесе будет определяться суммой моментов, действующих на основные звенья планетарной передачи [1].

Таблица 1 – Варианты подвода крутящего момента при заданном передаточном числе ( $U_{ij}^r$ ), с числами зубьев колес  $Z_i$

Ведущее звено планетарного механизма	Момент на солнечном колесе, $M_a$	Момент на водиле, $M_h$	Момент на эпициклическом колесе, $M_e$
Эпициклическое колесо	$M_a = M_B \frac{Z_a}{Z_B}$	$M_h = -M_B \left[ \frac{Z_B}{Z_a} + 1 \right]$	$M_B$
Водило	$M_a = -M_h \frac{Z_B}{Z_B + Z_a}$	$M_h$	$M_e = -M_h \frac{Z_B}{Z_B + Z_a}$
Солнечное колесо	$M_a$	$M_h = M_a \left[ \frac{Z_B}{Z_a} + 1 \right]$	$M_e = M_a \frac{Z_B}{Z_a}$

Минимально допустимый диаметр торсиона  $d_{min}$  и угол закрутки  $\varphi_{max}$  определяются по известным зависимостям из сопротивления материалов [1]:

$$[d_{min}] = \sqrt[3]{\frac{16M_A K_3}{\pi [\tau_{кр}]}}; \quad \varphi_{max} = 57.3 \frac{LM_A}{G0.1d_{min}}, \quad (1)$$

где  $M_A$  – момент на торсионе, Н\*м,  $K_3$  – коэффициент запаса ( $K_3 = 1.5$ ),  $[\tau_{кр}]$  – допускаемое напряжение кручения, МПа,  $L$  – длина торсиона, м,  $G$  – модуль упругости второго рода, ГПа.

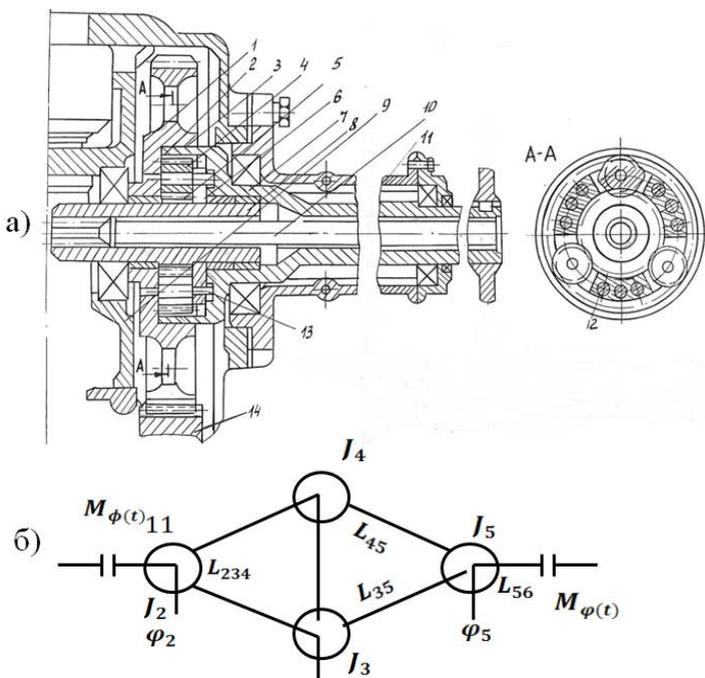


Рисунок 1 – Уруго-эластичный привод трансмиссии (а), крутящие моменты (б):  
 1 – колесо; 2 – планетарный механизм; 3,5,14 – шестерни; 4 – сателлиты;  
 6 – водило; 7 – полуось; 8 – вал; 9 – корпус; 10 – торсионный вал; 11 – рукав;  
 12 – перемычки; 13 – оси

БНТУ совместно с ПО «Минский тракторный завод» провело испытания конструкции упруго-эластичного привода колесного трактора. Зависимость упруго-механических параметров торсионного вала от крутящего Моментa приведена на рисунке 2. Конструкция привода работоспособна, если выполняется условие:

$$\frac{C_n}{C_m} \geq \frac{M_6}{M_a} \quad (2)$$

где  $C_n, C_T$  – соответственно коэффициенты жесткости полуоси и торсионного вала, Н/м,  $M_a, M_B$  – крутящие моменты соответственно на эпициклической и солнечной шестернях, Н\*м.

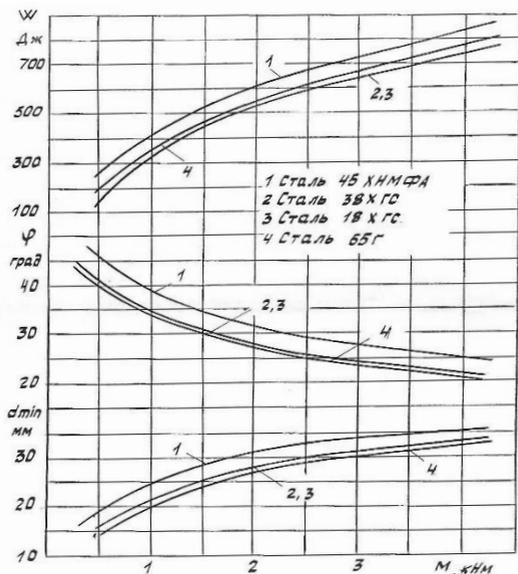


Рисунок 2 – Зависимость упруго-механических параметров торсионного вала от крутящего момента

Жесткость торсионного вала выбирается исходя из кинематического расчета и соотношения передаваемых моментов солнечного и эпициклического колесами:

$$\frac{M_e}{M_a} = \frac{Z_e}{Z_a} \quad (3)$$

Исходя из компоновочных возможностей рекомендуется  $M_B/M_a = 2.5$ , податливость торсионного вала  $20.9 \cdot 10^{-5}$  рад/Н м.

Принимая во внимание, что момент на солнечной шестерне должен быть по возможности большим, рациональным является случай, когда диаметры солнечной шестерни и сателлитов соизмеримы, т.е.

передаточное число передачи солнечная шестерня-спутник находится в пределах 1.2–1.4, отношение чисел зубьев эпициклической и солнечной шестерен 1.4–2.6.

При обеспечении достаточной прочности спутников и солнечной шестерни, а также сравнительно малом отношении  $Z_B/Z_a$ , диаметр эпициклической шестерни оказывается больше диаметра ведомой шестерни, что недопустимо. В случае, если  $Z_B/Z_a < 2.6$ , эффективность работы снизится, так как момент на торсионе уменьшится. Поэтому исходя из параметров торсионного вала (рисунок 2), конструктивных возможностей  $2.4 < Z_B/Z_a < 2.6$  момент на торсионе – 2397–538 Н м, а рациональная величина диаметра торсиона 27 – 29 мм.

Математическая модель процесса трогания и разгона представляет собой систему дифференциальных уравнений динамической модели (рисунок 1, б):

$$\left\{ \begin{array}{l} J_2 \cdot \ddot{\varphi}_2 = M_\phi(t) - M_{234} \\ J_3 \cdot \ddot{\varphi}_3 = \left( \frac{1}{U_{ah}^e + 1} \right) \cdot M_{234} - M_{35} \\ J_4 \cdot \ddot{\varphi}_4 = \left( \frac{U_{ah}^n}{1 + U_{ah}^e} \right) \cdot M_{234} - M_{45} \\ \dot{M}_{234} \cdot e_{234} = \varphi_2 - \varphi_3 - \varphi_4 \\ \dot{M}_{35} \cdot e_{35} = \varphi_3 - \varphi_5 \\ \dot{M}_{45} \cdot e_{45} = \varphi_4 - \varphi_5 \\ J_5 \cdot \ddot{\varphi}_5 = M_{35} - M_{56} - M_\phi(t) + M_{45} \end{array} \right. \quad (4)$$

Последовательность перехода динамической системы из одного состояния в другое: прекращение закручивания торсионного вала  $M_{35} > M_\phi(t)$ , прекращение буксования муфты сцепления.

Расчеты на ЭВМ показали, что максимальное значение крутящего момента на 20 – 30 % меньше в опытном, чем в серийном варианте.

Податливость серийной системы (на 5 передаче) по данным лабораторных испытаний составила  $2.33 \cdot 10^{-5}$  рад/Н м, а коэффициент затухания  $1.41 \text{ с}^{-1}$ , а опытной соответственно  $5.28 \cdot 10^{-5}$  рад/Н м и  $2.34 \text{ с}^{-1}$ .

Разгон машины с упруго-эластичным приводом в трансмиссии сопровождается уменьшением угловой скорости двигателя по сравнению с серийной трансмиссией на 3–5 рад/с. Процесс изменения угловой скорости отличается большей плавностью и способствует улучшению условий работы двигателя и всей трансмиссии (рисунок 3–4). Исследования показали, что снижение жесткости трансмиссии уменьшает коэффициент динамичности с 3.2 до 2.2.

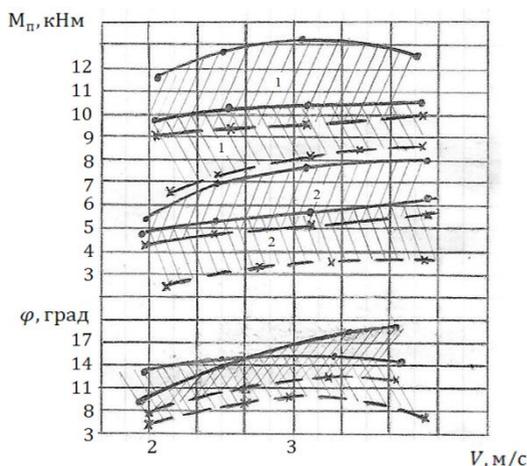


Рисунок 3 – Зависимость угла закрутки торсиона от скорости движения агрегата при быстром и плавном включении привода и зависимость максимального крутящего момента при быстром (•) и плавном (x) включении муфты: (1 – серийный привод; 2 – упруго-эластичный привод)

С целью повышения работоспособности, долговечности и точности привода трансмиссии ведомая шестерня передачи выполнена из двух связанных через подшипник частей. При этом одна из частей связана с другим концом полуоси, а другая часть шестерни – с другим концом торсиона, расположенного соосно полуоси, при этом зубья венца на одной из них выполнены напротив впадин венца другой шестерни.

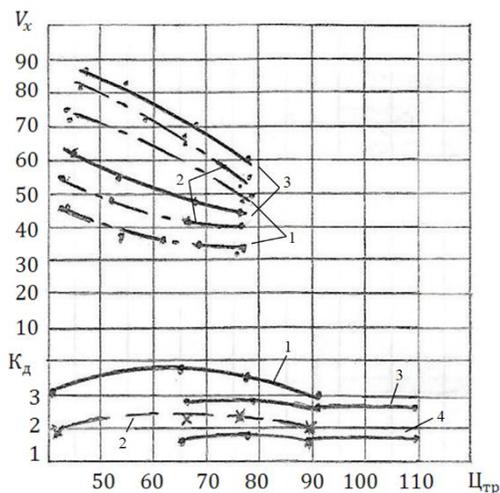


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента вариации крутящего момента от передаточного числа трансмиссий и зависимость коэффициента динамичности: (1, 3 – серийный привод; 2, 4 – упруго-эластичный привод)

## Выводы

Таким образом, предложен высокоточный привод в кинематической цепи, содержащий упруго-эластичный привод в виде планетарной передачи и торсиона, позволяющие уменьшить динамические нагрузки в 1,5 раза, улучшить условия работы всей трансмиссии и двигателя, уменьшить нагрузку двигателя из-за снижения колебаний момента сопротивления, сократить время и путь разгона привода.

## Литература

1. Кудрявцев, В.Н. Курсовое проектирование деталей машин: уч. пособие/ В.Н.Кудрявцев [и др.]; под общ. ред. В.Н.Кудрявцева – Ленинград: Машиностроение, 1984. – 399с.
2. БЕЛАРУС 3022 и его модификации. 3022В-0000010РЭ. Руководство по эксплуатации, РУП «Минский тракторный завод» – 2005. – 298 с.
3. Бобровник, А.И. Совершенствование процессов внесения удобрений на основе рациональных приводов машин // Диссертация на

соискание ученой степени доктора технических наук // – Минск. – 1999. – С. 409 с.

4. Иванов, Г.М., Свешников, В.К. Основные направления развития современного гидропривода // Оборудование и инструмент для профессионалов. 2013. № 4. – 14–20 с.

5. Брамер, Берт. Простое применение – надежность – энергоэффективность // МДА технологии. 2012. Специальное издание. – 20–23 с.

6. Свешников, В.К. Станочные гидроприводы: Справочник / В.К.Свешников. – 6-е изд. перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2015 – 627 с.: ил.

**МОДЕЛЬ РАБОТЫ ЛЕСОВОЗНОГО АВТОПОЕЗДА  
С УЧЕТОМ НАДЕЖНОСТИ**

**MODEL OF LOGGING TRUCK WORK IN RESPECT  
OF RELIABILITY**

*Клоков Д. В.*, канд. техн. наук, доц.,

Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь;

*Гарабазжу А. А.*, канд. техн. наук, доц.,

*Леонов Е. А.*, канд. техн. наук, доц.,

Белорусский государственный технологический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

*D. Klokov*, Ph.D. in Engineering, Associate Professor,  
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus;  
*A. Harabazhyu*, Ph.D. in Engineering, Associate Professor,  
*E. Leonov*, Ph.D. in Engineering, Associate Professor,  
Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus

*В статье представлена модель работы лесовозного автопоезда с учетом его технических и технологических отказов. Разработанная математическая модель базируется на применении теории массового обслуживания, критериев вероятностей состояний. Целью исследований являлось установление рациональных режимов работы лесовозного автопоезда, что позволит повысить эффективность их эксплуатации путем установления оптимальных сроков восстановления работоспособности шасси, двигателя, технологического оборудования и гидравлической системы лесовозного автопоезда в условиях его производственной эксплуатации.*

*Ключевые слова:* модель, лесовозный автопоезд, вероятность, технический отказ, параметры

*The article presents a model of the logging truck based on its technical and technological failures. The developed mathematical model is based*

*on the application of queuing theory, probability criteria states. The purpose of the research was to establish rational modes of operation of the logging truck, which will improve the efficiency of their operation by establishing optimal terms for restoring the chassis, engine, process equipment and hydraulic system of the timber truck in terms of its production operation.*

*Keywords: model, logging truck, probability, technical denial, parameters*

## **Введение**

В настоящее время в Республике Беларусь активно наращиваются объемы заготовки и вывозки древесины. Так в 2018 г. расчетная лесосека по стране составила более 21 млн. м<sup>3</sup> древесного сырья. Особая роль, в этой связи, отводится транспорту, на долю которого приходится около 30–40 % себестоимости заготовки 1 м<sup>3</sup> древесины. На предприятиях системы Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь для обеспечения вывозки заготовленной древесины функционирует более 700 единиц лесовозных автопоездов на базе МАЗ-6303А8, МАЗ-6312В9 и др., от эффективного использования которых в конечном итоге зависит общая эффективность отечественного лесозаготовительного производства.

Для анализа работы различных технических и технологических процессов различных отраслей национальной экономики Республики Беларусь широкое применение получили методы теории массового обслуживания (ТМО). Однако они носят или общий теоретический характер или применяются к сугубо конкретной производственной задаче. В частности, применение ТМО в лесном комплексе, рассматривалось в общем виде в работах [1, 2 и др.]. Анализ и исследование работы лесовозного автопоезда с учетом его технических отказов с применением математических моделей в литературных источниках отсутствуют. Поскольку в настоящее время лесовозный автопоезд является основным видом транспорта, применяемым в лесозаготовительном производстве на внутреннем рынке, актуальной является проблема его эффективного применения.

## Основная часть

Математическая модель для лесовозного автопоезда разработана с учетом возможных его технических отказов. Рассматриваемая модель характеризуется размеченным графом состояний лесовозного автопоезда, представленным на рисунке 1.

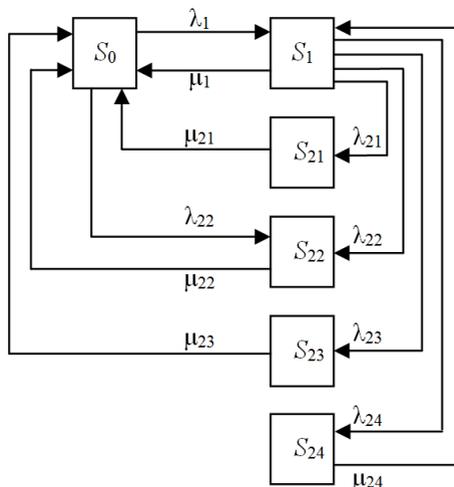


Рисунок 1 – Граф состояний системы «лесовозный автопоезд»

Основными состояниями системы «лесовозный автопоезд» являются:  $S_0$  – лесовозный автопоезд исправен, но не производит погрузку, вывозку и выгрузку сортиментов (простаивает или совершает холостой ход на погрузочный пункт);  $S_1$  – лесовозный автопоезд исправен, осуществляет погрузку, вывозку и выгрузку сортиментов;  $S_{21}$  – отказ ходовой части;  $S_{22}$  – отказ двигателя;  $S_{23}$  – отказ технологического оборудования (манипулятора, грейферного захвата и т.д.);  $S_{24}$  – отказ гидравлической системы.

В рассматриваемой модели имеют место два типа потоков: поток отказов оборудования и поток сортиментов. В качестве приоритетного будем рассматривать поток отказов оборудования, так как при их возникновении они «обслуживаются» в первую очередь (производятся ремонтные работы).

Из свободного состояния  $S_0$  в рабочее  $S_1$  система «лесовозный автопоезд» переходит с интенсивностью  $\lambda_1$  – интенсивностью подачи рабочего органа (гидроманипулятора с грейферным захватом) к штабелю сортиментов на погрузочном пункте. Обратный переход системы осуществляется посредством погрузки и вывозки сортиментов с погрузочного пункта с интенсивностью  $\mu_1$ . При наступлении отказа ходовой части система «лесовозный автопоезд» с интенсивностью  $\lambda_{21}$  перейдет из рабочего состояния  $S_1$  в состояние отказа ходовой части  $S_{21}$ . После выполнения необходимых ремонтных работ с темпом  $\mu_{21}$  система вернется в свободное состояние  $S_0$ . Отказ двигателя может привести к переходу системы в нерабочее положение  $S_{22}$ , как из свободного состояния  $S_0$ , так и из рабочего состояния  $S_1$  с интенсивностью  $\lambda_{22}$ . После выполнения ремонтных работ система с темпом  $\mu_{22}$  перейдет в свободное состояние  $S_0$ . Отказ технологического оборудования приведет к переходу в нерабочее состояние  $S_{23}$  из рабочего состояния  $S_1$  с интенсивностью  $\lambda_{23}$ . После ремонта система перейдет из нерабочего состояния  $S_{23}$  в свободное состояние  $S_0$  с темпом  $\mu_{23}$ . Отказ гидросистемы приведет систему из рабочего состояния  $S_1$  в нерабочее  $S_{24}$  с интенсивностью  $\lambda_{24}$ . После выполнения ремонта система перейдет из нерабочего состояния  $S_{24}$  в рабочее  $S_1$  с темпом  $\mu_{24}$ .

Введем следующие обозначения:

$P_0(t)$  – вероятность того, что в момент времени  $t$  система «лесовозный автопоезд» находится в свободном состоянии  $S_0$ ;

$P_1(t)$  – вероятность того, что в момент времени  $t$  система «лесовозный автопоезд» находится в рабочем состоянии  $S_1$ ;

$P_{2j}(t)$  – вероятность того, что в момент времени  $t$  система «лесовозный автопоезд» находится в состоянии отказа  $j$ -го оборудования  $S_{2j}$ ,  $j = 1, 2, 3, 4$ .

Тогда модель функционирования рассматриваемой системы может быть описана следующей системой дифференциальных уравнений Колмогорова для вероятностей состояний:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_0}{dt} = -(\lambda_1 + \lambda_{22})P_0 + \mu_1 P_1 + \mu_{21} P_{21} + \mu_{22} P_{22} + \mu_{23} P_{23}; \\ \frac{dP_1}{dt} = \lambda_1 P_0 - (\mu_1 + \lambda_{21} + \lambda_{22} + \lambda_{23} + \lambda_{24})P_1 + \mu_{24} P_{24}; \\ \frac{dP_{21}}{dt} = \lambda_{21} P_1 - \mu_{21} P_{21}; \\ \frac{dP_{22}}{dt} = \lambda_{22} P_0 + \lambda_{22} P_1 - \mu_{22} P_{22}; \\ \frac{dP_{23}}{dt} = \lambda_{23} P_1 - \mu_{23} P_{23}; \\ \frac{dP_{24}}{dt} = \lambda_{24} P_1 - \mu_{24} P_{24}; \\ P_0 + P_1 + P_{21} + P_{22} + P_{23} + P_{24} = 1 \end{array} \right. \quad (1)$$

Неизвестные параметры  $\lambda_1$ ,  $\mu_1$ ,  $\lambda_{2j}$  и  $\mu_{2j}$  устанавливаются следующим образом:

$$\lambda_1 = \frac{1}{t_{\text{п}}}, \quad (2) \quad \mu_{21} = \frac{1}{t_{21}^{\text{B}}}, \quad (5)$$

$$\mu_1 = \frac{1}{t_{\text{ц}}}, \quad (3) \quad \lambda_{22} = \frac{1}{t_{22}^{\text{OT}}}, \quad (6)$$

$$\lambda_{21} = \frac{1}{t_{21}^{\text{OT}}}, \quad (4) \quad \mu_{22} = \frac{1}{t_{22}^{\text{B}}}, \quad (7)$$

$$\lambda_{23} = \frac{1}{t_{23}^{\text{OT}}}, \quad (8) \quad \lambda_{24} = \frac{1}{t_{24}^{\text{OT}}}, \quad (10)$$

$$\mu_{23} = \frac{1}{t_{23}^{\text{B}}}, \quad (9) \quad \mu_{24} = \frac{1}{t_{24}^{\text{B}}}, \quad (11)$$

где  $t_{\text{п}}$  – продолжительность времени подачи рабочего органа к штабелю сортименту;  $t_{\text{ц}}$  – продолжительность цикла погрузки, вывозки и выгрузки сортиментов;  $t_{21}^{\text{OT}}$  – продолжительность времени между отказами шасси;  $t_{21}^{\text{B}}$  – продолжительность времени восстановления работоспособности шасси;  $t_{22}^{\text{OT}}$  – продолжительность времени между

отказами двигателя;  $t_{22}^B$  – продолжительность времени восстановления работоспособности двигателя;  $t_{23}^{OT}$  – продолжительность времени между отказами технологического оборудования;  $t_{23}^B$  – продолжительность времени восстановления работоспособности технологического оборудования;  $t_{24}^{OT}$  – продолжительность времени между отказами гидравлической системы;  $t_{24}^B$  – продолжительность времени восстановления работоспособности гидравлической системы.

При исследовании функционирования системы «лесовозный автопоезд» в условиях установившегося режима – работы на протяжении длительного промежутка времени (месяц, год и т.д.) – можно считать, что вероятности  $P_0(t) = \text{const}$ ,  $P_1(t) = \text{const}$ ,  $P_{21}(t) = \text{const}$ ,  $P_{22}(t) = \text{const}$ ,  $P_{23}(t) = \text{const}$ ,  $P_{24}(t) = \text{const}$  и являются финальными вероятностями состояния системы. При данном допущении ошибка, как правило, не превышает 8% [2, 3].

В этом случае система дифференциальных уравнений Колмогорова (1), описывающая вероятностные состояния системы «лесовозный автопоезд» преобразуется в систему линейных алгебраических уравнений, имеющую вид:

$$\begin{cases} 0 = -(\lambda_1 + \lambda_{22})P_0 + \mu_1 P_1 + \mu_{21} P_{21} + \mu_{22} P_{22} + \mu_{23} P_{23}; \\ 0 = \lambda_1 P_0 - (\mu_1 + \lambda_{21} + \lambda_{22} + \lambda_{23} + \lambda_{24})P_1 + \mu_{24} P_{24}; \\ 0 = \lambda_{21} P_1 - \mu_{21} P_{21}; \\ 0 = \lambda_{22} P_0 + \lambda_{22} P_1 - \mu_{22} P_{22}; \\ 0 = \lambda_{23} P_1 - \mu_{23} P_{23}; \\ 0 = \lambda_{24} P_1 - \mu_{24} P_{24}; \\ P_0 + P_1 + P_{21} + P_{22} + P_{23} + P_{24} = 1 \end{cases} \quad (12)$$

Решая рассматриваемую систему алгебраических уравнений относительно вероятностей состояний  $P_0, P_1, P_{21}, P_{22}, P_{23}, P_{24}$ , получим выражения для расчета режимов работы лесовозного автопоезда:

$$P_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1 + \lambda_{21} + \lambda_{22} + \lambda_{23}} P_0; \quad (13)$$

$$P_{21} = \frac{\lambda_{21} \lambda_1}{\mu_{21} (\mu_1 + \lambda_{21} + \lambda_{22} + \lambda_{23})} P_0; \quad (14)$$

$$P_{22} = \frac{\lambda_{22}}{\mu_{22}} \left( 1 + \frac{\lambda_1}{\mu_1 + \lambda_{21} + \lambda_{22} + \lambda_{23}} \right) P_0; \quad (15)$$

$$P_{23} = \frac{\lambda_{23}\lambda_1}{\mu_{23}(\mu_1 + \lambda_{21} + \lambda_{22} + \lambda_{23})} P_0; \quad (16)$$

$$P_{24} = \frac{\lambda_{24}\lambda_1}{\mu_{24}(\mu_1 + \lambda_{21} + \lambda_{22} + \lambda_{23})} P_0. \quad (17)$$

Введем следующие обозначения:

$$\frac{\lambda_{21}}{\mu_{21}} = \rho_{21}; \quad \frac{\lambda_{22}}{\mu_{22}} = \rho_{22}; \quad \frac{\lambda_{23}}{\mu_{23}} = \rho_{23}; \quad \frac{\lambda_{24}}{\mu_{24}} = \rho_{24}; \quad \frac{\lambda_1}{\mu_1 + \lambda_{21} + \lambda_{22} + \lambda_{23}} = \varphi.$$

Тогда получим расчетное выражение для определения вероятности нахождения системы «лесовозный автопоезд» в свободном состоянии  $P_0$ :

$$P_0 = [1 + \rho_{22} + \varphi(1 + \rho_{21} + \rho_{22} + \rho_{23} + \rho_{24})]^{-1}. \quad (18)$$

Подставив в выражения (13)–(17) значения вероятности  $P_0$ , найдем значения исследуемых вероятностей  $P_1, P_{21}, P_{22}, P_{23}, P_{24}$ .

Полученные зависимости вероятностей состояний лесовозного автопоезда позволяют установить рациональные значения параметров машины. Технология работы с зависимостями следующая. На основе технических характеристик принимается ряд параметров, например,  $\mu_1, \lambda_{21}, \lambda_{22}, \lambda_{23}, \lambda_{24}$  и из построенных зависимостей устанавливаются искомые параметры. Например,  $\lambda_1, \mu_{21}, \mu_{22}, \mu_{23}$  либо  $\mu_{24}$  [2–5].

На рисунке 2 приведен пример установления одного из рассматриваемых параметров.

Оптимальное значение интенсивности ремонтных работ по восстановлению ходовой части лесовозного автопоезда  $\mu_{21}^*$ , определяемых по рис. 2, позволяет определить рациональную продолжительность восстановления ходовой части:

$$t_{21}^* = \frac{1}{\mu_{21}^*}.$$

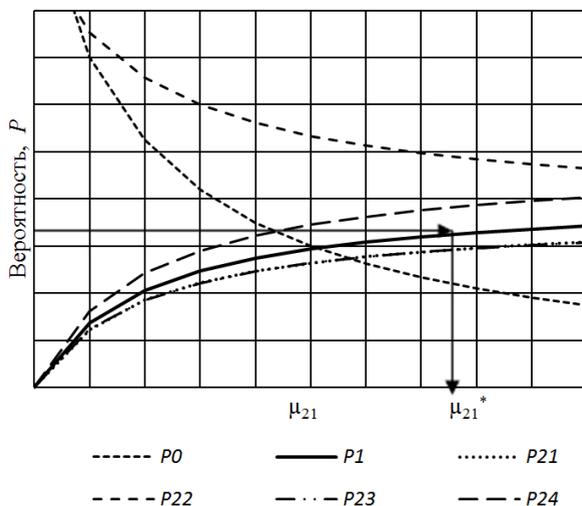


Рис. 2 – Зависимости вероятностей состояний системы «лесовозный автопоезд»

При этом обеспечивается надлежащая производительность машины, т. к. достигается практически максимальная величина вероятности ее работы  $P_1^*$ .

## Выводы

Разработанная математическая модель функционирования системы «лесовозный автопоезд» позволяет определять рациональные режимы работы и ремонта технологического оборудования сортиментовоза на операции вывозки древесного сырья с погрузочного пункта в случае возможных технических отказов при заданных характеристиках. Это приведет к росту производительности лесопромышленного оборудования без существенных финансовых затрат.

## Литература

1. Игнатенко, В. В. Моделирование и оптимизация процессов лесозаготовок: учеб. пособие для студентов специальности «Лесоинженерное дело» [Текст] / В.В. Игнатенко, И.В. Турлай, А.С. Федоренчик. – Минск: БГТУ, 2004. – 180 с.

2. Леонов Е. А. Математическая модель работы рубильной машины с учетом ее технических отказов [Текст] / Е.А. Леонов, В.В. Игнатенко, Д.В. Клоков // Труды БГТУ. 2016. № 2: Лесная и деревооб. промышленность. С. 40–44.
3. Клоков, Д. В. Модель работы форвардера с учетом надежности [Текст] / Д. В. Клоков, Е. А. Леонов, И. В. Турлай // Труды БГТУ. 2015. № 2: Лесная и деревооб. промышленность. С. 23–26.
4. Клоков, Д.В. Модель работы форвардера с учетом надежности [Текст] / Д.В. Клоков, Е.А. Леонов // Сборник научных статей «Вестник Харьковского национального технического университета сельского хозяйства им. П. Василенко» – Харьков, 2015. № 160. С. 159–164.
5. Клоков, Д. В. Модель работы харвестера [Текст] / Д.В. Клоков, И.В. Турлай // Труды БГТУ. 2014. №2: Лесная и деревооб. промышленность. С. 77–79.
6. Клоков, Д. В. Модели работы лесных машин с учетом надежности [Текст] / Д.В. Клоков, И.В. Турлай // Труды БГТУ. 2012. № 2: Лесная и деревооб. пром-ть. С. 66–67.
7. Федоренчик, А. С. Технология и оборудование лесосечных и лесоскладских работ: учеб.-метод. пособие [Текст] / А.С. Федоренчик, Д.В. Клоков, Е.А. Леонов. – Минск: БГТУ, 2016. – 204 с.
8. Матвейко, А. П. Технология и оборудование лесосечных и лесоскладских работ. Практикум [Текст] / А.П. Матвейко, Д.В. Клоков, П.А. Протас. – Минск: БГТУ, 2013. – 197 с.
9. Игнатенко, В. В. Установление рациональных параметров многооперационных машин в лесозаготовительной промышленности [Текст] / В.В. Игнатенко, Е.А. Леонов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 5–4 (16–4). С. 291–295.
10. Клоков, Д. В. Оборудование лесопромышленных предприятий. Лабораторный практикум: учеб.-метод. пособие [Текст] / Д. В. Клоков, И.В. Турлай, Е.А. Леонов. – Минск: БГТУ, 2015. – 200 с.
11. Технология и оборудование комплексного использования древесного сырья. Практикум [Текст] / А.С. Федоренчик, С.П. Мохов, Д.В. Клоков, Е.А. Леонов. Минск: БГТУ, 2014. 274 с.

12. Федоренчик, А. С. Энергетическое использование древесной биомассы. Практикум: учеб. пособие [Текст] / А. С. Федоренчик, Д.В. Клоков, Е.А. Леонов. – Минск: БГТУ, 2015. – 212 с.

13. Леонов Е.А. Устойчивое снабжение энергообъектов древесным топливом с созданием минимально необходимых запасов [Текст] // Труды БГТУ. №2. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2014. № 2. С. 17–19.

14. Леонов, Е. А. Обоснование межоперационных запасов сырья на лесоэнергетических терминалах с учетом загрузки основного технологического оборудования [Текст] / Е.А. Леонов, Д.В. Клоков // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2017. № 2 (198). – С. 232–237.

15. Ермалицкий, А. А. Особенности эксплуатации фронтальных лесопогрузчиков при проведении подготовительных работ по строительству лесных дорог [Текст] / А.А. Ермалицкий, Д.В. Клоков, А.И. Хотянович // Автомобильные дороги и мосты. – 2014. – № 2. – С. 103–107.

16. Леонов, Е. А. Теоретическое исследование влияния вместимости ЛЭТ на загрузку технологического оборудования [Текст] / Е.А. Леонов, Д.В. Клоков // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы международной научно-технической конференции, Минск, 26–28 апреля 2017. – Минск: БГТУ, 2017. – С. 96–100.

**ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ ТИПОВ КОМПОНЕНТОВ  
ХОДОВОЙ ЧАСТИ КОЛЕСНЫХ СКИДДЕРОВ**

**CONFORMITY ASSESSMENT OF THE TYPES OF CHASSIS  
COMPONENTS WHEEL SKIDDER**

*Клоков Д. В.*, канд. техн. наук, доц.,  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь;  
*Гарабазжу А. А.*, канд. техн. наук, доц.,  
*Леонов Е. А.*, канд. техн. наук, доц.,  
Белорусский государственный технологический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

*D. Klokov*, Ph.D. in Engineering, Associate Professor,  
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus;  
*A. Harabazhyu*, Ph.D. in Engineering, Associate Professor,  
*E. Leonov*, Ph.D. in Engineering, Associate Professor,  
Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus

*Разработана методика оценки взаимодействия колесной трелевочной машины с транспортируемой пачкой хлыстов и трелевочным волоком, которая включает математическую модель процесса движения машины, динамические характеристики лесотранспортных путей и метод их определения. Результаты работы позволяют на стадии проектирования колесных трелевочных машин осуществлять обоснованный выбор их компоновочных параметров, а также повысить эффективность эксплуатации машин путем рационального их использования с учетом почвенно-грунтовых условий.*

*Ключевые слова:* трелевочная машина, лесосечные работы, волок, исследование, взаимодействие, математическая модель.

*The technique of measuring the interaction of wheel skidding machines with the conveyed bundle of whips and dragging track, which*

*includes a mathematical model of the process of movement of the machine, the dynamic characteristics forest ways and the method of their determination. The results allow for the design stage of wheel skidding machines to make informed choices of their layout options, as well as to increase the efficiency of operation of the machines by their rational use based on soil conditions.*

*Keywords: skidding machine, cutting works, skidding track, research, interaction, mathematical model.*

## **Введение**

К машинам, осуществляющим трелевку древесины, предъявляются высокие требования по проходимости, совместимости с лесной средой, безопасности, эргономике и др.

В соответствии с концепцией развития лесозаготовительной отрасли в Республике Беларусь создано собственное лесное машиностроение. На ведущих предприятиях (ОАО «Минский тракторный завод», ОАО «Амкордор» и др.) разработан целый ряд машин для заготовки древесного сырья: харвестеры, форвардеры, трелевочные и рубильные машины и другое оборудование. Учитывая высокую степень заболоченности лесфонда достаточное внимание уделяется разработке и эксплуатации трелевочных машин, осуществляющих трелевку хлыстов или сортиментного долготья. Так в настоящее время разработаны и выпускаются трелевочные машины с канатно-чокерным технологическим оборудованием, а также машины для бесчокерной трелевки хлыстов.

С целью обоснования параметров трелевочных машин различных типов и компоновки был разработан комплекс математических моделей процесса работы машин при выполнении ими технологических операций. Ниже приведена методика моделирования процесса движения трелевочных машин, которая учитывает реальные возмущающие воздействия (неровности поверхности волока, крутящий момент двигателя), а также реальные параметры машины.

Ввиду различной компоновки машин и вариантов технологического оборудования разработаны две расчетные схемы. Первая из которых соответствует машине типа 4К4 на базе серийного трактора с жесткой рамой (ТТР-401М, ТТР-411), а вторая (рисунок 1) машинам типа 4К4 и 6К6 на базе шасси с шарнирно-сочлененной рамой (МЛ-

127С, Амкодор 2243) [1–4]. Для каждой из них составлены математические модели, которые реализованы в процессе проектирования созданных и перспективных машин.

### Разработка имитационной модели

Принятая расчетная схема (рисунок 1) учитывает упругую податливость почвогрунта, ввиду того, что при движении машины по трелевочным волокнам прогибы покрытия и шин машины являются измеримыми величинами.

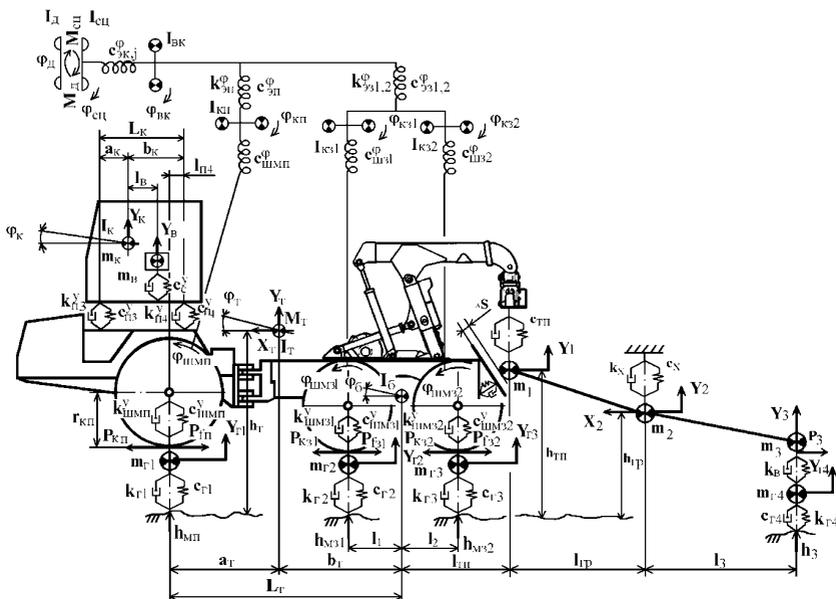


Рисунок 1 – Расчетная модель процесса движения трелевочной машины с шарнирно-сочлененной рамой, учитывающая упругую податливость грунта

Комплекс математических моделей процесса работы машин при выполнении ими технологических операций. При разработке расчетной модели трелевочных машин был принят ряд допущений [5–10]: распределенные массы трансмиссии машины заменены сосредоточенными, соединенными безинерционными упруго-демпфирующими связями; машина движется прямолинейно без спусков и подъемов; колесная система рассматривается как плоская симметричная

относительно своей продольной оси; остов машины представляет собой твердое тело с продольной осью симметрии; колеса совершают безотрывное движение без бокового проскальзывания; беговая дорожка шины рассматривается в виде безинерционного обруча с радиусом, равным радиусу качения, а контакт колеса с дорогой точечным; жесткости шин, подвески, трансмиссии, постоянны, демпфирующие сопротивления пропорциональны первой степени скорости деформации; в элементах трансмиссии не учитывается жесткость зубьев зацепления, так как она значительно больше жесткости валов; высокочастотные колебания шестерен, валов и других деталей трансмиссии как с сосредоточенными, так и с распределенными параметрами не рассматриваются; механизм рулевого управления зафиксирован в положении, соответствующем прямолинейному движению трактора; колебания масс системы малые.

Применяя различные способы моделирования, измерения, записи и воспроизведения, можно получить наглядное представление об эксплуатационном нагрузочном режиме по его временной реализации.

При исследовании системы «машина – пачка хлыстов» распределенную массу пачки хлыстов разбиваем на три дискретные массы  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$ , соединенные между собой жесткостью  $c$ . Масса  $m_1$  составляет часть пачки, нагружающую клещевой захват. Масса  $m_2$  сосредоточена в центре тяжести пачки хлыстов и совершает колебания. Масса  $m_3$  – часть пачки, волоочащейся по микропрофилю волокна. Связь трактора с хлыстом и клещевым захватом осуществляется посредством жесткости  $c_{тп}$ . Изгибные деформации хлыста моделируются упругим элементом с коэффициентом жесткости  $c_x$ . Все упругие звенья системы в направлении своей податливости обладают также демпфирующим сопротивлением.

Динамические характеристики лесотранспортных путей, необходимые для расчета математической модели динамики движения трелевочной машины с учетом упругой податливости грунта, определялись по экспериментальным данным ее колебаний, упругому прогибу дорожной одежды и параметров колесной нагрузки. При этом трелевочный волок может рассматриваться как однослойная или двухслойная (при армировании лесосечными отходами) конструкция, с заданными вязкоупругими свойствами каждого слоя [11–15].

Расчетная динамическая схема системы «двигатель – трансмиссия – движитель – предмет труда – почвогрунт» имеет 21 степень свободы.

Рассматриваемая система дифференциальных уравнений решается методом Рунге-Кутты 4-го порядка точности с помощью комплекса специальных программ. Проведенные расчеты показали, что величина статистики  $D^2$  не превышает значений области принятия гипотезы  $\chi^2_{n,\alpha}$ , равным 22,36.

Результаты расчета (процесс движения машины ТТР-401М со скоростью 2 м/с по пасечному волоку) показывают, что минимальные значения средних квадратичных амплитуд вертикальных реакций переднего моста имеют место при следующих параметрах жесткостей: шин переднего моста  $c_{\text{шп}}=100$  кН/м; подвески переднего моста  $c_{\text{пмп}}=200$  кН/м и шин заднего моста  $c_{\text{шз}}=200$  кН/м. В тоже время отмечается неравномерность изменения ординаты, причем прослеживается ее зависимость от всех трех параметров.

Для случая с  $c_{\text{шп}}=100$  кН/м при  $c_{\text{пмп}}\geq 500$  кН/м и  $c_{\text{шз}}\geq 650$  кН/м происходит резкое увеличение ординаты, а при дальнейшем возрастании этих величин система имеет неограниченное возрастание амплитуды, т.е. наступает явление резонанса. При  $c_{\text{шп}}=200$  кН/м резкое возрастание ординаты начинается при  $c_{\text{пмп}}\geq 300$  кН/м, для случая  $c_{\text{шп}}=300$  кН/м – при  $c_{\text{пмп}}\geq 400$  кН/м. Проведенный анализ позволил определить пределы жесткостей, при которых значения амплитуд реакций не превышают допустимый предел.

Анализ динамики груженого скиддера типа 6К6 показывает, что происходит разгрузка передних колес балансирной тележки и дополнительное нагружение задних колес вследствие влияния со стороны таких факторов, как параметры шин [7], балансира, и условий движения.

Анализируя полученные зависимости, можно проследить, что при движении по пасечному волоку отмеченный характер изменения среднеквадратичных значений угловых и вертикальных ускорений с увеличением скорости движения возрастает на всех нагрузочных режимах.

Поэтому движение по пасечному волоку рассматривалось как один из наиболее сложных режимов, так как, безусловно, при экс-

платации машины всегда возможны наезды на единичные неровности в виде пней или порубочных остатков.

Расчеты свидетельствуют, что рассматриваемые показатели для условий эксплуатации по дорогам с улучшенным покрытием в среднем имеют значения в 1,5 раза меньше, чем при движении по пасечному волоку (технологическому коридору).

Спектральный анализ процессов движения машины также подтверждает вывод о том, что с увеличением скорости частота изменения динамических реакций возрастает. Проанализировав процесс изменения динамических реакций, можно констатировать, что наиболее приемлемой схемой является лесная машина на базе шасси 6К6 с базой 3,8 м.

Однако, как и во всех рассматриваемых вариантах, одним из ограничивающих факторов выступает эксплуатационная скорость. Установлено, что по нагруженности переднего моста при движении по пасечному волоку скорость не должна превышать 5,3 км/ч. На магистральном волоке (лесной дороге) допустимая скорость до 9,5 км/ч, что явно достаточно для реализации показателей эффективности машины при эксплуатации.

При проектировании лесных машин используют, как правило, следующие основные критерии оптимальности: минимум приведенных затрат; максимум экономической эффективности; минимум потерь; технические критерии. В целом эти критерии являются комплексными, так как учитывают ряд различных факторов, влияющих на работу системы машины [16–17].

Параметры выходных процессов и их количество определяются в каждом конкретном случае конкретной постановкой задачи исследования. В качестве выходного процесса исследовались величина вертикальной динамической реакции мостов машины  $R_Y$  ( $k_{дин}$ ), а также значения коэффициента динамичности  $k_{дин}$ .

## **Заключение**

Как показал опыт эксплуатации созданных машин, применение разработанной методики позволяет обоснованно выбирать параметры трелевочных машин, сократить время проектирования и доводки опытных образцов, а также обеспечить совместимость машин с почвогрунтами в процессе их эксплуатации.

Рекомендуемые значения жесткости и коэффициента неупругого сопротивления снижают величину средних квадратичных значений динамических реакций мостов в среднем на 13–25 %.

## Литература

1. Федоренчик, А. С. Технология и оборудование лесосечных и лесоскладских работ: учеб.-метод. пособие [Текст] / А.С. Федоренчик, Д.В. Клоков, Е.А. Леонов. – Минск: БГТУ, 2016. – 204 с.

2. Клоков, Д. В. Оборудование лесопромышленных предприятий. Лабораторный практикум: учеб.-метод. пособие [Текст] / Д.В. Клоков, И.В. Турлай, Е.А. Леонов. – Минск: БГТУ, 2015. – 200 с.

3. Матвейко, А. П. Технология и оборудование лесосечных и лесоскладских работ. Практикум [Текст] / А.П. Матвейко, Д.В. Клоков, П.А. Протас. – Минск: БГТУ, 2013. – 197 с.

4. Федоренчик, А. С. Энергетическое использование древесной биомассы. Практикум: учеб. пособие [Текст] / А.С. Федоренчик, Д.В. Клоков, Е.А. Леонов. – Минск: БГТУ, 2015. – 212 с.

5. Жуков, А. В. Расчетные схемы и математические модели лесных машин: метод. пособие к практическим занятиям по дисциплине «Динамика машин и виброзащита» для студентов специальности 1–36 05 01 [Текст] / А.В. Жуков, Д.В. Клоков. – Минск: БГТУ, 2003. – 49 с.

6. Клоков Д. В. Обоснование параметров и оценка динамических показателей лесной колесной погрузочно-транспортной машины: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01: защищена 27.12.2001 / Д.В. Клоков. – Минск, 2001. – 166 с.

7. Супин, В. В. Напряженное состояние зубьев цилиндрических прямозубых колес / В.В. Супин, Д.В. Клоков // Новые материалы и технологии в машиностроении: сб. науч. тр. по итогам XIII Международ. науч.-техн. конф., Брянск, 11 апр.–11 мая 2011 г. / под общ. ред. Е.А. Памфилова. – Брянск: БГИТА, 2011. – Вып. 13. – С. 111–114.

8. Клоков, Д. В. Нагрузочные режимы трансмиссии форвардера / Д.В. Клоков, В.В. Супин // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. по итогам XII Международ. науч. - техн. конф., Брянск, 1 мая – 1 июня 2011 г. / под общ. ред. Е.А. Памфилова. – Брянск: БГИТА, 2011. – Вып. 29. – С. 17–21.

9. Клоков, Д. В. Имитационная модель движения лесной погрузочно-транспортной машины типа 8К8 [Текст] / Д.В. Клоков // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. – Минск: БГТУ, 2008. – Вып. XVI. – С. 122–126.

10. Клоков, Д. В. Оценка нагрузочных режимов трансмиссий погрузочно-транспортных машин «БЕЛАРУС» [Текст] // Труды БГТУ. 2013. № 2 (158): Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 45–46.

11. Клоков, Д. В. Модель работы форвардера с учетом надежности [Текст] / Д.В. Клоков, Е.А. Леонов, И.В. Турлай // Труды БГТУ. 2015. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 23–26.

12. Протас, П. А. Аналитическое исследование процесса взаимодействия колесных трелевочных машин с пачкой хлыстов и волоком [Текст] / П.А. Протас, Д.В.Клоков // Актуальные направления научных исследований XXI века: Теория и практика. 2014. Т. 2, № 5–4 (10–4). С. 256–260.

13. Протас, П. А. Оценка воздействия колесных движителей форвардеров на лесные почвогрунты [Текст] / П.А. Протас, Д.В.Клоков // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3, № 2–2 (13–2). С. 322–326.

14. Ермалицкий, А. А. Особенности эксплуатации фронтальных лесопогрузчиков при проведении подготовительных работ по строительству лесных дорог [Текст] / А.А. Ермалицкий, Д.В. Клоков, А.И. Хотянович // Автомобильные дороги и мосты. – 2014. – № 2. – С. 103–107.

15. Клоков Д. В. Особенности эксплуатации форвардеров 6К6 при проведении основных лесозаготовительных работ [Текст] / Д.В. Клоков, А.А. Ермалицкий, Е.А. Леонов // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. 2016 – №2 (176) – С. 28–30.

16. Леонов, Е. А. Обоснование межоперационных запасов сырья на лесоэнергетических терминалах с учетом загрузки основного технологического оборудования [Текст] / Е.А. Леонов, Д.В. Клоков // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2017. № 2 (198). – С. 232–237.

17. Игнатенко, В. В. Установление рациональных параметров многооперационных машин в лесозаготовительной промышленности [Текст] / В.В. Игнатенко, Е.А. Леонов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 5–4 (16–4). С. 291–295.

**АНАЛИЗ ОПЫТА АПРОБАЦИИ И ВНЕДРЕНИЯ В ПРОЦЕСС  
ОБУЧЕНИЯ СОЗДАННОГО УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАЗДЕЛА «КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА»**

**ANALYSIS OF THE EXPERIENCE OF APPROBATION  
AND THE IMPLEMENTATION IN THE PROCESS  
OF TEACHING CREATED TRAINING  
AND METHODOLOGICAL PROVISION  
OF THE COMPUTER GRAPHICS**

*Гиль С.В.*, канд. техн. наук., доц.,  
*Лешкевич А.Ю.*, канд. техн. наук., доц.,  
*Марамыгина Т.А.*, ст. препод.,  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

*S. Gil*, Ph.D. in Engineering, Associate Professor,  
*A. Leshkevich*, Ph.D. in Engineering, Associate Professor,  
*T. Maramygina*, senior lecturer,  
Belarusian national technical University, Minsk, Belarus

*Разработан лабораторный практикум по компьютерной графике, включающий теоретический материал по освоению графической системы AutoCad и комплекс лабораторных работ, который позволяет студентам технических специальностей БНТУ освоить данную САПР и практически закрепить пройденный материал, а также обеспечить контроль и оценку работы обучающихся преподавателю в течение семестра, оптимизируя таким образом их графическую подготовку.*

*Ключевые слова:* информатизация учебного процесса, компьютерная графика, интенсификация обучения, оптимизация графической подготовки.

*A computer graphic laboratory workshop was developed, including theoretical material on the development of the AutoCad graphic system and a set of laboratory works that allows technical students of the BNTU*

*to master this CAD system and practically consolidate the material studied, as well as provide monitoring and evaluation of students' work during the semester, optimizing such way their graphic preparation.*

*Keywords: informatization of the educational process, computer graphics, intensification of training, optimization of graphic training.*

## **Введение**

Концепция модернизации национальной образовательной системы, приведение её в соответствие с «Болонским процессом» создания Европейского пространства высшего образования является основной причиной общей тенденции настоящего времени перехода на четырёхлетнее базовое высшее образование в технических вузах страны. Соответственно последующие изменения сроков, методов и форм в обучении основным техническим дисциплинам и, в первую очередь, конечно, инженерной графики, ставят задачи широкой информатизации учебного процесса особенно на последнем этапе изучения дисциплины – освоение систем автоматизированного проектирования, изучение с их применением способов и средств моделирования на плоскости и в трёхмерном пространстве. В отличие от традиционного образования предполагается: не только внедрение новых информационных технологий, но и информационного обеспечения с привлечением современных мультимедийных и телекоммуникационных средств; использование электронных учебно-методических комплексов, электронных учебников, образовательных ресурсов Интернета; повсеместное использование компьютерных систем мониторинга качества на всех этапах образовательного процесса. Внедрение в учебный процесс информатизации позволяет: внедрять дифференцированный подход к обучению в зависимости от сроков изучения, направления, специальности, целей и задач, а также начального уровня знаний по компьютерному проектированию и моделированию средствами САПР; интенсифицировать процесс обучения; индивидуализировать и персонифицировать изучение учебного материала, подстраиваясь под психологические особенности и уровень начального образования по дисциплине каждого студента; обеспечить наглядность и визуализацию пошагового выполнения индивидуального задания; повысить мотивацию и заинтересованность обучающихся на всех этапах освоения САПР; организовать все виды

контроля и оценки знаний, умений и навыков; поднять качество обучения по дисциплине [4, 7, 10, 11, 12, 13, 14].

### **Анализ эффективности апробации и внедрения разработанного комплекса лабораторных работ раздела «компьютерная графика»**

На кафедре «Инженерная графика машиностроительного профиля» БНТУ ведется непрерывная работа по модернизации учебно-методических пособий для студентов всех специальностей, сформирован общий подход по изучению дисциплины на последнем завершающем этапе обучения [1, 5, 8, 9]. Коллективом ведущих преподавателей был переработан и откорректирован комплекс лабораторных работ по компьютерной графике, а также разработан ряд абсолютно новых работ. Подготовлено к изданию и отдано в издательство пособие «Система автоматизированного проектирования AutoCad. Практикум. Часть 1. Часть 2». Первая часть посвящена вопросам моделирования на плоскости. Вопросы трехмерной графики рассмотрены во второй части пособия. Целесообразность разработки и создания на кафедре данного методического обеспечения учебного процесса на последнем завершающем этапе обучения дисциплине стала не только актуальна в связи с последними тенденциями в изменении концепции высшего технического образования. Последние печатные методические материалы по данной тематике были изданы в 1995 году и с тех пор на кафедре никогда не переиздавались и не обновлялись по ряду объективных и субъективных причин, хотя за это время произошли существенные изменения в содержании и интерфейсе данной САПР. Процесс разработки, апробации и внедрения новых методик в обучение компьютерной графики должен идти непрерывно и соответствовать целям и задачам широкой информатизации учебного процесса, учитывая постоянно возрастающий объем использования компьютерных средств и специализированного программного обеспечения. Созданный комплекс лабораторных работ является оригинальным и полностью охватывает учебный процесс кафедры «Инженерная графика» для различных специальностей БНТУ. Разработанные лабораторные работы построены на выполнении ключевых индивидуальных заданий всех разделов инженерной

графики, начиная от начертательной геометрии, и, заканчивая машиностроительным черчением [2, 3, 6]. Таким образом можно изменять комплектность лабораторных работ в соответствии с количеством часов, отведенным на изучение дисциплины на последнем этапе средствами AutoCad, направлением специальности и рекомендациями специализированных выпускающих кафедр, а также уровнем знаний самих обучающихся. Разработанный комплекс планируется к активному использованию при изучении дисциплины «Инженерная графика» на лабораторных занятиях по компьютерной графике для студентов технических специальностей, обучающихся на кафедре, а также может быть использован для самостоятельной работы студентов. На кафедре «Инженерная графика машиностроительного профиля» планируется открытие специальности, по которой в дальнейшем будут получать высшее образование второй ступени магистранты не только БНТУ, но и иностранные граждане. Несомненно, при составлении программ обучения необходимо будет планировать не только углубленное изучение разделов инженерной графики, методик преподавания, но и современных компьютерных средств создания проекционного чертежа, способов и принципов моделирования на плоскости и в трёхмерном пространстве различными САПР, в том числе и AutoCad ведущими специалистами кафедры. Аналогичные лабораторные практикумы, используемые на таких же профильных кафедрах в БГАТУ и БГУИР, не соответствуют по многим параметрам: общему количеству часов на изучение дисциплины, уровню поставленных практических задач и степени их реализации, а также характерной специализированной направленностью.

Лабораторный практикум в первой части включает основные разделы по освоению графической системы AutoCad, комплекс многовариантных практических индивидуальных заданий, нацеленных на приобретение навыков по работе с системой, а также практического опыта по созданию проекционного комплексного чертежа. В каждой работе четко сформулированы цели и задачи, представлен краткий теоретический материал по теме, даны методические указания и рекомендации по выполнению индивидуального задания, приведен образец выполненного задания. Все инструкции по работе и применению различных инструментов и технологий построения приводятся пошагово с указанием последовательности действий, рассматривае-

мые команды и приемы работы сопровождаются рисунками, схемами и скриншотами. Для закрепления пройденного материала в конце каждой лабораторной работы приведен перечень контрольных вопросов, позволяющих оценить уровень знаний, умений и навыков, полученных в процессе выполнения задания.

Первая лабораторная работа «Введение в систему AutoCad» ставит целью ознакомиться с интерфейсом системы, изучить способы задания параметров чертежа, освоить варианты ввода команд, изучить различные способы и форматы ввода точек. Любая команда по созданию графического примитива требует конкретного указания точки: начала, центра, средней точки будущего объекта. Точные построения предполагают координатный способ задания, варианты которого нужно освоить и знать в совершенстве, прежде, чем приступать к выполнению комплексных проекционных чертежей. Поэтому наряду с общими вопросами знакомства с системой особое внимание в данной лабораторной работе уделяется этому вопросу. В процессе выполнения лабораторной работы студенты пошагово знакомятся со структурой экрана, панелями инструментов, падающим и плавающим меню, командной строкой и строкой состояния, диалоговыми и контекстными окнами, изучают режимы рисования, способы ввода точек и углов. Студентам предлагается по вариантам построить точки, используя формат ввода точек в абсолютных, полярных и относительных координатах. Эта ознакомительная лабораторная работа выполняется на практике достаточно быстро, индивидуальные задания не являются трудоёмкими, но по важности рассматриваемых вопросов она является первостепенной.

Вторая работа «Создание графических примитивов» ставит целью ознакомиться с типами графических примитивов системы, режимами рисования, изучить основные команды, входящие в раздел «Рисование», а также их опции. В процессе выполнения работы студенты осваивают следующие режимы: сетка, шаг привязки, режим ортогональности, вес, тип и цвет линий; изучают простые и сложные графические примитивы, команды их построения: отрезок, прямая, луч, окружность, дуга, эллипс, полилиния (в том числе прямоугольник, n-угольник, кольцо), сплайн, текст. В работе предлагается согласно вариантам отработать навык построения графических примитивов, используя данные координаты точек и выбирая соответствующие опции команд. Практика показала, что обучение студентов

данной системе должно идти поэтапно. Нецелесообразно уже на первом этапе изучения задавать создание сложного комбинированного контура из набора графических примитивов. Такой ускоренный подход вначале при освоении САПР отрицательно сказывается при выполнении действительно сложных построений в дальнейшем, потому что недостаточно проработан и закреплён на практике теоретический материал основ системы. Сформированные знания не должны ограничиваться примитивным уровнем «узнавания команд», должны быть выработаны практические навыки для самостоятельного поиска и реализации нестандартных решений поставленных задач.

Третья лабораторная работа «Редактирование графических примитивов» ставит целью научиться использовать объектную привязку при выполнении графических построений в системе AutoCad, освоить на практике варианты выбора объекта на чертеже, изучить команды общего редактирования объектов, приобрести практические навыки редактирования созданных графических примитивов. В процессе выполнения лабораторной работы студенты изучают способы оптимального использования текущих и разовых режимов объектной привязки, приобретают навык выбора объектов с помощью прицела, рамки и секущей рамки. Осваивают команды общего редактирования объектов: стирание, копирование, перенос, поворот, симметрия, массив, подобие, масштабирование, обрезка, удлинение, разрыв, а также редактирование полилиний, команды фаска и сопряжение.

Четвертая лабораторная работа «Средства создания и выполнения чертежа» ставит целью ознакомиться с основными командами редактирования и нанесения размеров в системе AutoCad. В процессе выполнения лабораторной работы студенты приобретают навыки работы со слоями, изучают способы редактирования объектов с помощью «ручек», осваивают два типа штриховок – ассоциативную и неассоциативную, а также способы одноцветной и градиентной заливки замкнутого контура. Студентам предлагается по заданным координатам точек вычертить плоский контур (согласно индивидуальному варианту) [2], нанести штриховку, размеры и оформить основную надпись чертежа (рисунок 1).

Пятая лабораторная работа «Создание чертежа комбинированного тела средствами AutoCad» ставит целью закрепление навыков



Выполняя проекционный комплексный чертёж по аксонометрической проекции и обрабатывая поставленные задачи лабораторной работы, на наглядном примере учим: правильному выбору главного вида модели; анализу формы отдельных составляющих модель поверхностей; оценке расположения отдельных плоскостей на детали по отношению к исходным плоскостям проекций и мировой системе координат для выполнения необходимых по заданию разрезов; обязательному наличию проекционных связей в комплексном чертеже, взаимосвязи соответствующих координат X, Y и Z; обозначению разрезов в соответствии с ГОСТ 2.305-2008. Таким образом помимо основных задач лабораторной работы студенты повышают уровень подготовки и закрепляют полученные ранее знания по основополагающим темам «Проекционный комплексный чертёж» и «Виды, разрезы, сечения» дисциплины «Инженерная графика».

Шестая лабораторная работа «Выполнение рабочего чертежа вала средствами AutoCad» ставит целью закрепить умение использовать



Рисунок 3 – Вариант индивидуального задания

объектную привязку при выполнении графических построений, навыки работы со слоями, освоить на практике варианты выбора объекта на чертеже, проработать команды общего редактирования объектов, закрепить практические навыки редактирования созданных графических примитивов.

В процессе выполнения работы студенты учатся создавать различные конфигурации видовых экранов и готовить документ к печати. Студентам предлагается выполнить рабочий чертёж вала по заданному наглядному изображению. При этом помимо поставленных задач лабораторной работы студенты закрепляют знания, полученные при изучении темы «Эскиз вала» раздела «Машиностроительное черчение». Пример варианта индивидуального задания на рисунке 3.

## Заключение

Представленный комплекс лабораторных работ позволяет студентам приобрести практический опыт и теоретические знания работы с графической системой AutoCad, закрепить пройденный материал, а также даёт возможность преподавателю в течение семестра выявлять недостаточный уровень знаний по отдельным темам и контролировать работу студентов, при снижении количества часов, отводимых на изучении этого раздела инженерной графики, интенсифицировать и оптимизировать графическую подготовку студентов дневной формы обучения. Данный комплекс успешно прошел апробацию в учебных группах, уровень знаний и качество подготовки студентов по компьютерной графике повысились; выполнение проекционного комплексного чертежа модели на компьютере дало понимание и осознание этого процесса, взаимосвязь его с проекционным черчением и выполнением графических заданий на бумаге; создана основа знаний, позволяющая приступить к освоению трёхмерного моделирования и изучению возможностей системы на более высоком уровне; полученные знания востребованы и успешно используются при выполнении курсовых работ и проектов по другим общетехническим и специальным дисциплинам. Это несомненно будет способствовать интенсификации обучения с одновременным повышением качества подготовки инженерных кадров, владеющих современными информационными технологиями.

## Литература

1. Гиль С.В. Создание учебно-методического комплекса наглядных плакатов по выполнению рабочих чертежей деталей средствами AutoCad. «Инновационные технологии в инженерной графике: проблемы и перспективы: сборник трудов Международной научно-практической конференции. г. Брест, Республика Беларусь, г. Новосибирск, Российская Федерация. - Новосибирск: НГАСУ (Сибстин), 2015. – С. 263–268.

2. Геометрические построения: Кривые линии, сопряжения: учебно-методическое пособие с вариантами индивидуальных заданий для студентов машиностроительных специальностей / Т.А. Марамыгина, С.В. Гиль и др.; под общ. ред. П.В. Зелёного. – Минск: БНТУ, 2010. – 70 с.

3. Инженерная графика. Практикум: учебное пособие / П.В. Зелёный, Е.И. Белякова; под ред. П.В. Зелёного. – Минск: БНТУ, 2011. – 258 с.

4. Кузьменко Е.Л. Формирование готовности к профессионально-творческой деятельности студентов в процессе обучения инженерной графике: автореферат диссертации на соискание степени кандидата педагогических наук. – Воронеж: ВГТУ, 2006.

5. Марамыгина Т.А., Гиль С.В. Современные компьютерные технологии в обучении студентов инженерной графике. Материалы Девятой международной научно-технической конференции «Наука – образованию, производству, экономике», посвящённой 60-летию автотракторного факультета БНТУ. Минск: БНТУ, 2011. – С. 43–47.

6. Начертательная геометрия. Краткий курс по темам графических работ: учебное пособие/Е.И. Белякова, П.В. Зелёный; под ред. П.В. Зелёного. – Минск: БНТУ, 2009. – 229 с.

7. Гобралёв Н.Н., Свирепа Д.М., Юшкевич Н.М. Инженерная графика: роль объёмно-пространственного мышления при её изучении. Инновационные технологии в инженерной графике: проблемы и перспективы: сборник трудов МНПК. Брест, Республика Беларусь, Новосибирск, Российская Федерация / отв. Ред. Т.Н. Базенков. – Брест: БрГТУ, 2016. – С. 45–48.

8. Опыт применения современных информационных технологий в процессе обучения инженерной и компьютерной графике. Гиль С.В., Марамыгина Т.А. «Инновационные технологии в инженерной графике: проблемы и перспективы: сборник трудов Международной научно-практической конференции, – 20 апреля 2018 г., г. Брест, Республика Беларусь, г. Новосибирск, Российская Федерация. – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2018. С. 89–94.

9. Повышение эффективности освоения темы «Геометрические построения» с применением новых образовательных технологий в преподавании дисциплины «Инженерная графика» / Марамыгина Т.А., Гиль С.В. // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Инновационные технологии в образовании, науке и производстве». Минск. БНТУ. РИИТ. 2007 г. С. 146–149.

10. Перепелица Ф.А. «Компьютерное конструирование в AutoCAD 2016 г. Начальный курс: Учебно-методическое пособие» НИУ И ТМО, 2015. – 192 с.

11. Русинова Л.П. Развитие пространственного мышления у студентов в начале изучения курса «Начертательная геометрия // Молодой учёный. – 2012. – № 3. С. 391–394.

12. Базенков Т.Н., Винник Н.С., Морозова В.А. Переход от традиционного преподавания графических дисциплин к активному использованию современных информационных технологий. Брест, Республика Беларусь, Новосибирск, Российская Федерация / отв. ред. Т.Н. Базенков. – Брест: БрГТУ, 2016. – С. 15–20.

13. Шарипов Ф.В. Педагогика и психология высшей школы: учеб. пособие / Ф.В. Шарипов. – М.: Логос, 2012. – 448 с.

14. Хубиев А.И. Формирование пространственных представлений студентов в процессе обучения начертательной геометрии на художественно-графическом факультете: автореферат диссертации на соискание степени кандидата педагогических наук. – Москва: МПГУ, 1998.

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИВЛЕЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ  
ПЕРВОГО КУРСА К НАУЧНЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ**

**EFFICACY OF ATTRACT THE STUDENTS  
OF THE FIRST COURSE TO THE SCIENCE INVESTIGATIONS**

*Гиль С.В.*, канд. техн. наук., доц.,  
*Лешкевич А.Ю.*, канд. техн. наук., доц.,  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

*S. Gil*, Ph.D. in Engineering, Associate Professor,  
*A. Leshkevich*, Ph.D. in Engineering, Associate Professor,  
Belarusian national technical University, Minsk, Belarus

*Исследованы методические подходы вовлечения первокурсников технических вузов в научно-исследовательскую работу студентов (НИРС).*

*Получены некоторые результаты эффективного сотрудничества студентов и преподавателей в области НИРС в виде активного участия в студенческих научных конференциях и Республиканских конкурсах научных работ.*

*Ключевые слова: студенты, тематика, эффективность, научно-исследовательская работа, результаты, активное участие, конференции, публикации, конкурсы.*

*It is investigated the methodic manners to attract the students of the first courses of technical institutes to science job. To obtained some results of effective cooperating students and instructors in district science investigation in aspect active complicity in students science conferences and Republic cones of science jobs.*

*Keywords: Students, thematic, efficacy, science-investigated job, results, active complicity, conferences, publications, cones.*

## **Введение**

Проблема вовлечения студентов в учебно-методическую и научно-исследовательскую работу неизбежно сопряжена с современными способами организации учебного процесса. Внедрять же эти способы можно только на основе научно-технического прогресса. Для этого студент должен быть подготовлен, обрести базу знаний умений, навыков и компетенций, прежде всего в научной области. Только обладая готовностью и потребностью к научному труду и расширению кругозора можно на старших курсах получить качественное высшее техническое образование особенно в жестких условиях перехода на 4-х летний период обучения.

## **Привлечение студентов к научно-исследовательской работе**

Начальный период в высшей технической школе обладает некоторыми особенностями не только в способности количественно и качественно усваивать относительно новый материал, но и в воспитательном, психологическом плане учебы в совершенно новом, отличающемся от школьного, коллективе. Довольно скоро появляются студенты, выделяющиеся прилежанием, аккуратностью, дисциплинированностью, успеваемостью, желанием узнать больше, решить задачу многими способами, получить задание повышенной сложности. Важно не пропустить такую молодежь, найти подходы, предложить факультатив. Уже на первых курсах необходимо заинтересовать студента научно-исследовательской деятельностью, исходя, прежде всего, из его желания, интеллекта и возможностей общеобразовательных кафедр. При отборе студентов для участия в НИР необходимо руководствоваться некоторыми соображениями, подтвержденными многолетней практикой. Следует учитывать:

– во-первых, желание самого студента, хотя на начальной стадии обучения трудно распознать его истинные намерения. Уже на первых занятиях заметен студент с активной позицией, его энергию лишь следует направить в нужном направлении. Инициативность такого студента необходимо всячески поощрять.

– во-вторых, уровень довузовской подготовки по техническим предметам – физике, математике, химии должен позволять решать факультативные задачи повышенной сложности, требующие усер-

дия, терпения, ответственности за порученный участок работы, умения соразмерять свои возможности со сложностью задания. Здесь важно не заставлять, а заинтересовывать студента, показывая возможность применения рассматриваемых проблем в реальной технике и технологии.

– в-третьих, готовность к выполнению элементарных научных функций – прежде всего, умение собирать информацию на заданную тему, так как всякая созидательная конструкторская или технологическая деятельность начинается с овладения информацией по интересующему вопросу. Накопление навыков обзора и сбора информации, начиная с первого курса дает возможность грамотно и лаконично выполнять патентно-информационный поиск, необходимый в любой деятельности, по заводским или библиотечным данным, или по Интернету и обогащает дальнейший путь обучаемого, что напрямую способствует резкому повышению качества обучения, особенно в дефиците учебного времени.

– в-четвертых, степень владения современным электронным оборудованием и программными средствами, в особенности системами геометрического моделирования, что особенно важно для кафедр инженерно-графического профиля.

Одним из основных критериев нужно считать и самодисциплину, умение дорожить временем и рассчитывать свои силы, как в тактическом, так и в стратегическом плане. Научная же деятельность еще более приучает к дисциплинированности.

Согласно учебной программе, на начальном этапе обучения студентов конструкторских и технологических специальностей, изучающих дисциплину «Инженерная графика», значительное внимание уделяется компьютерной графике. Современные компьютерные программные средства («Компас», «Автокад» и др.) со встроенными языками программирования, системы геометрического моделирования и другие средства компьютерной графики, степень важности и сложности поставленной научной задачи всегда требуют далеко не элементарной компетентности студента. Компетенция обучаемого не берется со стороны в готовом виде, ее необходимо накапливать постепенно, целенаправленно, учитывая менталитет, приоритеты и способности.

Современный студент находится в очень сложном положении. Избыток современных компьютерных технических средств, переизбыток информации в Интернете, причем на везде и всегда правдивой, дезинформирующей, коммерческой, приводит к неправильной оценке ситуации и потере времени. Необходимо целенаправленно прививать студентам навыки получения достоверной научно-технической информации. Чем раньше студент будет увлечен этой деятельностью, тем короче будет его путь к успеху. Поэтому, чем раньше он начнет участвовать в НИРС, тем надежнее и качественнее будет обучение и дальнейшая деятельность.

На кафедре «Инженерная графика машиностроительного профиля» (ИГМП) БНТУ имеется значительный опыт проведения научных исследований и организации студенческих научно-технических конференций (СНТК) различных уровней, как одной их эффективных форм и как результат научной работы. Этот опыт основан, прежде всего, на объединении изучаемых на кафедре предметов с особенностями будущей специальности или специализации студента, учитывая специфику высшего технического образования. Особенно эффективно обучение научно подготовленных студентов при сокращении сроков обучения.

К конференциям студенты готовят презентации, рефераты, статьи или тезисы к опубликованию, что способствует приобретению опыта оформления и представления результатов исследований или испытаний в виде технических или научно-технических отчетов, программ испытаний, инструкций и т.д., что неизбежно при проектировании, изготовлении или обслуживании технических изделий. Особо интересные темы разрабатываются далее до уровня статей или конкурсных НИРС. В 2018 году работы студентов 1-го курса АТФ Коляды А. Д. и Давидовича В.В. на тему «Управляемость транспортных средств», студента 1-го курса ПСФ Лозюк М.М. на тему «Кривошипно-шатунный механизм», студентов 1-го курса ПСФ Лозюк М.М. и Скрипки И.Н. на тему «Проектирование и САПР», студентов 1-го курса ПСФ Ключени Я.В., Москалевой А.В. на тему «Дефектоскопия в авиации», студента 1-го курса ПСФ Вечерской Л.А. на тему «Конструктивные и технологические особенности валов» представлены на XXV Республиканский конкурс научных работ студентов.

Тематика докладов на СНТК по кафедре ИГМП согласуется с особенностями будущей специальности или дальнейшего обучения. Для

примера приведем ряд тем докладов за 2017–2018 г. в виде публикаций. Так метрологам предлагаются исследования, связанные с представлением размерной информации и нормированием точности. [1]. Исследованы требования к посадочным поверхностям, предназначенным для монтажа подшипниковых узлов машин, механизмов и приборов в конечном итоге определяющим их надежность и долговечность. Изучены поля допусков, и выбор посадок колец подшипников, определяемых характером их нагружения [2, 3].

Автомобиле- тракторостроителям и транспортникам – геометрическое изображение механических передач, использование тем инженерной графики. К примеру, тема «Сопряжения», помогла проанализировать различные схемы поворота многоосных колёсных машин и способы парковок. [4, 5]. Исследованы актуальные транспортные проблемы, перспективы автомобиле- и тракторостроения. [6, 7, 8].

Приборостроителям, медикам – вопросы идеологии реабилитации в медицине разработкой механических систем – медицинских тренажеров [9], ювелирам – содержание и особенности технологического процесса изготовления художественных изделий методом химического травления, [10] и способ получения отливок литьем драгоценных металлов по газифицируемым моделям. [11]. Специалистам неразрушающего контроля – дефектоскопия в различных отраслях промышленности – строительстве [12], авиации [13], и т.д. Технологом электронных изделий – интересные сведения обзорного характера о микрочипах [14], особенности, значение, область применения и перспективы использования нано- технологий [15]. Технологом – особенности техпроцесса в связи с представленным чертежом (к примеру – валов) в зависимости от способов выбора технологических баз при нанесении размеров. [16]. Конструкторам – вопросы, связанные с САПР на основе 3-D компьютерного моделирования в огромном разнообразии в машиностроении, строительстве, архитектуре. [17]. Строителям, дорожникам и военным – вопросы, связанные с перспективой, числовыми отметками и горной графикой. Большое внимание уделяется истории развития технического чертежа, как гражданского, так и военного назначения. Огромное значение придается углубленному изучению отдельных вопросов начертательной геометрии, инженерной графики, проекционного и машиностроительного черчения.

Полученный опыт участия в НИРС на первых курсах уже невозможно не использовать в дальнейшем обучении. Поиск научного руководителя, поиск темы научных исследований будет происходить самостоятельнее, надежнее, более осознанно, результативнее и эффективнее.

## **Заключение**

На кафедре ИГМП ежегодно проводятся СНТК, начиная с 2000 г. Так в 2006 году было прочитано 32 доклада с участием 38-ми студентов, в 2007 году – 32 доклада и 48 участников. Только за период 2005–2011 гг было проведено 8 СНТК с участием порядка 600 студентов. В 2018 году был подготовлен уже 71 доклад при участии 81-го студента. Большинство представленных докладов публикуются в сборниках «НИРС» соответствующего года выпуска в виде тезисов. К примеру, в сборнике АТФ «НИРС-2018» опубликовано уже порядка 70-ти работ. Созданные условия НИРС на кафедре позволят студентам более качественно выполнять курсовые работы и проекты по соответствующим дисциплинам при дальнейшем обучении, вплоть до дипломного проектирования.

## **Литература**

1. Значение способов простановки размеров. Лешкевич А.Ю. Домась Е.А, Парахня Я.М. Материалы 73-й СНТК «НИРС 2017», Мн.: БНТУ, 2017 г.
2. Подшипники качения и особенности их установки. Лешкевич А.Ю. Прихач И.В. Материалы 73-й СНТК «НИРС 2017», Мн.: БНТУ, 2017.
3. Подшипники. Поля допусков и технические требования к посадочным поверхностям. Лешкевич А.Ю, Лавринович М.В. Материалы 74-й СНТК «НИРС 2018», Мн.: БНТУ, 2018 г.
4. Ассистенты парковок. Лешкевич А.Ю., Пошпал Р.В., Кнюх Р.А. Материалы 74-й СНТК «НИРС 2018», Мн.: БНТУ, 2018 г.
5. Использование сопряжений при определении управляемости транспортных средств. Лешкевич А.Ю., Коляда А.Д., Давидович В.В. Материалы 74-й СНТК «НИРС 2018», Мн.: БНТУ, 2018 г.

6. Hyperloop. Лешкевич А.Ю., Филипеня А.В. Материалы 74-й СНТК «НИРС 2018», Мн.: БНТУ, 2018 г.

7. Раскрукта колеса самолета при посадке. Лешкевич А.Ю., Волков И.В., Чепуленок Ю.А. Материалы 74-й СНТК «НИРС 2018», Мн.: БНТУ, 2018.

8. Стреловидность крыла самолета. Гиль С. В., Хмара А.С. Материалы 74-й СНТК «НИРС 2018», Мн.: БНТУ, 2018 г.

9. Медицинские тренажеры. Лешкевич А.Ю., Козлова О.А. Материалы 74-й СНТК «НИРС 2018», Мн.: БНТУ, 2018 г.

10. Химические гравирование металлов. Лешкевич А.Ю., Борисенко С.В. Материалы 74-й СНТК «НИРС 2018», Мн.: БНТУ, 2018 г.

11. Литье по газифицированным моделям. Лешкевич А.Ю., Адаманский А.С. Материалы 74-й СНТК «НИРС 2018», Мн.: БНТУ, 2018 г.

12. Дефектоскопия в строительстве. Материалы. Лешкевич А.Ю., Хомич Е.М. Материалы 74-й СНТК «НИРС 2018», Мн.: БНТУ, 2018 г.

13. Дефектоскопия в авиации. Лешкевич А.Ю., Ключеня Я.В., Москалева А.В. Материалы 74-й СНТК «НИРС 2018», Мн.: БНТУ, 2018 г.

14. Интересное о чипах и микрочипах. Лешкевич А.Ю., Козлова Е.С. Материалы 74-й СНТК «НИРС 2018», Мн.: БНТУ, 2018 г.

15. Нанотехнологии: захватывающие перспективы с неизученным риском. Лешкевич А.Ю., Некрашевич Д.А. Материалы 74-й СНТК «НИРС 2018», Мн.: БНТУ, 2018 г.

16. Классификация валов. Лешкевич А.Ю., Вечерская Л.А. Материалы 74-й СНТК «НИРС 2018», Мн.: БНТУ, 2018 г.

17. Система автоматизированного проектирования. Лешкевич А.Ю., Лозюк М.М., Скрипка И.Н. Материалы 74-й СНТК «НИРС 2018», Мн.: БНТУ, 2018 г.

**УЧАСТИЕ СТУДЕНТОВ В НАУЧНОЙ РАБОТЕ  
КАК ВАЖНЕЙШЕЕ УСЛОВИЕ СТАНОВЛЕНИЯ  
СОВРЕМЕННОГО СПЕЦИАЛИСТА-ИНЖЕНЕРА**

**THE COMPLICITY OF THE STUDENTS IN SCIENCE JOBS  
AS VERY IMPORTANT CONDITION  
OF CONTEMPORANEOUS SPECIALIST-ENGINEER**

*Гиль С.В.*, канд. техн. наук., доц.,  
*Лешкевич А.Ю.*, канд. техн. наук., доц.,  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

*S. Gil*, Ph.D. in Engineering, Associate Professor,  
*A. Leshkevich*, Ph.D. in Engineering, Associate Professor,  
Belarusian national technical University, Minsk, Belarus

*Исследованы роль и место научно-исследовательской работы студентов (НИРС), как фактор развития их творческих способностей, в учебном процессе высшей технической школы. Обоснованы требования к общеобразовательным кафедрам в области методической и научной подготовки профессорско-преподавательского состава, обеспечения современными техническими средствами обучения, компьютерной дидактической и методической литературой.*

*Ключевые слова: студенты, научно-исследовательская работа, научно-методическая подготовка, требования, компьютер, дидактика.*

*Investigated part and place of science - investing job of the students how actor of development theirs creative capability in class process of highest technical school. It is ground demands to general education chairs in district methodic and science preparation of professor - teaching staff, guarantee of contemporaneous technical means of teaching, computer didactical end methodical literature.*

*Keywords: students, science - investigated job, science-methodic preparation, demands, computer, didactic.*

## **Введение**

Научная составляющая в любой области человеческой деятельности играет все более значительную роль и становится непосредственной производительной силой, требующей соответствующего отношения. Особенно это касается педагогики, как науки, воспитывающей не только гражданина, но и грамотного технического специалиста высшей квалификации. Вовлечение студентов в научно-исследовательскую работу (НИР) – важнейший фактор качественного учебного процесса особенно в современных условиях дефицита учебного времени.

## **Участие студентов в НИРС как важнейшее условие становления современного специалиста**

Одним из важнейших направлений учебно-методической, организационной и научно-исследовательской работы преподавателя является активное привлечение студентов в научно-исследовательскую деятельность.

Критериям отбора студентов для участия в научной деятельности в процессе привлечения студентов к серьезной творческой работе, особенно в области технической графики, уделено достаточно внимания. Студент, активно участвующий в научном процессе, значительно увереннее усваивает материал в дальнейшем, качественнее выполняет курсовые работы и проекты, связанные с чертежами, накапливает опыт публичных выступлений, общения и обмена информацией с применением современных демонстрационных средств. Развивается творческая инициатива, техническое мышление, формируется научное мировоззрение, возрастает умение интересно и лаконично предоставлять информацию и аргументированно отстаивать свою точку зрения [1, 2, 3].

При этом сам преподаватель должен обладать знаниями, способностями, возможностями и, особенно, желанием заниматься наукой именно со студентами. Научно-исследовательской работой студента (НИРС) нужно руководить и руководить эффективно, и как в любом

руководстве коллективом, тем более, молодежным, требуется объективность, терпение, настойчивость в достижении поставленной цели, умение находить консенсус в любой спорной ситуации, готовность оказать действенную помощь на любом этапе исследований, но при этом постепенно приучать к самостоятельности. Преподаватель должен быть наголову выше обучаемого не только в организационно - методическом, но и в научном плане, способным учитывать особенности общения с современными студентами, уметь вовремя ограничить область исследований, направляя усилия в эффективное русло.

Основной формой НИРС является студенческая научно-техническая конференция (СНТК), проводимая на кафедре ежегодно. Она является определяющим фактором развития творческих способностей студентов и позволяет решать ряд задач в обучении и комплексной подготовке будущих специалистов в высшем учебном заведении [5] и позволяет:

- интегрировать научную деятельность в учебно-воспитательный процесс на ранних этапах обучения; на базе достижений и новейших разработок в области компьютерной техники и программного обеспечения;

- выявлять и привлекать к научной работе одарённых, увлечённых, инициативных студентов, вызывать проявление интереса, творческих поисков, развивать интеллект студентов, их творческое мышление, закладывать основы и формировать научное мировоззрение;

- углублять теоретическое изучение отдельных разделов дисциплины, не охваченных рамками рабочей программы, жёстко ограниченной учебными часами.

Для реализации этих задач разрабатываются новые технологии обучения и совершенствуются зарекомендовавшие себя ранее методы организации научной и практической деятельности студентов, систематически и целенаправленно управляя их самостоятельной работой в освоении графических дисциплин.

Как неотъемлемая часть учебного процесса, НИРС направлена на углубленное изучение тем начертательной геометрии, инженерной графики, проекционного и машиностроительного черчения. Прежде всего, это касается изучения стандартной научно-технической документации не только в объеме начальных курсов, но в расширенном виде для последующего обучения [6].

Важно прививать навыки применения результатов участия в научной работе в реальной технике, выбирать такую посильную тематику, которая может быть реально использована в промышленности или учебном процессе. Накопление компетенций следует направлять на решение насущных проблем в различных областях. [7, 8, 9]. При достижении определенного уровня знаний, умений и навыков можно решать и прикладные задачи [9, 10, 11].

Развитие информационных компьютерных систем и технологий, относительное упрощение доступа к базам данных, библиотекам стандартных конструктивных элементов и пользования ими, освобождает конструктора или технолога от ручной, рутинной чертёжной работы. Применение эффективных методик расчётов, программ испытаний критериев работоспособности деталей машин и механизмов – основы технического проектирования, появление 3D моделирования и 3D принтеров, требует эффективного их освоения, особенно на начальной стадии получения высшего технического образования. [12]. Следовательно, наибольший интерес представляют студенческие НИР, связанные с применением компьютеров. Весьма интересны работы по внедрению в учебный процесс компьютерного моделирования (AutoCAD, Компас - 3D, Solid Works, HTML, Altium Designer, T-FLEX CAD, Gstar CAD и др.) и компьютерных технологий при изучении инженерной графики.

При определении тематики научной деятельности учитываются вопросы, связанные со специальностью или специализацией будущего инженера, с историей развития техники, начертательной геометрии и инженерной графики, поиском и анализом информации. После прочтения лекции студентам предлагаются задачи повышенной сложности для первоначального отбора и оценки способной молодежи. Решение таких задач увлекает некоторых студентов, которые потом сами предлагают темы для участия в НИРС. Немало путей качественного улучшения и совершенствования учебного процесса предложено студентами, как первых, так и последующих курсов.

Виды реализации НИРС:

– организация и проведение СНТК. Этому вопросу, как уже указывалось, на кафедре уделяется повышенное внимание. Ведь при выступлении в широкой аудитории перед сверстниками, возможно впервые, приобретается опыт общения по принципу «Себя показать и на других посмотреть»;

– организация кафедральных кружков по углубленному изучению предметов или разделов учебных курсов, научных кружков или конструкторских бюро;

– подготовка публикаций приобретение опыта оформления исследований, обзоров и т.д. Работая над темой, студент осуществляет творческие планы, идеи и их решения, проверяет их на публике.

Большое значение придается олимпиадам. Строгий отбор, подготовка и участие в олимпиадах различных уровней по начертательной геометрии, инженерной графике, проекционному и машиностроительному черчению, основам технической инженерной грамотности способствуют дальнейшему продолжению активной и плодотворной деятельности в НИРС. Победителей и лауреатов олимпиад поощряют, как на кафедральном уровне (освобождение от экзамена с оценкой «10», либо повышение оценки на экзамене не 1–2 балла или уменьшение объёма расчётно-графических работ, выполняемых в семестре), так и на факультетском, в виде организацией материального и морального поощрения.

Лучшие НИРС рекомендуются СНТК к доработке и оформлению в виде статей или в виде представления на Республиканский конкурс студенческих НИР, хотя студентам первых курсов обучения сложно выдерживать критерии отбора научно-исследовательских работ и тем более выполнять их в соответствии с требованием конкурса самостоятельно. Конечно, здесь неоценима квалифицированная помощь преподавателя в оформлении самой работы, необходимой документации и актов внедрения.

## **Заключение**

Преподавательский состав кафедры предпринимает ряд усилий для создания всех возможных условий для реализации творческих способностей студентов, участвующих в НИР и стимулирования их научно-исследовательской деятельности на ранних стадиях обучения. Администрация автотракторного факультета активно поддерживает участие студентов в СНТК, ежегодно публикуя тезисы лучших работ в сборнике «НИРС» Участие в СНТК, особенно первокурсников – путь в магистратуру, аспирантуру и далее большую науку.

## Литература

1. Критерии отбора студентов для участия в научной деятельности. Лешкевич А.Ю, Гиль С.В. В сб. м-лов III Республиканской научно-практической конференции БрГТУ, Брест 2009 г.
2. Проблема привлечения студентов начальных курсов к научной деятельности по вопросам инженерной графики Лешкевич А.Ю., Гиль С.В. Материалы 7-й МНТК «Наука – образованию, производству, – экономике». –Мн.: БНТУ 2009 г.
3. Особенности изучения дисциплины «Инженерная графика» на современном этапе». Гиль С.В., Закревский Д.С. Материалы 74-й СНТК «НИРС 2018», Мн.: БНТУ, 2018 г.
4. СНТК- фактор развития творческих способностей студентов. Лешкевич А.Ю, Гиль С.В. В сб. м-лов III Республиканской научно-практической конференции БрГТУ, Брест 2009 г.
5. Необходимый объем знаний по выполнению конструкторской документации на старших курсах. Лешкевич А.Ю. Евстрат Я.В., Лобаневская А.А. Материалы 73-й СНТК «НИРС 2017», Мн.: БНТУ, 2017.
6. Компетенции инженера в оценке работоспособности и надежности конструкции. Лешкевич А.Ю., Сенокосов А.С. Материалы 73-й СНТК «НИРС 2017», Мн.: БНТУ, 2017.
7. О необходимости изучения инженерной графики для специалистов в области медицины. Лешкевич А.Ю. В., Роговцова А. С. Материалы 73-й СНТК «НИРС 2017», Мн.: БНТУ, 2017.
8. Метод выполнения сборочного чертежа с применением слоев. Лешкевич А.Ю., Короткова А.Р. Материалы 73-й СНТК «НИРС 2017», Мн.: БНТУ, 2017.
9. Торсовые поверхности: характерные особенности и применение. доцент Гиль С., Шепелюк А.С. Материалы 73-й СНТК «НИРС 2017», Мн.: БНТУ, 2017.
10. Практический характер свойства соосности поверхностей в гидропневмоавтоматике. Гиль С. В., Шепелюк А.С. Материалы 73-й СНТК «НИРС 2017», Мн.: БНТУ, 2017.
11. Сотношение 3D образа с его воплощением в чертежах. Лешкевич А.Ю., Самотесова М. С. Материалы 73-й СНТК «НИРС 2017», Мн.: БНТУ, 2017.

**ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОГО  
ПРОЦЕССА ПО РАЗДЕЛАМ ИНЖЕНЕРНОЙ ГРАФИКИ  
ДЛЯ БУДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ  
АВТОТРАКТОРОСТРОЕНИЯ**

**INFORMATION SUPPORT OF EDUCATIONAL PROCESS  
FOR SECTION OF ENGINEERING GRAPHICS FOR FUTURE  
SPECIALISTS IN FIELD OF AUTOMOTIVE AND TRACTOR  
ENGINEERING**

*Зелёный П.В.*, канд. техн. наук, доц.,  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

*P. Zialiony*, Ph.D. in Engineering, Associate professor,  
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

*На основе анализа учебных целей и задач традиционных разделов инженерной графики – начертательной геометрии, проекционного и машиностроительного черчения, их важности в подготовке специалистов в области автотракторостроения как общепрофессиональной дисциплины обосновано и разработано инновационное информационное обеспечение учебного процесса, нашедшее внедрение. Оно позволяет обеспечить надлежащий уровень подготовки по дисциплине в соответствии с современными требованиями.*

*Ключевые слова: информационное обеспечение, учебный процесс, инженерная графика, начертательная геометрия, проекционное черчение, машиностроительное черчение, автотракторостроение.*

*Based on the analysis of educational goals and targets of traditional sections of engineering graphics – descriptive geometry, projection and mechanical engineering drawing, its importance in preparation of specialists in the field of automotive and tractor engineering as a general professional discipline, innovative information support of educational process is justified, developed and implemented. This helps to provide*

*proper level of training in the discipline in accordance with modern requirements.*

*Key words: information support, educational process, engineering graphics, descriptive geometry, projection drawing, mechanical engineering drawing, automotive and tractor engineering.*

## **Введение**

К области автотракторостроения относят подготовку специалистов как по созвучным с этим определением специальностям – автостроению, тракторостроению, гусеничным и колесным машинам, дизайну гусеничных и колесных машин, технической эксплуатации автомобилей, автосервису, городскому электрическому транспорту, так и по неразрывно связанным с ними специальностям, относящимся к двигателям внутреннего сгорания, гидропневмоавтоматике и гидропневмоприводу. Из общепрофессиональных дисциплин издавна инженерная графика является востребованной для подготовки по этим специальностям больше других дисциплин, изучаемых на младших курсах высших технических учебных заведений, являясь универсальным языком инженера, в основе которого лежит ее раздел «Начертательная геометрия». «Начертательная геометрия по своему содержанию и методам занимает особое положение среди других наук; она является лучшим средством развития у человека пространственного воображения, без которого немислимо никакое инженерное творчество. Начертательная геометрия составляет теоретическую базу для составления чертежа – гениального изобретения человеческой мысли. Чертеж – это своеобразный язык. Причем, этот графический язык является интернациональным, он понятен любому технически грамотному человеку, независимо от того, на каком языке он говорит» [1]. «Чертеж дает возможность определить (представить) пространственную форму изображаемого предмета, взаимное расположение отдельных его деталей и выявить их истинные размеры» [2].

Чтение чертежа, а в более широком смысле, владение чертежом является конечной целью изучения инженерной графики как дисциплины. Она представляет собой учебную дисциплину, входящую в цикл общенаучных и общепрофессиональных дисциплин подго-

товки специалистов с высшим образованием по профилю образования «Техника и технологии», по направлению образования «Экономика и организация производства», по группам специальностей «Преподавание технологии» и «Профессиональное образование», и является объединительным курсом, предусматривающим согласно образовательным стандартам, в частности, по перечисленным специальностям из области автотракторостроения, углубленное изучение начертательной геометрии, проекционного машиностроительного черчения, инженерной компьютерной графики и моделирования [3]. Инженерная графика несет основную нагрузку в графической подготовке инженера, являясь одним из важных компонентов и его обще-профессиональной подготовки.

### **Информационное обеспечение учебного процесса по разделам инженерной графики в свете решаемых при их изучении задач по общепрофессиональной подготовке специалистов в области автотракторостроения**

Начертательная геометрия как ее основополагающий раздел изучается вначале. Предметом начертательной геометрии является научная разработка и обоснование, теоретическое и практическое изучение способов графического построения изображений пространственных форм на плоскости и графических способов решения различных позиционных и метрических задач.

Способы построения изображений предметов методом проецирования (образование чертежа по методу Г. Монжа), изучаемые в начертательной геометрии, позволяют по чертежу создавать пространственные образы предметов, определять их взаимное расположение и размеры, исследовать и моделировать различные технические формы и конструкции. Начертательная геометрия развивает пространственное мышление геометрическими образами, необходимое для профессиональной деятельности инженера при решении различных технических задач, выполнении и чтении чертежей [4]. Особое значение начертательная геометрия приобретает при переходе на компьютерное моделирование и автоматизированное выполнение чертежей, поскольку программное обеспечение основано на теоретических положениях, понятиях и способах решения различных задач, изучаемых исключительно в начертательной геометрии [5, 6].

Учебные задачи курса начертательной геометрии заключаются в следующем:

- усвоить правила построения изображений пространственных форм на чертеже;

- усвоить графические способы решения различных практических позиционных и метрических задач;

- развить навыки создания пространственных образов предметов на основе логического анализа их изображений, т.е. развить пространственное мышление;

- научиться применять методы и понятия начертательной геометрии в решении различных задач геометрического конструирования в практике автоматизированного выполнения чертежей и компьютерного трехмерного моделирования.

Последующие разделы «Проекционное черчение», «Машиностроительное черчение», «Инженерная компьютерная графика и моделирование» изучаются последовательно, как правило, позже, но могут изучаться и параллельно с начертательной геометрией.

Проекционное черчение является логическим продолжением курса начертательной геометрии, так как в нем даются конкретные практические навыки построения проекционных изображений в масштабе. Оно ориентировано, преимущественно, на изучение основных требований действующих государственных стандартов Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) по выполнению и оформлению чертежей, выполнению разрезов и сечений, нанесению размеров, выполнению аксонометрических проекций, отрабатывается техника черчения.

Учебные задачи курса проекционного черчения заключаются в следующем:

- изучить основные сведения из общих правил выполнения и оформления чертежей, предусмотренных стандартами ЕСКД (форматы, масштабы, линии, шрифты чертежные, изображения – виды, разрезы, сечения, нанесение размеров и др.);

- развить навыки геометрического черчения – выполнение сопряжений различных геометрических элементов, наиболее часто встречающихся в очертаниях изображений деталей на чертежах, выполнение и обозначение уклонов, конусности и др. в соответствии со стандартами ЕСКД;

- обучить технике выполнения проекционных изображений геометрических тел на основе начертательной геометрии и требований стандартов ЕСКД – видов, разрезов, сечений, с учётом применяемых на чертежах условностей и упрощений;

- изучить правила и развить навыки выполнения аксонометрических проекций в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД.

Проекционное черчение предвеляет курс «Машиностроительное черчение».

Машиностроительное черчение – это раздел инженерной графики, в котором изучаются основные правила выполнения и оформления конструкторской документации в соответствии со стандартами ЕСКД. Детальное изучение и закрепление знаний стандартов ЕСКД осуществляется в процессе выполнения индивидуальных графических работ, предусмотренных программой.

Основная цель изучения машиностроительного черчения – это приобретение знаний и навыков выполнения и чтения конструкторской документации, а также навыков изложения технических идей с помощью чертежей, чтения по чертежу объектов машиностроения и понимания принципа действия изображаемого технического изделия.

Учебные задачи курса машиностроительного черчения заключаются в следующем:

- развить далее технику выполнения чертежей, изучение стандартов ЕСКД по выполнению и оформлению чертежей реальных машиностроительных деталей и изделий различного назначения с учетом технологий их изготовления;

- усвоение правил пользования стандартами ЕСКД и справочными материалами при выполнении чертежей;

- усвоение правил нанесения размеров в соответствии со стандартами ЕСКД и с учетом основных положений конструирования и технологии деталей машин;

- усвоение правил и приобретение навыков выполнения чертежей сборочных единиц в соответствии со стандартами ЕСКД (сборочного чертежа);

- усвоение правил разработки рабочей конструкторской документации по чертежам общих видов изделий;

- изучение правил выполнения различных схем (кинематических, гидравлических, электрических, электронных и др.) по обучаемой специальности.

Глубина изучения отдельных тем начертательной геометрии, проекционного и машиностроительного черчения может быть различной, что устанавливается учебными программами в зависимости от направления и профиля специальности, количества часов, выделяемых на изучение дисциплины, ее расположения в учебном плане [3].

Традиционное изучение разделов инженерной графики и раздела компьютерной графики и моделирования должно быть согласовано с изучением предшествующего им, или изучаемого параллельно раздела начертательной геометрии. На протяжении всего периода изучения дисциплины должна постоянно подчеркиваться взаимосвязь обоих разделов черчения и компьютерной графики с начертательной геометрией, а изучение тех или иных тем должно вестись после окончательного изучения соответствующей темы начертательной геометрии.

Инженерная графика – это первая ступень обучения студентов основным правилам выполнения, оформления и чтения конструкторской документации и решения на чертежах геометрических и инженерно-технических задач, получения для этого необходимых знаний, умений и навыков, что является конечной целью ее изучения как объединительной дисциплины в соответствии с образовательными стандартами. Полное овладение чертежом как средством выражения технической мысли и производственными документами различного назначения достигается в результате усвоения всего комплекса технических дисциплин соответствующего профиля, подкреплённого практикой курсового и дипломного проектирования по специальности.

Для реализации перечисленных задач в учебном процессе разработано соответствующее информационное обеспечение. Оно основывается, в первую очередь на материальной базе кафедры, включающей информационно-справочные стенды с необходимой справочной информацией для самостоятельного выполнения индивидуальных графических работ, образцами их выполнения, а также образцами поэтапного выполнения наиболее сложных заданий. Стенды

размещены на площадях кафедры, доступных студентам в любое время для самостоятельной работы.

Стенды содержат указанный вспомогательный учебный материал по всем изучаемым разделам – по начертательной геометрии и последующему за ней проекционному черчению. На них студенты видят, что собой представляет каждое задание, его объем и качество оформления в карандаше с соблюдением требований стандартов ЕСКД, имея возможность оценить свои способности в стремлении к такому же результату.

Изучение проекционного черчения основывается на натуральных моделях геометрических тел для лучшего усвоения правил выполнения и оформления чертежей в соответствии со стандартами ЕСКД. Кафедра оснащена рядом комплектов таких моделей разной степени сложности. Наиболее сложные модели, используемые в учебном процессе для автотракторных специальностей, приведены также в учебных пособиях в виде аксонометрических проекций с указанием необходимых размеров [7–10]. Это необходимо, чтобы студенты, ознакомившись с моделями на практическом занятии и начав выполнение индивидуальных графических работ, смогли их завершить в домашних условиях, так как занятия проходят, преимущественно, в условиях давно уже сложившегося по разным причинам дефицита аудиторного учебного времени. Такое дублирование моделей их аксонометрическими изображениями, создает лучшие условия для изучения соответствующей темы и студентам заочной формы получения образования. Им нет необходимости приезжать для этого на кафедру, чтобы получить модель на несколько часов.

Стенды по проекционному черчению, помимо графической части с образами выполнения графических работ, содержат также натурные модели изображаемых геометрических объектов. На других стендах по проекционному черчению содержится информация по поэтапному выполнению чертежа комбинированного геометрического тела. Сами же графические условия заданий по вариантам изложены в учебных пособиях, о высоком уровне которых свидетельствуют полученные грифы Министерства образования Республики Беларусь [7–10].

Полное информационное обеспечение имеют и все темы по начертательной геометрии. От полного структурированного по изучаемым темам курса лекций [11] с типизацией алгоритмов решения

геометрических задач геометрическим путем до практикумов [12] по решению задач, условиями заданий для индивидуальных графических работ по вариантам в достаточном количестве и образцов их выполнения, а также необходимой справочной информацией в приложении в каждом пособии.

Для студентов заочной формы получения образования разработано учебное пособие, в котором теоретическая часть структурирована по темам подлежащих выполнению графических работ [13]. Все указанные методические разработки по начертательной геометрии также рекомендованы Министерством образования Республики Беларусь в качестве пособий для высших учебных заведений по техническим специальностям.

Ещё одной особенностью организации учебного процесса по начертательной геометрии является использование, так называемых, рабочих тетрадей [14]. Материал этих пособий, рекомендованных УМО в области транспорта и транспортной деятельности, структурирован по тем же темам, что и конспект лекций [11], практикум [12] и учебное пособие для студентов заочной формы обучения [13]. Это придает целостность всему информационному обеспечению по начертательной геометрии. Прослушав лекцию по той или иной теме, студент имеет возможность закрепить полученные знания, оперативно решая соответствующие графические задачи непосредственно в этой тетради, изданной типографским путем, не тратя время на перечерчивание графической части условий, и прийти на практическое занятие подготовленным, дополнив полученные знания необходимыми умениями и навыками по выполнению чертежей.

Машиностроительное черчение как раздел инженерной графики, завершающий ее традиционное изучение, также имеет должное информационное обеспечение. Стенды с натурными образцами деталей, прилагаемых к соответствующим чертежам, являющихся образцами выполнения индивидуальных графических работ, позволяют студенту самостоятельно разобраться с их выполнением в свободное время, если аудиторного времени на изучение темы оказалось ему недостаточно. В частности, такие стенды имеются по резьбам и резьбовым соединениям деталей [15], рабочим чертежам валов [16], крышек, чертежам сборочных единиц [17] и др.

Изучение тем данного раздела обеспечено также необходимой учебной с грифом Министерства [18] и учебно-методической [19] с

грифом УМО в области транспорта и транспортной деятельности литературой.

## **Заключение**

Анализ учебных целей и задач традиционных разделов инженерной графики – начертательной геометрии, проекционного и машиностроительного черчения, их важности в подготовке специалистов в области автотракторостроения как общепрофессиональной дисциплины выявил необходимость разработки инновационного информационного обеспечения учебного процесса с целью надлежащий подготовки по дисциплине в соответствии с современными требованиями в области автотракторостроения. Такое информационное обеспечение получило внедрение и успешно используется в учебном процессе и имеет перспективу его трансформации в серию электронных учебных пособий.

## **Литература**

1. Фролов, С.А. Начертательная геометрия: учеб. для втузов. – Изд.2-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 240 с.
2. Белов, Н.В. Начертательная геометрия: учебное пособие для вузов / Н.В. Белов, А.А. Виксель. – Л.: Стройиздат, 1969. – 288 с.
3. Инженерная графика. Типовая учебная программа для высших учебных заведений / Регистрационный № ТД-1.710/тип. – Минск, 2011. – 53 с.
4. Гордон, В.О. Курс начертательной геометрии: учебное пособие для втузов / В.О. Гордон, М.А. Семенцов-Огиевский; под ред. В.О. Гордона. М.: Высшая школа, 2004. – 272 с.
5. Зелёный, П.В., Оптимизации усвоения начертательной геометрии средствами структуризации курса и типовой алгоритмизации / П.В. Зелёный, Е.И. Белякова // Современный транспорт и транспортные средства: проблемы, решения, перспективы: сб. Международной науч.-техн. конф., посвященной 55-летию автотракторного факультета (Минск, 2007 г.) / Белорус. гос. техн. ун-т. – Минск, 2007. – С. 336–340.
6. Зелёный, П.В. Модульная структуризация курса начертательной геометрии / П.В. Зелёный, Е.И. Белякова // Инновации в препо-

давании графических и специальных дисциплин. Наука – образованию, производству, экономике: сб. 9-ой Междунар. науч.-прак. конф.: в 2-х ч. (Минск, 24–28 октября 2011 г.) / Белорус. гос. техн. ун-т. – Минск, 2011. – Ч. 1. – С. 13–16.

7. Зелёный, П.В. Инженерная графика. Практикум по проекционному черчению: учебное пособие / П.В. Зелёный, Е.И. Белякова; под ред. П.В. Зелёного. – Минск, БНТУ. – 2014. 200 с.

8. Зелёный, П.В. Инженерная графика. Практикум: учебное пособие / П.В. Зелёный, Е.И. Белякова; под ред. П.В. Зелёного. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2012. – 303 с.: ил. – (Высшее образование).

9. Зелёный, П.В. Инженерная графика. Практикум: учебное пособие / П.В. Зелёный, Е.И. Белякова; под ред. П.В. Зелёного. – Минск: БНТУ, 2011. – 258 с.

10. Зелёный, П.В. Инженерная графика. Практикум: учебное пособие / П.В. Зелёный, Е.И. Белякова; под ред. П.В. Зелёного. – Минск: Новое знание, 2011. – 302 с.

11. Зелёный, П.В. Начертательная геометрия: учеб. пособие / П.В. Зелёный, Е.И. Белякова; под ред. П.В. Зелёного. – Минск: БНТУ, 2015. – 224 с.

12. Белякова, Е.И. Начертательная геометрия. Практикум: учеб. пособие / Е.И. Белякова, П.В. Зелёный; под ред. П.В. Зелёного. – Изд. 2-е изд. испр. – Минск: Новое знание, М.: ИНФРА-М, 2011. – 2011. – 214 с.: ил. – (Высшее образование).

13. Белякова, Е.И. Начертательная геометрия: учеб. пособие / Е.И. Белякова, П.В. Зелёный; под ред. П.В. Зелёного. – Изд. 3-е испр. – Минск: Новое знание, М.: ИНФРА-М, 2013. – 2013. – 256 с.: ил. – (Высшее образование).

14. Белякова, Е.И. Начертательная геометрия: рабочая тетрадь / Е.И. Белякова, П.В. Зелёный; под ред. П.В. Зелёного. – Изд. 5-е. – Минск: Новое знание, 2014. – 56 с.

15. Зелёный, П.В., Ким Ю.А. Повышение качества знаний по теме «Резьбовые соединения» / П.В. Зелёный, Ю.А. Ким // Инновации в преподавании графических и специальных дисциплин. Наука – образованию, производству, экономике: сб. 9-ой Междунар. науч.-прак. конф.: в 2-х ч. (Минск, 24 – 28 октября 2011 г.) / Белорус. гос. техн. ун-т. – Минск, 2011.- Ч. 1. – С. 33–39.

16. Зелёный, П.В. Методика выполнения чертежей валов / П.В. Зелёный, В.В. Яцкевич, Ю.А. Ким, С.В. Солонко // Образовательные технологии в преподавании графических дисциплин: сб. V респуб. науч.-прак. конф. (Брест, 22–23 марта 2012 г.) / Брест. гос. техн. ун-т. – Брест, 2012. – С. 37–39.

17. Зелёный, П.В., Особенности выполнения и чтения чертежей сборочных единиц в курсе инженерной графики / П.В. Зелёный, Е.И. Белякова, О.Н. Кучура // Инновации в преподавании графических и специальных дисциплин. Наука – образованию, производству, экономике: сб. 9-ой Междунар. науч.-прак. конф.: в 2-х ч. (Минск, 24–28 октября 2011 г.) / Белорус. гос. техн. ун-т. – Минск, 2011. – Ч. 1. – С. 46–53.

18. Зелёный, П.В. Инженерная графика. Практикум по чертежам сборочных единиц: учеб. пособие / П.В. Зелёный, Е.И. Белякова, О.Н. Кучура. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2015. – 128 с.: ил. – (Высшее образование: Бакалавриат).

19. Зелёный, П.В. Инженерная графика: учебно-методическое пособие по машиностроительному черчению: в 2 ч. / П.В. Зелёный, С.В. Солонко; под ред. П.В. Зелёного. – Минск: БНТУ, 2015. – Ч. 1. – 81 с.

**СТРУКТУРИРОВАННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ  
КОМПЛЕКС ПО НАЧЕРТАТЕЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ –  
ОСНОВА ОБУЧЕНИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ ГРАФИКЕ,  
БУДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ  
АВТОТРАКТОРОСТРОЕНИЯ**

**STRUCTURED EDUCATIONAL AND METHODOICAL  
COMPLEX FOR DESCRIPTIVE GEOMETRY – BASIS  
FOR TRAINING OF ENGINEERING GRAPHICS FOR FUTURE  
SPECIALISTS IN FIELD OF AUTOMOTIVE AND TRACTOR  
ENGINEERING**

*Зелёный П.В.*, канд. техн. наук, доц.,  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

*P. Zialiony*, Ph.D. in Engineering, Associate professor,  
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

*На основе анализа важности начертательной геометрии, основополагающего раздела инженерной графики как дисциплины, в подготовке будущих специалистов, в частности, в области автотракторостроения, проведена структуризация и типовая алгоритмизация курса начертательной геометрии с целью оптимизации ее усвоения, что было положено в основу обоснования и разработки учебного комплекса для повышения качества обучения студентов в условиях дефицита учебного времени за счет более эффективной самоподготовки.*

*Ключевые слова:* учебно-методический комплекс, начертательная геометрия, инженерная графика, структуризация, типовая алгоритмизация, автотракторостроение.

*Based on the analysis of importance of descriptive geometry, fundamental section of engineering graphics as a discipline, in preparation of future specialists, in particular, in the field of automotive and tractor en-*

*gineering, structuring and typical algorithmization of descriptive geometry course are carried out to assist in the educational process. This was the basis for justification and development of educational complex to improve quality of students learning in conditions of study hours deficit due to more efficient self-training.*

*Key words: educational and methodical complex, descriptive geometry, engineering graphics, structuring, typical algorithmization, automotive and tractor engineering.*

## **Введение**

Инженерная графика входит в цикл общепрофессиональных дисциплин и изучается на первом курсе с первого семестра в технических вузах, являясь основой инженерного образования [1]. Ее важность характеризуется таким известным выражением, что это пропуск в инженеры для тех, кто успешно освоит ее основные разделы. Но уже все становится ясно с изучения основополагающего раздела этой дисциплины – начертательной геометрии. Она призвана, в первую очередь, развить пространственное воображение и логическое пространственное мышление геометрическими образами будущих инженеров-конструкторов, в частности, в области тракторо- и автомобилестроения, двигателей внутреннего сгорания, гидропневмоавтоматики и гидропневмопривода и др. «Изучение начертательной геометрии способствует развитию пространственного воображения и навыков пространственного логического мышления» [2]. Она готовит их «... к успешному изучению специальных предметов и техническому творчеству – проектированию ... Эта невидимая работа мозга ... будет тем плодотворнее, чем сильнее развито пространственное воображение, чем сильнее владеет автор методами изображения трехмерных тел на плоскости» [3]. Правила, «... изучаемые в начертательной геометрии, позволяют представить мысленно форму предметов и их взаимное расположение в пространстве, определить их размеры, исследовать геометрические свойства, присущие предмету» [2]. Без этого немислима их деятельность по созданию новых объектов техники. «Начертательная геометрия со времен ее основоположника Г. Монжа (1746–1818) завоевала себе достойное место в высшей школе как наука, без которой немислимо формирование инженера ...» [3].

Во вторую очередь, но в неразрывной связи с рассмотренным, начертательная геометрия изучает образование проекционных изображений пространственных форм на плоскости по методу ортогонального проецирования, называемых эпюрами Монжа, или просто эпюрами в указанном смысле [2], или чертежами в переводе с французского на русский язык [3]. «В других случаях применения слова «чертеж» будет сопровождаться соответствующим определением (перспективный чертеж, аксонометрический чертеж и т.п.)» [2], а также чертеж с числовыми отметками и др. «Важное прикладное значение этой дисциплины состоит в том, что она учит грамотно владеть выразительным техническим языком – языком чертежа, создавать чертежи и свободно читать их» [3].

В третью очередь начертательная геометрия изучает решение геометрических задач графическим путем [4]. Но и эта третья задача больше служит решению первой и второй, чем она необходима на практике сама по себе в век господства компьютерной графики и компьютерного моделирования [5], нашедших отражение даже в государственных стандартах [6, 7, 8] и широко преподаваемых в современных технических вузах [9]. Решение геометрических задач, как правило, автоматизировано во всех областях, «... в связи с радикальными изменениями процессов проектирования и конструирования ...» [3].

Но вот развивать пространственное воображение компьютерные технологии могут только способствовать. Они не заменят в нем необходимости у инженера-конструктора. Компьютерной программе, прежде всего, надо поставить ту или иную задачу на основе мысленного геометрического образа, представляемого конструктором. И от этих его способностей зависят успехи в проектировании, особенно, если речь идет о вновь создаваемых инновационных изделиях, а не совершенствовании существующих. Другими словами, «... освоение «вторичной грамотности» (программирование и компьютеризация) не должно идти в ущерб грамотности «первой», под которой следует понимать знание фундаментальных наук, включая и начертательную геометрию, формирующих творческого специалиста. Инженер обязан мастерски владеть международным языком – языком чертежа, который был и остается одним из наиболее информативных языков техники» [3]. Подтверждение этому – вся история развития графики [10].

## **Структуризация и типовая алгоритмизация курса начертательной геометрии как средств оптимизации усвоения – основа учебно-методического комплекса по инженерной графике**

Начертательная геометрия – первая инженерная дисциплина, с которой начинается техническое образование будущего инженера. Трудности в ее изучении связаны с особым соединением логического мышления и пространственного воображения, которое, по словам выдающегося русского геометра Н.А. Рынина, «является ... таинственной и мало поддающейся изучению точными науками способностью человеческого духа...» [11]. Соединение этих двух возможностей человеческого ума создает новый уровень мышления – пространственное мышление, которое дает возможность оперировать образами в пространстве и без которого невозможна любая инженерная деятельность, инженерное творчество и технический прогресс.

При изучении начертательной геометрии решается несколько основных учебно-инженерных задач: усвоение понятий начертательной геометрии и создание графической базы данных изображений геометрических элементов; усвоение способов и правил построения изображений пространственных форм на плоскости и приобретение навыков представления изображенных форм и предметов; усвоение способов и алгоритмов графических действий для решения различных практических метрических и позиционных задач на плоскости.

Следует отметить, что умение выполнять чертежи и решать различные практические технические задачи в компьютерных графических системах возможно только на базе начертательной геометрии.

Усвоение первых двух задач требует знания теоретических положений начертательной геометрии и умения выполнять умственные операции абстрагирования и анализа элементов изображаемого предмета, а также умения по заданному чертежу создавать пространственный образ изображенного предмета, что требует навыка выполнять операции графического анализа изображений и графического синтеза заданных изображений для создания цельного представления о предмете. Графический анализ геометрических элементов предмета или его заданных изображений возможен в том случае, если сформирована база графических данных об изображениях от-

дельных геометрических образов и их взаимных положениях, используемых при выполнении чертежа – точке, прямых, плоскостях, поверхностях и т.д. Графическая база данных в памяти дает возможность изображать любые геометрические элементы и их всевозможные комбинации, а ее создание возможно только на основе графических характеристик проекций этих элементов, которые мы назвали графическими опорами.

Графический синтез изображений предмета на чертеже на основе графической базы данных позволяет считывать с помощью графического анализа заданную информацию и включает работу пространственного воображения, объединяя плоские проекции предмета в его объемный цельный образ. Эта сложнейшая умственная работа и есть пространственное мышление, развитие которого и происходит в процессе изучения начертательной геометрии. Сформированная база графических опор и развитое пространственное мышление позволяют сократить процесс графического анализа и синтеза изображений и создают возможность быстрого и грамотного выполнения и чтения чертежей.

Усвоение третьей учебной задачи требует теоретических знаний, наличия графической базы данных и достаточного уровня пространственного мышления, поскольку для решения любой задачи начертательной геометрии необходимо предварительно выполнить анализ текстового условия и графический анализ заданных изображений, построить мысленную образную модель задачи, определив тему задачи и графический алгоритм ее решения, и выполнить графические построения на чертеже.

Усвоение начертательной геометрии наряду с неумением большинства студентов выполнять графические логические действия в умственном пространстве затрудняется также обширностью и новизной теоретического и графического иллюстративного материала. Проверка студенческих конспектов показывает, что графические иллюстрации выполняются плохо и с ошибками, а текстовый материал записывается сокращенно и часто вообще отсутствует. Это говорит о том, что конспект графической дисциплины вести трудно. По учебникам усвоить предмет также непросто, так как материал перегружен поясняющими графическими иллюстрациями и описаниями.

Решение всех трех учебно-инженерных задач в процессе обучения начертательной геометрии для оптимизации усвоения начертательной геометрии требует изменения традиционной методики изложения курса, которые позволяют активизировать и развить для усвоения начертательной геометрии логикографические свойства ума и его возможности пространственного воображения.

Основой вводимых изменений является тематическая модульная структуризация материала начертательной геометрии с четкими графическими характеристиками геометрических элементов и алгоритмизацией графических действий по задачам каждой темы, то есть: определение модульной структуры каждой темы начертательной геометрии; определение графических характеристик каждого модуля; построение графических алгоритмов для выполнения чертежей и решения типовых задач по каждой теме; разработка модульных графических структурных схем по каждой теме.

Структурные тематические схемы, доведенные до каждого студента, позволят сократить время на конспектирование излагаемого материала и увеличить время на выполнение иллюстративных чертежей и устных пояснений к ним. Структурные схемы также можно выдавать студентам для ознакомления с темой каждой последующей лекции, чтобы они были подготовлены к восприятию нового материала, что, безусловно, повысит результативность обучения.

Практика применения в обучении методики, включающей первые три из перечисленных пунктов, повышает усвоение начертательной геометрии, о чем свидетельствуют владение материалом и подход к решению экзаменационных и зачетных задач и оценки студентов с относительно небольшим количеством неудовлетворительных баллов. Составление модульных структурных тематических схем является следующим шагом в разработанной методике изложения начертательной геометрии и, мы надеемся, что их внедрение в практику обучения наряду с уже наработанными методами позволит повысить качественный уровень усвоения начертательной геометрии и развития пространственного мышления, необходимых для изучения дальнейших разделов инженерной графики, специальных технических дисциплин и профессиональной деятельности.

Вышеизложенное нашло реализацию в учебно-методическом комплексе по изучению основополагающего раздела инженерной графики начертательной геометрии [12].

Учебный процесс по начертательной геометрии, как и по целому ряду других дисциплин, традиционно включает лекционную часть и закрепляющую получаемые знания практическую.

К практической части относятся, прежде всего, сами практические занятия, на которых студенты под руководством преподавателя решают, как правило, одни и те же задачи по теме предшествующей лекции.

К практической части изучения дисциплины относится также выполнение студентами индивидуальных заданий по вариантам – графических работ. При правильной организации работы над индивидуальными заданиями, а точнее исключении возможности для студента воспользоваться чужим трудом по выполнению выданных ему заданий, что, к сожалению, в настоящее время широко распространено, графические работы позволяют в комплексе оценить все составляющие степени владения им изучаемой темы. При этом отпадает необходимость тратить время даже на проведение контрольных работ по пройденной теме или целому блоку изученного материала (модулю, как это стало модным называть). То, как студент справился с индивидуальным заданием, как раз и проявит все его знания, умения и навыки по теме. Тем более они будут очевидными при их оценке, если студент выполнил графическую работу под руководством преподавателя, а не явился на занятия с уже готовой работой.

Для реализации такой вполне очевидной схемы обучения необходимо, прежде всего, иметь надлежащее учебно-методическое обеспечение.

Для изучения теории по теме лекций должно иметься соответствующее учебное пособие, в котором материал излагается в той же последовательности и не содержит лишнего ни из каких благородных побуждений, например, с познавательной целью (а еще хуже, с целью придания пособию солидности). Лишний материал, сверх лекционного, при первом ознакомлении с дисциплиной, а это и имеет место в случае с начертательной геометрией, не изучаемой в школе, только затруднит эффективность ее изучения (будет отвлекать, потребует времени на поиски того, что именно нужно, исключая то, что просто дополняет или углубляет изучаемую тему). В связи с этим такое учебное пособие по своей сути должно походить на курс конкретных лекций – конспект [13], а не являться фундаментальным трудом по дисциплине.

Само собой разумеется, к практическим занятиям студент должен подходить подготовленным, по теме прочитанной лекции. Специфика дисциплины такова, что эта подготовка заключается, преимущественно, в графических построениях – в решении графических задач. На этом этапе следует использовать, прежде всего, так называемые, рабочие тетради [14], ранее широко использовавшиеся при подготовке по дисциплине. Они позволяют уделить больше времени самой подготовке по существу, не тратя время на правильное вычерчивание условий к каждой задаче. Тем более, рабочая тетрадь дает студенту больше шансов подготовиться к практическому занятию в тех случаях, когда лекция состоялась буквально накануне, то есть при дефиците времени.

Само практическое занятие должно явиться продолжением самоподготовки по рабочей тетради. Часть ее задач по каждой теме может продолжаться решаться на практическом занятии при консультативной поддержке преподавателя, если студенту не удалось с ними разобраться самостоятельно. Но основную часть задач следует брать из специального практикума по начертательной геометрии [15], содержание которых максимально согласуется с содержанием индивидуальной графической работы по изучаемой теме. Исходные условия по вариантам к индивидуальным графическим работам к каждой пройденной на лекциях теме и образцы их выполнения также содержатся в упомянутом практикуме вслед за условиями графических задач.

Известно, что в графических задачах исходное условие должно быть перечерчено максимально точно, чтобы решение было приемлемым, в частности, чтобы оно не оказалось за пределами тетради. Это известная проблема. Для ее решения, во избежание потерь времени на корректировку графической части исходного условия по результатам неудавшегося решения, в указанном практикуме [15] графическая часть условия приведена на фоне сетки в клеточку с такими же размерами ячеек, что и в обычных тетрадях, используемых студентами. По клеточкам студент в состоянии быстро и точно перечертить исходное условие задачи и приступить к ее решению.

Помимо задач для закрепления изученного материала, условий заданий к индивидуальным графическим работам по каждой теме лекционного курса и образцов выполнения этих работ, в приложении к практикуму [15] приводится также перечень метрических задач для

включения в экзаменационные билеты, перечень самих экзаменационных вопросов, пример оформления ответов на экзаменационный билет, поэтапное выполнение наиболее сложных графических работ, сведения из стандартов ЕСКД по оформлению чертежей в том минимальном объеме, которого следует придерживаться при оформлении графических работ, и другая информация по инженерной графике, необходимая уже на этапе изучения ее первого раздела – начертательной геометрии.

При заочной форме получения образования изучение такой дисциплины как начертательная геометрия, отличающейся, преимущественно, практической направленностью и большой трудоемкостью, должно сопровождаться постоянной и непосредственной связью теории и практики. Даже незначительный отрыв графических построений от теории ставит студента в затруднение. Это связано еще и с тем, что студент приступает к изучению начертательной геометрии с минимальным багажом знаний в области проецирования, слабым развитием геометрического пространственного воображения и мышления геометрическими образами. В школьном черчении такое абстрактное мышление развивается мало, оно приземлено на простое построение видов (с разрезами) конкретных предметов (если можно так сказать, на мысленное фотографирование чего-то конкретного то с одной, то с другой стороны и его отображение). В связи с практическим отсутствием необходимого минимума знаний, начертательную геометрию при самостоятельной подготовке следует изучать пошагово: немного теории в пределах одной темы и последующее немедленное ее практическое закрепление. По другим предметам (математика, физика, химия) такой ситуации не возникает. Эти дисциплины в том же ключе изучались и в школе. У них возможен больший отрыв теории от практики. Нет необходимости в таком быстром после лекции решении задач. Студенты в курсе вопросов, изучаемых в этих дисциплинах, они накапливают теоретическую базу, а их скорой, в ту же минуту реализации путем решения задач, в общем-то, не требуется. Они могут накопить определенный объем знаний, а реализовать его потом. В начертательной геометрии такая отсрочка, как показывает опыт преподавания дисциплины, не допустима. При дневном образовании отмеченное реализуется самой формой организации учебного процесса, рассмотренной выше, чему способствует проанализированный комплекс из трех учебных пособий [13–15].

При заочной форме подготовки по начертательной геометрии, как и по целому ряду других дисциплин, во главу угла ставятся рецензируемые контрольные работы. Студент в первую очередь будет озабочен именно их выполнением и своевременным представлением на рецензирование. Он станет искать кратчайшие пути решения этого вопроса и, если он «правильный» заочник, он будет пытаться выполнить графические работы сам. Отдельно изучить теорию, а только затем приступить к графическим работам ему будет сложно. В связи с этим предлагаемое учебное пособие [16], дополняющее проанализированный комплекс учебных пособий по начертательной геометрии, структурировано именно по темам графических работ. В каждом разделе вначале приводится тот минимум теоретического материала, который необходим для выполнения очередной графической работы. Затем приводится сам образец ее выполнения и поэтапное подробное решение входящих в нее задач. Завершается раздел исходными данными для индивидуального выполнения контрольных графических работ.

## **Заключение**

Составление модульных структурных тематических схем является перспективным шагом в разработанной методике изложения начертательной геометрии, нашедшей отражение во внедренном учебно-методическом комплексе. Их внедрение в практику обучения наряду с уже наработанными методами позволит повысить качественный уровень усвоения начертательной геометрии и, развития пространственного логического мышления геометрическими образами, необходимое для изучения последующих разделов инженерной графики, специальных технических дисциплин, в том числе и относящихся к области автотракторостроения, и в целом для успешной профессиональной деятельности.

## **Литература**

1. Инженерная графика. Типовая учебная программа для высших учебных заведений / Регистрационный № ТД-І.710/тип. – Минск, 2011. – 53 с.

2. Гордон, В.О. Курс начертательной геометрии: учеб. пособие для втузов / В.О. Гордон, М.А. Семенов-Огиевский; под ред. В.О. Гордона. М.: Высшая школа, 2004. – 272 с.: ил.
3. Начертательная геометрия: учеб. пособие для вузов / Н. Н. Крылов [и др.]; под ред. Н. Н. Крылова. – Изд. 8-е, испр. – М.: Высшая школа, 2002. – 224 с.: ил.
4. Бубенников, А. В. Начертательная геометрия. Задачи для упражнений: учеб. пособие для студ. всех спец. втузов / А. В. Бубенников. – М.: Высшая школа, 1981. – 296 с.: ил.
5. Oxford dictionary of computing / Под общ. ред. John Daintith. – 5-е изд. – Oxford: Oxford University Press, 2004.
6. ГОСТ 23501.101-87 «Системы автоматизированного проектирования. Основные положения».
7. ГОСТ 34.003-90 «Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Термины и определения».
8. ГОСТ 23501.108-85 «Системы автоматизированного проектирования. Классификация и обозначение».
9. Норенков, И. П. Основы автоматизированного проектирования: учеб. для вузов. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 430 с.
10. Климухин, А.Г. Начертательная геометрия: учебник для вузов. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1978. – с. 334, ил.
11. Зелёный, П.В. Структуризация курса и типовая алгоритмизация как средство оптимизации усвоения начертательной геометрии / П.В. Зелёный, Е.И. Белякова // Образовательные технологии в преподавании графических дисциплин: сб. науч. тр. / II Республиканская науч.-практ. конф. (Брест, 18-19 мая 2007 г.) / Брест. гос. техн. ун-т. – Брест, 2005. – С. 33–35.
12. Зелёный, П.В. Комплекс учебных пособий по начертательной геометрии для повышения эффективности изучения дисциплины / П.В. Зелёный, Е.И. Белякова // Инновационные технологии в инженерной графике: проблемы и перспективы: сб. науч. тр. / Международная науч.-практ. конф. (Брест, Республика Беларусь; Новосибирск, Российская Федерация, 20 апреля 2016 г.) / Брест. гос. техн. ун-т. – Брест, 2016. – С. 69–72.

13. Зелёный, П.В. Начертательная геометрия: учеб. пособие / П.В. Зелёный, Е.И. Белякова; под ред. П.В. Зелёного. – Минск: БНТУ, 2015. – 224 с.

14. Белякова, Е.И. Начертательная геометрия: рабочая тетрадь / Е.И. Белякова, П.В. Зелёный; под ред. П.В. Зелёного. – Изд. 5-е. – Минск: Новое знание, 2014. – 56 с.

15. Белякова, Е.И. Начертательная геометрия. Практикум: учеб. пособие / Е.И. Белякова, П.В. Зелёный; под ред. П.В. Зелёного. – Изд.2-е испр. – Минск: Новое знание, М.: ИНФРА-М, 2011. – 214 с.

16. Белякова, Е.И. Начертательная геометрия: учеб. пособие / Е.И. Белякова, П.В. Зелёный; под ред. П.В. Зелёного. – Изд.3-е испр. – Минск: Новое знание, М.: ИНФРА-М, 2013. – 256 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ МОТИВАЦИИ УСПЕХА  
И БОЯЗНИ НЕУДАЧИ**

**RESEARCH OF MOTIVATION OF SUCCESS  
AND MOTIVATION OF DREAD OF FAILURE**

*Пашина Н.А.*, препод.,  
Белорусский национальный технический университет,  
г.Минск, Республика Беларусь

*N. Pashina*, teacher, Belarusian National Technical University,  
Minsk, Belarus

*В результате опроса были определено количество студентов двух важных типов мотивации-мотивации успеха и мотивации боязни неудачи.*

*Ключевые слова: мотивация, личность, успех, неудача, боязнь.*

*As a result of questioning were the amount of students of two important types of motivation-motivation of success and motivation of dread of failure is determined.*

*Key words: motivation, personality, success, failure, fear.*

**Введение**

Успешность профессиональной деятельности преподавателя в существенной мере зависит от адекватного познания личности студента. Причем это познание должно носить опережающий характер. Необходимо формирование адекватного знания о личности студента с тем, чтобы выбранные методы воздействия и взаимодействия с ним были бы адекватны его личностным особенностям. Только на этой основе возможна действительная профессионально – персонологическая антиципация, предвидение результатов собственной профессиональной деятельности. Вследствие этого было проведено исследование выявления мотивации успеха и боязни неудачи.

## Исследование

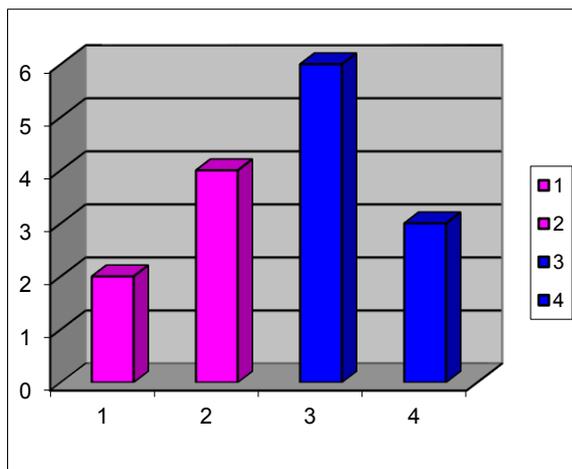
В эксперименте были проанализированы состояние и перспективы развития мотивации достижения будущих специалистов авто-тракторного факультета.

Оценка уровня мотивации производилась по двадцатибалльной шкале. Уровню мотивации на успех соответствовало от 14 до 20 баллов, определенной тенденции мотивации на успех – 12, 13, определенной тенденции мотивации на неудачу 8 ,9, мотивации на неудачу – от 1 до 7 баллов. Чем больше проявлялись выделенные признаки, тем выше был уровень мотивации на удачу.

Используя рассмотренную методику "Мотивация успеха и боязнь неудачи" (МУН) А.А. Реана были получены следующие результаты, показанные в таблице 1 и рисунке 1.

Таблица 1.

К-во баллов	Мотивация На неудачу	Тенденция мотивации на неудачу	Тенденция мотивации на успех	Мотивация на успех
Количество человек	2	4	6	4
ПРОЦЕН-ТОВ	14	26	40	20



1 – мотивация боязни неудачи;  
2 – тенденция мотивации боязни неудач;  
3 – тенденция мотива на успех;  
4 – Определенная тенденции мотивации на успех.

Рисунок 1 – Результаты исследования мотивации успеха и боязни неудачи

Толчком к деятельности, к учебе могут в равной степени стать и желание достичь успеха, и страх перед неудачей. Итак, мы очертили контуры двух важных типов мотивации – мотивации успеха и мотивации боязни неудачи. Мотивация успеха, несомненно, носит положительный характер. При такой мотивации действия человека направлены на то, чтобы достичь конструктивных, положительных результатов. Личностная активность здесь зависит от потребности в достижении успеха.

В ходе проведенного исследования мы выявили, что 14 % из общего числа испытуемых имеет мотивацию боязни неудач. Мотивация боязни неудачи относится к негативной сфере. При данном типе мотивации человек стремится, прежде всего, избежать порицания, наказания. Ожидание неприятных последствий — вот что определяет его деятельность. Еще ничего не сделав, человек уже боится возможного провала и думает, как его избежать, а не как добиться успеха. Люди малоинициативны. Избегают ответственных заданий, изыскивают причины отказа от них. Ставят перед собой неоправданно завышенные цели; плохо оценивают свои возможности. В других случаях, напротив, выбирают легкие задания, не требующие особых трудовых затрат. Люди, мотивированные на неудачу, обычно отличаются повышенной тревожностью, низкой уверенностью в своих силах. Стараются избегать ответственных заданий, а при необходимости решения сверхответственных задач могут впасть в состояние близкое к паническому. По крайней мере, ситуативная тревожность у них в этих случаях становится чрезвычайно высокой. Все это, вместе с тем, может сочетаться с весьма ответственным отношением к делу. Эффект Зейгарник выражен в меньшей степени, чем у ориентированных на успех. Склонны к переоценке своих успехов в свете неудач, что, очевидно, объясняется эффектом контроля ожиданий. При выполнении заданий проблемного характера, в условиях дефицита времени результативность деятельности ухудшается. Отличаются, как правило, меньшей настойчивостью в достижении цели (впрочем, нередки исключения). Склонны к восприятию и переживанию времени как «бесцельно текущего» («Время – это постоянно струящийся поток»). Склонны планировать свое будущее на менее отдаленные промежутки времени. В случае неудачи при выполнении какого-либо задания его притягательность, как правило, снижается.

Причем это будет происходить независимо от того, «навязано» ли задание извне или выбрано самим субъектом, хотя в количественном отношении снижение притягательности во втором случае (выбрал сам) может быть менее выражено, чем в первом (навязано кем-то).

Мотивацию на успех имеет 20 % испытуемых. Личности этого типа обычно активны, инициативны. Если встречаются препятствия – ищут способы их преодоления. Продуктивность деятельности и степень ее активности в меньшей степени зависят от внешнего контроля. Отличаются настойчивостью в достижении цели. Они склонны планировать свое будущее на большие промежутки времени. Предпочитают брать на себя средние по трудности или же слегка завышенные, хоть и выполнимые обязательства. Ставят перед собой реально достижимые цели. Если рискуют, то расчетливо. Обычно такие качества обеспечивают суммарный успех, существенно отличный как от незначительных достижений при заниженных обязательствах, так и от случайного везения при завышенных. В значительной степени (более, чем у противоположного типа) выражен эффект Зейгарник (эффект незавершенного действия, установленный ученицей К. Левина, ставшей впоследствии профессором МГУ, Б. В. Зейгарник. Смысл закономерности в том, что незавершенные действия запоминаются значительно лучше, чем завершенные). Склонны к переоценке своих неудач в свете достигнутых успехов. При выполнении заданий проблемного характера, а также в условиях дефицита времени результативность деятельности, как правило, улучшается. Склонны к восприятию и переживанию времени как «целенаправленного и быстрого», а не бесцельно текущего.

Привлекательность задачи возрастает пропорционально ее сложности. В особенности это проявляется на примере добровольных, а не навязанных извне обязательств. В случае же неудачного выполнения такого «навязанного» задания его привлекательность остается тем не менее на прежнем уровне. 26 % испытуемых имеют тенденцию боязни неудач, а 40 % тенденцию мотива на успех.

Если говорить о диагностике мотивации успеха и мотивации боязни неудачи, то самым оптимальным методом оказывается наблюдение, ведь у педагога есть возможность следить за поведением и деятельностью ученика в различных жизненных и учебных ситуациях. Кроме того, он может подвергнуть свои наблюдения над личностью,

деятельностью и поведением ученика вдумчивому и глубокому психологическому анализу [1].

### **Заключение**

Анализ результатов проведенного исследования показывает, что 60 % испытуемых имеют мотивацию успеха или тенденцию на мотивацию успеха, а это носит положительный характер. Большинство студентов направлено на достижение хороших результатов.

### **Литература**

1. Ильин Е.П. Мотивация и мотивы / Е.П. Ильин-Санкт-Петербург, 2004 – 508 с.

## DESCRIPTION ON DESTRUCTION MACHINES AND CONSTRUCTIONS USING VIBRATION DIAGNOSTICS

**Bogdan Żółtowski**, Doctor of technical Sciences, Professor,  
**Mariusz Żółtowski**, Ph.D. in Engineering, Associate professor,  
UTP University of Science and Technology, Bydgoszcz, Poland  
**Alexander Pavarekha**, Ph.D. in Engineering, Associate professor,  
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

*This paper presents selected problems connected with automation of procedures involved in assessment of machine degradation degree using vibration method with special emphasis on the machine state prognosis. The current knowledge of these problems is not sufficient and needs further research on data processing, analysis of efficiency of diagnostic and prognostic procedures, collection and selection of diagnostic parameters and development of automatic procedures for recognition and prognosis of a machine state. New solutions and different aspects of diagnostic prognosis based on the proposed partial procedures focus on factors determining automation of procedures for identification of technical systems states. New automated procedures for acquisition and processing of symptoms indicating the machine state provide better possibilities of control and supervision of technical systems operation and maintenance through identification of their current states, and its good prognosis.*

*It is possible with the use of many original solutions in the field of automation including methods and procedures of computer aided research, modeling of degradation degree of engineering objects, system supporting decision making, classification and standardization.*

Keywords: *assessment of the state, forecasting of the state, diagnostic symptoms, the optimization procedure.*

### **Introduction**

Increasing demand for methods and means of technical diagnostics, that is tools for assessment of technical systems degradation states, meets the needs of contemporary entrepreneurs who use a variety of technical

appliances to run their businesses. Destruction processes affecting technical systems have a direct influence on their operation safety and therefore it is necessary to monitor their technical state [1, 10, 23]. Methods and means of modern technical diagnostics are tools for diagnosing states of technical systems which provides the basis for making operational decisions [4].

Constantly changing demands and new possibilities have generated new categories of research problems, highlighted others and disqualified some issues which have lost their importance in terms of application due to [15, 22]:

- access to advanced world technologies;
- availability of the newest generation research equipment;
- possibilities of the latest computer applications in the field of hardware and software;
- access to databases, capital market and vast possibilities of cooperation.

All this have diametrically changed the views and achievements in the area of automation of detection and control of technical object state changes by methods of technical diagnostics, especially in the field of shaping the current and predicted safety of technical objects. This provides the possibility of computerization of the processes connected with an object operation, supervision of the state changes, location of faults and minimization of damage effects and safety threats [12, 21, 24].

Technical diagnostics of mechanical engineering is based on utilization of information about the machine changes which enables identification of safety threats and progressing destruction of a machine throughout its life cycle. Changes of the state, reflected by methods of technical diagnostics, prevent from occurrence of causes and effects of damage [2, 3, 16]. A factor which boosts development of machine diagnostics is the responsibility of the function it performs, in particular, reduction of the following threats: threat to human life and health, threat to natural and technical environment, threats to operation quality and economic risks [8, 20, 25]. The need to assess the technical condition of a machine results from the necessity of making decisions on the machine quality and its further operation. It can be a decision concerning its further use, taking preventive actions or altering its structure, use of technologies or maintenance methods.

This work deals with selected problems connected with the machine state control and monitoring in time, focusing the machine operation process and the final product quality shaping, diagnostic modeling and control of a machine usability in its operation and maintenance by means of prognosis methods – in terms of developing faults. Computer aided modeling of an object lifetime, degradation processes, operation states, operation control and decision support systems – are the main issues to be addressed in order to provide technical systems with efficient operation.

## **1. Description of the machine wear process**

Occurrence of faults is one of events that accompany the process of machine operation and maintenance and determines its reliability, efficiency and the way it is operated. After being damaged a machine (assembly, component) becomes unusable. A usable machine is able to perform tasks it is designed with simultaneous maintenance of parameters specified in its technical documentation. Due to the impact of the environment and performance of the assigned tasks the object initial properties can be changed in the following way [26]:

- in result of irreversible aging and wear processes that take place in the machine ;

- in result of occurrence of reversible processes with different intensity, caused by exceeding permissible values of one or more forcing factors;

- in a step – like manner which is manifested by a non-constant transition of one or two features beyond the limits accepted for a given machine.

The major causes of damage occurrence are classified as follows:

- a) structural – faults due to design and construction errors, most often when extreme loads are neglected;

- b) production related (technological) – faults which occur due to errors and imperfections of technological processes (no dimensions tolerance, insufficient surface smoothness, thermal treatment, etc.) or faults of materials used in the object or its structural components;

- c) operational – faults which occur in effect of failing to observe respective rules of operation or due to the impact of external factors unexpected for the object service conditions;

d) due to aging and wear – always accompany operation of objects and are caused by irreversible changes that impair strength and cooperation of particular components.

In the energy based approach the object damage occurs under the influence of energy transmitted by it. Depending on the kind of energy prevailing in given conditions can be divided into:

a) mechanical – static stresses, creeping, fatigue, pitting, friction wear;  
b) chemical – metal corrosion, rubber, paint and insulation aging, wood rotting;

c) electrical – electro-corrosion;

d) thermal – hyper melting, intensification of occurring phenomena.

The process of wear and degradation of functional qualities is not homogenous and can be divided into four physically different degradation processes. In the first place, it is fatigue wear that should be mentioned as it leads to loss of cohesion of the structure components, and is caused by too high dynamic stresses – oscillatory, that is vibrations. The second is friction wear in all forms which occurs in kinematic pairs and leads to losses in mass – backlashes. Rheological properties of construction materials cause the third degradation process involving creeping (floating) leading to changes in the size and shape of the structure stressed elements. The fourth way of erosive wear of machine components involves physical (cavitation) or chemical (corrosion) degradation resulting in the material mass loss.

This work takes advantage of the basic assumption, already proven in many studies, that knowledge of relations between the machine model described by parameters:  $m$ ,  $k$ ,  $c$  ( $m$  – mass,  $k$  – stiffness,  $c$  – damping), and quantities  $a$ ,  $v$ ,  $x$  ( $a$  – acceleration,  $v$  – velocity,  $x$  – displacement) describing the vibration process provides big possibilities and vast applications of vibration based diagnostics.

Tribology deals with all the phenomena connected with a machine wear. It is based on the assumption on proportionality of vibrations  $D$  to the wear processes advancement [4, 5]. Creation of a mathematical model of a machine with regard to all the acoustic and wear phenomena is a tribology approach. Advanced wear of a machine – tribological  $E_z$  is best measured by energy lost for irreversible wear processes – tribological. Having in mind that a new machine (with no wear) is already characterized by some level of rated vibration  $D_n$ , the constitutive relations of diagnostics can be expressed as follows:

$$D = D_n + \gamma \cdot E_z, \quad (1)$$

where:  $D$  – amplitude measurement of vibration – e.g. acceleration, velocity etc.;  $D_n$  – level of rated vibration of a new machine,  $E_z$  – energy lost for irreversible processes of wear,  $\gamma$  – coefficient of tribovibroacoustic lossiness (TWA) depicting correlation between tribological processes and vibrations [4].

Knowing the machine mechanical efficiency  $\eta$  it is possible to estimate lost energy  $E_z$ , as:

$$\eta = \frac{N_{uz}}{N_{zas}} = \frac{N_{zas} - N_z}{N_{zas}} = \frac{E_{zas} - E_z}{E_{zas}}, \quad (2)$$

where:  $N_{uz}$  – is useful power,  $N_{zas}$  – feed power,  $E$  – respective energies.

Tribological processes which most frequently accompany machine motion include fatigue and friction, whereas their energy is generated proportionally to the fatigue crack length  $l$  and the volume of the worn material  $U$ . Focusing on the two phenomena it can be accepted:

$$E_z = E_{tarcia} + E_{zmeczzen} + \dots \cong a \cdot l + b \cdot U, \quad (3)$$

where:  $a$  and  $b$  – certain coefficients of proportionality,  $l$  – computed from Paris formula [12],  $U$  – from Archard formula [17].

Computing fatigue crack length from Kocańda formula [8] is:

$$\begin{aligned} l &= C_3 \cdot (\sigma_0 + \sigma_a)^n \cdot N = C_3 \cdot (\sigma_0 + \sigma_a)^n \cdot f \cdot \theta = \\ &= C_3 \cdot (\sigma_0 + e \cdot D)^n \cdot f \cdot \theta, \end{aligned} \quad (4)$$

where:  $e$  – coefficient of vibration proportionality,  $D$  – to variable stresses  $\sigma_a$ ,  $\theta$  – time of their operation,  $f$  – vibration frequency.

When dynamic component of thrust  $p = p_0 + g D$  with coefficient of proportionality to vibration amplitude  $g$  is introduced into Archard [17] equation we receive:

$$U = \frac{k_0 \cdot v \cdot \theta}{R} \cdot (p_0 + g \cdot D). \quad (5)$$

Substituting  $E_z$  to expression (3) describing energy of wear processes, and this in turn to constitutive relation (1) we receive:

$$\begin{aligned} D &= D_n + \gamma \cdot \left[ a \cdot C_3 (\sigma_0 + e \cdot D)^n \cdot f + \frac{b \cdot k_0 \cdot v}{R_e} (p_0 + g \cdot D) \right] \cdot \theta = \\ &= D_n + \gamma \cdot N_z \cdot \theta; \\ N_z &= a \cdot C_3 (\sigma_0 + e \cdot D)^n \cdot f + \frac{b \cdot k_0 \cdot v}{R_e} (p_0 + g \cdot D), \end{aligned} \quad (6)$$

into which the power of wear processes  $N_z = E_z/\theta$  depending on vibration amplitude  $D$  is introduced.

Using these dependencies for final determination of the machine vibration amplitude in a function of its operation time we can find:

$$D = \frac{\gamma \cdot N_z^0 \cdot \theta}{1 - \gamma \cdot \theta \cdot \left. \frac{dN_z}{dD} \right|_{D=D_n}} + D_n. \quad (7)$$

Analysis of the final formula of this tribovibroacoustic model involves identification of two characteristic points. For time  $\theta=0$ , the above formula yields  $D=D_n$ , that is the amplitude of rated vibrations for a new object, whereas for:

$$\theta = \theta_{aw} = \left( \gamma \cdot \left. \frac{dN_z}{dD} \right|_{D=D_n} \right)^{-1}, \quad (8)$$

we have  $D=\infty$ , which can be interpreted as a failure. Value of time to failure:

$$\theta_{Aw} = \left( \frac{dN_z}{dD} \Big|_{D=D_n} \right)^{-1}, \quad (9)$$

is inversely proportional to tribo-vibro-acoustics loss  $\gamma$ , and sensitivity of wear to vibrations:  $dN_z/dD$ .

The value of vibration amplitude  $D$  and the rate of their changes during operation  $\theta$  depend on these characteristics as well as on the total power of machine tribological processes. Qualitative image of these changes is shown in figure 1, according to which both time of failure  $\theta_{aw}$  and velocity of the vibration symptom growth ( $tg\alpha$ ) are functions of tribo-vibro-acoustic loss  $\gamma$ , sensitivity and total power of wear processes  $N_z$ .

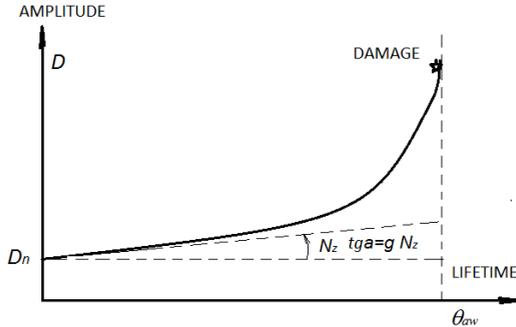


Figure 1 – Graphic presentation of vibration amplitude changes a tribo-vibro-acoustic model [4]

Both the model and the insight into vibration feedback of wear processes it provides are very valuable. This model shows that the time of failure  $\theta_{Aw}$  can be predicted for a new machine knowing only the vibration gradient of lost power:

$$\frac{dN_z}{dD} \Big|_{D=D_n} \quad (10)$$

and its loss  $\gamma$ . Sequential utilization of the model for prediction of a machine state and its vibrations is possible as well [6, 9].

In practice however the current state of a machine can be identified by observing the object functioning, that is, its main output of converted energy (or a product) and dissipation output where residue processes e.g. thermal, vibratory, acoustic, electromagnetic are observed.

Observation of these outputs provides a vast range of possibilities of machine diagnosis through:

\***observation of operational processes** by continuous monitoring their parameters or by testing the machine efficiency on special test stations (power, speed, pressure etc.),

\* **studying of its product quality**, consistence of measurements, pasowań, links, etc, as generally speaking the better the machine technical state the better the production quality,

\* **observation of residual processes** which provide the basis for many attractive diagnostic methods based mainly on symptom based models.

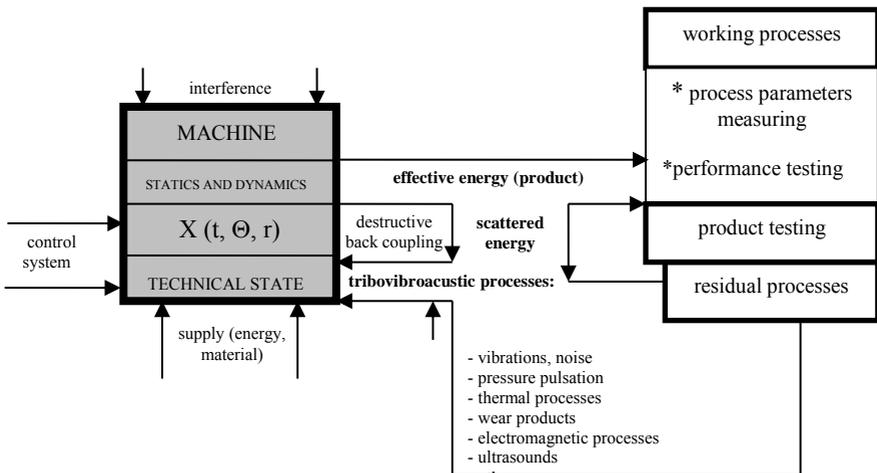


Figure 2 – Possible three ways of a machine state monitoring

The above presented problems should be solved with the use of the newest technologies. This is an area for wide application of computer aid and automation of procedures in the field of: holistic and symptom based modeling, inference, planning and performance of tests, utilization of artificial intelligence encompassing counselling systems and neuron networks with fuzzy logic [7, 10, 19].

Physics of phenomena accompanying operation of a machine based on a model of signal generation is the basis for good diagnostics (figure 3) and involves knowledge of a machine dynamics which facilitates smooth transition to the field of diagnostics.

Knowledge and technology of diagnosis are always connected with the kind of diagnostic model that can be developed for a given object.

Depending on the type of features included in the object it can be of **symptom or structural** character. In dependence on the possibility of compensation of interference the model can be deterministic, probabilistic or fuzzy. For assessment of the object condition both kinds of diagnostics can use the same pack of inference methods, starting with deterministic ones and finishing with artificial intelligence [13, 14, 18].

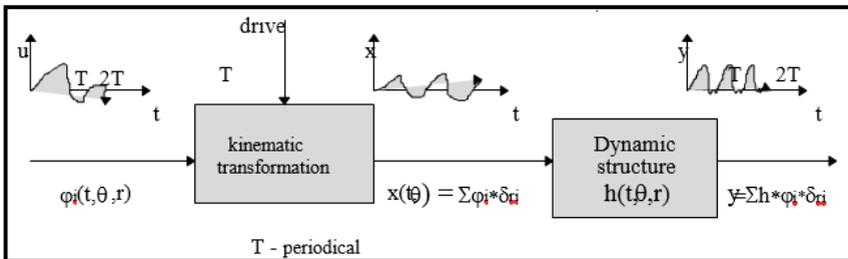


Figure 3 – Model of machine diagnostic signal generation [7]

Reduction of destructive influence of an object physical aging and fatigue wear is necessary in all stages of its existence. Desirable effects of the number of reductions in the number of technical object failures can be achieved in:

- \* **the field of construction** – by appropriate selection of materials and their shapes to withstand the loads, shaping unit compressions, choice of adequate materials and substances for friction pairs, elimination of dry friction, wide application of appropriate tightening, providing appropriate temperature;

- \* **in the field of technology** – by choosing optimal treatment, shaping an optimal surface layer, choice of appropriate thermal and thermal-chemical treatment, proper installation and adjustments;

- \* **in the field of operation** – by complying with frequencies and scope of services (smearing, regulation, protection from corrosion), avoiding overloads and abrupt speed changes, monitoring of technical condition.

Inappropriate operation and maintenance causes intensive impact of wear processes leading to premature failures and threats to safety.

## 2. Machine diagnostics throughout its lifetime

Each machine undergoes four stages of its existence: **validation, design, manufacturing and operation**. Increasing requirements from machines provide a set of criteria which are studied in each of these stages [9, 22, 24]. Methods and means providing such possibilities of control of quality of machines – fulfilment of these criteria – are the included in the field of technical diagnostics [figure 4].

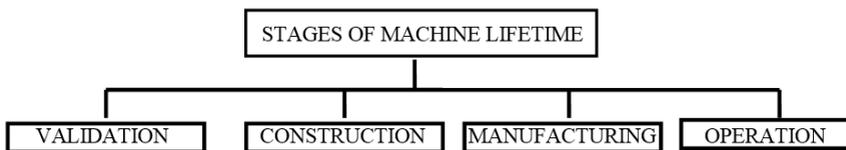


Figure 4 – Stages of machine existence in terms of diagnostics

Looking synthetically at all the possible applications of diagnostics in each stage of an object existence it is possible to distinguish the following fields and the range of knowledge indispensable for appropriate development of this area. These are: knowledge of technical objects, their modeling, identification, behavior simulation, science of signals and symptoms, theory of experiments, theory of decision and computer aided diagnostic research [23].

Technical diagnostics covers the following activities: assessment of the state, genesis and prognosis of the state. These activities are performed by intelligent and often automated diagnostic systems (mobile software and hardware with self-learning loop and risk assessment). The set of diagnostic parameters is identified from a set of input parameters accompanying the machine operation. Determination of a set of damage sensitive diagnostic parameters should take into consideration:

- ability of reflect the machine state changes in time during its operation and maintenance.
- amount of information on technical state of the transmission,
- sensitivity to parameters value during operation.

Methods for determination of diagnostic symptoms include [22]:

- method of maximal sensitivity of a parameter to change in technical state,
- method of maximal relative change of diagnostic parameter;
- method of maximal information capacity of a diagnostic parameter;
- method of maximal variability of a diagnostic parameter.

An advantage of the above presented methods is that they provide the possibility to choose, from a set of output parameters, both the one-element and multi-element sets of diagnostic parameters.

Criteria for optimization of the set of parameters include:

- parameters should characterize the destruction process and be closely related to it;
- parameters should be sensitive to changes in the object degradation process;
- the number of diagnostic parameters cannot be too big as too many of them make it difficult to identify the process of devastation and sometimes it becomes even impossible;
- diagnostic parameters should be measurable;
- there must exist reliable statistical and analytical data of the distinguished parameters.

The diagnostic system becomes a subject of separate considerations and diagnostic features of such systems require elaboration and description (with mathematical formalization). A diagnostic system is a set of diagnostic agents, set of methods and means for obtainment, processing, presentation, generation and collecting information and a set of engineering objects, their models and algorithms for diagnostics, generation and prognosis of states as well as relations between these elements. It is intended to support making reliable decisions on an object's belonging to a respective class of states. The structure of a diagnostic system proposed in figure 5 shows the basic relations between the test object and its diagnostic model as well as the system of its state identification and decision making.

Diagnostic systems belong to a class of automated computer systems and are characterized by:

- the goal of their operation is identification of the state of other objects (or systems), actually they do not affect this state,
- this goal involves generating a diagnose by converting information on the object properties into information on its state.

For these reasons, the attention must be focused on the informative structure of the diagnostic system and it needs to be designed, optimized

and evaluated in terms of the information flow possibility. Different forms of components and their different functions provide the possibility of creation of diagnostic systems with different structures and with diversified automation degree.

A. Un-automated diagnostic systems include a human (group of humans) who perform all operations using measuring equipment, instructions concerning methods for collection and processing information on the test object to work out a diagnosis which if necessary is registered (e.g. in protocol). Such a system includes a measuring tool, a diagnostic technician and a manual with data. Such systems are still quite common in industry.

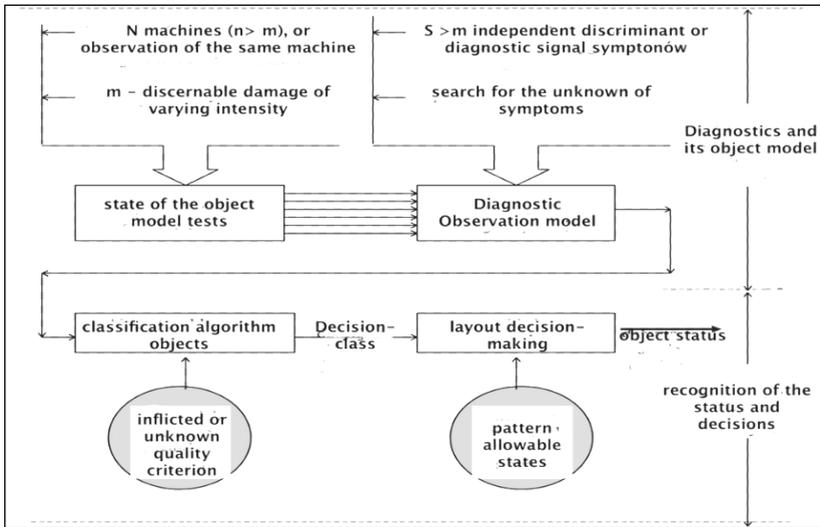


Figure 5 – Structure of a diagnostic system

B. Automated diagnostic system which uses an array of technical devices performs the diagnostic process according to the respective program. There is little participation of a human and is usually reduced to activation of the system. Automatic diagnostic systems are usually self-controlled and failures are signaled. Then back - up components can be turned on and the controlled object is turned off. Particular results of control or only those exceeding the set limits are registered automatically.

The process of a machine handling is as follows:

a) for a usable machine: testing the state – performance of necessary servicing activities – prognosis of the machine state – scheduling the next survey;

b) for an unusable machine: assessment of the machine state – finding causes of its failures (maladjustment, damage, poor quality of repairs or liquidation) – removal of failure – assessment of a repair quality – performance of servicing activities – prognosis of the state – date of the next diagnosis.

Problems connected with diagnostics are usually addressed by a diagnostic team. They define the scope, methods and means necessary to supervise machine operation and maintenance (critical, important, unimportant). The tasks are performed in cooperation with the departments of the chief mechanic, production supervisor and manager of marketing department and accountancy department. Particular departments of a company are interested in different information items on the condition of machines, depending on the specificity machine use and production.

### **3. Examples of practical diagnosis of the state**

The machine technical state prognosis process can be carried out by different methods [5, 7, 14]: forecasted symptom value, times of a machine operation or other prognoses the states of machine (e.g. extrapolation trend methods and adaptive methods) [16, 20].

The selected problems of diagnosing the state of machines using forecasting methods have been validated in a number of different studies on operation and maintenance, and some examples of the issues and their solutions are presented selectively below.

Schematic diagram of the predictive diagnosis consists of: selection of the optimal set of diagnostic parameters, choice of the optimal method of forecasting, and assessment of predictive quality of the diagnosis. The optimal set of diagnostic parameters guarantees:

- 1) the minimum number of points needed to run the time prediction;
- 2) changes in units of the machine during operation resulting from replacement or adjustment of teams and variable operating conditions (road conditions, climate, quality of handling) that cause abrupt changes in the value of diagnostic parameters;
- 3) the maximum value of the time step;
- 4) the cardinality of the set of relevant parameters to the application.

The choice of a forecasting method is conditioned by: the forecast horizon; the minimum number of points needed to run the time prediction; the number of measurements before time  $t_b$  to calculate the predictive diagnosis; the variable degradation bands, causing abrupt changes in symptoms. Evaluation of the quality of diagnosis prognostic prediction error is determined.

Studies of the procedures of machine prognosis state in the aspect of determining methods for forecasting damage, examining the influence of horizon prognoses in the recognition of damage, and studies of the influence of the number of diagnostic parameters on the damage prognosis, were carried out on the basis of: determination of a set of prognosis methods for values of diagnostic parameters, and prediction of the next time of diagnosis - according to the process presented in [25].

For the set of diagnostic parameters  $Y_2 = \{P_{wtr}, P_{ol}\}$  (of highest weighing of values), visualizations of their prognoses value was obtained for different models (linear model, exponential, Brown-Mayer model, Holt's model), and two methods of determining dates of the next diagnosis term ( $\Theta_{b1}, \Theta_{b2}$ ), for three values of horizon prognoses ( $\tau = \Delta\Theta, \tau = 2\Delta\Theta, \tau = 3\Delta\Theta$ ). The analysis of the research results for the combustion engine type UTD-20 showed that:

- different (according to the minimum value error the prognosis of damage) prognosis methods of diagnostic parameters values can be accepted:

- for  $P_{wtr}$  – Holt's method ( $\alpha = 0.1, \beta = 0.1$ ), prognosis error: 3.02%,

- for  $P_{ol}$  – Holt's method ( $\alpha = 0.1, \beta = 0.1$ ), prognosis error: 3.39%.

- different values for the next diagnosis term are obtained in terms of the prognosis horizon and the size of the diagnostic parameters set:

- for  $P_{wtr}$  – Holt's method ( $\alpha = 0.1, \beta = 0.1$ ), examination dates:  $\Theta_b(\tau = \Delta\Theta) = 8775.62, \Theta_b(\tau = 2\Delta\Theta) = 8693.23, \Theta_b(\tau = 3\Delta\Theta) = 8610.85$ ;

- for  $P_{wtr}$  – Holt's method ( $\alpha = 0.1, \beta = 0.1$ ) and  $P_{ol}$  – Holt's method ( $\alpha = 0.1, \beta = 0.1$ ) weighed examination dates  $\Theta_{bw}(\tau = \Delta\Theta) = 8740.03, \Theta_{bw}(\tau = 2\Delta\Theta) = 8622.07, \Theta_{bw}(\tau = 3\Delta\Theta) = 8504.11$ .

Summing up the research performed for the state prognosis method, it can be stated that:

– considering low values of the curvilinear correlation coefficient ( $< 0.8$ ), high values of prognosis of damage, and negative values for the next operation dates of the objects examined in analytical models (linear model, exponential model, model Brown–Mayer, and Holt model), for potential applications it is necessary to use the Brown–Mayer model and the Holt model;

– the accepted optimization criteria, and the presented algorithm identify unambiguously the prognosis methods and the method of estimating the next diagnosis term. This confirms the appropriateness of the formulated procedure, and will provide the basis for methodology to be used for the machine state recognition and in the field of state prognosis for other objects.

The analysis of results of the research on the machine state prognosis methodology allows of formulate conclusions in the areas of: diagnostic parameters optimization and state prognosis. After appropriate verification the presented conclusion can provide the basis for application of dedicated software for a machine state recognition system in an online (board system) and off–line (for a stationary system) modes.

#### 4. Determining the next term of diagnostics

Evaluation of state changes on the basis of change monitoring of diagnostic parameters ( $\Theta_{b1}$  determination) was carried out for a vehicles STAR 200, for the results of tests of peripheral clearance of the main shaft - shown in Table 2.

This procedure uses the already approved method of determining the limit value of the symptom [8, 22]:

$$S_{jgr} = s + \sigma_s \sqrt{\frac{P_g}{2A}} \quad (11)$$

where:  $P_g$  – repair policy of the works,  $A = k(1 - P_g)$ ,  $k = \{1-9\}$ .

The presented relationship allows determine the term of the next diagnostics in relation (11) to the current value of a measured symptom, its relation to the value symptoms of limiting with taking into account the repair policy of the works [22]:

$$\Theta_{bl} = \frac{(1 - P_r)(S_{gr} - S_j)}{S_j} \Theta_j \quad (12)$$

Determination of this value (12) based on the value of data on a circumferential backlash of the main shaft of t STAR 200 vehicle in operation is shown in Table 1.

Table 1 – Measuring data of peripheral clearance of examined main shaft

Clearance- $S_j$ [mm]	6,6	7,5	8,1	9,5	10,5	14,2	15,7	16,5	16,9	17,1
Mileage $\Theta_j$ [ $\times 10^3$ km]	2	24	48	72	96	120	144	168	192	216

In accordance with relations (11) [7, 10, 15] it was evaluated:  $S_{jgr}=18,99$ , accepted in (17)  $k = 4$ ,  $P_g = 0,95$ ,  $A = k(1 - P_g) = 0,2$ . Evaluating further values  $\Theta_{bl}$  according to (12) for accessible measuring data (Table 2) there was fixed a trend of transmission gear clearance changes (state symptom) in the following form:

$$S^*_j = 6,0091 e^{0,1189\Theta_j} \quad (13)$$

Thus, in table 2 there are presented values  $S^*_j$  (calculated according to (13) for determined mileages  $\Theta_j$ , which allowed to determine forecast error  $e^*_p$ , defined as [24]:

$$e^*_p = (S^*_j - S_j) / S^*_j \quad (14)$$

The average forecast error of a symptom value ( $S_j$ ) for mileages  $Q_j$  accepted in the measurements is 20%. A relatively big forecast error of the proposed method may be decreased by optimising activities undertaken in the area of measuring accessible data from servicing. The performed analytical studies, testing conformity of the measured values of symptoms for the determined mileages (table 2) by means of the proposed methods [22], allow of propose the following actions:

- $S_{jgr}$  should be maximised in the procedure of step-by-step determination by periodical changes of  $P_g$  and  $k$  [22];
- good approximations are obtained for an increase of  $P_g$ , and  $k$  in a half of the vehicle operational time (according to data from table 2).

Table 2 – Calculations of results

Mileage $\Theta_j$ [ $10^3$ km]	2	24	48	72	96	120	144
$S_j$	6,6	7,5	8,1	9,5	10,5	14,2	15,7
$\Theta_{b1}$ [km]	488	4560	7776	7776	7644	720	Reversal of sign
$S^*_j$	7,27	9,75	10,4	13,19	11,16	11,36	X
$e^*_p$ [%]	10	30	29	37	6	20	X

For  $S_{jgr}$  accepted from standard (or from operator's manual), results of theoretical calculations are well represented by operational data:

- approximation of  $\Theta_j$  evaluated from operational data is satisfactory for relation (12);
- presentation of frequency the examination with registrations of exponential trend of the examined symptoms.

The results of the experiments allow to show a way of reasoning and inference in terms of the future diagnostic agent, an intelligent system monitoring critical technical systems. On figure 6 shows the general idea of an agent system to be used for diagnosis and observation of critical systems as well as for information flow handling in the future of diagnostics. We can also see a need to provide some other information concerning the system operation including: load, current time of system life, and also some previous records on the system history contained in the maintenance data base.

If such an agent is added to hardware properties in the form of sensorimotor transducers and actuators – it is possible to implement the concept of the Independent Agent Diagnostic (SAD). Such an entity supporting the application of innovative technical systems must have an array of intelligent sensors embedded in the phenomenal facility, where the SAD collects all the information about the evolution of the state. The provided symptoms have independent status which enables creation of Vector Diagnostic Observation and symptoms observation matrix for the next life time value of an object. After each reading, an observation vector is derived from generalized damage symptoms as well assessment of the current intensity of damage is provided. In cooperation with the local knowledge base enriched with information and environmental control the damage classification and the final diagnosis of the object is possible.

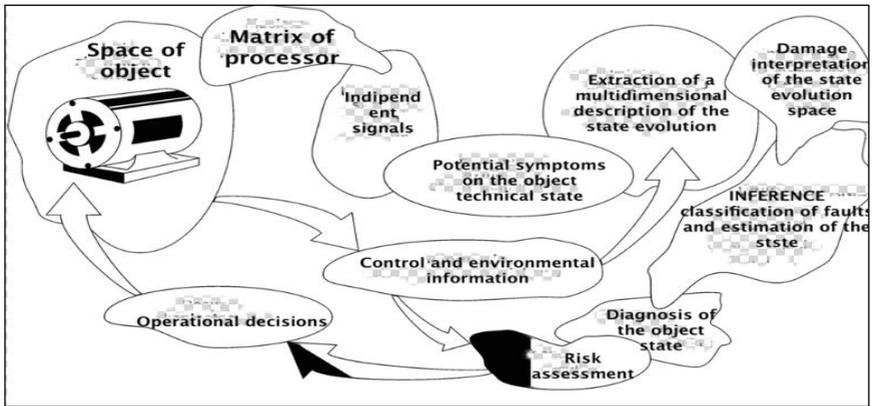


Figure 6 – The information flow and processing of intelligent monitoring system [7]

The last step of SAD is to develop a measure of further operation risk and make other decision of service type / repair resulting from the assessment of the status and information about the object and the environment. Thus it can be implemented, as shown graphically, and as you can see, for innovative objects which lack experience in operation and have no operating history there is only one chance to fulfill this mission by using a self-learning mode.

## Conclusions

Apart from tribology, reliability, security theory and the theory of operation technical diagnostics is one of the fundamental issues connected with rational operation and maintenance of objects. Understanding the physical phenomena occurring during the operation of the machine allows determine of the qualitative relationships taking place between destructive processes and the machine state. The growing demand for diagnostics goes hand-in-hand with applications of new inventions in microelectronics, computer technology, fractal theory, neural networks and artificial intelligence - effectively support diagnostics capabilities.

As for application of the prognosis methods in maintenance of real industrial machines (vehicles, combustion engines) it allows to confirm the following technical observations:

- the accepted optimization criteria identify unambiguously sets of parameters values with a large amount of information on the technical state,

variable usable lifetime of the engine, which confirms advisability of formulating of optimization procedures for sets of diagnostic parameters;

– for the combustion engine, the order of parameters  $\{P_{wtr}, P_{ol}, P_{spr}, P_{sil}\}$  is not maintained, which indicates that the accepted criteria for determination of sets of parameters identify unambiguously changes occurring during the machine lifetime, but having the largest amount of information on the technical state.

The basic condition for these considerations to achieve success is to establish a uniform wear of machinery, or provide knowledge of the measured symptoms trend (knowledge of intensity of damage). The phenomena that cause wear of assemblies are very complex and their formation is usually affected by a number of factors, so including them all in the forecasting process is impossible. Among them the most important are:

– the minimum number of times of symptoms measurement are required for prediction the object condition;

– variable degradation of the machine components during its operation, resulting in e.g. replacement or adjustment of the assemblies and changing service conditions (road conditions, climatic conditions, the quality of handling), cause abrupt changes in the value of diagnostic parameters;

– the maximum value of the time step in measurements;

– significance of diagnostic parameters contained in a set.

The issue of machine tests for the process of prognosis to be used for estimation of the technical state, as well as legal acts related to safety of the user and the environmental protection, are a stimulus to search for new prognostic methods, determining new measures and tools that can describe the current state in the machines specific work condition. This paper attempts to summarize basis mathematical rules to be used for machine condition forecasting based on multi-symptom prognostic methods.

The presentation of the procedures for machine state prognosis allows of determine the parameters, according to the accepted criteria: diagnostic parameters set, diagnostic parameters values prognosis and machine operation date estimation.

## References

1. R. Ahmad, S. Kamarudin, An overview of time-based and condition – based maintenance in industrial application, *Computers & Industrial Engineering*, 2012, (63), pp.135–149.
2. I.A. Birger, *Technical diagnostics*. Nauka, Moscow, 1978 (p. 32, in Russian).
3. C. Cempel, *Basics of vibroacoustic diagnostics of machines*, WNT, Warszawa, 1982.
4. G. Box & G. Jenkins, *Time series analysis, forecasting and control*, London, 1970.
5. L. Bowerman, R.T. O'Connell, *Forecasting and Time Series*, USA, Doxbury Press, 1979.
6. C. Cempel, H.G. Natke, An introduction to the holistic dynamics of operating systems, *Progress Report*, No.2, CRI - B - 2/92, 1996.
7. C. Cempel, M. Tabaszewski, *Multidimensional condition monitoring of machines in nonstationary operation*, *Mechanical Systems and Signal Processing* (21), 2007.
8. N.R. Draper, H. Smith, *Regression analysis of used*, BNInż., Warszawa 1973.
9. P. Eykhoff, *Identification in dynamical systems*, BNInż., Warszawa 1980.
10. W. Findeisen ii, *System analysis - base and methodology*, PWN, Warszawa 1985.
11. K. Mańczak, *Methods for identifying the multidimensional of control objects*, WNT, Warszawa 1971.
12. S. Niziński, R. Michalski, *Diagnosis of technical objects*, ITE, Radom 2002.
13. T. Uhl, J. Giergiel, *Identification of mechanical systems*, PWN, Warszawa 1990.
14. A.K.S. Jardine, D. Lin, D. Banjevic, A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 20, 2006, pp.1483–1510.
15. J. Luo, M. Namburu, K. Pattipati, L. Qiao, M. Kawamoto, *Model-based prognostic techniques*, in: *Proceedings of the IEEE, Systems Readiness Technology Conference*, 2003, pp. 330–340.

16. Ł. Muślewski: Study and assessment of transport system operation efficiency. Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 17, No. 4, Warsaw 2010.

17. V.T. Tran, B.S. Yang, M.S. Oh, Machine condition prognosis based on regression trees and one-step-ahead prediction, Mechanical Systems and Signal Processing, 22, 2008, pp.1179–1193.

18. J. Qu, M.J. Zuo, An LSSVR - based algorithm for online system condition prognostics, Expert Systems with Applications, 2012, 39 (2): 6068–6102.

19. H. Tylicki, B. Żółtowski, Determination methods of the next diagnosis term of transport vehicle, Archives of Transport, Warszawa, 2001.

20. Zeliaś, Prognosis theory (in Polish), PWE, Warszawa, 1984.

21. Żółtowski, The methods of virtual engineering in the research risks status, safety and environmental operated machines, UTP, Bydgoszcz 2012.

22. Żółtowski ii: The study of environmental risks losing the suitability of technical systems, UTP w Bydgoszczy, 2013.

23. M. Żółtowski, Management information systems in engineering and manufacturing, Publishing ITE - PIB, Radom, 2011 (in polish).

24. Żółtowski M.: Investigations of harbour brick structures by using operational modal analysis. Polish Maritime Research, No. 1/ (81), vol.21, ISSN 1233-2585, 2014, pp. 42–54.

25. Żółtowski M.: Assessment State of Masonry Components Degradation. Applied Mechanics and Materials Vol. 617(2014), Trans Tech Publications, Switzerland 2014, pp. 142–147.

26. Żółtowski B., Żółtowski M.: Vibrations in the Assessment of Construction State. Applied Mechanics and Materials Vol. 617(2014), Trans Tech Publications, Switzerland 2014, pp. 136–141.

## THE IMPLEMENTATION OF NEW SOFTWARE IN MODAL ANALYSIS BRICKS WALLS DEGRADATION MEASUREMENTS

**Mariusz Żółtowski**, Ph.D. in Engineering, Associate professor.  
UTP University of Science and Technology, Bydgoszcz, Poland

*The recommendation of the Polish law shows a need of control the production quality of wall elements which should provide in straight lines diagnostic tools. Requirement of this norm in range establishing the partial coefficients of wall safety of wall treats to settlement the category of works realization on building (A or B). They would support qualification «suitably qualified person controls» straight lines diagnostic methods indispensable the searches of new methods of opinion.*

*It recognizes the need of improvement the methods of investigation of wall building quality, and construction. In this article wall elements tests were made using the modal analysis and the delimitation of passage function FRF.*

*Keywords: the modal analysis, function of passage the FRF temporary course of trembling's.*

### **Introduction**

Existing constructions, such as: buildings, high poles, chimneys, foundations under machines, and roofs are subject to the environment and to trembling processes as well. The dynamics caused by wind, earthquakes, machines work, railway and road movement, explosions, and sea waves are important in the process of projecting constructions and influence safety and durability. Trembling in buildings decreases comfort of living, can have an influence on people working there, and can also threaten the safety level of the construction. The trembling can cause dynamic burden and even catastrophic destruction.

The previously mentioned recognizes the need of improving the methods for investigating the quality of wall building constructions, their diagnostic and the assessment of wall safety coefficients (PN - B-03002). The test used to determine the level of destruction of chosen materials was the

experimental modal analysis and the concurrent procedure of this method – the trembling estimators.

The new tools in this area of investigations concern the possibility of using modal analysis methods, and also modern logging and the processing of trembling to opinion the quality of wall elements. Practically it can be used for better understanding the behavior of constructions, which allows optimizing the projection and assessment of dangerous states.

The task of this study is to check the usefulness of new LMS Software and Matlab programs on the creation of stabilization diagrams and the calculation of function areas. The objective is to test if the state of materials can be shown in the size of these areas.

## 1. Measurement software

To measurements of temporary courses of the extortion and the answer, also the qualification of FRF and COH function the most modern measuring apparatus, named LMS TEST. XPRESS, was used. This software makes possible in easy way to conduct the modal analysis of wall elements and many different building constructions.

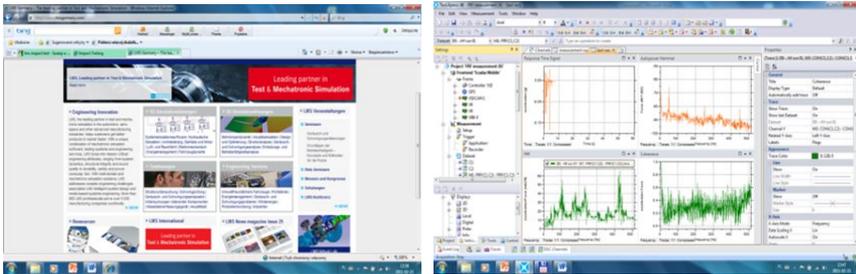


Figure 1 – Internet Shop window of manufacturer of software [[www.ects.pl](http://www.ects.pl).]

The program possesses an easy and friendly user interface. After the program is started a new project must be created by clicking on the new project icon. From this moment all measurements will be automatically recorded in the active project.

Defining all the necessary data for the calibration of the measuring track is the next step. Then, for the investigations to be conducted at this

stage the quantity of active measuring channels must be defined. The number of channels depends on the measuring card and the number of slots it contains.



Figure 2 – Example measuring segment and calibration window [www.ects.pl]

For the measurement of temporary courses of strength two channels should be used. First calibrate the modal hammer (strength input), and second the output of trembling accelerations (signal passage through element). With measurements obtained from this channel calibration allows developing the FRF function. The calibration window that is shows all the sensors that can be used to make the measurements, from which two must be selected: C1 and C2. This article shows that using the LMS program it is possible to make measurements FRF function in wall elements and to obtain a graphic visualization of the FRF function. The measurements were made for different kind of materials in all directions.

## 2. Getting the stabilization diagrams and FRF functions diagnostics

To get the stabilization diagrams from the LMS TestXpress 4A software it is necessary to proceed in the way that is shown below. The program records the time courses in xdf files (Test Xpress Date File).

With the files open in Vioma, it is possible to generate the stabilization diagram thanks to the LSCE function. A new window will appear which contains data that will be used to create the stabilization diagram by clicking on Estimate poles.

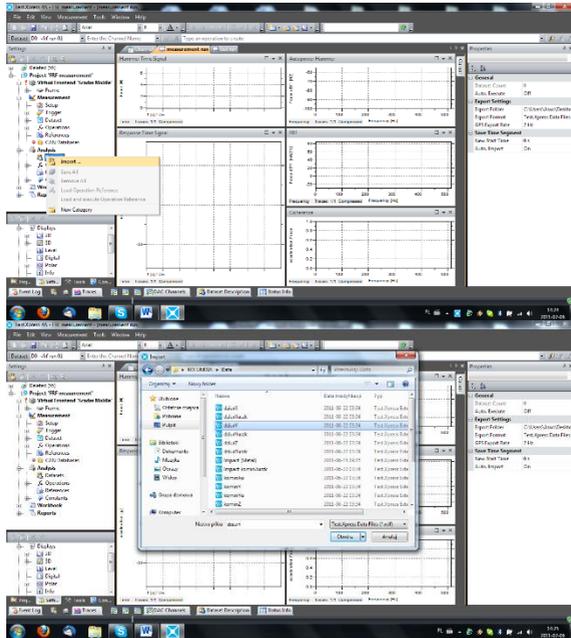


Figure 3 – Importing the files of recorded measurements

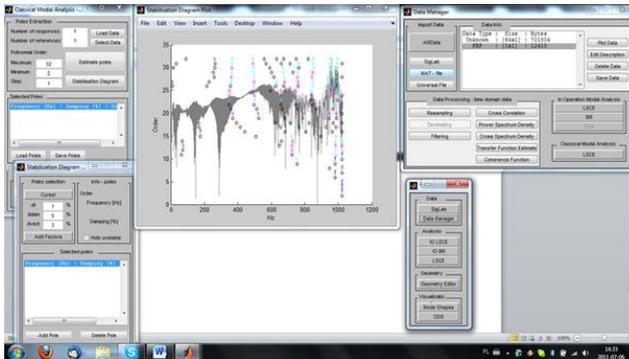


Figure 4 – Stabilization diagram generated in VIOMA

The stabilization diagram provides information on the state of materials; however it is not comprehensive of all that is taking place within the material in the destruction process. For this purpose, a FUNCTIONS ANALYSIS program was created to give further information about the

material state based on the coherence function and its areas, which will mark the difference between good and bad materials.

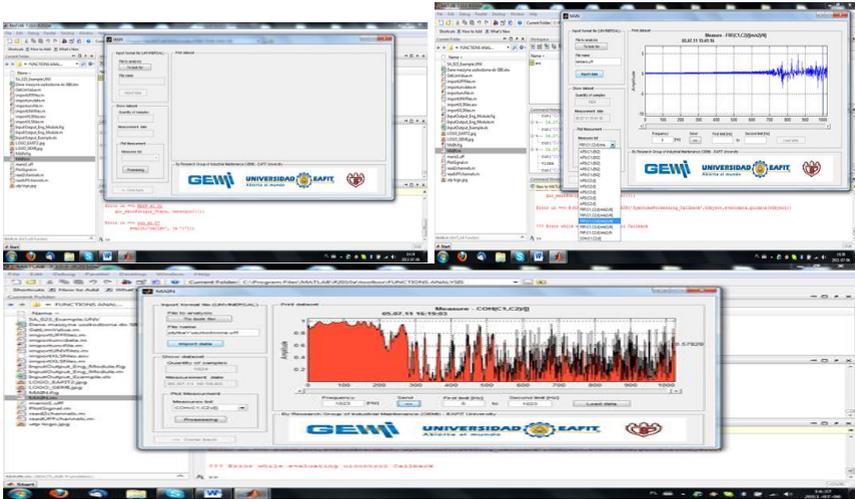


Figure 5 – The main screen of the FUNCTIONS ANALYSIS program

The programs open the unv files that were create earlier by selecting them and clicking on the Import date icon. The program opens a new window that shows all the recorded data the file contains. From this data, the program creates the drawing of the selected function.

Thanks to the slider located below the drawing it is possible to mark the function areas which will be counted. The marked area is shown in red. For this investigation, the whole range of values was considered, explaining why the whole area shown in Fig. 5 is in red, and considered the FRF and cohesion functions.

### 3. Measurements results

The results of measurements for wall brick are illustrated below. These results are introduced by comparing the calculations of three items in the axles X, Y, and Z: stabilization diagrams, the counted area of the FRF function, and coherence function.

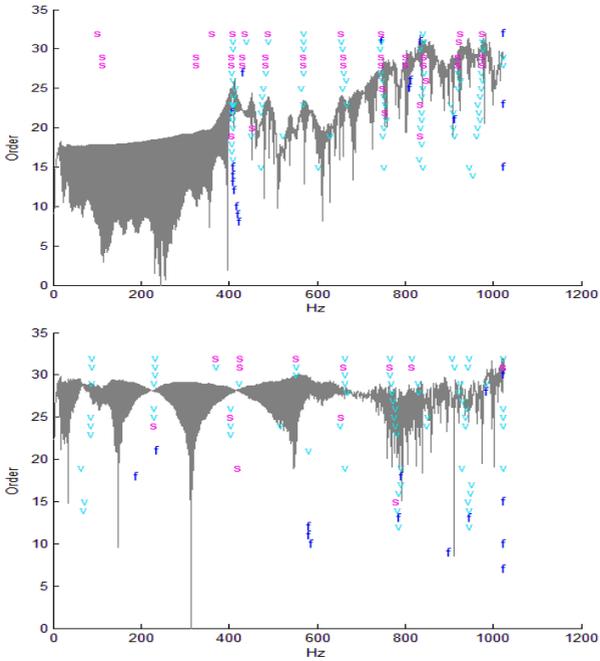


Figure 6 – Stabilization diagrams for good and destroyed brick in axel X

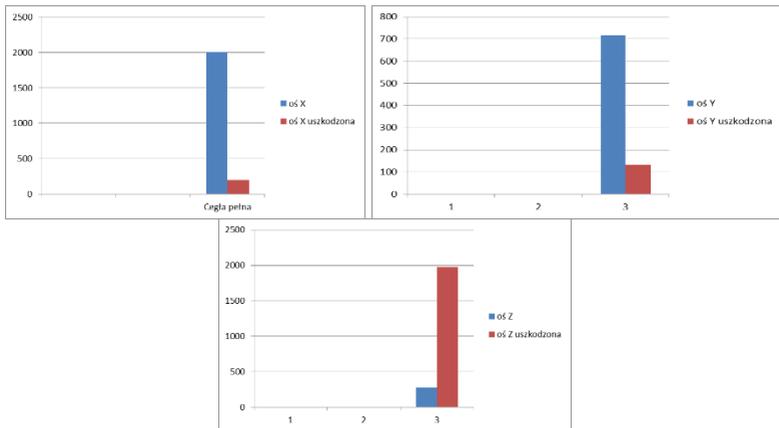


Figure 6 – The visualization of the calculation areas for axes X, Y, and Z

## Summary

The introduced results of this investigation show the existing possibility of distinguishing changes of material properties that influence the properties of materials. The investigation confirmed that the application is useful as it makes possible to create stabilization diagrams and area counting of functions in Matlab. The data obtained from the stabilization diagrams and area counting of the functions allows assessing the state of materials by comparing their fitness.

From the results obtained, the following statement can be made:

For a full fit brick, a stable pole can be generated in the X axle at the level of 420 Hz of the stabilization. In case of a damaged brick, it is not possible to generate a stable pole in the stabilization diagram. The situation is the same when comparing X and Y stabilization diagrams. This means that for a full fit brick a stable pole can be generated in the X axle at the level of 790Hz of the stabilization. In case of a damaged brick, it is not possible to generate a stable pole in the stabilization diagram.

For axle Z, it was not possible to generate stabilization diagrams neither for good or bad materials. The studies performed in this axle did not provide any answers and therefore further investigation should only be performed in the first to axles, X and Y.

By comparing the area of functions, it was possible to notice that the field of the FRF function for fit materials is many times larger than for damaged units. The situation is similar when studies the results of the coherence function, in which fit units have a larger function area than damaged ones.

## References

1. Amelińczyk A.: Optimization in problems steering and management. Ossolineum, Wrocław, 1984.
2. Bendat J. S., Piersol A. G.: Method of analysis and measurement of random signals. PWN, Warszawa, 1996.
3. Bishop R. D., Gladwell G. M., Michaelson S.: Matric analysis of tremblings. PWN, Warszawa, 1972.
4. Broch J. T.: Mechanical Vibration and Shock Measurements. Brüel & Kjaer, 1980.
5. Cempel C.: Practical Wibroakustyka. Warsaw of, PWN, 1989.

6. Eykhoff P.: Identification in dynamic arrangements. BNInż. Warsaw.1980.
7. Giergiel J., Uhl T.: Identification of mechanical arrangements. PWN, Warszawa, 1990.
8. Giergiel J.: Mechanical trembling. AGH, Kraków, 2000.
9. Kaczmarek J.: Basis of theory of trembling and dynamics of machines. Higher Morska Szkoła, Szczecin, 1993.
10. Morrison F.: Art of modelling of dynamic arrangements. WNT, Warszawa, 1996.
11. Paczkowski W. M.: Chosen problems of discreet evolutionary optimization. Papers PS of, Nr 554, Szczecin, 1999.
12. Tylicki H.: Optimization of process of forecasting of technical state of motor vehicles. Qualifies for professorship trial of No. 86, ATR Bydgoszcz, 1999.
13. Uhl T., Lisowski W.: Practical problems of analysis of modal construction. CCATIE, Kraków, 1996.
14. Uhl T.: By computer helped identification of models of mechanical constructions. WNT, Warszawa. 1997.
15. Żółtowski M., Orłowicz R.: Chosen questions of acoustic isolation of wood ceilings. Ogólne building, ZN ATR, Bydgoszcz 2005, s.367-374.
16. Żółtowski M.: Identification of the vibration threats of building objects., ZN ATR, Bydgoszcz 2005, s. 375–382.
17. Żółtowski M.: Measurements of property of acoustic materials. DIAGNOSTICS, PTDT of, PAN, vol. 33, 2005.

## STATE CHANGES IN VIBRATION DIAGNOSTIC AND METHODS OF MODAL ANALYSIS

**Bogdan Żóltowski**, Doctor of technical Sciences, Professor,  
**Mariusz Żóltowski**, Ph.D. in Engineering, Associate professor.  
UTP University of Science and Technology, Bydgoszcz, Poland

*Presented considerations of this work includes selected issues in the area of statistical procedures use in vibration measures study and modal analysis methods to assess the building structures and machines state. The indicated statistical procedures are particularly important in vibration and modal research, where the multidimensionality of diagnostic signals requires a wide application of various statistical procedures at the stage of processing and decision-making. This paper presents the MATLAB program for determination of the Symptoms matrix, software tools for reading and exporting files in the .unv format, the OPTIMUM computer algorithm, the Singular Values Decomposition (SVD) computer algorithm and the state matrix analysis program using the MAC theory.*

*Keywords: statistical methods, exploitation, diagnostics, redundancy, product life cycle.*

### Introduction

The achievements presented in this work are a result from the implementation of many studies related to the description and statistical verification of the vibrational energy distribution usefulness in the state degradation assessment. Both the developed field of vibration diagnostics and applied modal analysis methods are based on the vibration process and use in the research as basic – different vibration estimators. The physical aspects of the vibration process are described in terms of time, frequency and amplitudes, giving in practice a large number of measures (often in excess) of the energy distribution containing a lot of information about the processes studied (objects). This forces the need for widespread use of statistical methods when developing research results for making rational decisions.

Diagnostic experiments should enable quantitative assessment and in-

depth analysis of destructive processes occurring in constructions and machines, mainly at the stage of use and maintenance. An in-depth analysis of the results of the experiment, which is the basis for the operational decisions to be taken, should each time contain answers to users' questions [6, 15, 36]:

- how to successfully recognize the technical condition of a structure, in general?
- how long and under what load can the system operate for the next technical support?
- how to change or shape the system load for maintaining task ability?
- what are the most advantageous ways and means of renewing the system?
- how to protect the system against the destructive effects of external factors?

Only a comprehensive application of diagnostics and effective diagnostic procedures for the state, distinguished in dedicated diagnostic experiments, guarantee the reliable operation of technical systems in the adopted structures of exploitation [8, 38, 41].

Modern technical diagnostics very widely uses the possibilities offered by such a universal tool as virtual engineering. For a more effective use of these possibilities, there is a need to constantly search for new, more effective tools supporting the diagnostic process, as well as modeling phenomena whose characteristic parameters allow monitoring the increasing number of available symptoms [39].

The technical systems state analysis is compound for a set of mathematical procedures that they can be related to each other to develop analysis of superior order and to find relationships between procedures and states in different systems. There are many relationships that can be possible with the procedures, in this work is proposed only a few relations, it is possible to formulate other relations of procedures to do another kind of methodologies or analysis.

Authors of many studies assessing the correctness of diagnostic procedures most often use single-criterion indicators, which do not consider in detail the impact of operating conditions of technical means (the changing model of destruction) on the quality of formulated decisions (diagnoses and forecasts) [4,6]. This is due to the fact that the status recognition procedures are very sensitive to the complexity of the system structure and the randomly variable wear process. There is, therefore, a need to conduct

sensitivity tests of these procedures depending on factors characteristic of the actual conditions of existence in service [5, 10].

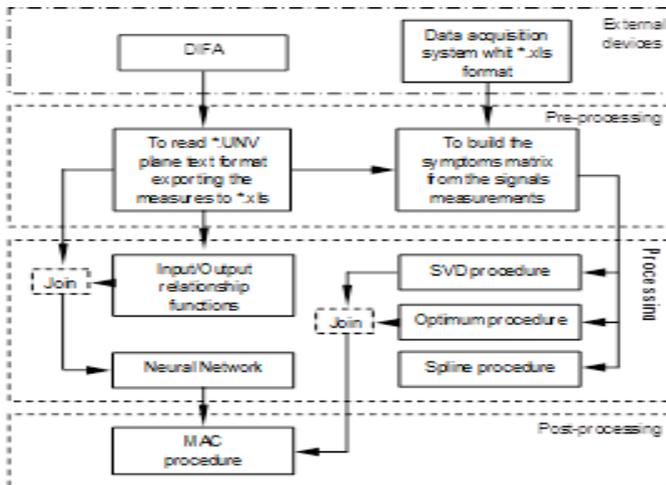


Figure 1 – Diagram of the technical state analysis

In modern technical systems, considering technological advances as well as developed and available possibilities for signal acquisition and processing, it is possible to obtain a large amount of information from signals registered in various system states. This information must be processed and interpreted by the available procedures for the statistical processing of results, which is often used by technical staff to determine the status [16, 25]. Recognition of the degradation status of a complex system is based on a multidimensional analysis, for which it is possible to assess the relations between variables whose values have changed as a result of the developing damage [3, 14, 29].

More and more often, dynamic state identification tests used to assess changes in the state of degradation, damage development and location of causes of the condition were the basis for the development of a specialized statistical software system. It enables acquisition and processing of measurement data, creation of many measures of diagnostic signals, testing their diagnostic sensitivity, statistical analysis of results and diagnostic inference [29, 33].

The subject of this work includes selected fragments of important research issues in the following areas:

- statistical procedures in the measurement of vibration energy flow measurements (acquisition, ordering, redundancy, modeling and presentation of results from tests and measurements);
- estimators of vibration diagnostics in studies of degradation of the condition of structures and construction machines (identification of needs and formulating requirements for measures, processes, products and constructions);
- rules for the use of modal analysis methods in the examination of structures and construction machines (rules and procedures for practical applications);
- maintaining the fitness of structures and technical facilities (shaping technical readiness and safety in the operation of facilities, introduction of new technologies and technical solutions, design, construction and rational use).

Studies of energy distribution measures (in vibration diagnostics and modal analysis methods) are used in many fields as a result of displacement, velocity or deformation measurements. Indirectly they serve to quantify the characteristics of material properties, e.g. functional properties, the state of destruction of the structure or the load-bearing capacity of old buildings in the field of cultural heritage. They can also be used in structural quality tests to detect damage affecting the fatigue properties of a structure. Vibration assessments of engineering structures degradation also enable assessment of the degradation status of materials, elements and structures, assessment, or delamination of composite panels used in industry.

Measurements of energy distribution used in the studies use various estimators of vibration diagnostics and modal analysis, the usefulness of which in indicated areas should be assessed by dedicated and specialized statistical procedures.

## **1. Statistical research space**

All studied mass phenomena are characterized by certain regularities, which are difficult to study and not all are detected and investigated. Statistical assessments used for this characterize the quantitative side of the studied phenomena in an inseparable connection with their qualitative side. It should be remembered that in nature there are no numbers used by statistics, but only things and processes [4, 25].

Statistical methods using a numerical description make it possible to make the necessary generalizations of a large amount of detailed information. By using generalized statistical methods to make the necessary generalizations in the statistical description, order is introduced in the apparent chaos of random events. This allows detection of regularity in the form of cause and effect relationships occurring in the studied phenomena [2, 17, 23].

The massiveness of the data requires the use of computer-aided research in the field of methods and means of modeling, acquisition, processing, inference, visualization, dissemination and storage of information. The current development of science requires from engineers the use of modern computer applications, thanks to which it becomes possible to make complex calculations and to analyze the obtained results in a short time [39].

In general, the proposed methodology for studying the consumption state includes detailed procedures for the development of: a data acquisition system and their processing and statistical inference - repetitive in many different issues of testing many measures of vibration signals.

The control tools of the considerations are the proposed statistical procedures (Figure 2) that make up the measurement system of vibration energy propagation (acquisition, ordering, redundancy, modeling and presentation of results from tests and measurements) [1,3,26].

The obtained research data (uncertain, incomplete, random) are subjected to analysis and assessment of regularity in the field of mass phenomena. For the purpose of highlighting the main components of the observation matrix, the obtained results are combined into control charts, which are subjected to painstaking research in the scope of:

a) data presentation:

- statistical series: detailed, distributive, temporary;
- statistical plots: linear, bar, point;
- statistical tables: working - raw statistical material subjected to further processing.

b) use statistical tools to describe the structure of the community:

- arithmetic mean – average value,
- geometric mean – used to examine relative changes in a given feature,
- dominant – the value of which is the most probable,

- range – difference between the maximum value and the minimum value of a given feature,
- standard deviation – average deviation of the value of a given feature from its arithmetic mean,
- variance – the arithmetic mean of the squares deviations of the value of the feature from its arithmetic mean,
- coefficient of variation – determines the degree of diversification of a given feature in the whole population,
- asymmetry coefficient – determines the direction and strength of asymmetry,
- concentration factor (kurtosis).

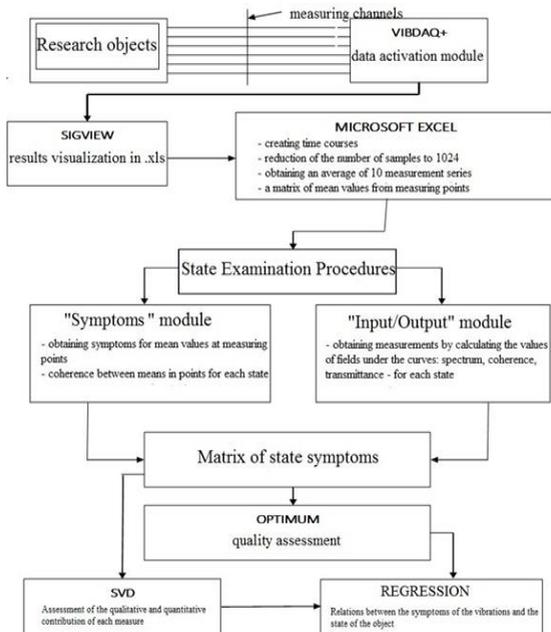


Figure 2 – Changes algorithms in the state of structural degradation

These analyzes determine the initial and justified selection of qualitative measures, further processed to highlight the components to the main model. Statistical analysis of the acquired data is also the basis for many interesting description and trends of the events studied. Basic statistical surveys use many methods for qualitative and quantitative analysis of the

data obtained. These include: analysis of variance, correlation analysis, regression analysis, factor analysis, discriminant analysis, time series analysis, canonical analysis, others, generally available in various informational statistical procedures [11,34].

The MATLAB program is used for basic engineering applications used in the analysis of results. This program is used for computer calculations, combining data logging and processing, specialized calculations, visualization and an easy-to-use programming environment [17]. The program contains the following applications:

- mathematical algorithms and their calculation,
- the creating own calculation algorithms,
- modeling and simulation algorithms,
- data analysis and visualization,
- engineering graphics applications,
- application for creating own programs, creating their interface and graphical data analysis.

Depending on the application, the program includes specialized packages of calculation procedures from any areas of knowledge called toolboxes, for example: SIMULINK, Signal Processing Toolbox, STATGRAF, STATISTICA and others. Such packages make it possible to obtain basic knowledge in a given scope and apply this knowledge to solve problems [2, 13, 39]. Statistical procedures in studies of vibration energy propagation measures supports the conducted experiments and have been verified in many publications describing vibration tests, modal analyzes and ex-test systems.

To accomplish the objectives of the above tasks, an engineering application was developed: State Examination Procedures (PBS) – enabling the generation of dedicated sets of variables of independent symptoms of the degradation status of the tested structures and machines.

## **2. Main elements of the developed PBS system**

Identification tests of structures and machines used to assess changes in the condition, damage development and location of causes of the existing condition constitute the basis for creating a specialized software system for statistical procedures. Modules of the developed system enable acquisition and processing of measurement data, creation of many signal measures, testing their sensitivity, statistical elaboration and inference.

The program modules correspond to the subsequent stages of the statistical survey of technical objects [25, 31, 40].

The processing of vibration processes to obtain the values of the vibration signal (estimators) allows you to generate own and mutual measures of the vibration signal that are used in various applications. The dialog boxes of the proposed module "Symptoms" used to generate own and mutual measures of the signal are shown in figure 3.

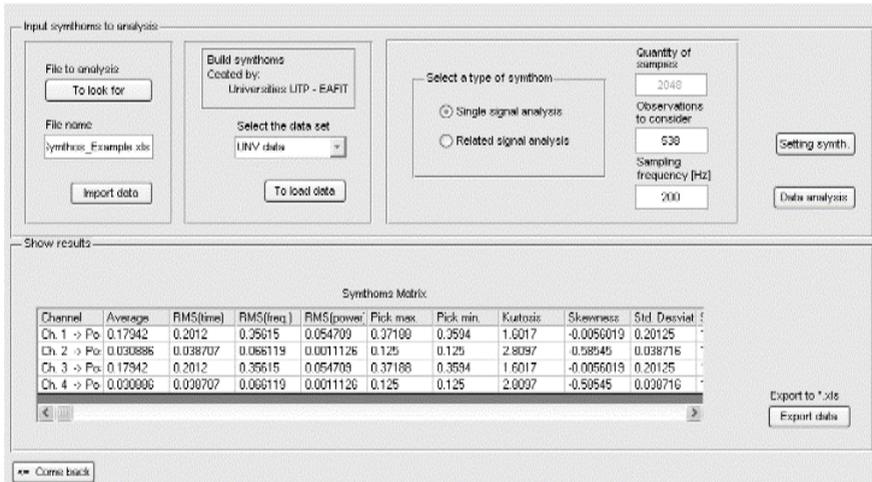


Figure 3 – Module window with the generated matrix of vibration estimators [31, 38]

### 3. The ideal point method – OPTIMUM

Measured signals represent the space of observation, and indirectly the development of damages in the structure or construction machine. Using optimization, you can characterize the sensitivity of measured symptoms to state changes based on distance measurements from the ideal point [24, 27, 33]. The algorithm presented below enables statistical evaluation of individually elaborated symptoms, resulting in the final qualitative ranking list of their sensitivity and usefulness. The next steps of this procedure and its result are shown in figure 4.

Having statistically significant good symptoms, it is possible to build cause and effect models on the state conclusion stage. However, the quality of the model depends on the number of measures taken, which can be

indirectly estimated in the simplest regression models with the  $R^2$  coefficient [18, 22].

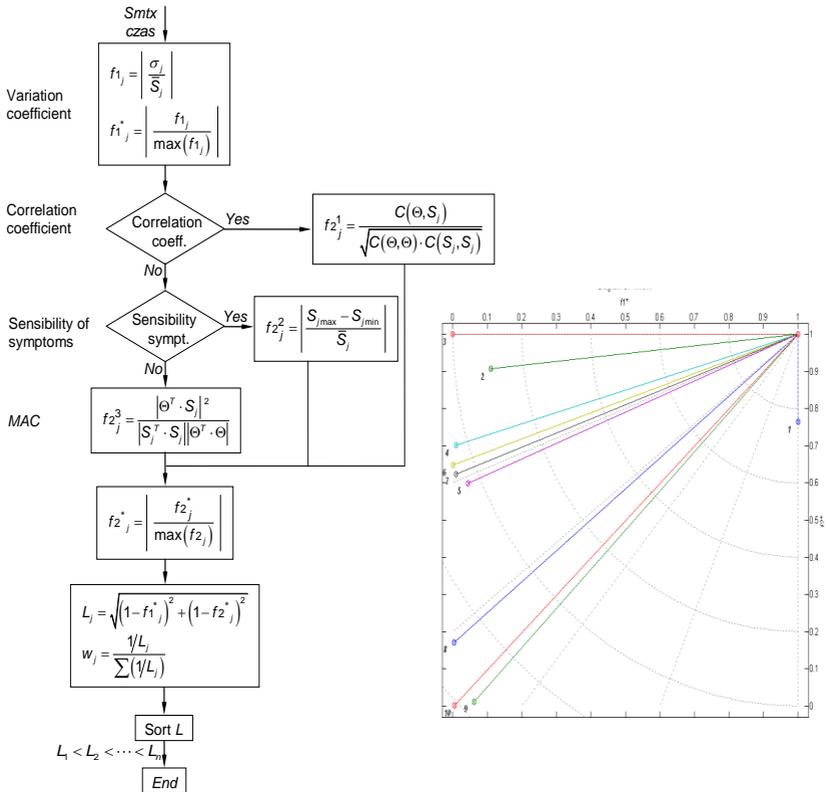


Figure 4 – OPTIMUM procedure algorithm and an example of its result [30]

#### 4. Multidimensional system observation - SVD

SVD (Singular Value Decomposition) is a numerical procedure for multivariate tracking of changes in an object's degradation state. Detects evolving lesions and selects the maximum informational status symptoms (quantitative assessment) in a given research situation. The procedure uses all measured signals to assess changes in the state of the technical system under study, without losing any information possible to obtain. The algorithm of the method and an exemplary result of the applied procedure are presented in figure 5.

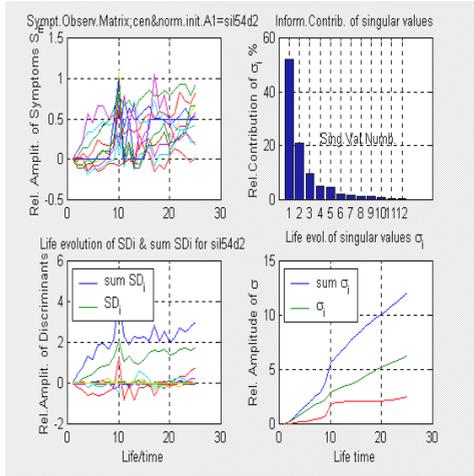
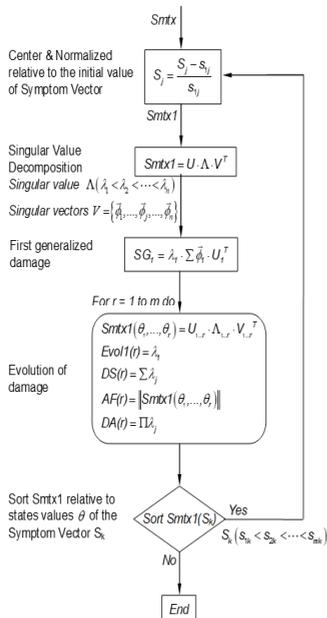


Figure 5 – The algorithm of the SVD procedure and an exemplary result of its operation [4, 25]

The SVD procedure in the newer software implementations is modular (base) and allows further development of the algorithm, automatically searching for unnecessary measurement symptoms for a given research topic.

## 5. Information system for degradation studies

The degradation status identification tests of various technical facilities are increasingly the basis for the creation of a specialized software system. This program includes software for the needs of: vibration acquisition, processing, statistical inference and visualization. It enables the acquisition and processing of measurement data, the creation of many measures of diagnostic signals, their testing of diagnostic sensitivity, statistical elaboration and diagnostic inference.

The presented procedures of statistical surveys are the sum of experience from theoretical and experimental research of the field of vibration

and modal testing, supported by statistical procedures [5, 20, 29].

The program structure is a modular structure composed of the following modules (figure 6):

**A.** Read .unv module that allows processing from UNV format to XLS format.

**B.** Symptoms module that allows defining, determining and creating a matrix of many measures of vibration processes.

Modules **A** and **B** form part of the software responsible for acquiring and processing vibration processes in order to obtain a matrix of observations of vibration estimates.

**C.** The Optimum module uses the ideal point method for individual assessment of the qualitative sensitivity of the measured symptoms of vibration processes.

**D.** SVD module (multidimensional description of the state of the tested object) used to quantify the generalized damage measures and to assess the damage development.

**E.** Input / Output module used to analyze the similarity of vibration processes and to determine various operational measures of the tested object.

**F.** Optimization module used to develop models and data in genesis (methods of approximation and interpolation), diagnosing and forecasting states.

**G.** Network module using neural networks to classify states based on the obtained results in the form of time series.

Modules **C**, **D**, **E**, **F**, **G** are elements of statistical inference and evaluation of cause-and-effect relations, and also serve to visualize the results obtained.

**H.** The MAC module is a procedure allowing the comparison of different vectors treated as a measure on the entry and exit of a system.

The exemplification of the developed solutions was carried out in the operational tests of selected objects (railway transport system, construction elements and constructions, internal combustion engines, gears, bearings) in which verification of modeling procedures and degradation status was carried out on the basis of actual signal measurements.

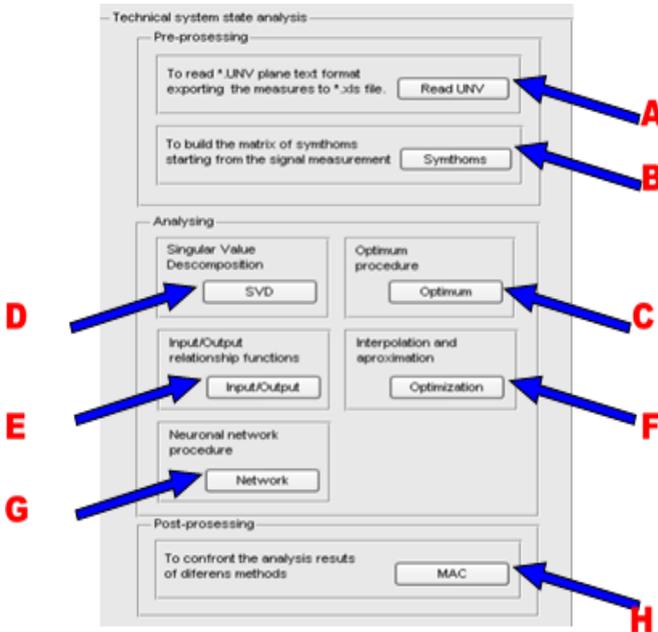


Figure 6 – Main dialog window of the proposed statistical survey system [31, 32, 34]

## Summary

More and more frequently conducted technical systems identification tests, also used to assess changes in this condition, damage development and location of the existing condition, constitute the basis for the creation of a specialized statistical survey system.

It enables the acquisition and processing of measurement data, the creation of many measures of diagnostic signals, their testing of diagnostic sensitivity, statistical elaboration and diagnostic inference.

The content of this study is the sum of experience from theoretical and experimental research in the field of vibration and modal research of various objects, supported by statistical procedures.

The implementation of the above assumptions required the use of the most modern specialized measuring equipment and programs enabling the execution of defined tasks at the required level, characterized by optimal technological, price and quality efficiency.

The proposed procedures have been verified in many studies (compact

studies and publications), indicating their original capabilities useful in many applications [32, 43, 44].

## References

1. Betz D.C.: Application of optical fibre sensors for structural health and usage monitoring. Dynamics Research Group, Department of Mechanical Engineering, The University of Sheffield. Sheffield, 2004.
2. Brown D., Allemang R.: Multiple Input Experimental Modal Analysis. Fall Technical Meeting, Society of Experimental Stress Analysis, Salt Lake City, UT, November 1983.
3. Bubnicki Z., Grzech A.: Inżynieria wiedzy i systemy ekspertowe, Wyd. PW, Wrocław, 1997.
4. Castaneda L., F.: Multicriterial system for evaluating the safety and comfort in railway vehicles. Ph.D. thesis, UTP, Bydgoszcz, 2007.
5. Cempel C.: Ewolucyjne modele symptomowe w diagnostyce maszyn, Materiały I Kongresu Diagnostyki Technicznej, Gdańsk 1996.
6. Chromiec J., Strzemieczna E.: Sztuczna inteligencja – metody konstrukcji i analizy systemów ekspertowych, Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa, 1994.
7. Ewins D., J.: Modal Testing: Theory, Practice and Application. Hertfordshire: Research Studies Press, 2000.
8. Ewins D.J., Inman D.J.: Structural Dynamics: Current Status Directions. Baldock: Research Studies Press, 2001.
9. Guillaume P.: Department of Mechanical Engineering, Vrije Universiteit Brussel, Pleinlaan 2, B -1050 Brussel, Belgium.
10. Heylen W., Lammens S., Sas P.: Modal Analysis Theory and Testing. (ISBN: 90-73802-61-X), 1998.
11. Inman D.J., Farrar C.J., Lopes V., Valder S. : Damage prognosis for aerospace, civil and mechanical systems. John Wiley & Sons, Ltd. New York, 2005.
12. Jackson P.: Introduction to expert systems, Addison-Wesley Reading, Massachusetts, 1986.
13. Korbicz J., Kościelny J.M., Kowalczyk Z., Cholewa W.: Diagnostyka procesów. WNT, Warszawa, 2002.
14. Maia N.M., Silva J.M.: Theoretical and Experimental Modal Analysis. Taunton: RS Press, 1997.

15. Michalski R.: Pokładowy system nadzoru maszyn ze sztuczną inteligencją, ART, Olsztyn, 1997.
16. Moczulski W., Ciupke K.: Knowledge acquisition for hybrid systems of risk assessment and critical machinery diagnosis. ITE Radom, 2008.
17. Moczulski W.: Metody pozyskiwania wiedzy dla potrzeb diagnostyki maszyn, Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej, Mechanika z. 130, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1997.
18. Pintelon R., Schoukens J.: System Identification: A Frequency Domain Approach. IEEE Press and John Wiley & Sons, 2001.
19. Peeters B., Ventura C.: Comparative study of modal analysis techniques for bridge dynamic characteristics. Mechanical Systems and Signal Processing, 2011.
20. Staszewski W.J., Boller C., Tomlinson G.R.: Health Monitoring of Aerospace Structures. John Wiley & Sons, Ltd. Munich, 2004.
21. Tylicki H.: The Concept of Machine State Recognition System (in Polish). XII Conference "Wibrotech", Kraków, 2006.
22. Uhl T.: Computer-aided identification of mechanical structure models. WNT (Scientific Technical Publishers), Warszawa, 1997.
23. Williams R., Crowley J., Vold H.: The multivariate mode indicators function in modal analysis. Proceedings of International Modal Analysis Conference, 2015.
24. Żółtowski B., Żółtowski M.: Vibration signals in mechanical engineering and construction. ITE-PIB, Radom, 2015.
25. Żółtowski B., Żółtowski M.: The use of modal analysis to examine the bricks walls elements. JVE, 2014 pp.174–186.
26. Zoltowski B., Zoltowski M.: Vibrations in the Assessment of Construction State. DYN-WIND, Applied Mechanics and Materials, Vol.617, pages: 136–141, Donovaly, SLOVAKIA, 2014.
27. Żółtowski B., Cempel C.: Engineering of diagnostics machines. PTDT, ITE – PIB, Radom, 2004.
28. Żółtowski B., Tylicki H.: The chosen problems of the exploitation of machine engines. PWSZ, Pila, 2004.
29. Żółtowski B., Łukasiewicz M.: Diagnostyka drganiowa maszyn. ITE-PIB, Radom, 2012.
30. Żółtowski B., Landowski B., Przybyliński B.: Projektowanie eksploatacji maszyn. UTP, Bydgoszcz, 2012.

31. Żółtowski B., Łukasiewicz M., Kałaczyński T.: Techniki informatyczne w badaniach stanu maszyn. UTP, Bydgoszcz, 2012.
32. Żółtowski B.: Metody inżynierii wirtualnej w badaniach stanu, zagrożeń bezpieczeństwa i środowiska eksploatowanych maszyn. Wyd. UTP, Bydgoszcz, 2012.
33. Żółtowski M.: Modal analysis in the investigation of building materials. ITE-PIB, Radom, 2011.
34. Żółtowski M.: The computer systems of management in the engineering of the production. ITE -PIB, Radom, 2011.
35. Żółtowski M.ii.: Truss harbour cranes modal design elements research. Polish Maritime Research No 4(88), vol.22/2015.
36. Żółtowski M.: Identification of the vibration threats of building objects. ATR, Bydgoszcz 2005, s.375–382.
37. Żółtowski M.: Investigations of harbour brick structures by using operational modal analysis. Polish Maritime Research No 1/2014.
38. Żółtowski M.: Operacyjna analiza modalna w badaniach konstrukcji budowlanych. WU UTP, Bydgoszcz, 2012, s.210.
39. Żółtowski M.: Informatyczne systemy zarządzania w inżynierii produkcji. ITE-PIB, Radom, 2011.
40. Żółtowski M., Żółtowski B.: Vibrations signal to the description of structural damage of dynamic the technical systems. Liptowski Mikulesz, 2015, pp. 44–49.
41. Żółtowski M.: Opis drganiowy konstrukcji budowlanych. Logistyka nr. 6/2014, 412.
42. Żółtowski M.: Investigations of harbour brick structures by using operational modal analysis. Polish Maritime Research, No. 1/(81), vol.21, 2014, pp. 42–54.
43. Żółtowski M., Liss M.: The use of modal analysis in the evaluation of welded steel structures. Studies and Proceedings of Polish Association for Knowledge Management, Tom 79, Bydgoszcz 2016, pp. 233–248.
44. Żółtowski M., Martinod R.M.: Technical Condition Assessment of Masonry Structural Components using Frequency Response Function (FRF). Masonry International Journal of the International Masonry Society, Vol. 29, No 1, 2016, pp. 23–26.

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КУРСОВОГО ДВИЖЕНИЯ  
КОЛЕСНОГО ТЯГАЧА С ПОЛУПРИЦЕПОМ  
С НЕГОЛОНОМНЫМИ СВЯЗЯМИ**

**MATHEMATICAL MODEL OF THE COURSE MOTION  
OF A WHEELED TRACTOR WITH A SEMITRAILER  
WITH NONHOLONOMIC CONSTRAINTS**

*Билык С.Ю.,*

Белорусско-Российский университет,  
г. Могилев, Республика Беларусь

*S. Bilyk,*

Belarusian-Russian University,  
Mogilev, Republic of Belarus

*В работе изложена методика составления математической модели движения колесного тягача с одноосным прицепом для произвольного криволинейного движения, включающей динамические уравнения в обобщенных координатах, и уравнения неголономных связей (неинтегрируемые уравнения связей), полученных из условия отсутствия скольжения контактов колес относительно опорной поверхности. Математическая модель позволяет решение прямой и обратной задачи динамики движения колесного тягача с полуприцепом.*

*Ключевые слова: обобщенные координаты, кинетическая энергия, уравнения кинематических связей, механическая система.*

*The paper describes a method for compiling a mathematical model of the motion of a wheeled tractor with a uniaxial trailer for an arbitrary curvilinear motion, including dynamic equations in generalized coordinates, and equations of nonholonomic constraints (non-integrable constraint equations) obtained from the condition that the wheel contacts do not slip relative to the support surface. The mathematical model allows solving the direct and inverse problem of the dynamics of the motion of a wheeled tractor with a semitrailer.*

*Keywords: generalized coordinates, kinetic energy, kinematic coupling equations, mechanical system.*

## **Введение**

Колесные машины относятся к неголономным механическим системам. Механика неголономных систем, оформилась как самостоятельный раздел аналитической механики (механики Ньютона) не так давно – в 1894 году в книге Г. Герца (1857–1894). Ему принадлежат термины «голономные и неголономные системы».

*Связью*, наложенной на систему материальных точек  $V_j (j=1, 2, \dots, N)$ , называется условие, налагаемое в процессе движения системы на координаты точек  $x_j (j=1, 2, \dots, N)$  скорости  $\dot{x}_j$  и ускорения  $\ddot{x}_j$ . Данные условия выражаются уравнениями, имеющими вид:

$$f(x_j, \dot{x}_j, \ddot{x}_j, t) = 0. \quad (1)$$

Условно уравнение (1) в виде векторной форме:

$$\varphi_k(\bar{x}_j, \bar{\dot{x}}_j, \bar{\ddot{x}}_j, t) = 0.$$

Если дифференциальное уравнение, выражающее связь, неинтегрируемое, т. е. его нельзя привести к некоторому эквивалентному соотношению вида

$$f(x_j, t) = C, \quad (2)$$

т.е. только между координатами точек  $x_j$  и  $t$ , то такая связь называется *неголономной*. В зависимости от того, входят ли в это уравнение только вторые или первые производные от координат, неголономная связь может быть первого или второго порядка.

Понятие интегрируемости и неинтегрируемости дифференциальных уравнений подразумевается следующее:

- нахождение конечных уравнений только между координатами точек системы в определенной области их изменения, эквивалентных данным дифференциальным уравнениям;

- нахождение координат  $x_j = \varphi_j(t)$  как определенных функций, удовлетворяющих данной неголономной связи, представленной дифференциальным уравнением.

Неголономная связь может быть неинтегрируемой и интегрируемой.

Например, связь

$$x \cdot \dot{x} + y \cdot \dot{y} + z \cdot \dot{z} = 0 \quad (3)$$

голономна, так как из ее уравнения следует уравнение  $x^2 + y^2 + z^2 = 0$ , т.е. конечное соотношение, выражающее зависимость между координатами.

При решении инженерных задач, например, исследование динамики движения колесных машин часто приходится решать задачи определения законов движения в зависимости от времени, а также определение реакций связей качения колес с опорной поверхностью с целью определения тяговой динамики и устойчивости курсового движения. Математические модели, позволяющие решение поставленных задач включают динамические уравнения движения машин и уравнение кинематических связей, накладываемых на качение колеса. При этом, наибольшую сложность представляют создание уравнений кинематических связей.

### **Основная часть**

*Цель исследований* – разработать математическую модель движения неголономной механической системы, состоящей из колесного тягача и колесного полуприцепа с целью исследования кинематических параметров его движения и определения реакций связей колес с опорной поверхностью.

Для составления математической модели криволинейного движения колесного тягача с полуприцепом используем плоскую расчетную схему представленную на рисунке 1.

На рисунке 1: 1 – колесный тягач; 2 – полуприцеп; 3, 4 – задний и передний мосты тягача; 5 – ось полуприцепа;  $C$ ,  $C_{\Pi}$  – центры

масс тягача и полуприцепа;  $K_1, K'_1, K_2, K'_2$  – колеса заднего и переднего моста тягача 1;  $K_3, K'_3$  – колеса полуприцепа;  $a_1, a'_1, a_2, a'_2, a_3, a'_3$  – контакты колес тягача и полуприцепа с опорной поверхностью;  $x_c, y_c, x_{сп}, y_{сп}, \varphi_1, \varphi_2$  – обобщенные координаты тягача и полуприцепа в прямоугольной системе координат ХОУ;  $\bar{n}_1, \bar{n}_2, \bar{n}'_2, \bar{n}_3$  – нормали к плоскостям обода колес тягача и полуприцепа;  $\delta_{11}, \delta_{12}, \delta_{21}, \delta_{22}, \delta_{11}, \delta_{12}, \delta_{31}, \delta_{32}$  – углы увода шин колес тягача и полуприцепа;  $\bar{R}_1, \bar{R}'_1, \bar{R}_2, \bar{R}'_2, \bar{R}_3, \bar{R}'_3$  – боковые реакции опорной поверхности колес (неопределенные множители подлежащие определению  $\lambda_i, i=1\dots6$ );  $\Theta_1, \Theta_2$  – углы поворота управляемых колес тягача;  $\bar{F}_1, \bar{F}'_1, \bar{F}_2, \bar{F}'_2$  – касательные силы тяги, приложенные в контакте колес ведущих мостов тягача с опорной поверхностью;  $\bar{R}_{c1}, \bar{R}'_{c1}, \bar{R}_{c2}, \bar{R}'_{c2}, \bar{R}_{c3}, \bar{R}'_{c3}$  – силы сопротивления движению; «В» – точка шарнирной связи тягача 1 с полуприцепом 2.

Для составления уравнений движения механической системы воспользуемся уравнением Лагранжа первого рода с неопределенными множителями для механической системы:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} = Q_{iq} + \lambda_j \cdot \frac{\partial f_j}{\partial \dot{q}_i}, \quad (4)$$

где:  $T$  – кинетическая энергия механической системы;  $q_i$  – обобщенные координаты ( $x_c, y_c, \varphi_1, \varphi_2$ );  $\dot{q}_i$  – обобщенные скорости ( $\dot{x}_c, \dot{y}_c, \dot{\varphi}_1, \dot{\varphi}_2$ );  $Q_{iq}$  – обобщенные силы по обобщенным координатам;  $\lambda_j$  – неопределенные множители Лагранжа (пропорциональны боковым реакциям опорной поверхности колес).

Кинетическая энергия  $T$  колесного тягача и полуприцепа запишется в виде:

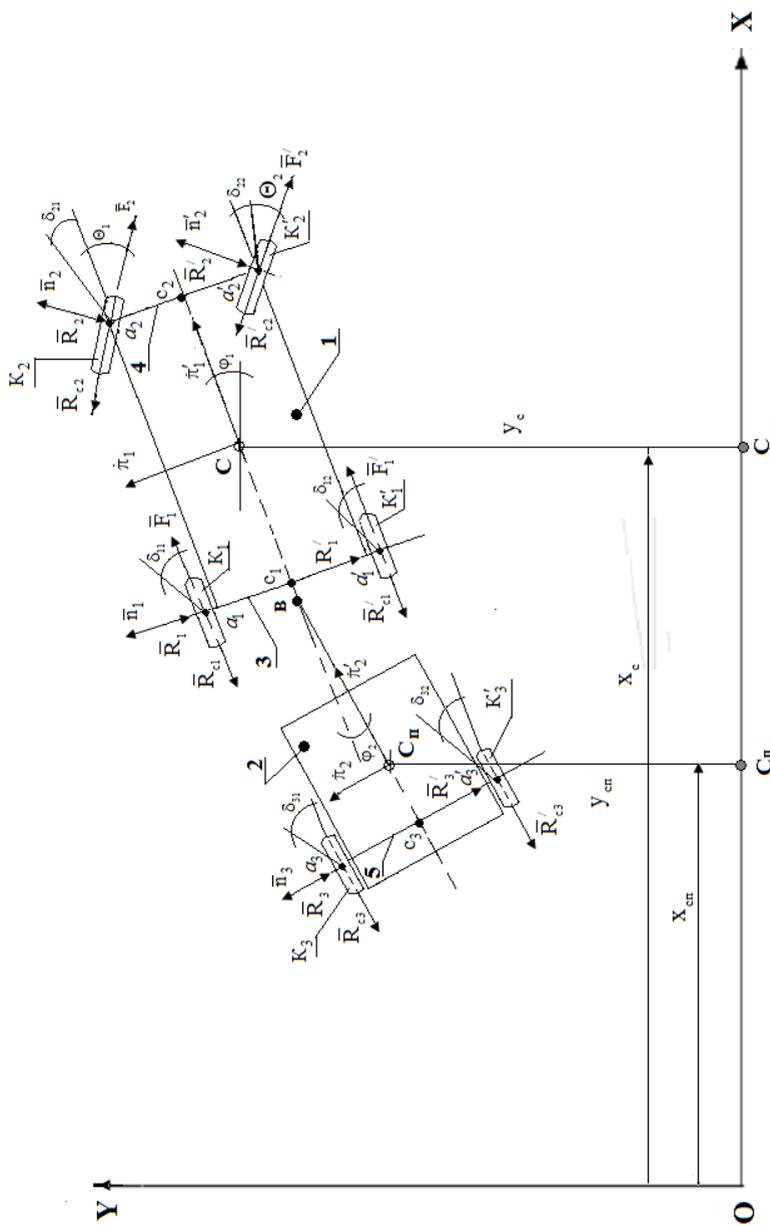


Рисунок 1 – Расчетная схема математической модели курсового движения тягача с полуприцепом

$$T = \frac{1}{2} \cdot \left( m_T \cdot \dot{x}_T^2 + m_T \cdot \dot{y}_T^2 + m_{cn} \cdot \dot{x}_{cn}^2 + m_{cn} \cdot \dot{y}_{cn}^2 + J_T \cdot \dot{\phi}_1^2 + J_n \cdot \dot{\phi}_2^2 + \sum_{k=1}^n J_k \cdot \dot{\phi}_k^2 \right), \quad (5)$$

где:  $m_T$  – масса тягача;  $J_T$  – момент инерции тягача относительно оси перпендикулярной плоскости движения тягача, и проходящей через точку центра масс «С»;  $J_n$  – момент инерции полуприцепа относительно оси перпендикулярной плоскости движения полуприцепа, и проходящей через точку центра масс прицепа «С<sub>n</sub>»;  $x_{ct}$ ,  $x_{cn}$ ,  $y_n$ ,  $\phi_1$ ,  $\phi_2$  – обобщенные линейные координаты центра масс тягача и прицепа, угловые координаты тягача и полуприцепа;  $\dot{x}_{ct}$ ,  $\dot{y}_{ct}$ ,  $\dot{x}_{cn}$ ,  $\dot{y}_{cn}$ ,  $\dot{\phi}_1$ ,  $\dot{\phi}_2$  – обобщенные линейные и угловые скорости тягача и прицепа;  $\pi_1, \pi_2$  – квазикоординаты, используются при применении уравнения Аппеля, основанной на вычислении энергии ускорения механической системы;  $J_{ki}$  – моменты инерции колес тягача и прицепа ( $n=6$ );  $\dot{\phi}_{ki}$  – угловые скорости вращения колес ( $n=6$ ).

На основании теоремы о скоростях точек тела при плоскопараллельном движении проекции скорости центра масс полуприцепа в проекциях на оси X и Y запишутся в виде:

$$\begin{cases} \dot{x}_{cn} = \dot{x}_c + CB \cdot \dot{\phi}_1 \sin \phi_1 + BC_n \cdot (\dot{\phi}_1 + \dot{\phi}_2) \cdot \sin(\phi_1 + \phi_2); \\ \dot{y}_{cn} = \dot{y}_c - CB \cdot \dot{\phi}_1 \cdot \cos \phi_1 - BC_n \cdot (\dot{\phi}_1 + \dot{\phi}_2) \cdot \cos(\phi_1 + \phi_2), \end{cases} \quad (6)$$

где  $CB$ ,  $BC_n$  – геометрические параметры механической системы;  $\dot{x}_c$ ,  $\dot{y}_c$ ,  $\dot{\phi}_1$ ,  $\dot{\phi}_2$  обобщенные линейные скорости центра масс тягача и угловые скорости тягача и полуприцепа.

С учетом системы уравнений (6) уравнение кинетической энергии (5) запишется в виде:

$$T = \frac{1}{2} \cdot \left( \begin{aligned} & m_T \cdot \dot{x}_c^2 + m_T \cdot \dot{y}_c^2 + m_{\text{сн}} \cdot \left[ \dot{x}_c + CB \cdot \dot{\varphi}_1 \sin \varphi_1 + \right. \\ & \left. + BC_n \cdot (\dot{\varphi}_1 + \dot{\varphi}_2) \cdot \sin(\varphi_1 + \varphi_2) \right]^2 + \\ & + m_{\text{сн}} \cdot \left[ \dot{y}_c - CB \cdot \dot{\varphi}_1 \cdot \cos \varphi_1 - \right. \\ & \left. - BC_n \cdot (\dot{\varphi}_1 + \dot{\varphi}_2) \cdot \cos(\varphi_1 + \varphi_2) \right]^2 + \\ & + J_T \cdot \dot{\varphi}_1^2 + J_n \cdot \dot{\varphi}_2^2 + \sum_{k=1}^n J_k \cdot \dot{\varphi}_{k(n=6)}^2 \end{aligned} \right).$$

Функции Лагранжа по обобщенным координатам для заданной механической системы имеют вид:

- по обобщенной координате  $x_c$

$$\frac{\partial T}{\partial x_c} = 0;$$

$$a_{11} = m_T + m_{\text{сн}};$$

$$a_{12} = 0;$$

$$a_{13} = m_{\text{сн}} \cdot (CB \cdot \sin \varphi_1 + BC_n \cdot \sin(\varphi_1 + \varphi_2))$$

$$a_{14} = m_{\text{сн}} \cdot BC_n \cdot \sin(\varphi_1 + \varphi_2);$$

$$C_1 = m_{\text{сн}} \cdot (\dot{\varphi}_1^2 \cdot CB \cdot \cos \varphi_1 + (\dot{\varphi}_1^2 + \dot{\varphi}_1 \cdot \dot{\varphi}_2) \cdot BC_n \cdot \cos(\varphi_1 + \varphi_2)) +$$

$$+ (\dot{\varphi}_1 \cdot \dot{\varphi}_2 + \dot{\varphi}_2^2) m_{\text{сн}} \cdot BC_n \cdot \cos(\varphi_1 + \varphi_2),$$

$$L_{x_c} = \ddot{x}_c \cdot a_{11} + \ddot{\varphi}_1 \cdot a_{13} + \ddot{\varphi}_2 \cdot a_{14} + C_{1x};$$

- по координате  $y_c$

$$\frac{\partial T}{\partial y_c} = 0;$$

$$a_{21} = (m_T + m_T); \quad a_{23} = 0 \quad a_{23} = m_{\text{сн}} \cdot (CB \cdot \cos \varphi_1 + BC_n \cdot (\cos(\varphi_1 + \varphi_2)));$$

$$\begin{aligned}
a_{24} &= m_{\text{сн}} \cdot BC_{\text{н}} \cdot \cos(\varphi_1 + \varphi_2); \quad C_2 = m_{\text{сн}} \cdot \dot{\varphi}_1^2 \cdot CB \cdot \sin \varphi_1 + \\
&\quad m_{\text{сн}} \cdot (\dot{\varphi}_1^2 + \dot{\varphi}_1 \cdot \dot{\varphi}_2) \cdot BC_{\text{н}} \cdot \sin(\varphi_1 + \varphi_2) - \\
&\quad - (\dot{\varphi}_1 \cdot \dot{\varphi}_2 + \dot{\varphi}_2^2) \cdot m_{\text{сн}} \cdot BC_{\text{н}} \cdot \sin(\varphi_1 + \varphi_2); \\
L_{\text{yc}} &= \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{y}_c} - \frac{\partial T}{\partial y_c} = \ddot{y}_c \cdot a_{21} - \ddot{\varphi}_1 \cdot a_{23} - \ddot{\varphi}_2 \cdot a_{24} + C_2;
\end{aligned}$$

- по обобщенной координате  $\varphi_1$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial T}{\partial \varphi_1} &= \dot{\varphi}_1 \cdot m_{\text{сн}} \cdot \left[ CB \cdot \cos \varphi_1 + CB \cdot \sin \varphi_1 + \right. \\
&\quad \left. + BC_{\text{н}} \cdot (\cos(\varphi_1 + \varphi_2) + \sin(\varphi_1 + \varphi_2)) \right] + \\
&\quad + \dot{\varphi}_2 \cdot m_{\text{сн}} \cdot BC_{\text{н}} \cdot (\cos(\varphi_1 + \varphi_2) + (\sin(\varphi_1 + \varphi_2))); \\
a_{31} &= m_{\text{сн}} \cdot \left( \begin{array}{l} CB \cdot \sin \varphi_1 + \\ + BC_{\text{н}} \cdot \sin(\varphi_1 + \varphi_2) \end{array} \right); \\
a_{32} &= m_{\text{сн}} \cdot \left( \begin{array}{l} CB \cdot \cos \varphi_1 + \\ + BC_{\text{н}} \cdot \cos(\varphi_1 + \varphi_2) \end{array} \right); \\
a_{33} &= m_{\text{сн}} \cdot \left( \begin{array}{l} CB \cdot \sin \varphi_1 + \\ + BC_{\text{н}} \cdot \sin(\varphi_1 + \varphi_2) \end{array} \right)^2; \\
a_{34} &= BC_{\text{н}} \cdot m_{\text{сн}} \cdot \left( \begin{array}{l} CB \cdot \sin \varphi_1 + \\ + BC_{\text{н}} \cdot \sin(\varphi_1 + \varphi_2) \end{array} \right) \cdot \sin(\varphi_1 + \varphi_2); \\
C_{\varphi_1} &= -m_{\text{сн}} \cdot (CB \cdot \cos \varphi_1 + C_{\text{н}} \cdot \cos(\varphi_1 + \varphi_2)) \cdot \\
&\quad \cdot (CB \cdot \varphi_1^2 \cdot \sin \varphi_1 + BC_{\text{н}} \cdot (\dot{\varphi}_1 + \dot{\varphi}_2)^2 \cdot \sin(\varphi_1 + \varphi_2)) + \\
&\quad + m_{\text{сн}} \cdot (\dot{\varphi}_1 \cdot CB \cdot \cos \varphi_1 + (\dot{\varphi}_1 + \dot{\varphi}_2) BC_{\text{н}} \cdot \cos(\varphi_1 + \varphi_2)) \cdot \\
&\quad \cdot [\dot{x}_c + CB \cdot \dot{\varphi}_1 \sin \varphi_1 + BC_{\text{н}} \cdot (\dot{\varphi}_1 + \dot{\varphi}_2) \cdot \sin(\varphi_1 + \varphi_2)] - \\
&\quad - m_{\text{сн}} \cdot (-\dot{\varphi}_1 \cdot CB \cdot \sin \varphi_1 - BC_{\text{н}} \cdot \sin(\dot{\varphi}_1 + \dot{\varphi}_2)) \cdot \\
&\quad \cdot [\dot{y}_c - CB \cdot \dot{\varphi}_1 \cdot \cos \varphi_1 - BC_{\text{н}} \cdot (\dot{\varphi}_1 + \dot{\varphi}_2) \cdot \cos(\varphi_1 + \varphi_2)]. \\
L_{\varphi_1} &= \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_1} - \frac{\partial T}{\partial \varphi_1} = a_{31} \cdot \ddot{x}_c - a_{32} \cdot \ddot{y}_c + a_{33} \ddot{\varphi}_1 + a_{34} \cdot \ddot{\varphi}_2 + C_{\varphi_1}.
\end{aligned}$$

- по обобщенной координате  $\varphi_2$

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial \varphi_2} &= \dot{\varphi}_1 \cdot m_{\text{cn}} \cdot \left[ CB \cdot \sin \varphi_1 - CB \cdot \cos \varphi_1 + BC_n \cdot \begin{array}{l} \sin(\varphi_1 + \varphi_2) \\ -\cos(\varphi_1 + \varphi_2) \end{array} \right] + \\ &+ \dot{\varphi}_2 \cdot BC_n \cdot m_{\text{cn}} \cdot (\sin(\varphi_1 + \varphi_2) - \cos(\varphi_1 + \varphi_2)); \\ C_4 &= m_{\text{cn}} \cdot BC_n \cdot \sin(\varphi_1 + \varphi_2) \cdot \left[ BC_n \cdot (\dot{\varphi}_1 + \dot{\varphi}_2)^2 \cdot \cos(\varphi_1 + \varphi_2) + \right. \\ &\left. - CB \cdot \dot{\varphi}_1^2 \cos \varphi_1 \right] - \\ &- m_{\text{cn}} \cdot BC_n \cdot \cos(\varphi_1 + \varphi_2) \cdot \left[ CB \cdot \dot{\varphi}_1^2 \cdot \sin \varphi_1 - \right. \\ &\left. - BC_n \cdot (\dot{\varphi}_1 + \dot{\varphi}_2)^2 \cdot \sin(\varphi_1 + \varphi_2) \right] \\ &+ (\dot{\varphi}_1 + \dot{\varphi}_2) \cdot m_{\text{cn}} \cdot BC_n \cdot \\ &\cdot \left( \begin{array}{l} \cos(\varphi_1 + \varphi_2) \cdot \left[ \dot{x}_c + CB \cdot \dot{\varphi}_1 \sin \varphi_1 + \right. \\ \left. + BC_n \cdot (\dot{\varphi}_1 + \dot{\varphi}_2) \cdot \sin(\varphi_1 + \varphi_2) \right] + \\ \left. + \sin(\varphi_1 + \varphi_2) \cdot \left[ \dot{y}_c - CB \cdot \dot{\varphi}_1 \cdot \cos \varphi_1 - \right. \right. \\ \left. \left. - BC_n \cdot (\dot{\varphi}_1 + \dot{\varphi}_2) \cdot \cos(\varphi_1 + \varphi_2) \right] \right) - \\ &- \dot{\varphi}_1 \cdot m_{\text{cn}} \cdot \left[ CB \cdot \sin \varphi_1 - CB \cdot \cos \varphi_1 + BC_n \cdot \begin{array}{l} \sin(\varphi_1 + \varphi_2) - \\ -\cos(\varphi_1 + \varphi_2) \end{array} \right] + \\ &+ \dot{\varphi}_2 \cdot BC_n \cdot m_{\text{cn}} \cdot \begin{pmatrix} \sin(\varphi_1 + \varphi_2) - \\ -\cos(\varphi_1 + \varphi_2) \end{pmatrix}; \end{aligned}$$

$$a_{41} = m_{\text{cn}} \cdot BC_n \cdot \sin(\varphi_1 + \varphi_2);$$

$$a_{42} = m_{\text{cn}} \cdot BC_n \cdot \cos(\varphi_1 + \varphi_2) + \ddot{\varphi}_1 \cdot m_{\text{cn}} \cdot BC_n \cdot \cos(\varphi_1 + \varphi_2) \cdot BC_n \cdot \sin(\varphi_1 + \varphi_2) + \\ + \ddot{\varphi}_2 \cdot BC_n \cdot \sin(\varphi_1 + \varphi_2) \cdot m_{\text{cn}} \cdot BC_n \cdot \cos(\varphi_1 + \varphi_2);$$

$$a_{43} = m_{\text{cn}} \cdot (CB \cdot \cos \varphi_1 + BC_n \cdot \cos(\varphi_1 + \varphi_2)) \cdot BC_n \cdot \sin(\varphi_1 + \varphi_2);$$

$$a_{44} = BC_n \cdot \cos(\varphi_1 + \varphi_2) m_{\text{cn}} \cdot BC_n \cdot \sin(\varphi_1 + \varphi_2).$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_2} - \frac{\partial T}{\partial \varphi_2} = \ddot{x}_c \cdot a_{41} + \ddot{y}_c \cdot a_{42} + \ddot{\varphi}_1 \cdot a_{43} + \ddot{\varphi}_2 \cdot a_{44} + C_4.$$

- по угловым координатам вращения колес

$$L_{\varphi_{ki}} = \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_{ki}} - \frac{\partial T}{\partial \varphi_{ki}} = J_{ki} \cdot \ddot{\varphi}_{ki} \quad (\text{где } i=1\dots 6).$$

Обобщенные силы по обобщенным координатам:

$$\begin{aligned} Q_x &= (F_1 + F') \cdot \cos j_1 + (F_2 + F'_2) \cdot \cos(Q_2 + j) - \\ &\quad - \sum_1^4 R_{ck} \cdot \cos j_1 - \sum_2^2 R_{cy} \cdot \cos(j_1 + j_2); \\ Q_y &= (F_1 + F') \cdot \sin j_1 + (F_2 + F'_2) \cdot \sin(Q_2 + j) - \\ &\quad - \sum_1^4 R_{ck} \cdot \sin j_1 - \sum_2^2 R_{cy} \cdot \sin(j_1 + j_2); \\ Q_{j_1} &= \sum_1^1 M_{cT}(P_n); Q_{j_2} = \sum_1^1 M_{cn}(P_n), \end{aligned}$$

где  $F_1, F', F_2, F'$  силы тяги в контакте ведущих колес тягача с опорной поверхностью, зависящие от реализации ведущими колесами их условий сцепления с опорной поверхностью.

Уравнения неголономных связей получены из условия отсутствия скольжения контактов колеса в боковом направлении к плоскости его качений по нормали,  $\bar{n}_{1-6}$ .

Таким образом, система динамических уравнений колесного тягача с полуприцепом запишется в виде:

$$\left\{ \begin{aligned} \ddot{x}_c \cdot a_{11} + \ddot{\varphi}_1 \cdot a_{13} + \ddot{\varphi}_2 \cdot a_{14} &= Q_x + \lambda_i \frac{\partial f_i}{\partial \dot{x}_c} - C_1; \\ \ddot{y}_c \cdot a_{21} - \ddot{\varphi}_1 \cdot a_{23} - \ddot{\varphi}_2 \cdot a_{24} &= Q_y + \lambda_i \frac{\partial f_i}{\partial \dot{y}_c} + C_2; \\ \ddot{x}_c \cdot a_{31} - a_{32} \cdot \ddot{y}_c + a_{33} \ddot{\varphi}_1 + a_{34} \cdot \ddot{\varphi}_2 &= Q_{\varphi_1} + \lambda_i \frac{\partial f_i}{\partial \dot{\varphi}_1} + C_3; \\ \ddot{x}_c \cdot a_{41} + \ddot{y}_c \cdot a_{42} + \ddot{\varphi}_1 \cdot a_{43} + \ddot{\varphi}_2 \cdot a_{44} &= Q_{\varphi_2} + \lambda_i \frac{\partial f_i}{\partial \dot{\varphi}_2} + C_4. \end{aligned} \right. \quad (7)$$

Уравнения неголономных связей механической системы колесный тягач-полуприцеп запишутся в виде

Совокупность динамических уравнений (7) и уравнений кинематических связей качения колеса (8) позволяет моделирование движения колесного тягача с прицепом и определение боковых сил, действующих на колеса тягача и прицепа, а также определить мощностные потери, возникающих из-за возникновения увода колес при криволинейном движении.

$$\left\{ \begin{array}{l}
 1. \frac{df_1}{dt} = \left[ \begin{array}{l} \dot{x}_c + ca_2 \cdot \dot{\varphi}_1 \cdot \sin(\gamma_1 + \varphi_1) + \\ + \dot{y}_c - ca_2 \cdot \dot{\varphi}_1 \cdot \cos(\gamma_1 + \varphi_1) \end{array} \right] \cdot \sin \Theta_1 = 0; \\
 2. \frac{df_2}{dt} = \left[ \begin{array}{l} y_c - ca_1 \cdot \dot{\varphi}_1 \cdot \sin(\gamma_2 + \varphi_1) + \\ + \dot{y}_{a'2} - ca_1 \cdot \dot{\varphi}_1 \cdot \cos(\gamma_2 + \varphi_1) \end{array} \right] \cdot \cos \Theta_1 = 0; \\
 3. \frac{df_3}{dt} = \left[ \begin{array}{l} \dot{x}_c - ca_1 \cdot \dot{\varphi}_1 \cdot \sin(\gamma_3 + \varphi_1) + \\ + \dot{y}_c - ca_1 \cdot \dot{\varphi}_1 \cdot \cos(\gamma_3 + \varphi_1) \end{array} \right] \cdot \sin \varphi_1 = 0; \\
 4. \frac{df_4}{dt} = \left[ \begin{array}{l} \dot{x}_c - l_n \cdot (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) \cdot \sin(\gamma_3 + \\ + \varphi_1 - \varphi_2) + \\ + \dot{y}_c - \\ - l_n \cdot (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) \cdot \cos(\gamma_3 + \varphi_1 - \varphi_2) \end{array} \right] \cdot \cos \varphi_1 = 0; \quad (8) \\
 5. \frac{df_5}{dt} = \left[ \begin{array}{l} \dot{x}_c - l_n \cdot \dot{\varphi}_1 \cdot \sin \varphi_1 - \\ - \dot{\varphi}_2 \cdot l_T \cdot \sin \varphi_2 + \\ + \dot{y}_c - l_n \cdot \dot{\varphi}_1 \cdot \cos \varphi_1 - \\ - l_T \cdot \dot{\varphi}_2 \cdot \cos \varphi_2 \end{array} \right] \sin(\varphi_1 - \varphi_2) = 0; \\
 6. \frac{df_6}{dt} = \left[ \begin{array}{l} \dot{x}_c - l_n \cdot \dot{\varphi}_1 \cdot \sin \varphi_1 - \\ - \dot{\varphi}_2 \cdot l_T \cdot \sin \varphi_2 + \\ + \dot{y}_c - \dot{\varphi}_1 \cdot l_n \cdot \cos \varphi_1 - \\ - \dot{\varphi}_2 \cdot l_T \cdot \cos \varphi_2 \end{array} \right] \cdot \cos(\varphi_1 - \varphi_2) = 0.
 \end{array} \right.$$

## **Заключение**

Разработана методика составления динамических уравнения криволинейного движения колесного тягача с полуприцепом (поезд) и уравнения неголономными связями колес поезда. Методика позволяет определить закон движения поезда по любой криволинейной траектории при заданных законах поворота управляемых колес тягача, моментах, передаваемых от силовой установки к ведущим колесам тягача, реакции связи колес с опорной поверхностью (боковые силы, действующие на колеса), а также определить потери мощности, связанных с возникновением углов увода колес.

## **Литература**

1. Управление движением колесных машин: [монография] / С.Н. Поддубко [и др.]; под общ. Ред. д-ра техн. наук, проф. И. С. Сафонова. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т., 2018. – 511 с.: ил.
2. Ким, В.А. Методология создания адаптивных САБ АТС на основе силового анализа: монография / В. А. Ким. – Могилев: Белорусско-Российский университет, 2003. – 346 с.
3. Лагранж, Ж. Аналитическая механика / Ж. Лагранж. – М. : Гос. изд-во техн.-теорет. лит-ры, 1950. – 440 с.

Научное издание

**ТРАНСПОРТ И ТРАНСПОРТНЫЕ  
СИСТЕМЫ:  
конструирование, эксплуатация, технологии**

Сборник научных статей

Основан в 2018 году

Выпуск 2

Подписано в печать 10.12.2020. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 16,86. Уч.-изд. л. 13,18. Тираж 100. Заказ 765.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.