

*Редакционный совет:*

**Голенков В.А.** д-р техн. наук, проф.,  
председатель

**Радченко С.Ю.** д-р техн. наук, проф.,  
зам. председателя

**Борзенков М.И.** канд. техн. наук, доц

**Астафичев П.А.** д-р юр. наук, проф.

**Иванова Т.Н.** д-р техн. наук, проф.

**Колчунов В.И.** д-р техн. наук, проф.

**Константинов И.С.** д-р техн. наук,  
проф.

**Новиков А.Н.** д-р техн. наук, проф.

**Попова Л.В.** д-р экон. наук, проф.

**Степанов Ю.С.** д-р техн. наук, проф.

*Главный редактор:*

**Новиков А.Н.** д-р техн. наук, проф.

*Зам. главного редактора:*

**Катунин А.А.** канд. техн. наук

*Редакционная коллегия:*

**Агуреев И.Е.** д-р техн. наук, проф.

**Бондаренко Е.В.** д-р техн. наук, проф.

**Глаголев С.Н.** д-р экон. наук, проф.

**Дидманидзе О.Н.** д-р техн. наук, проф.

**Корчагин В.А.** д-р техн. наук, проф.

**Лапин А.П.** д-р техн. наук, проф.

**Пучин Е.А.** д-р техн. наук, проф.

**Ременцов А.Н.** д-р пед. наук, проф.

**Родионов Ю.В.** д-р техн. наук, проф.

**Сазонов С.П.** канд. техн. наук, проф.

**Ушаков Л.С.** д-р техн. наук, проф.

*Ответственный за выпуск:*

**Акимова И.В.**

*Адрес редколлегии:*

302030, г. Орел, ул. Московская, 77

(4862) 73-43-50

www.ostu.ru

E-mail: sirm@ostu.ru, srmmostu@mail.ru

Зарегистрировано в Федеральной службе  
по надзору в сфере связи и массовых  
коммуникаций.

Свидетельство: ПИ № ФС77-35717

от 24.03.2009г.

Подписной индекс: 16376

по объединенному каталогу «Пресса Рос-  
сии»

© Госуниверситет-УНПК, 2011

## Содержание

### Эксплуатация, ремонт, восстановление

<i>А. В. Голубенко</i> Динамическая модель транспортного потока на улично-дорожной сети .....	1
<i>А.А. Зинуков</i> Исследования локального теплообмена в камере сгорания авто-тракторного дизеля.....	7
<i>И. Е. Агуреев, М. В. Денисов</i> Математическое описание динамики пассажирских транспортных систем.....	13
<i>А. П. Лапин, П. А. Лапин, Р. Р. Садыков</i> Методы оценки условий труда при техни-ческом обслуживании и ремонте автомобилей.....	21
<i>С. Ф. Подшивалов, К. С. Подшивалова, Ю. В. Родионов</i> Проектирование маршру-тов с контрольной вершиной из разных центров.....	25
<i>В. В. Недолужко, А. Н. Новиков</i> Ремонтное окрашивание автомобилей порошко-выми красками .....	31
<i>А. А. Жосан, М. М. Ревякин</i> Топология построения систем самодиагностики: вариативность и оптимальность.....	37
<i>А. А. Катунин, М. Д. Тебекин</i> Ускоренные испытания шаровых опор передней подвески легковых автомобилей.....	41
<i>Е. В. Бондаренко, В. П. Клищенко, А. П. Пославский, В. В. Сорокин</i> Формирование энергоэффективной технологии утилизации автомобильных шин.....	45
<i>В. В. Лянденбургский, А. И. Тарасов, А. В. Федосков</i> Эффективность применения систем диагностирования и саморегулирования при эксплуатации автомоби-лей.....	51

### Технологические машины

<i>О.А. Лускань</i> Влияние режимных параметров качания рамы импульсного роли-кового конвейера на процесс транспортирования штучных грузов .....	56
<i>В. М. Земсков</i> Математическая модель процесса взаимодействия вибрационного инструмента бестраншейной машины с грунтом.....	62
<i>М. А. Бурнашов, С. Д. Усмонов</i> Определение параметров гидроструйной очистки при использовании сопел различного внутреннего профиля.....	70
<i>В. Б. Кулешов, А. В. Краснолудский</i> Опыт искусственного обрушения башен труб в аварийных ситуациях с использованием строительной-дорожной техники.....	74

### Вопросы экологии

<i>В. В. Васильева</i> Управление качеством акустической среды города на основе нейросетевого моделирования.....	80
--	----

### Образование и кадры

<i>Г. В. Букалова</i> Деятельностный подход как основа реализуемости образователь-но-педагогических норм.....	84
<i>В. В. Жуков, А. В. Мавлюбердинова</i> Квалификация персонала – доминантный фактор влияния на качество услуг предприятий автомобильного сервиса.....	90



The scholarly journal

A quarterly review

№ 1(32) 2011

January-March

# World of transport and technological machinery

Founder - Federal State Institution  
higher education

"State University – Education-Scientific-Production Complex "  
(State University-ESPC)

## Editorial Council:

**V.A. Golenkov** .Doc.Eng., Prof.

**S.Y. Radchenko** Doc.Eng., Prof.

Vice-Chairman

**M.I. Borzenkov** Can.Eng., Prof.

**P.A. Astafichev**, Doc.Law., Prof.

**T.N. Ivanova**, Doc.Eng., Prof.

**V.I. Kolchunov** Doc.Eng., Prof.

**I.S. Konstantinov** Doc.Eng., Prof.

**A.N. Novikov** Doc.Eng., Prof.

**L.I. Popova** Doc.Ec., Prof.

**Y.S. Stepanov** Doc.Eng., Prof.

## Editor-in-Chief

**Novikov A.N.** Doc.Eng., Prof.

## Editor-in-Chief Assistants

**Katunin A.A.** Can.Eng.

## Editorial Board:

**I.E. Agureyev** Doc.Eng., Prof.

**E.V. Bondarenko** Doc.Eng, Prof.

**S.N. Glagolev** Doc.Ec., Prof.

**O.N. Didmanidze** Doc.Eng, Prof.

**V.A. Korchagin** Doc.Eng, Prof.

**A.P. Lapin** Doc.Eng., Prof.

**E.A. Puchin** Doc.Eng., Prof.

**A.N. Rementsov** Doc.Ped., Prof.

**Y.V. Rodionov** Doc.Eng., Prof.

**S.P. Sazonov** Can.Eng., Prof.

**L.S. Ushakov** Doc.Eng., Prof.

## Person in charge for publication:

**I.V. Akimochkina**

## Editorial Board Address:

302020, Orel, Moskovskaya Str, 77

(4862) 73-43-50

www.ostu.ru

E-mail: sirm@ostu.ru, srmostu@mail.ru

The journal is registered at the Federal Department for Mass Communication Supervision

Registration Certificate

ПИ № ФС77- 35717 of March 24 2009

Subscription index: **16376**

in a union catalog "The Press of Russia"

© State University-ESPC, 2011

## Contents

### Operation, Repair, Restoration

<b>A. V. Golubenko</b> Dynamic model of traffic flow on road network.....	1
<b>A. A. Zinukov</b> Investigations of local heat transfer in combustion chamber of automotive engine.....	7
<b>I. E. Agureev, M. V. Denisov</b> Mathematical description of the dynamics of passenger transport systems.....	13
<b>A. P. Lapin, V. P. Lapin, R. R. Sadykov</b> Methods of evaluation of labour in maintenance and repair of motor vehicles.....	21
<b>S. F. Podshivalov, K. S. Podshivalova, U. V. Rodionov</b> Designing routes with control cap from different points .....	25
<b>V. V. Nedoluzhko, A. N. Novikov</b> Repair cars colouring powder paint.....	31
<b>A. A. Josan, M. M. Revyakin</b> Topology constructing systems self-test: variability and best .....	37
<b>A. A. Katunin, M. D. Tebekin</b> Accelerated test ball front suspension cars .....	41
<b>E. V. Bondarenko, V. P. Klischenko, A. P. Poslavskaya, V. V. Sorokin</b> Formation efficient technologies utilization of automobile tires .....	45
<b>V. V. Lyandenbursky, A. I. Tarasov, A. V. Fedoskov</b> The use of self-diagnosing and during operation of motor vehicles .....	51

### Technological Machinery

<b>O. A. Luskan</b> Effect of operating parameters swing frame pulse roller conveyor for piece goods transportation process .....	56
<b>V. M. Zemskov</b> Mathematical model of interaction of vibrating tool trenchless machines with ground .....	62
<b>M. A. Burnashev, S. D. Usmonov</b> Determination of the parameters hydro cleaning when using nozzles of different internal profile .....	70
<b>V. B. Kuleshov, A. V. Krasnoludsky</b> Experience artificial collapse of the towers of pipes in emergency situations, using road-building machinery.....	74

### Ecological Problems

<b>V. V. Vasilieva</b> Quality Management acoustic environment of the city, based on neural network modeling.....	80
---	----

### Education and Personnel

<b>G. V. Bukalova</b> Activity approach as the basis implemented educational-teaching standards .....	84
<b>V. V. Zhukov, A. V. Mavlyuberdinova</b> Staff - the dominant factor of influence on service quality automobile service.....	90

ЭКСПЛУАТАЦИЯ, РЕМОНТ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ

УДК 519.6: 656.13

А. В. ГОЛУБЕНКО

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА НА  
УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ

*Приводится описание динамической модели транспортного потока, рассмотрены вопросы определения динамического поведения модели, обсуждаются результаты вычислительного эксперимента.*

**Ключевые слова:** транспортная система, транспортный поток, неравновесная система, математическое моделирование, динамическая модель.

*The description of a dynamical model of traffic flow is given, the questions of determination of the possible dynamical states of model are investigated, the results of computing experiments are discussed.*

**Key words:** transportation system, traffic flows, non-equilibrium system, mathematical modeling, dynamical model.

В теории транспортных потоков широко используются различные модели, относящиеся к микро-, мезо- и макроскопическим уровням. Один из наиболее удачных современных обзоров моделей транспортных потоков в отечественной литературе сделан, на наш взгляд, в работе В. И. Швецова [1].

Макроскопические модели, берущие своё начало с модели LW (Lighthill, Whitham, 1955), и вплоть до модели КК (Kerner, Konhäuser, 1993), основанные на гидродинамической аналогии, позволяют «отслеживать» средние плотность и скорость автомобилей вдоль пространственной координаты с течением времени. При этом появляется возможность предсказывать такие особенности потоков, как распространение кинематических и так называемых *шоковых* волн, динамику заторов, поведение потока вблизи неоднородностей (съезды и выезды, сужения, препятствия), в условиях движения в режиме «stop-and-go» и т.д. Не лишённые некоторых недостатков, эти модели используются для решения задач на больших участках транспортных сетей или в тех случаях, когда не требуется детального описания динамики отдельных транспортных средств.

Известно, что транспортные потоки на реальных сетях обладают свойствами, которые в самом кратком изложении можно свести к следующим: 1) существенно коллективный характер; 2) нестационарность; 3) стохастичность; 4) способность к переходам в качественно различные состояния. Все эти свойства – признаки неравновесных систем, способных к самоорганизации. В этом отношении удобно при моделировании использовать аппарат теории активных частиц [2] в рамках теории самоорганизации (синергетики). Характер коллективного движения задается отклонениями от оптимальных значений интервала и скорости движения, а также внутренним параметром транспортного потока, величина которого определяется условиями движения.

В настоящей работе строится вариант динамической модели транспортного потока, которая, в отличие от модели А. И. Олемского, записывается не в отклонениях, а в абсолютных величинах. Для этого есть несколько оснований. Во-первых абсолютные значения скорости и дистанции ( $v$ ,  $h$ ) между транспортными средствами непосредственно связаны с параметрами фундаментальной диаграммы. Во-вторых, они так же напрямую могут быть определены экспериментально. В третьих, их использование допускает обобщения, например, в плане внесения в правые части членов, описывающих поведенческие аспекты участников дорожного движения и психологические элементы «поля взаимодействия» между транспортными средствами, определяющими известное понятие динамического габарита.

В фундаментальной монографии А. И. Олемского [2] представлена следующая модель формирования транспортных потоков:

$$\dot{\eta} = -\frac{\eta}{t_{\eta}} + v, \quad (1)$$

$$\dot{v} = -\frac{v}{t_v} + g_v \eta \theta, \quad (2)$$

$$\dot{\theta} = \frac{\theta_e - \theta}{t_{\theta}} - g_{\theta} \eta v + \zeta(t), \quad (3)$$

где точка означает дифференцирование по времени;  
 $t_{\eta}$ ,  $t_v$ , и  $t_{\theta}$  – времена релаксации соответствующих величин;  
 $g_v$  и  $g_{\theta}$  – положительные константы связи.

Как и в других самоорганизующихся системах, кинетическое уравнение для управляющего параметра отличается от остальных тем, что релаксация величины  $\theta$ , которая определяется условиями движения (видимость трассы, состоянием дорожного покрытия, метеорологическими условиями и т.п.), происходит не до нуля, а до конечного значения  $\theta_e$ , величина которого определяется условиями движения, т.е. параметра помех, препятствующих формированию оптимального транспортного потока. Другая особенность уравнения (3) состоит в наличии стохастического источника  $\zeta(t)$ .

В результате переход от неупорядоченного транспортного потока к упорядоченному, при условии, что параметр помех  $\theta_e$  превышает критическое значение, представляется спонтанным отклонением интервала между транспортными средствами

$$\eta = \Delta x - h \quad (4)$$

и скорости его изменения, отсчитанной от рассогласования  $v_0 - V$  оптимальной и текущей скоростей:

$$v = \Delta \dot{x} - (v_0 - V), \quad (5)$$

где  $v_0$  и  $h$  – оптимальные значения средней скорости и интервала соответственно, которые связаны между собой характерным временем  $t_0 = h/v_0$ , представляющим время пробега оптимального интервала.

Рассмотрим задачу определения вида модели транспортного потока в случае  $\zeta(t) = 0$ , выраженной через переменные  $n$ ,  $V$ ,  $\theta$ , где  $n$  – число транспортных средств на перегоне,  $V$  – средняя скорость транспортных средств,  $\theta$  – длина «пробки» на перегоне, играющая роль параметра «помех».

Установим связь между числом автомобилей на перегоне  $n$  и дистанцией между ними  $\Delta x$ , считая для простоты границы перегона совпадающими с положением крайних автомобилей (с учетом их динамических габаритов):

$$\sum_{i=1}^{n-1} \Delta x_i + \sum_{i=1}^n l_i = L, \quad (6)$$

где  $\Delta x_i$  – интервал между автомобилями;  
 $l_i$  – динамический габарит транспортного средства;  
 $L$  – длина перегона.

Среднюю длину интервала и среднюю величину динамического габарита определяем соответственно по формулам:

$$\Delta \bar{x} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \Delta x_i, \quad (7)$$

$$\bar{i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n i_i. \quad (8)$$

Преобразуя выражения (7) и (8) и подставляя их в выражение (6), с учетом уравнения (4), получим

$$\eta \approx L/n - l - h. \quad (9)$$

Продифференцируем выражение (9) и приравняем его к уравнению (1) с учетом добавления в правой части перед величиной  $v$  коэффициента  $k \neq 1$ , что позволяет исследовать более общий случай. Получим

$$-L \frac{1}{n^2} \dot{n} = -\frac{\eta}{t_\eta} + kv, \quad (10)$$

и преобразуем (10) с учетом выражения  $v = -L \frac{1}{n^2} \dot{n} - v_0 - V$ , которое следует из (5) и (4), продифференцированного по времени. В результате запишем

$$\dot{n} = An - n^2(B - Cv_0 - CV), \quad (11)$$

где коэффициенты уравнения определены как  $A = \frac{1}{t_\eta(1-k)}$ ,  $B = \frac{1+h}{Lt_\eta(1-k)}$ ,  $C = \frac{k}{L(1-k)}$ .

Установим теперь связь между скоростью изменения отклонения интервала  $v$  и средней скоростью транспортного средства на перегоне  $V$ .

Продифференцируем выражения (5) и (1), выражая из первого  $\dot{v}$ . После преобразований получим выражение

$$\dot{v} = \dot{n} \left( \frac{L}{t_\eta n^2} - \frac{kL}{t_v n^2} \right) - \frac{k}{t_v} (v_0 + V). \quad (12)$$

Подставим уравнение (11) в (12). После преобразований получим

$$\dot{v} = D \frac{1}{n} + E(v_0 + V) - F + g_v \theta \left( \frac{L}{n} - l - h \right) (1-k), \quad (13)$$

где  $D = \frac{L}{t_\eta(1-k)} \left( \frac{1}{t_v} - \frac{1}{t_\eta} - \frac{k}{t_v} \right),$

$$E = \frac{k}{(1-k)t_v} - \frac{k^2}{(1-k)t_v} - \frac{k}{(1-k)t_\eta} + \frac{1}{t_v} - \frac{k}{t_v}, \quad F = \frac{1+h}{t_\eta(1-k)} \left( \frac{1}{t_v} - \frac{1}{t_\eta} - \frac{k}{t_v} \right).$$

Преобразуем уравнение (3) с учетом, что  $v = -L \frac{1}{n^2} \dot{n} - v_0 - V$ . Подставим в уравнение (3) выражение (11). После преобразований получим

$$\dot{\theta} = \frac{\theta_e - \theta}{t_\theta} - g_\theta \left( \frac{L}{n} - 1 - h \right) \left( BL + (LC + 1)(-v_0 - V) - A \frac{L}{n} \right), \quad (14)$$

имея в виду, что управляющий параметр  $\theta$  выражает частный случай «помех», принятый нами специально для исследования, а именно – длину «пробки» в конце перегона.

Таким образом, получаем систему дифференциальных уравнений, которая представляет собой динамическую модель транспортных потоков на перегоне:

$$\dot{n} = An - n^2(B - Cv_0 - CV),$$

$$\dot{V} = D \frac{1}{n} + E(v_0 + V) - F + g_v \theta \left( \frac{L}{n} - 1 - h \right) (1 - k),$$

$$\dot{\theta} = \frac{\theta_e - \theta}{t_\theta} - g_\theta \left( \frac{L}{n} - 1 - h \right) \left( BL + (LC + 1)(-v_0 - V) - A \frac{L}{n} \right),$$

выраженную теперь в абсолютных переменных. С формальной точки зрения, уравнения (1), (2), (3) и (11), (13), (14), соответственно, практически эквивалентны (с учетом незначительных упрощений и сделанного обобщения). Однако теперь появляется возможность исследовать динамику потока внутри перегона, используя абсолютные значения фазовых переменных.

Первым шагом нашего анализа будет являться ответ на вопрос о том, какие типы динамики могут возникать в системе (1), (2) и (3).

Рассмотрим вариант 1 решения системы уравнений (1), (2), и (3) без учета стохастического источника, приняв параметры в соответствии с нижеследующей таблицей. Отметим, что на начальном этапе исследования параметры модели выбираются произвольным образом, что необходимо для качественного анализа возможных способов поведения системы.

Таблица 1 - Параметры модели

№	$s$	$r$	$b$	$k$	$u$	$g$
1	2	6	15	0,2	1,5	4
2	8,4	8	6	4,8	3,8	4,2

Параметры, приведенные в таблице 1, представляют собой зависимости, выражающие следующие соотношения  $s = 1/t_\eta$ ,  $r = g_\theta$ ,  $b = g_v$ ,  $k = 1/t_v$ ,  $u = 1/t_\theta$ ,  $g = \theta_e$ .

При первом варианте решения системы имеем устойчивый предельный цикл (рис.1), который является отправным типом аттрактора при переходе нелинейных диссипативных систем к хаосу. Его можно обнаружить во многих динамических системах, имеющих хаотическое поведение [1, 4-6]. В дальнейшем, при рассмотрении варианта 2, решение системы уравнений демонстрирует изменение структуры аттрактора и выражается в усложнении траектории. Каскад бифуркаций проходит всю последовательность, начиная от удвоения периода, предельного цикла, субгармонической каскады, а далее – более сложную последовательность бифуркаций [3].

На рисунке 2 приведен полный набор проекций полученного для варианта 2 решения.

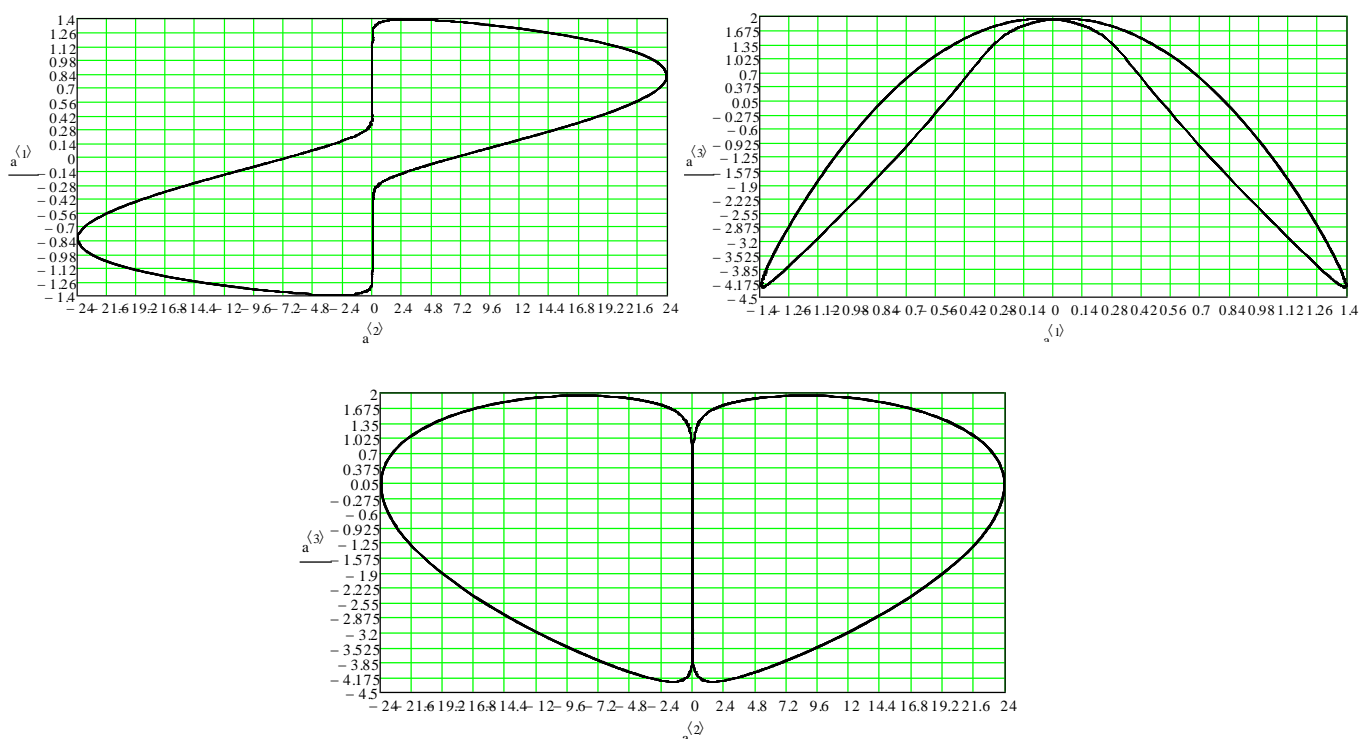


Рисунок 1 - Проекция решения системы на плоскости  $(x-y)$ ,  $(x-z)$ ,  $(y-z)$  (вариант 1)

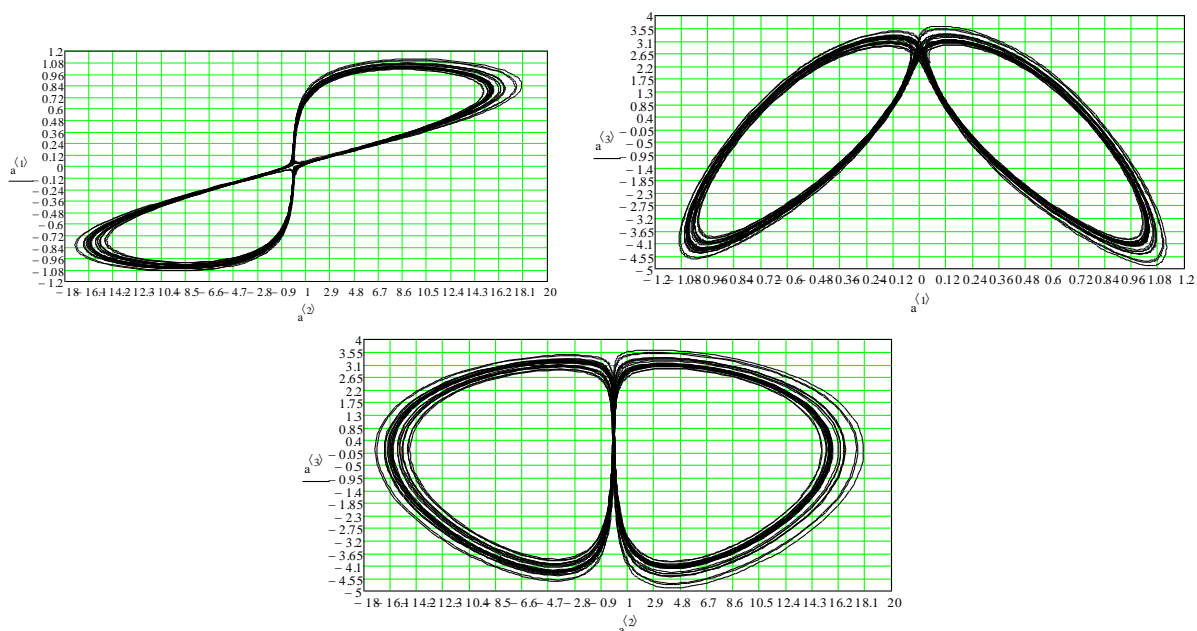


Рисунок 2 - Проекция решения системы на плоскости  $(x-y)$ ,  $(x-z)$ ,  $(y-z)$  (вариант 2)

Приведенные проекции свидетельствуют о том, что в модели может быть не только устойчивый предельный цикл, но и детерминированный (динамический) хаос. Динамический хаос – явление в теории динамических систем, при котором поведение нелинейной системы выглядит случайным, несмотря на то, что оно определяется детерминистическими законами.

Транспортные системы вообще и транспортные потоки в частности являются по своей природе системами со стохастическими элементами. Такая формулировка, на наш взгляд, более правильная и продуктивная по сравнению с высказыванием о том, что транспортные системы – это в «чистом» виде стохастические системы, т.е., для которых

возможно только вероятностное описание. Действительно, с одной стороны, в транспортных потоках обязательно присутствует элемент случайности. Поэтому в уравнениях (1) – (3) и содержится случайная функция. С другой стороны, объективно транспортный поток – это существенно неравновесная система с коллективным поведением. В ней следует ожидать явления самоорганизации, которые приводят к упорядочиванию и, соответственно, к сокращению числа мод, которыми описывается состояние системы. Такой подход приводит к возможности формулировки моделей типа (1) – (3) или (11), (13), (14). В результате возникает задача определения областей и границ существования коллективного поведения, в том числе и детерминированного хаоса. Интересно, что именно запись в форме (11), (13), (14) позволяет осуществлять прямое экспериментальное сравнение с наблюдаемыми значениями одной или двух фазовых координат – дистанции и скорости, если имеются результаты видеонаблюдений или иных натуральных экспериментов.

Таким образом, в настоящей работе предложен вариант динамической модели транспортного потока, основанный на подходах теории активных частиц, а также сделаны предварительные исследования возможных типов динамики в модели. Показано, что в ней действительно наблюдаются и устойчивые предельные циклы и нерегулярные аттракторы, которые являются звеном в сложной последовательности каскадов бифуркаций предельного сингулярного цикла [3].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Швецов, В. И. Математическое моделирование транспортных потоков [Текст] / В.И.Швецов // Автоматика и телемеханика, 2003. - № 11. – С.3-46.
2. Олемской, А. И. Синергетика сложных систем: Феноменология и статистическая теория [Текст]/А.И.Олемской. - М.: КРАСАНД, 2009. – 384 с.
3. Магницкий, Н. А. Новые методы хаотической динамики [Текст]/Н.А.Магницкий. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 320 с.
4. Агуреев, И. Е. Нелинейная динамика в теории автомобильных транспортных систем [Текст] / И.Е.Агуреев // Изв. ТулГУ. Сер. «Автомобильный транспорт». Вып. 9. Тула: Изд-во ТулГУ, 2006. - С.3-13.
5. Агуреев, И. Е. Нелинейные модели транспортных процессов и систем [Текст] / И.Е.Агуреев // Изв. ТулГУ. Сер. «Автомобильный транспорт». Вып. 10. Тула: Изд-во ТулГУ, 2006. - С.3-11.
6. Агуреев, И. Е. Применение теории Фейгенбаума-Шарковского-Магницкого для анализа модели конкуренции двух автомобильных перевозчиков [Текст] // Труды Института системного анализа Российской академии наук. Динамика неоднородных систем / Под ред. С. В. Емельянова. Т. 33. – Вып. 12. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – С. 159-175.

**Голубенко Артем Вячеславович**

Тульский государственный университет, г. Тула

Магистрант кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства

Тел. +7(4872)35 05 01

E-mail: [aiax@tsu.tula.ru](mailto:aiax@tsu.tula.ru)



А.А. ЗИНУКОВ

## ИССЛЕДОВАНИЯ ЛОКАЛЬНОГО ТЕПЛООБМЕНА В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ АВТОТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ

*В статье затрагиваются вопросы исследования локального теплообмена в камерах сгорания быстроходных дизелей. Рассмотрены методы экспериментального исследования тепловых потоков и применяемые датчики.*

**Ключевые слова:** теплообмен, локальные тепловые потоки, датчики тепловых потоков, двигатели внутреннего сгорания.

*The article concerns the researches of the local heat transfer in combustion chamber of high-speed diesel engines problems. Experimental heat transfer researching methods and heat sensor are considered.*

**Key words:** heat transfer, local heat flow, heat sensors, internal combustion engines.

В условиях рыночной экономики и острой конкуренции особую актуальность для производственных предприятий приобретает проблема регулярного обновления выпускаемой продукции, повышение ее качества и максимального удовлетворения запроса потребителей.

Современное двигателестроение развивается по пути создания высокофорсированных экономичных двигателей с повышенным сроком ресурса. При этом стремятся к увеличению их экономичности с одновременным повышением цилиндрических и агрегатных мощностей в основном путем повышения среднего эффективного давления  $p_e$ . В настоящее время очень остро поставлена задача по значительному улучшению технико-экономических показателей вновь создаваемых перспективных двигателей внутреннего сгорания (ДВС), а также совершенствованию существующих за счет увеличения мощности и ресурса работы, снижения токсичности отработанных газов, применения альтернативных видов топлива (метанол, природный газ и т.д.) и др. при одновременном повышении топливной экономичности.

Форсирование ДВС путем увеличения среднего эффективного давления и частоты вращения коленчатого вала, применение альтернативных видов топлива привели к появлению ряда проблем при проектировании, изготовлении и в эксплуатации дизелей. Наиболее важные из них связаны с ростом механических и особенно тепловых нагрузок на детали цилиндропоршневой группы (ЦПГ). Усиливается теплообмен между рабочим телом и стенками деталей, образующих камеру сгорания. Увеличивается удельный тепловой поток через стенки, что вызывает рост температур и температурных градиентов при неизменной конструкции деталей ЦПГ, а следовательно, и к увеличению температурных напряжений в них. Во многих случаях наметился переход к тонкостенным конструкциям. Одновременное увеличение давления наддува и связанное с этим повышение максимального давления сгорания  $p_z$  приводит к возрастанию механической напряженности всех деталей двигателя, в том числе и теплонапряженных. Поэтому применение тонкостенных конструкций, выгодное с точки зрения снижения теплонапряженности, часто связано с необходимостью ограничения напряжений от сил давления газов.

Надежность современных форсированных двигателей в значительной степени определяется работоспособностью деталей, образующих камеру сгорания: головки цилиндра, поршня, втулки (гильзы) цилиндра, а также клапанов и колец. Многочисленные случаи выхода из строя перечисленных деталей двигателей самых различных назначений (от крупных малооборотных судовых до высокооборотных автомобильных и тракторных) определяют направления исследования теплонапряженного состояния деталей цилиндри-

поршневой группы (ЦПГ), прогнозирования ресурса их работы и конструкторских мероприятий, направленных на повышение их надежности [1].

В понятие тепловой напряженности входят как тепловое воздействие на деталь со стороны рабочего тела, так и, как следствие этого воздействия, достигаемые уровни температур, напряжений и деформаций в процессе работы двигателя как на номинальном режиме так и с учетом многочисленных переходных режимов, включая пуски, остановки и достаточно резкие сбросы нагрузки, свойственные двигателям практически любого назначения [2].

В конечном счете, уровень тепловой и механической напряженности оценивают способностью детали и всего узла в целом в данных условиях выполнять основные функции в течение определенного времени. Таким образом, в понятие тепловой и механической напряженности входит обширный круг вопросов от оценки уровня температур и напряжений при работе детали на двигателе до оценки работоспособности материала при этих уровнях и отыскания путей снижения указанных уровней в случае необходимости. Полное решение проблемы требует проведения комплекса взаимосвязанных исследований, начиная от нестационарного теплообмена и кончая критериями прочности. При этом важное значение имеет поведение материалов с учетом изменения режимов работы двигателя, а, следовательно, и температурного состояния.

#### Тепловое состояние деталей автомобильных и тракторных дизелей.

Наиболее нагруженными являются поршни и головки (крышки) цилиндров, а также выпускные клапаны.

Так, в качестве примера, на рис. 1 приведены результаты расчета температурного поля поршня автомобильного дизеля КамАЗ-740 на номинальном режиме работы ( $N_e = 154$  кВт,  $n = 2600$  мин<sup>-1</sup>) [3,4,5]. Граничные условия были определены в результате теоретического и экспериментального исследований локальных тепловых потоков, были также измерены стационарные температуры в характерных точках поршня. Эти измерения показали, что распределение температур по меридиональному сечению практически симметричное. Максимальные значения температуры (320°C и 290...300°C) наблюдались в центральной части КС и в районе кромки, однако следует учитывать, что эти точки измерения находились на глубине 3 мм от поверхности теплообмена. Хорошее совпадение результатов экспериментального и расчетно-теоретического исследований отражает рисунок 1.

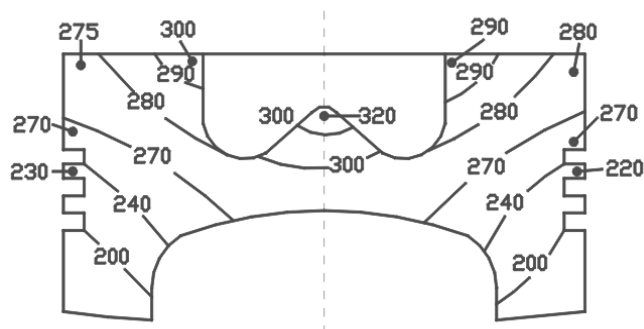


Рисунок 1 - Температурное поле (в °С) поршня быстроходного дизеля КамАЗ-740  
(• — экспериментальные точки)

Расчет теплового состояния поршня двигателя другой модификации этого же семейства (КамАЗ-7405) показал, что максимальные температуры на кромке КС достигают 330°C, а на периферийной части днища поршня приблизительно 285...290°C, что говорит о высокой теплонапряженности этих конструкций. Для уменьшения температур в районе верхнего маслосъемного кольца до 220° С заводу-изготовителю было рекомендовано использование поршней с масляным охлаждением.

Рассмотрим схему экспериментальной установки, используемой для исследования локального нестационарного теплообмена в ДВС и оценки [4].

Экспериментальная установка состоит из трех основных блоков (рис. 2). Блок I является блоком стандартных измерений и представляет собой стенд с дистанционным управлением фирмы «Хофман». На рисунке приведена укрупненная схема этого блока, состоящего из муфты 2, тормозного устройства 3 и пульта управления 4. С помощью блока I во время испытания дизелей регистрировались следующие показатели двигателя: частота вращения коленчатого вала, эффективная мощность, крутящий момент, удельный расход топлива, расход воздуха, давление наддува, а также температура охлаждающей воды, масла и отработавших газов, таким образом, блок I служит для измерения стандартных режимных показателей двигателя, при этом он не связан с другими блоками.

Блоки II и III предназначены для регистрации сигналов от датчиков теплового потока, расположенных в цилиндре двигателя, и связаны между собой. Были использованы трехканальные датчики, в основу конструкции которых заложен принцип дополнительной стенки [7], а в качестве основных материалов применялись медь и константан. С помощью трехполюсного переключателя 5 каждый датчик, расположенный в КС дизеля 1, поочередно подключается к измерительным приборам.

Блок II экспериментальной установки служит для записи сигнала на носителе с целью дальнейшей его обработки на персональном компьютере. В него входят коммутатор входного сигнала 6, калибратор 7, трехканальный усилитель 8, коммутатор 9, электронно-лучевой осциллограф 10, вольтметр 11, магнитограф типа «ТЕАС-400С» 12. Кроме сигналов от датчика одновременно регистрируется угол поворота коленчатого вала. В дальнейшем к магнитографу присоединяется персональный компьютер 20. В эксперименте использовались оптическое маркировочное устройство угла поворота коленчатого вала и отметчик ВМТ 19 фирмы AVL.

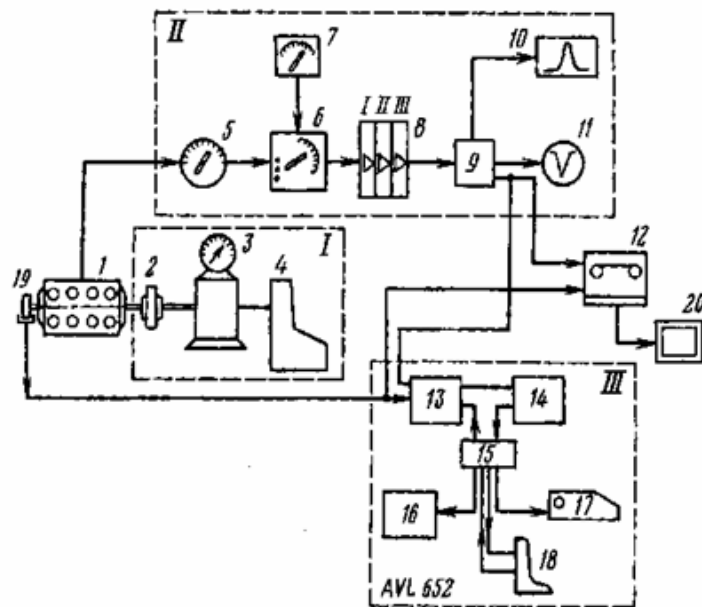


Рисунок 2 - Схема экспериментальной установки:

- 1 – двигатель (КамАЗ-7405); 2 – муфта; 3 – тормозное устройство; 4 – пульт управления;  
 5 – трехполюсный переключатель; 6 – коммутатор входного сигнала; 7 – калибратор;  
 8 – трехканальный усилитель; 9 – коммутатор выходного сигнала; 10 – электронно-лучевой осциллограф;  
 11 – вольтметр; 12 – магнитограф «ТЕАС-400С»; 13 – аналого-цифровой преобразователь;  
 14 – память данных; 15 – микропроцессор; 16 – графопостроитель; 17 – принтер;  
 18 – терминал; 19 – оптическое маркировочное устройство угла поворота коленчатого вала и  
 отметчика верхней мертвой точки AVL; 20 – персональный компьютер

Для экспресс-регистрации сигнала от датчика используется блок III, управляемый микропроцессором измерительной системы AVL-652. Он состоит из аналого-цифрового преобразователя 13, памяти данных 14 и микропроцессора 15. Сигнал регистрируется сначала на экране терминала 18, через клавиатуру которого устанавливается его масштаб. Потом с помощью цифрового графопостроителя 16 получается изображение на бумаге. Печатающее устройство 17 выдает соответствующую сигналу распечатку. Кроме регистрации сигналов от датчиков тепловых потоков блок III служит для регистрации углов поворота коленчатого вала и ВМТ, а также для индицирования двигателя. При этом регистрируются перемещение иглы форсунки, давление газов в цилиндре, давление насосных ходов и давление топлива при входе в форсунку.

В описанной схеме использовался датчик регистрации теплового потока, основанный на принципе дополнительной (вспомогательной) пластины.

В описанной схеме использовался датчик регистрации теплового потока, основанный на принципе дополнительной (вспомогательной) пластины, разработанный в Институте технической теплофизики АН Украины (рис. 3) [5,6]. Константановая пластина (вспомогательная пластина) 1 припаяна к медному корпусу 2.

Медный электрод 4 изолирован от корпуса и вспомогательной пластины, но имеет электрический контакт пленкой меди 6, нанесенной на верхнюю поверхность вспомогательной пластины.

Константановый электрод изолирован от медного корпуса и соединен со вспомогательной константановой пластиной. Медный электрод: связывает корпус с измерительной аппаратурой. Таким образом, медный электрод с медной пленкой с одной стороны, константановый электрод 3 с константановой вспомогательной пластиной с другой стороны образуют первую термопару, измеряющую нестационарную температуру на верхней поверхности вспомогательной пластины. Вторую термопару на нижней поверхности вспомогательной пластины 1 составляют тот же константановый электрод 3 и пластина 1 с одной стороны и медный корпус 2 с медным электродом 5 с другой стороны. В целях обеспечения одномерного температурного поля во вспомогательной пластине боковую поверхность датчика покрывают теплоизолирующим слоем керамики, а также изолирующим клеем. С помощью этого датчика возможно измерение как стационарных, так и нестационарных локальных тепловых потоков [5].

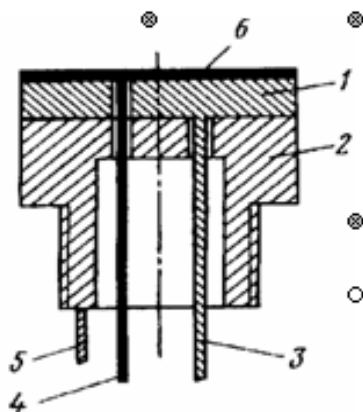


Рисунок 3 - Схема датчика, работающего по принципу дополнительной стенки

Для определения теплового потока через стенку измеряют разность температур на гранях дополнительной стенки (с известной теплопроводностью), нанесенной на исследуемую деталь по изотермической поверхности. Тогда тепловой поток определится из простого уравнения

$$q = \lambda \cdot \delta / M,$$

где  $\lambda$  и  $\delta$  — соответственно теплопроводность и толщина дополнительной стенки;

$M$  — падение температуры на дополнительной стенке при протекании теплового потока  $q$ .

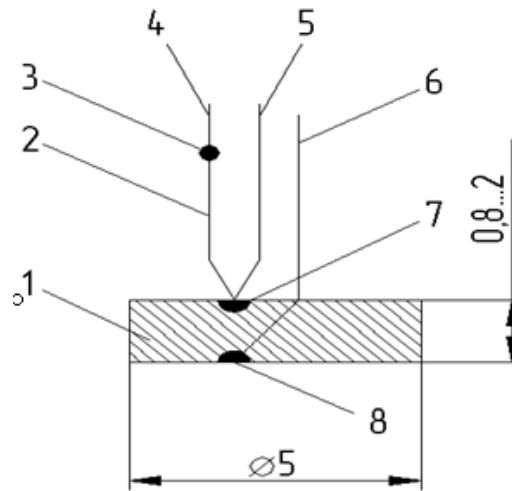


Рисунок 4 - Схема датчика теплового потока  
 1 – корпус датчика; 2,4,5,6 – электроды; 3,7,8 – термопарные спаи

Применение для исследования тепловых потоков метода дополнительной стенки позволяет устранить следующие недостатки, которые присущи измерениям с помощью эшелонированных термопар: невозможность определения расположения их “активных” (горячих) спаев, а, следовательно, и расстояния  $\delta$  между ними, невозможность точного определения теплопроводности материала детали  $\lambda$  между горячими спаями термопар на различных режимах работы детали, что может привести к большим погрешностям при решении прямой задачи теплопроводности. Однако применение в качестве основных материалов меди и константана вносит свою погрешность, из-за несовпадения их с материалом детали по теплофизическим свойствам. Для устранения этого недостатка на кафедре «Тепловые двигатели» Брянского государственного технического университета разработан датчик тепловых потоков, представленный на рисунке 4 [6].

Корпус датчика 1 представляет собой шайбу диаметром 5 мм и высотой 0,8...2,5 мм, выполненную из материала объекта исследования или близкого к нему по теплофизическим свойствам. На плоскостях шайбы закреплено по термопарному спаю 7 и 8 заподлицо с телом датчика. При этом от спаев на тепловоспринимающей поверхности плоскости датчика отходит один электрод 6, а от спаев на отводящей – два. Электроды 4,5,6 – одноименные; выполнены из хромеля. Разноименные электроды 2 (выполнен из копеля) и 4 соединены через термопарный спай 3. Указанные электроды имеют изоляцию из стеклонити, пропитанной кремнеорганическим лаком. Термостойкость датчика ограничена термостойкостью его корпуса и, следовательно, не меньше термостойкости самого объекта исследования.

Датчик теплового потока устанавливается в головку блока цилиндров автотракторного дизеля с жидкостным охлаждением 4Ч 11/12,5. Она представляет собой литой, закрытый корпус относительно малой высоты с внутренней полостью сложной формы, закрепляемый на блок-картере с помощью групповых резьбовых соединений через уплотнительную прокладку [7].

Головка выполнена по двухклапанной схеме с рядным расположением клапанов. Одинаковые клапаны соседних цилиндров расположены парно и объединены патрубками соответствующих газовых каналов. Оси клапанов расположены параллельно оси цилиндра в вертикальной плоскости, совпадающей с общей плоскостью осей цилиндров. Отверстия для направления стержней клапанов выполнены во вставных втулках.

Датчик из материала объекта не вносит погрешности в процесс теплообмена на границе объекта и среды [8]. Он устанавливается в испытуемый объект так, чтобы в месте их контакта не нарушалась тепловая однородность самого объекта: или же с помощью контактной сварки, или же с помощью связующих веществ, имеющих одинаковые теплофизические свойства с материалом исследуемого объекта.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Чайнов, Н. Д., Заренбин В. Г., Иващенко Н.А. Тепломеханическая напряженность деталей двигателей [Текст] / Н. Д. Чайнов, В. Г. Заренбин, Н.А.Иващенко.- М.: Машиностроение, 1977. - 152 с.
2. Костин, А. К. и др. Теплонапряженность двигателей внутреннего сгорания [Текст]: Справочное пособие / А. К. Костин, В. В. Ларионов, Л. И. Михайлов. - Л.- Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. - 222 с.: ил.
3. Кавтарадзе, Р. З. Теория поршневых двигателей. Специальные главы [Текст]: Учебник для вузов / А. К. Костин. - М: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. - 720 с.: ил.
4. Кавтарадзе, Р. З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях [Текст]: Учеб. пособие для вузов / Р. З. Кавтарадзе. – Изд. 2-е, перераб. и доп.- М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. - 472 с.: ил.
5. Кавтарадзе, Р. З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях [Текст]: Учеб. пособие для вузов / Р. З. Кавтарадзе. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. - 592 с.: ил.
6. Пат. 2063006 Российская Федерация, Способ определения тепловыделения [Текст]/ Новиков В. Г., Забрянский А.В. // Б.И. - 1996. - № 18.
7. Взоров, Б. А. Тракторные дизели [Текст]: Справочник / Б. А. Взоров, А. В. Адамович, А. Г. Арабян и др.; под общ. ред. Б. А. Взорова. - М.- Машиностроение, 1981. - 535 с.: ил.
8. Забрянский, А.В. Методика тарировки датчиков для измерения стационарных тепловых потоков в деталях энергетических машин [Текст]/ А. В. Забрянский, В. Г. Новиков // Повышение надежности энергетических машин: Сб. науч. тр. Брянского гос. техн. ун-та.,1996. – С. 111 – 117.

**Зинуков Андрей Александрович**

Брянский государственный технический университет, г.Брянск

Ассистент кафедры «Тепловые двигатели»

Тел. +7(4832) 58 82 30

E-mail: [zinukvaa@tu-bryansk.ru](mailto:zinukvaa@tu-bryansk.ru)

И. Е. АГУРЕЕВ, М. В. ДЕНИСОВ

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ДИНАМИКИ ПАССАЖИРСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

*Приводится описание динамической модели пассажирской остановки, рассмотрены вопросы определения коэффициентов модели, основанного на методике обработки временных рядов, обсуждаются результаты вычислительного эксперимента и сравнение расчетных и экспериментальных данных.*

**Ключевые слова:** транспортная система, маршрутное транспортное средство, остановочный пункт, математическое моделирование, динамическая модель.

*The description of dynamical model of a passenger stop is given, the questions of determination of the model coefficients based on the using of temporal rows are investigated, the results of computing experiments and comparison between the computing and experimental data are discussed.*

**Key words:** transportation system, passenger vehicles, bus stop, mathematical modeling, dynamical model.

### Введение

Во многих крупных городах исчерпаны или близки к исчерпанию возможности экстенсивного развития транспортных сетей. Поэтому особую важность приобретает оптимальное планирование развития сетей, улучшение организации движения, оптимизация системы маршрутов общественного транспорта. Решение таких задач невозможно без математического моделирования транспортных сетей и функционирования транспорта на них. Среди всего разнообразия математических моделей, применяемых для анализа транспортных сетей, можно выделить три основные группы моделей, в соответствии с представлениями, изложенными в работе [1]: прогнозные модели, имитационные модели, оптимизационные модели.

Прогнозные модели предназначены для моделирования транспортных потоков в сетях с известной геометрией и характеристиками и при известном размещении потокообразующих объектов города. Модели этого типа применяются для поддержки решений в области планирования развития города, для анализа последствий тех или иных мер по организации движения, выборе альтернативных проектов развития транспортной сети и др.

В отличие от этого имитационное моделирование ставит своей целью воспроизведение всех деталей движения, включая развитие процесса во времени. При этом усредненные значения потоков и распределение по путям считаются известными и служат исходными данными для этих моделей. Таким образом, прогноз потоков и имитационное моделирование являются дополняющими друг друга направлениями. Имитационные модели позволяют оценить скорости движения, задержки на перекрестках, длины и динамику образования «очередей», или «заторов», и другие характеристики движения. Основная область применения таких моделей – улучшение организации движения, оптимизация светофорных циклов и др.

Модели прогноза потоков и имитационные модели ставят своей целью адекватное воспроизведение транспортных потоков. Существует, однако, большое количество моделей, предназначенных для оптимизации функционирования транспортных сетей. В этом классе моделей решаются задачи оптимизации маршрутов пассажирских и грузовых перевозок, выработки оптимальной конфигурации сети и др.

Городской пассажирский транспорт является сложной социально-экономической системой, так как включает большое число взаимосвязанных и взаимодействующих между собой компонентов, имеющих определенную структуру, формирующих как единое целое и направленных на решение сложных задач. Для исследования данной системы объек-

тивно необходимо использование экономико-математических методов, что в конечном итоге позволит повысить обоснованность принимаемых управленческих решений.

Значительный вклад в разработку проблем становления и развития системы городского пассажирского транспорта внесли отечественные ученые: Б. Г. Хорович, Ю. М. Коссой, В. А. Гудков, Н. Б. Островский, А. И. Седов, С. А. Дугин, И. В. Спиринов, И. С. Ефремов, В. М. Кобозев, В. А. Юдин, С. А. Ваксман, В. М. Курганов, В. Н. Парахина и другие. В их работах изложены общие принципы организации и обеспечения эффективной работы автотранспортных формирований, выполняющих перевозки пассажиров. Отдельные вопросы экономико-математического моделирования городского пассажирского транспорта рассмотрены в работах Л. Б. Миротина, А. С. Михайлова, М. В. Хрущева, Е. В. Бережной, О. В. Буреш, В. Б. Зотова, Н. Н. Тельновой и других.

Вопросы моделирования движения пассажирского транспорта вблизи остановочных пунктов решались многими исследователями. Например, в работе [2] автор говорит о возможности применения имитационного моделирования процесса обслуживания пассажиров в системе городского пассажирского транспорта. В частности, он указывает на необходимость изучения математической модели пассажирской остановки. Работа [3] посвящена исследованию пропускной способности пассажирских остановок, анализу причин и факторов, влияющих на этот показатель, а также получению регрессионных зависимостей, устанавливающих закономерности влияния найденных факторов на пропускную способность. В статье [4] отражены результаты комплексного исследования с целью сокращения задержек маршрутных транспортных средств (МТС) на остановочных пунктах (ОП), рассматривались и вопросы типологии поведения пассажиров, как фактора, обеспечивающего формирование спроса на перевозки.

Таким образом, тема оптимизации показателей качества функционирования остановочных пунктов в городах рассматривается в работах многих авторов и направлена на решение различных задач. С нашей точки зрения, этой проблеме следует уделять внимание еще и с позиции фактора взаимодействия маршрутных транспортных средств, которые относятся либо к разным маршрутам, либо к разным перевозчикам. Процедура согласования графиков движения тех или иных МТС могла бы выполняться в крупных населенных пунктах службами управления транспортом и дорожного хозяйства, однако практика свидетельствует и о сложности решения такой задачи, и об отсутствии методологической основы для проведения таких работ.

Существенным также является обстоятельство, которое все больше становится предметом исследования различных транспортных систем. Известно, что многие транспортные системы обладают свойствами, которые в самом кратком изложении можно свести к следующим: 1) существенно коллективный характер; 2) нестационарность; 3) стохастичность; 4) способность к переходам в качественно различные состояния. Все эти свойства – признаки неравновесных систем, способных к самоорганизации. В этом отношении удобно при моделировании использовать аппарат теории активных частиц [5] в рамках теории самоорганизации (синергетики).

В настоящей статье рассматривается макросистема пассажирской остановки, математическая модель которой имеет вид нелинейной системы дифференциальных уравнений относительно переменных:  $x$  – количество автобусов, находящихся на остановке;  $y$  – количество пассажиров, ожидающих посадку;  $z$  – число свободных мест в автобусах, находящихся на остановке. Целью исследования является определение характеристик динамики транспортной системы, получение коэффициентов модели, проверка ее адекватности и сравнение с экспериментальными данными. Поставленная цель предполагает решение следующих задач:

- анализ математической модели пассажирской остановки с точки зрения возможных режимов ее поведения;



- анализ экспериментальных временных рядов, полученных при обследовании пассажиропотоков на остановочных пунктах, с целью получения количественных оценок для коэффициентов математической модели;
- сравнение результатов вычислительных и натуральных экспериментов в целях проверки адекватности модели.

**Постановка задачи. Описание модели пассажирской остановки**

Рассмотрим некоторую абстрактную транспортную систему, обеспечивающую некоторую часть транспортного процесса пассажирских перевозок в населенном пункте. Согласно работе [6], эта система представляет собой объект, состоящий из пассажирской остановки, а также МТС и пассажиров, находящихся в границах ОП. Очевидно, что при таком определении это система с непрерывным временем и дискретными состояниями. Для того чтобы перейти к возможности динамического описания с помощью непрерывных функций, следует сделать некоторые допущения. Первое допущение относится к варианту, если в рамках модели рассматривается только один ОП. Тогда переход к непрерывным функциям будет допускаться на основе предположения об одинаковом характере взаимосвязей между реальными дискретными процессами и соответствующими им непрерывными функциями в модели. Второе допущение относится к случаю, если мы в рамках одной модели описываем синхронную динамику сразу нескольких или всех ОП (так называемая *метаостановка*) в населенном пункте. Тогда переход к непрерывным функциям допускаться на основе предположения о высоких значениях дискретных переменных.

Модель транспортного процесса перевозок пассажиров в населенном пункте может быть сформулирована в виде системы обыкновенных дифференциальных уравнений с нелинейными правыми частями:

$$\begin{cases} \dot{x} = a[(X + ky - mz) - x]z - b(Y - y)(Z - z); & (1) \\ \dot{y} = -cxz + d(Y - y); & (2) \\ \dot{z} = -eyz + f(Z - z) + [gz - h(Y - y)]x. & (3) \end{cases}$$

Параметры модели имеют следующий смысл:  $X$  – среднее (нормативное) число автобусов, работающих на маршруте;  $Y$  – среднее количество пассажиров на остановке (условная «вместимость» остановки);  $Z$  – среднее число мест для пассажиров (вместимость автобуса). Коэффициенты модели:  $a$  – характеризует интенсивность прибытия автобусов на остановку (имеет размерность  $1/(\text{мест} \cdot \text{мин})$ );  $b$  – характеризует интенсивность отправления автобусов от остановки ( $\text{авт}/(\text{пасс} \cdot \text{мест} \cdot \text{мин})$ );  $c$  – учитывает интенсивность посадки пассажиров в автобусы ( $\text{пасс}/\text{авт} \cdot \text{мест} \cdot \text{мин}$ );  $d$  – отражает интенсивность прибытия пассажиров на остановку ( $1/\text{мин}$ );  $e$  – учитывает скорость уменьшения числа свободных мест вследствие посадки пассажиров ( $1/(\text{пасс} \cdot \text{мин})$ );  $f$  – характеризует интенсивность увеличения числа свободных мест за счет высадки пассажиров ( $1/\text{мин}$ );  $g$  – характеризует скорость роста числа свободных мест, «прибывающих» вместе с автобусами ( $1/\text{авт} \cdot \text{мин}$ );  $h$  – отражает интенсивность «убывания» свободных мест, не занятых пассажирами до отправления автобуса ( $1/\text{пасс} \cdot \text{авт} \cdot \text{мин}$ );  $k$  – описывает интенсивность выхода на линию автобусов сверх нормативного значения при увеличении числа пассажиров на остановках ( $\text{авт}/\text{пасс}$ );  $t$  – характеризует интенсивность «схода» автобусов с маршрутов вследствие роста числа свободных мест ( $\text{авт}/\text{мест}$ ).

Слагаемые в правых частях уравнений имеют следующий смысл. В уравнении (1) слагаемое с знаком «+» отражает поступление автобусов на остановку, зависящее от разности общего количества автобусов, находящихся на маршрутах, и числа автобусов на остановке. В этом слагаемом учитываются также выпуск автобусов на маршрут при росте числа пассажиров на остановке (например, в часы «пик»), а также «сход» с маршрута при увеличении числа свободных мест в автобусе. Это слагаемое пропорционально количеству свободных мест в автобусах на остановке (чем больше свободных мест, тем интенсивнее будут автобусы поступать на посадку с целью загрузки – или сходят с маршрута, о чем

уже сказано). Слагаемое со знаком « $\rightarrow$ » отражает процесс отправления автобуса от остановки. Оно осуществляется быстрее, если, с одной стороны, на остановке мало пассажиров (становится короче по времени процесс посадки) или, с другой стороны, если мало свободных мест в самом автобусе (пассажиры отказываются от посадки). Таким образом, имеем произведение  $b(Y - y)(Z - z)$  и т.д.

В целом, в уравнениях (1), (2), (3) отражены основные причинно-следственные связи, реально действующие в системе и учитывающие коллективный характер динамики пассажиров, транспортных средств и свободных мест. Последний фактор становится здесь своего рода управляющим параметром, влияющим на процесс принятия решений пассажирами и водителями автобусов. Следует ожидать, что построенная модель относится к целой совокупности остановок (метаостановке) и содержит решения, имеющие практический смысл. Отрицательные значения переменных  $x$ ,  $y$ ,  $z$  будут означать потребность в соответствующем виде компонента, т.е., мы специально не ограничиваем значения функций  $x(t)$ ,  $y(t)$ ,  $z(t)$  множеством  $\mathbb{R}_+$ .

Не останавливаясь на деталях численных экспериментов, выполненных с применением сформулированной модели, укажем лишь, что ее динамика имеет в своем составе все основные типы поведения: устойчивые стационарные состояния, предельные циклы и нерегулярные аттракторы. Некоторые результаты этих экспериментов приведены в работах [6, 7].

#### Описание эксперимента и методики обработки экспериментальных данных

Основной задачей экспериментального исследования является получение таких данных, которые давали бы возможность вычислить коэффициенты в модели (1), (2), (3), т.е. выполнить идентификацию модели. С этой целью на первом этапе производилась видеозапись изменения количества пассажиров и транспортных средств на нескольких пассажирских остановках в г. Туле.

Полученные временные ряды содержат информацию об изменении количества транспортных средств и пассажиров за время видеосъёмки. Значения были сведены в таблицы с «шагом» 10 секунд. Далее строились графики, наглядно показывающие распределение во времени случайных величин (количества пассажиров и транспортных средств на остановке) (рис. 1). Также были получены математическое ожидание и дисперсия (рис.2). С помощью компьютерной программы MS-Excel были выделены тренды временных рядов полученных при обследовании остановочных пунктов. Затем определялись характеристики линий тренда временных рядов случайных величин.

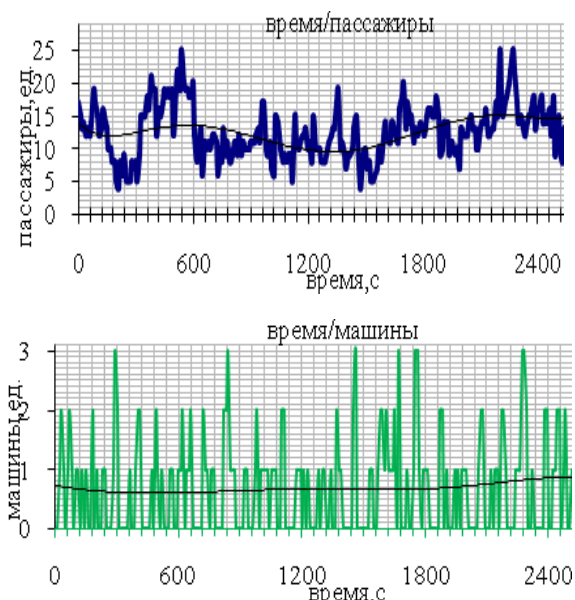


Рисунок 1 - Примерный временной ряд (ОП «ул. Станиславского») с линиями тренда

Описательные статистики

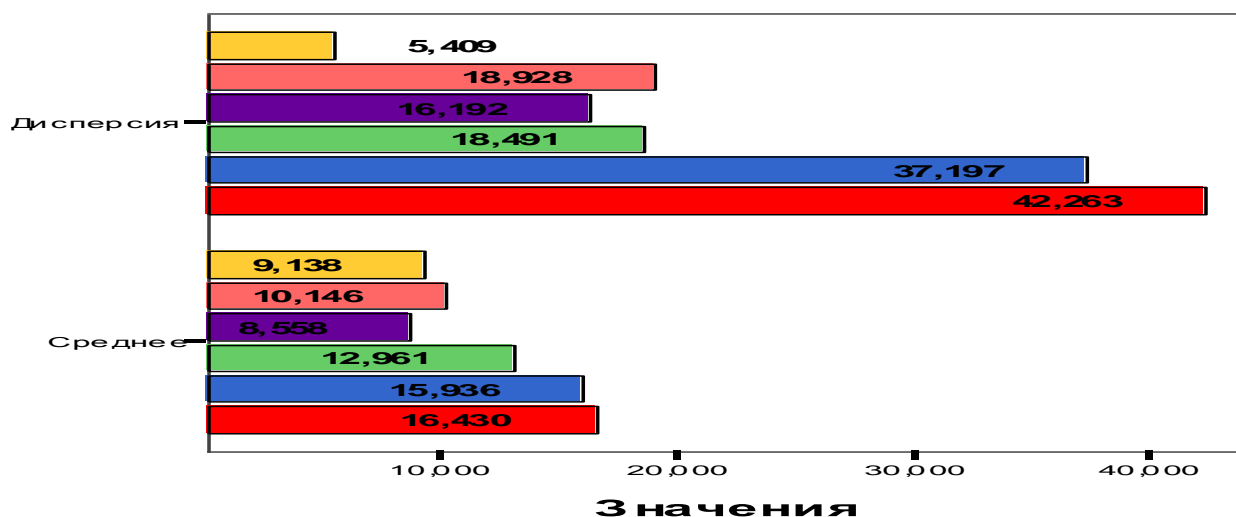


Рисунок 2 - Значения дисперсий и среднего случайной величины у (количество пассажиров, ожидающих посадку)

Методика определения коэффициентов в модели пассажирской остановки и результаты расчёта

Определение коэффициентов в модели пассажирской остановки является не простой задачей. Сложность заключается в том, что необходимо, используя экспериментальные данные, оценить «чувствительность» производных фазовых координат отдельно к изменению каждого слагаемого в левой части уравнений. Эта чувствительность и задается соответствующим коэффициентом. Приходится делать допущение о том, что в наблюдаемый отрезок времени изменение фазовой координаты зависит только от единственной причины, которая и выражается данным слагаемым. Поэтому, применяя такое допущение, можем говорить лишь об определении диапазонов изменения коэффициентов. Таким образом, была разработана методика, основанная на переходе от непрерывных функций и их производных к приращениям соответствующих дискретных величин. Это может быть выражено в виде:

$$\frac{dx}{dt} \rightarrow \frac{\Delta x}{\Delta t} \tag{4}$$

Здесь:  $\Delta x$  – изменение величины  $x$  за соответствующий интервал времени  $\Delta t$ . Таким образом, в уравнениях (1), (2), (3) каждое интересующее нас слагаемое в правой части уравнения может быть замещено по схеме (4). Для определения диапазонов изменения коэффициентов в модели пассажирской остановки определяем значения коэффициентов с интервалом времени, равным 1 минута.

Чтобы получить выражение для определения коэффициента  $a$ , примем равными нулю остальные коэффициенты в правой части первого уравнения, получаем:

$$a = \frac{x(+)}{(X - x) \cdot z} \tag{5}$$

где  $x(+)$  – количество транспортных средств (троллейбус, автобус или микроавтобус), прибывших на остановку за 1 минуту.

Аналогично получаем выражения для коэффициентов  $b, c, d, e, g, h$ :

$$b = \frac{x(+)}{(Y - y) \cdot (Z - z)}, \quad (6)$$

$$c = \frac{y(-)}{x \cdot z}, \quad (7)$$

где  $y(-)$  – количество пассажиров, покинувших остановку за 1 минуту.

$$d = \frac{y(+)}{Y - y}, \quad (8)$$

где  $y(+)$  – количество пассажиров, прибывших на остановку за 1 минуту.

$$e = \frac{z(+)}{y \cdot z}, \quad (9)$$

$$f = \frac{z(+)}{(Z - z)}, \quad (10)$$

$$g = \frac{z(+)}{x \cdot z}, \quad (11)$$

$$h = \frac{z(+)}{x \cdot (Y - y)}, \quad (12)$$

где  $z(+)$  – количество свободных мест, «прибывших» на остановку за 1 минуту.

Аналогично были получены выражения для коэффициентов  $k$  и  $m$ . С помощью выражений (5) - (12) были вычислены значения коэффициентов  $a, b, c, d, e, f, g, h, k, m$  с интервалом через каждую минуту. После обработки поминутных данных сделана оценка диапазонов изменения коэффициентов в модели пассажирской остановки, соответствующих условиям функционирования данного ОП (таблица 1), а также средние значения коэффициентов.

Таблица 1 – Интервалы изменения коэффициентов в модели пассажирской остановки

	$a$	$b$	$c$	$d$	$e$	$f$	$g$	$h$	$k$	$m$
$min$	0,001	0,0003	0,2	0,05	0,05	0,08	0,3	0,1	0,08	0,1
$max$	0,013	0,003	20	0,7	1	0,4	15	0,7	0,8	4
$mid$	0,007	0,00165	10,1	0,375	0,525	0,24	7,65	0,4	0,44	2,05

Вычислительный эксперимент функционирования динамической модели пассажирской остановки

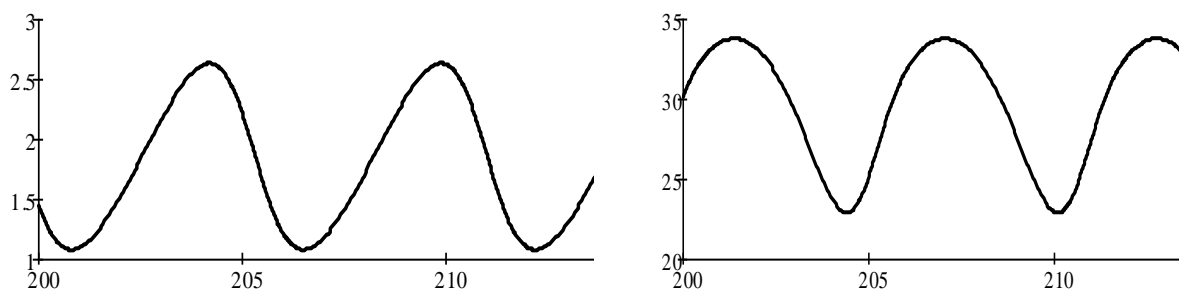
Вычислительный эксперимент представлял собой численное интегрирование уравнений (1)-(3) с заданными начальными условиями и с коэффициентами, взятыми по таблице 1. Несмотря на относительно широкие диапазоны, их оценка дает представление о порядке величин. Один из вариантов расчета представлен в таблице 2 и на рисунке 3. Интегрирование выполнялось методом Рунге-Кутта 4-го порядка с постоянным шагом инте-

гирования, с точностью, позволяющей делать выводы о сходимости системы уравнений к полученному решению.

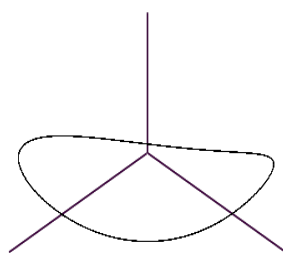
Результаты вычислений показывают, что пассажирскую остановку можно рассматривать как неравновесную динамическую систему, в которой наблюдаются сложные динамические процессы (предельные циклы), а также устойчивые стационарные состояния. Параметры этих процессов позволяют делать выводы о состоянии транспортной системы в целом, если будет разработана шкала для оценки этих состояний.

Таблица 2 – Параметры и начальные условия модели

$a$	$b$	$c$	$d$	$e$	$f$	$g$	$h$
0,00155	0,000568	0,8	0,25	0,055556	0,181818	1	0,3125
$k$	$m$	$X$	$Y$	$Z$	$x_0$	$y_0$	$z_0$
0,598417	1,07715	130	50	65	1	1	1



а



б

Рисунок 3 - Решение модели: а – временная динамика; б – фазовый портрет

### Заключение

В работе выполнен анализ вариантов динамического поведения модели пассажирской остановки, экспериментально найдены временные ряды для конкретных пассажирских остановок в г. Туле, построены линии тренда, вычислены статистические характеристики. Значения этих характеристик позволяют сделать предварительный вывод о примерном постоянстве характеристик для рассмотренной остановки.

Обнаружено, что поведение линий тренда представляет собой периодический процесс, где смещение между максимумами составляет примерно  $kT$ , где  $k=0.09...0.58$  (доля периода). Это свидетельствует о наличии периодической динамики и связи между рассматриваемыми (расчётными) величинами ( $x, y, z$ ).

На основе разработанной методики в работе выполнена оценка диапазонов изменения коэффициентов используемой динамической модели пассажирской остановки. Получены решения, имеющие вид устойчивых точек (фокусов) или предельных циклов, соот-

ветствующие по своим характеристикам (координаты стационарного состояния, средние значения, амплитуды колебания) характеру поведения экспериментальных линий тренда, что свидетельствует о качественном соответствии модели наблюдаемым данным.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Швецов, В. И. Математическое моделирование транспортных потоков [Текст] / В. И. Швецов // Автоматика и телемеханика. - 2003. - № 11. – С. 3-46.
2. Сорокин, А. А. Предпосылки к формированию имитационных моделей системы городского пассажирского транспорта [Текст] / А. А. Сорокин // Вузовская наука - Северо-Кавказскому региону - Ставрополь: СевКавГТУ. - 2006. - 225 с., С. 208-209.
3. Грачев, В. В. Определение пропускной способности остановочных пунктов на современном этапе развития пассажирских перевозок [Текст] / В. В. Грачев, И. П. Димова // Вестник ИрГТУ. – 2008. - № 4(36). – С. 66 -70.
4. Исааков, М. М. Комплексное исследование остановочных пунктов городского транспорта г. Оренбурга [Текст] / М. М. Исааков, В. И. Рассоха // Вестник ОГУ. – 2007. - № 9. – С.207-214.
5. Олемской, А. И. Синергетика сложных систем: Феноменология и статистическая теория [Текст] / А. И. Олемской. - М. - КРАСАНД, 2009. – 384 с.
6. Агуреев, И. Е. Нелинейная динамика в теории автомобильных транспортных систем [Текст] / И. Е. Агуреев // Автомобильный транспорт. Тула: Изд-во ТулГУ. 2006. № 9. С. 3-13.
7. Агуреев, И. Е. Нелинейные модели транспортных процессов и систем [Текст] / И. Е. Агуреев // Автомобильный транспорт. Тула: Изд-во ТулГУ, 2006. № 10. С.3-11.
8. Агуреев, И. Е. Применение теории Фейгенбаума-Шарковского-Магницкого для анализа модели конкуренции двух автомобильных перевозчиков [Текст] / И. Е. Агуреев; под ред. С. В. Емельянова. - Труды Института системного анализа Российской академии наук. Динамика неоднородных систем. - Т. 33. – Вып. 12. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – С. 159-175.

**Агуреев Игорь Евгеньевич**

Тульский государственный университет, г. Тула

Доктор технических наук, профессор, декан факультета транспортных и технологических систем

Тел. +7 (4872)35 89 35

E-mail: [agureev-igor@yandex.ru](mailto:agureev-igor@yandex.ru)

**Денисов Максим Валерьевич**

Тульский государственный университет, г. Тула

Аспирант кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства

Тел. +7 (4872)35 05 01

E-mail: [aiax@tsu.tula.ru](mailto:aiax@tsu.tula.ru)

УДК 331.45

А. П. ЛАПИН, П. А. ЛАПИН, Р. Р. САДЫКОВ

## МЕТОДЫ ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ ТРУДА ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ И РЕМОНТЕ АВТОМОБИЛЕЙ

*В статье рассмотрены основные методы оценки условий труда ремонтных рабочих. Их влияние и воздействие на безопасность труда, с точки зрения эргономики и технической приспособленности.*

**Ключевые слова:** охрана труда, оценка условий труда, техническое обслуживание, безопасность труда.

*The article describes the main methods for evaluating the working conditions of repair workers. Their influence and impact on safety, in terms of ergonomics and technical fitness.*

**Keywords:** a labor safety, an estimation of working conditions, maintenance service, safety of work.

Анализ производственно-технической базы показал, что большинство организаций, около 75% являются специализированными по видам работ и сложности ТО и ремонта с количеством постов больше 2-х, но меньше 6-ти, располагающихся в единой рабочей зоне. В большинстве ремонтных организаций сохраняется недооснащенность участков оборудованием, необходимым для выполнения качественных ремонтных работ.

Уровень оснащения организаций ремонтным технологическим оборудованием не превышает 60%: так, обеспеченность средствами диагностирования составляет 35%; разборочно-сборочным оборудованием - 30%; смазочно-заправочным оборудованием - 65%. При выполнении разборочно-сборочных работ в 18% организаций используются различные немеханизированные стенды для разборки-сборки агрегатов и узлов, а в остальных организациях ремонтные работы выполняются на бетонном полу (в лучшем случае на специальном столе), а перемещение и поворачивание тяжелых крупногабаритных агрегатов осуществляется кран-балкой. Разборочно-сборочные работы резьбовых соединений в большинстве случаев выполняются ручным простейшим инструментом.

Сложившаяся ситуация при техническом обслуживании и ремонте оказывает негативное влияние на условия труда ремонтных работников и поэтому в последние годы наблюдается повышенный травматизм работников при проведении всех видов ремонтных работ сельскохозяйственной техники.

Улучшение условий труда на производственных участках, рабочих местах ремонтно-обслуживающей базы предприятий АПК можно достичь путем проведения аттестации рабочих мест, которая должна стать ключом к решению проблемы профилактики профзаболеваний и производственного травматизма. Разработка научно-обоснованных критериев оценки условий труда особенно актуальна в настоящее время, так как количественная оценка необходима для контроля и целенаправленного воздействия на человеко-машинную систему в целом и позволяет учитывать влияние условий труда на экономические показатели организации. Методам оценки условий труда работников посвящены ряд работ и нормативных документов, однако единого подхода для эргономической оценки условий труда ремонтных работников, выполняющих операции технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники, с использованием технологического оборудования пока нет.

Трудность связана с многообразием оборудования и инструментов, влиянием целого комплекса факторов окружающей среды (метеофакторов, вредных химических ве-

ществ, аэрозолей, шума, вибрации, освещенности и др.) на безопасность труда, суммарного воздействия производственных факторов на организм человека.

Исследования условий труда осуществляются по трем направлениям:

- исследование совокупности факторов производственной среды, в которой осуществляется деятельность человека;
- исследование безопасности технологических процессов, оборудования;
- исследование безопасности труда с позиций производственного травматизма.

В работе [1] авторы предлагают методику эргономической оценки рабочего места, как малой эргатической системы, включающую три этапа:

1 этап - эргономический анализ рабочего места (установление эргономических факторов, воздействующих на человека в процессе труда и определение их параметров);

2 этап - анализ реакций организма работающего на трудовую нагрузку (анализ изменения показателей основных функциональных систем организма, испытывающих наибольшее воздействие нагрузки при производственной деятельности, исходя из условий труда и организации рабочего места);

3 этап - эргономическая оценка рабочего места (оценка эргономических факторов, полученных на первом этапе исследований с точки зрения соответствия их параметров эргономическим требованиям).

Эргономическая оценка системы и ее элементов производится исходя из комплексных критериев, отражающих производительность, надежность оборудования, безопасность для здоровья, психофизиологические возможности человека, степень тяжести и напряженности труда и т.п. Произвести эргономическую оценку позволяют такие методы, как хронометраж, наблюдение, опрос работников, заполнение работающим специально разрабатываемых карт-опросников.

Наиболее распространенные методики исследований предполагают определение фактических значений, характеризующих отдельные факторы рабочей среды, сравнение их с предельно допустимыми, получение безразмерных коэффициентов по каждому фактору с целью их дальнейшего суммирования и вычисления комплексного критерия.

В работе [2] вычисляются коэффициенты значимости («веса») каждого фактора. Условия труда для нескольких рабочих мест характеризуются различными факторами. Для каждого фактора среды определяется дифференциальный показатель, сумма которых позволяет определить интегральный показатель по всем факторам.

Степень воздействия различных качеств условий труда определяется коэффициентом «веса», диапазон изменений которых находится в пределах от 0 до 1. Комплексный критерий находится суммированием произведения показателей «веса» и «качества» условий труда с учетом числа учитываемых качеств условий труда.

В работе [3] интегральный показатель вредности группы гигиенических факторов определяется по формуле:

$$R_i = R_{\max} + \frac{1 - R_{\max}}{n - 1} \sum_{i=1}^{k-1} R_i, \quad (1)$$

где  $R_{\max}$  - основной показатель из учитываемых факторов;

$R_i$  - показатель  $i$ -го сопутствующего фактора;

$n$  - число временных факторов, наиболее характерных для данного производственного процесса;



$k$  - число учитываемых факторов.

Такой подход к анализу условий труда отображает состояние производственной среды относительно, т.к. неопределенное число факторов и интервальный характер полученных значений вносят существенную погрешность и не позволяют сравнить условия труда в случае близких параметров.

Для оценки травмоопасности оборудования широко применяются методы, основанные на использовании сведений о производственном травматизме.

Метод оценки условий труда с позиции производственного травматизма предусматривает сбор материала о несчастных случаях, вычисление показателей травматизма, группировку случаев по различным признакам. Такая методика позволяет выявить причины травматизма при эксплуатации производственного оборудования и выбрать наиболее рациональные пути снижения количества несчастных случаев на производстве.

Методы, основанные на использовании статистического материала о несчастных случаях, при соответствующей математической обработке позволяют делать прогноз о травмоопасности эксплуатируемого оборудования и проследить общую тенденцию распределения травматизма на ближайшие 4-5 лет.

В методике количественной и качественной оценки опасности и одновременно вредности как действующих, так и вновь проектируемых процессов, потенциальная опасность и вредность рассмотрены как вероятность происхождения производственной травмы и профессионального заболевания. Количественная оценка этих двух событий определяется через расчет их вероятности, а оценочный показатель опасности и вредности производственных процессов равен сумме потерь от действия вредных и опасных факторов.

Перечисленные методики оценки условий труда имеют некоторые недостатки: не выявляют конкретных причин травматизма и профессиональных заболеваний; в большинстве методик параметры условий труда не систематизированы, имеют разные физические единицы измерения; не отображают полноту взаимодействия работника и производственной среды, не учитывают такого социально-значимого критерия, как риск нанесения ущерба здоровью работающих.

Для оценки совершенства технологических процессов по фактору профессионального риска [4] предлагают методику количественной оценки скрытого риска, генерируемого неблагоприятными условиями труда.

Для реализованных технологических процессов риск оценивается по результатам аттестации рабочих мест по условиям труда, а для вновь предлагаемых технологий необходимо предварительно оценить уровни сопутствующих их реализации вредных факторов производственной среды.

Такая методика позволяет выбрать из числа возможных альтернатив предпочтительный по данному фактору безопасный технологический процесс.

Анализ травматизма на производстве [5] учитывает, в основном, смертельные и тяжелые несчастные случаи, в меньшей степени - легкие травмы, и совсем не принимаются во внимание (не расследуются и не учитываются) микротравмы и, следовательно, не подвергаются анализу и управлению опасные факторы и профессиональные риски. Уровень смертельного травматизма в Российской Федерации в два - девять раз выше, чем в промышленно развитых странах.

Наши исследования показывают, что одному смертельному случаю предшествуют 10-30 тяжелых травм, около 100-300 легких, порядка от одной до трех тысяч микротравм или 10-30 тысяч опасностей, которые имеются на производстве.

Используя качественный и количественный метод оценки рисков путем анализа статистических данных, можно проследить тенденции изменения травматизма и профессиональной заболеваемости, выбрать наиболее неприемлемые риски.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Глемба, К.В. Улучшение условий труда и снижение травматизма операторов мобильных колесных машин сельскохозяйственного назначения [Текст] : автореф. дис ... канд. техн. наук. – Орел, 2004. – 19 с.
2. Игнатова, Н.В. Оценка уровня технического обслуживания и ремонта автомобиля на основе требований системы сертификации [Текст]: автореф. дис ...канд. техн. наук. – Оренбург, 1999 - 21с.
3. Методика количественной оценки скрытого риска [Текст] // Охрана труда и социальное страхование, 2001. – №2. – с. 37.
4. Новиков, А.Н. Дорожно-транспортный травматизм в агропромышленном производстве России и его причины [Текст] / А. Н. Новиков // Мир транспорта и технологических машин. - 2009. – 5 с.
5. Отчет о научно-исследовательской работе «Анализ несчастных случаев в АПК РФ с летальным и тяжелым исходом за 2002 год по материалам расследований по отраслям и регионам России» //ФГНУ ВНИИ ОТ СХ. Орел, 2003. -364с.

**Лапин Алексей Павлович**

ФГОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК», г. Орел

Заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор кафедры «Сервис и ремонт машин»

Тел. +7 (4862) 73 43 50

E-mail: [sirm@ostu.ru](mailto:sirm@ostu.ru); [srmostu@mail.ru](mailto:srmostu@mail.ru)

**Лапин Павел Алексеевич**

ГОУ ВПО Орловский государственный университет, г. Орел

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности»

Тел. +7 (4862) 41 54 07

**Садыков Раджаб Рустамович**

ФГОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК», г. Орел

Старший преподаватель кафедры «Сервис и ремонт машин»

Тел. +7 (4862) 73 43 50

E-mail: [rodger2000@mail.ru](mailto:rodger2000@mail.ru)

УДК 656.135.073

С. Ф. ПОДШИВАЛОВ, К. С. ПОДШИВАЛОВА, Ю. В. РОДИОНОВ

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАРШРУТОВ С КОНТРОЛЬНОЙ ВЕРШИНОЙ ИЗ РАЗНЫХ ЦЕНТРОВ

*Предложена методика усовершенствования метода ветвей и границ, позволяющая посещать вершины графа несколько раз. Представлено решение задачи маршрутизации для определения оптимальных маршрутов из разных центров минимального суммарного веса.*

**Ключевые слова:** алгоритм, граф, матрица, методика расчёта, маршрут.

*The method of improving branches and borders is presented, which help to arrive to the graph top for several times. The decision of a problem of routing for definition of optimum routes from the different centers of the minimum total weight is presented.*

**Keywords:** algorithm, graph, matrix, the method of calculating, rout.

Задана транспортная сеть с симметричной матрицей расстояний. Требуется рассчитать маршруты для мелкопартионной развозки грузов с заданной контрольной вершиной, которые начинаются в разных пунктах, чтобы их суммарная длина была наименьшей.

В общем случае, с геометрической точки зрения, маршрут состоит из различных комбинаций радиальной и кольцевой схем передвижения. В этом случае кольцевой маршрут с симметричной матрицей расстояний можно представить в виде двух радиальных схем, проходящих по этим же самым ветвям, которые будут начинаться и заканчиваться в одних и тех же вершинах.

Таким образом, любой маршрут геометрически представляется комбинацией только радиальных схем движения.

Для решения поставленной задачи усовершенствуем методику поиска радиальных маршрутов с помощью фиктивных узлов [1].

Алгоритм расчета заключается в нижеследующем:

1. Составляем исходную матрицу весов (расстояний)  $L$  между вершинами графа –  $a_{ij}$ .

2. Формируем радиально-фиктивную матрицу расстояний –  $L^{\delta\delta}$ . Для этого в матрицу  $L$  добавляем в исходные и конечные вершины фиктивные узлы. Их количество равно числу маршрутов, проходящих через рассматриваемую вершину, минус единица.

3. Переходим к приведенной матрице –  $L^{np}$ . Для этого в каждой строке находим минимальный элемент  $h_i$  и вычитаем его из всех остальных элементов  $a_{ij}$ , расположенных в рассматриваемой строке:

$$a_{ij}' = a_{ij} - h_i, \quad i = 1, 2, 3 \dots n. \quad (1)$$

Затем в полученной матрице находим минимальный элемент в каждом столбце  $h_j$  и вычитаем его из всех остальных элементов  $a_{ij}'$ , расположенных в рассматриваемом столбце:

$$a_{ij}'' = a_{ij}' - h_j, \quad j = 1, 2, 3 \dots m. \quad (2)$$

4. Вычеркиваем строки и столбцы с номерами конечных и исходных пунктов, соответственно, включая фиктивные.

5. Создаем оценочную матрицу –  $L^0$ . Определяем для каждого элемента с  $a_{ij}'' = 0$  оценку по формуле:

$$A = \min a_{ik}'' + \min a_{sj}'' , \quad (3)$$

где  $a_{ik}''$  – наименьший элемент в строке  $i$ ;

$a_{sj}''$  – наименьший элемент в столбце  $j$ ;

$k \neq j, \quad s \neq i, \quad k, s = 1, 2, 3 \dots n.$

Находим пару  $k - s$  с максимальной оценкой

$$A_{ks} = \max A_{ij}, \quad i, j = 1, 2, 3 \dots n. \quad (4)$$

6. Переходим к новой матрице  $L_1$ . Для этого вычеркиваем из  $L^0$  строку  $k$  и столбец  $s$  с наибольшей оценкой. Блокируем ячейку на пересечении строки  $s$  и столбца  $k$ , а также ветвь, ведущую к заикливлению цепи со звеном  $k - s$ .

7. Создаем новые расчетные фиктивные матрицы  $\Phi_k$  и  $\Phi_s$  вводя в  $L_1$  вычеркнутые вершины  $k$  и  $s$ , соответственно.

8. Выполняем над матрицами  $L_1$ , и  $\Phi_k$  и  $\Phi_s$  операции приведения и оценки, описанные в пунктах 3, 5-7, до тех пор, пока последняя вычеркиваемая ветвь не станет очевидной. Количество фиктивных узлов не должно превышать количества ветвей, входящих в узел минус единица. Оптимальный маршрут устанавливается путем сравнения вариантов.

Рассмотрим применение предложенного алгоритма на примере транспортной сети из четырнадцати пунктов (рис. 1).

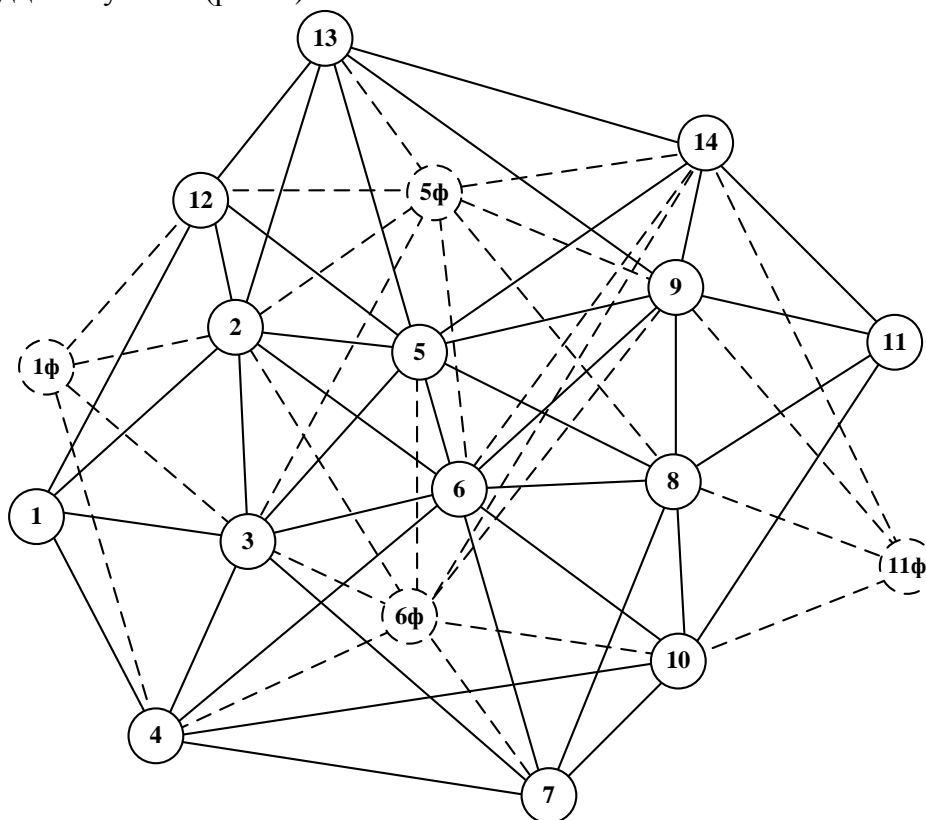


Рисунок 1 – Радиально-фиктивный граф транспортной сети

Требуется рассчитать маршруты движения из пунктов 1 и 11 через вершины 5 и 6, соответственно.

На первом этапе составляем исходную матрицу расстояний (таблица 1). Из нее формируем радиально-фиктивную матрицу (таблица 2). Для этого вводим дополнитель-

ные фиктивные строки 1ф и 11ф, которые дублируют строки матрицы  $L$  с номерами исходных пунктов 1 и 11. Кроме того, добавляем фиктивные столбцы 5ф и 6ф, соответствующие столбцам матрицы  $L$  с номерами конечных пунктов 5 и 6. На рисунке 1 фиктивные узлы изображены пунктирными линиями.

Вычисления проводились на ПК по специально разработанной программе. Приводим здесь некоторые их результаты.

Таблица 1– Исходная матрица расстояний  $L$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1		3	2	1								3		
2	3		1		8	6						4	2	
3	2	1		2	3	5	5							
4	1		2			4	7							
5		8	3			8		6	4			5	6	7
6		6	5	4	8		6	3	3	6				
7			5	7		6		4		2				
8					6	3	4		7	5	7			
9					4	3		7			5		2	6
10						6	2	5			6			
11								7	5	6				7
12	3	4			5								7	
13		2			6				2			7		2
14					7				6		7		2	

Таблица 2 – Матрица  $L^{p\phi}$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	5ф	6ф	1ф	11ф
1		3	2	1								3						
2	3		1		8	6						4	2		8	6	3	
3	2	1		2	3	5	5								3	5	2	
4	1		2			4	7									4	1	
5		8	3			8		6	4			5	6	7				
6		6	5	4	8		6	3	3	6								
7			5	7		6		4		2						6		
8					6	3	4		7	5	7				6	3		7
9					4	3		7			5		2	6	4	3		5
10						6	2	5			6					6		6
11								7	5	6				7				
12	3	4			5								7		5		3	
13		2			6				2			7		2	6			
14					7			6					2		7			
1ф		3	2	1								3						
11ф								7	5	6	7			7				7
5ф		8	3			8		6	4			5	6	7				
6ф		6	5	4	8		6	3	3	6								

Таблица 3 – Матрица  $L^{np}$

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13	14	5ф	6ф
1	2	1	0							0				
2		0		5	5					1	1		5	5
3	0		1	0	4	4							0	4
4		1			3	6								3
7		3	5		4		2		0					4
8				1	0	1		4	2				1	0
9				0	1		5				0	4	0	1
10					4	0	3							4
11							2	0	1			2		
12	1			0							4		0	
13	0			2				0		3		0	2	
14				3				4			0		3	
1ф	2	1	0							0				
11ф							2	0	1			2		

Таблица 4 – Матрица  $L^o$

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13	14	5ф	6ф
1	2	1	$0^0$							$0^0$				
2		$0^1$		5	5					1	1		5	5
3	$0^0$		1	$0^0$	4	4							$0^0$	4
4		$0^2$			2	5								2
7		3	5		4		$0^0$		$0^1$					4
8				1	$0^1$	1		4	2				1	$0^1$
9				$0^0$	1		3				$0^0$	4	$0^0$	1
10					4	$0^2$	1							4
11							$0^0$	$0^0$	1			2		
12	1			$0^0$							4		$0^0$	
13	$0^0$			2				$0^0$		3		$0^2$	2	
14				3				4			$0^3$		3	
1ф	2	1	$0^0$							$0^0$				
11ф							$0^0$	$0^0$	1			2		

Результат выполнения второго этапа показан в таблице 2. В таблице 3 дана приведенная матрица третьего и четвертого этапов. Оценочная матрица пятого этапа представлена в таблице 4, в которой вычеркивается ветвь 14-13 с наибольшей оценкой равной 3. Из нее на шестом этапе получаем новую матрицу. Ее оценка выполнена в таблице 5, в которой удаляем ветвь 4-3. Далее получаем оценочную фиктивную матрицу  $\Phi_3^o$  (таблица 6) путем введения расчетного фиктивного узла 3ф в таблицу 5.

Таблица 5 – Матрица  $L_1^0$

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	5ф	6ф
1	2	1	0 <sup>0</sup>							0 <sup>0</sup>			
2		0 <sup>1</sup>		5	5					1		5	5
3	0 <sup>0</sup>		1	0 <sup>0</sup>	4	4						0 <sup>0</sup>	4
4		0 <sup>2</sup>			2	5							2
7		3	5		4		0 <sup>0</sup>		0 <sup>1</sup>				4
8				1	0 <sup>1</sup>	1		4	2			1	0 <sup>1</sup>
9				0 <sup>0</sup>	1		3				2	0 <sup>0</sup>	1
10					4	0 <sup>2</sup>	1						4
11							0 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>	1		0 <sup>0</sup>		
12	1			0 <sup>0</sup>								0 <sup>0</sup>	
13	0 <sup>0</sup>			2				0 <sup>0</sup>		3		2	
1ф	2	1	0 <sup>0</sup>							0 <sup>0</sup>			
11ф							0 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>	1		0 <sup>0</sup>		

Таблица 6 – Матрица  $\Phi_3^0$

	2	4	5	6	7	8	9	10	12	14	5ф	6ф	3ф
1	2	0 <sup>0</sup>							0 <sup>0</sup>				1
2			5	5					1		5	5	0 <sup>2</sup>
3	0 <sup>0</sup>		0 <sup>0</sup>	4	4						0 <sup>0</sup>	4	
7		5		4		0 <sup>0</sup>		0 <sup>1</sup>				4	3
8			1	0 <sup>1</sup>	1		4	2			1	0 <sup>1</sup>	
9			0 <sup>0</sup>	1		3				2	0 <sup>0</sup>	1	
10				4	0 <sup>2</sup>	1						4	
11						0 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>	1		0 <sup>0</sup>			
12	1		0 <sup>0</sup>								0 <sup>0</sup>		
13	0 <sup>0</sup>		2				0 <sup>0</sup>		3		2		
1ф	2	0 <sup>0</sup>							0 <sup>0</sup>				1
11ф						0 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>	1		0 <sup>0</sup>			
3ф	0 <sup>0</sup>	1	0 <sup>0</sup>	4	4						0 <sup>0</sup>	4	

Следует отметить, что использование расчетных фиктивных узлов на более ранних этапах расчета не приводит к оптимальному варианту. В таблице 6 вычеркиваем ветвь 2-3ф. Далее расчет выполняется по вышеизложенному алгоритму. Если отбросить введенные начальные и расчетные фиктивные узлы, то получаются две оптимальные схемы движения: 1-4-3-2-3-5-12-1, длиной 16 км и 11-10-7-8-6-9-13-14-11, длиной 29 км (рис. 2). Заметим, что вершина 3 посещается дважды.

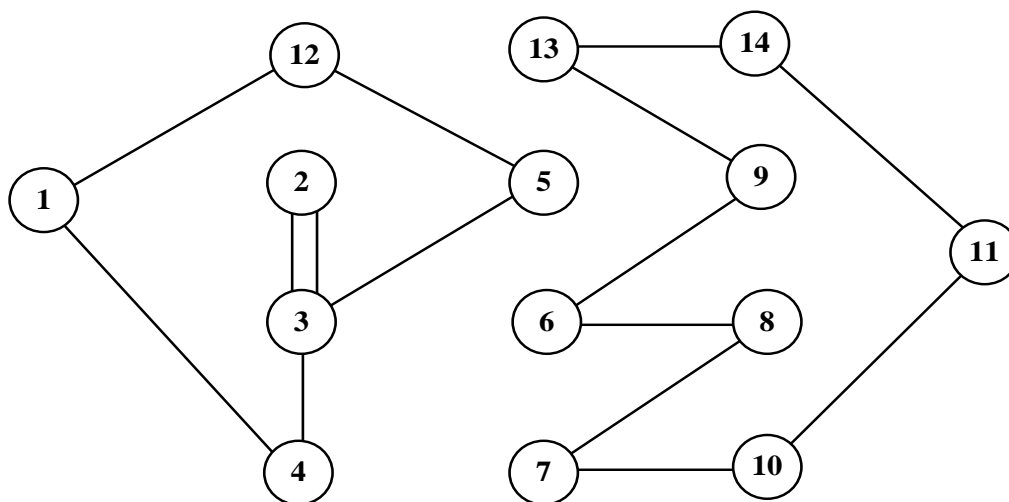


Рисунок 2 – Оптимальные схемы движения

Таким образом, методику фиктивных узлов можно использовать для нахождения маршрутов, выходящих из разных центров, имеющих симметричную матрицу расстояний.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Подшивалова, К.С. Разделение транспортной сети на радиальные маршруты. Материалы Международной научно-практической конференции. – В 2 ч. – Ч. 2 / К. С. Подшивалова. – Волгоград: ВолгГТУ, 2009. – 133-135 с.

**Подшивалова Кристина Сергеевна**

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Организация и безопасность движения»  
Тел. +7 (8412) 49 83 30  
E-mail: [sharm-08@bk.ru](mailto:sharm-08@bk.ru)

**Родионов Юрий Владимирович**

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза  
Доктор технических наук, профессор, директор Автомобильно-дорожного института  
Тел. +7 (8412) 49 83 30  
E-mail: [dekauto@pguas.ru](mailto:dekauto@pguas.ru)

**Подшивалов Сергей Федорович**

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Сопротивление материалов и теория упругости»  
Тел. +7 (8412) 49 83 30  
E-mail: [sharm-08@bk.ru](mailto:sharm-08@bk.ru)



УДК 629.331.042

В. В. НЕДОЛУЖКО, А. Н. НОВИКОВ

## РЕМОНТНОЕ ОКРАШИВАНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ ПОРОШКОВЫМИ КРАСКАМИ

*Технологический процесс окрашивания автомобилей является одним из основных элементов технологии ремонта. Однако существующие способы окрашивания и применяемые лакокрасочные материалы обладают рядом недостатков. Для устранения недостатков традиционных технологий предлагается использование в качестве покрывных слоёв лакокрасочного покрытия порошковых лакокрасочных материалов.*

**Ключевые слова:** порошковые материалы, ремонтное окрашивание, температура нагрева, адгезия

*The technological process of motor- car coloring is one of the basic elements in repair technology, but the existing ways of coloring and paint-and-lacquer materials have a number of drawbacks. To eliminate drawbacks in common technologies the application of powder paint-and-lacquer materials as finishing layers of lacquer coating is offered.*

**Key words:** powder materials, repair coloring, heating temperature, adhesion

Окрашивание автомобилей порошковыми красками связано с рядом трудностей, таких как: отсутствие требуемых по качеству материалов и проблемами, связанными с ремонтной окраской, переходом с одного цвета покрытия на другой и т.д. Сейчас многие из перечисленных трудностей преодолены, и порошковые краски заняли достойное место в этой отрасли.

Типовой технологический процесс получения покрытий на основе порошковых лакокрасочных материалов состоит из следующих стадий:

- подготовка поверхности с применением обезжиривания, фосфатирования или хроматирования (для алюминиевых изделий);
- сушка изделий после подготовки;
- нанесение порошковых лакокрасочных материалов;
- отверждение покрытия при 160... 200°C в течение 10...20 мин.

Подготовка поверхности изделий перед нанесением порошковых красок так же важна, как и в случае применения жидких лакокрасочных материалов. Ее проводят теми же методами и с использованием тех же составов. В зависимости от материала, степени загрязнения и условий эксплуатации изделий применяют различные составы и способы обработки.

После подготовки поверхности изделие поступает в камеру сушки от влаги с рабочей температурой 120°C.

Порошковые краски наносят в специальных камерах с системой фильтрации и рекуперации. Камеры нового поколения оснащены высокоскоростным циклоном, обеспечивающим возможность быстрой смены цвета краски.

Покрытия отверждают в сушильных камерах при 160...200°C в течение 10...15 мин. Метод сушки может быть конвекционный, с инфракрасным излучением или комбинированный.

На сегодняшний день наибольшее развитие получила технология окраски порошковыми материалами дисков колес. За рубежом эта технология преобладает при окраске алюминиевых дисков колес.

Окраска порошковыми материалами используется на Волжском автомобильном заводе по загрунтованной электроосаждением поверхности без нанесения лака. Заинский завод по производству дисков колес также применяет порошковые краски. На данную технологию ориентированы и другие заводы.

Ремонтное окрашивание порошковыми красками имеет свои трудности. В частности: высокая температура сушки и трудности колеровки.

Наметились следующие пути решения задачи по использованию порошковых красок при ремонтном окрашивании автомобилей:

1. применение порошковых красок с ускоренным низкотемпературным отверждением;
2. применение метода низкотемпературного формирования покрытий с выдержкой в парах растворителя или мономера;
3. использование для формирования покрытий лучистого нагрева (соответствующий диапазон длин волн);
4. изоляция поверхности применением жидких грунтовочных или шпатлевочных материалов.

Результаты проведённых исследований позволили разработать научно обоснованную технологию ремонтного окрашивания кузовов автомобилей.

Первоначальной операцией технологического процесса ремонтного окрашивания кузова автомобиля является моечная операция. Эта операция выполняется на участках уборочно-моечных работ (УМР) сервисных предприятий.

Дефектация лакокрасочного покрытия производится на окрасочном участке и заключается в визуальной оценке степени повреждения покрытия.

На дефектном участке лакокрасочного покрытия снимается не только верхний слой первоначально нанесённой краски, но и грунтовка. Для этого рекомендуется использовать мелкозернистую шлифовальную шкурку на бумажной основе (ГОСТ 6456-92). При удалении старого лакокрасочного покрытия можно использовать ручные шлифовальные машинки с установленными на них шлифовальными дисками типа Д, ДО и ДП (ГОСТ 22773-87). Необходимость полного удаления старых лакокрасочных покрытий обусловлена несовместимостью некоторых классических ремонтных материалов с порошковыми красками. Это вызвано применением в этих материалах различных по своей природе плёнообразователей.

Кромки лакокрасочного покрытия по всему периметру дефектного участка необходимо зашлифовать так, чтобы на ощупь не было заметна граница между ремонтируемыми и неповреждёнными участками покрытия.

Зашлифованный участок промыть водой, после чего протереть ветошью, смоченной в уайт-спирите, просушить при температуре 18...20°C.

Изготовить из плотной бумаги трафарет с отверстием, имеющим форму зашлифованного участка покрытия, но на 15...20 мм больше. Трафарет закрепляется на кузове автомобиля при помощи малярного бумажного скотча.

Необходимость операции шпатлевания определяется применительно к каждому конкретному случаю. Однако при выборе шпатлёвки под порошковую краску следует учитывать сходство плёнообразователей. Несоблюдение данной рекомендации может привести при отверждении покрытия к некачественному покрытию, проявляющемуся в виде рыхлостей и провалов на лакокрасочном покрытии. При использовании шпатлёвок необходимо чтобы толщина слоя шпатлёвки должна быть минимальной.

Предельная толщина шпатлёвочного слоя определяется величиной усадки материала.

Если усадка невелика (полиэфирные и эпоксидные шпатлёвки), то толщина наносимого слоя может достигать 2 мм. Если усадка значительна (пентафталевые, нитрошпатлёвки), то наносить шпатлёвку следует несколькими тонкими слоями с промежуточной сушкой каждого слоя. При этом суммарная толщина шпатлёвочного слоя не должна превышать 0,3 мм. В толстых слоях этих шпатлёвок велико внутреннее напряжение, что вызывает растрескивание слоя.

Сушка шпатлёвочного слоя необходимо осуществлять в соответствии с техническими условиями на данный вид шпатлёвки.

Шлифовать шпатлёвку необходимо после полного высыхания. Зашлифованный участок промыть водой, после чего обезжирить, а затем, просушить при температуре 18...20°C.

Окраска автомобиля осуществлялась окрасочным пистолетом ITW Gema Easy-F. В качестве расходного материала используется полиэфирная порошковая краска.

Вследствие высокого электрического сопротивления порошковых красок ( $\rho = 10^{10}$  Ом·м) приобретённый их частицами заряд длительно сохраняется при контакте с любой (в том числе электропроводящей) поверхностью. Это позволяет транспортировать заряженные частицы (аэрозоль), а также перемещать изделия с нанесённым на них порошком, не опасаясь осыпания частиц с поверхности.

С другой стороны, медленная разрядка частиц, обусловленная высоким электрическим сопротивлением материала, способствует накоплению зарядов в слое и возникновению явления обратной короны. Во избежание эффекта обратной короны появляется необходимость снижения степени зарядки порошковой краски. Исходя из проведённых исследований можно сказать, что наиболее подходящий слой для нанесения составляет 60...70 микрон. Это связано с тем, что более тонкий слой ухудшает коррозионную стойкость покрытий, а толстый слой (более 70 мкм) вызывает повышение расхода лакокрасочного материала и энергии на его отверждение.

Способ отверждения зависит от типа окрашиваемой детали. Так, если окрашивается демонтированная с автомобиля деталь (капот, двери, крылья), то для упрощения технологического процесса возможно применение конвективного нагрева детали. Как показали экспериментальные данные покрытия с хорошими показателями адгезионной прочности возможно получать в промежутке температур 140...180°C.

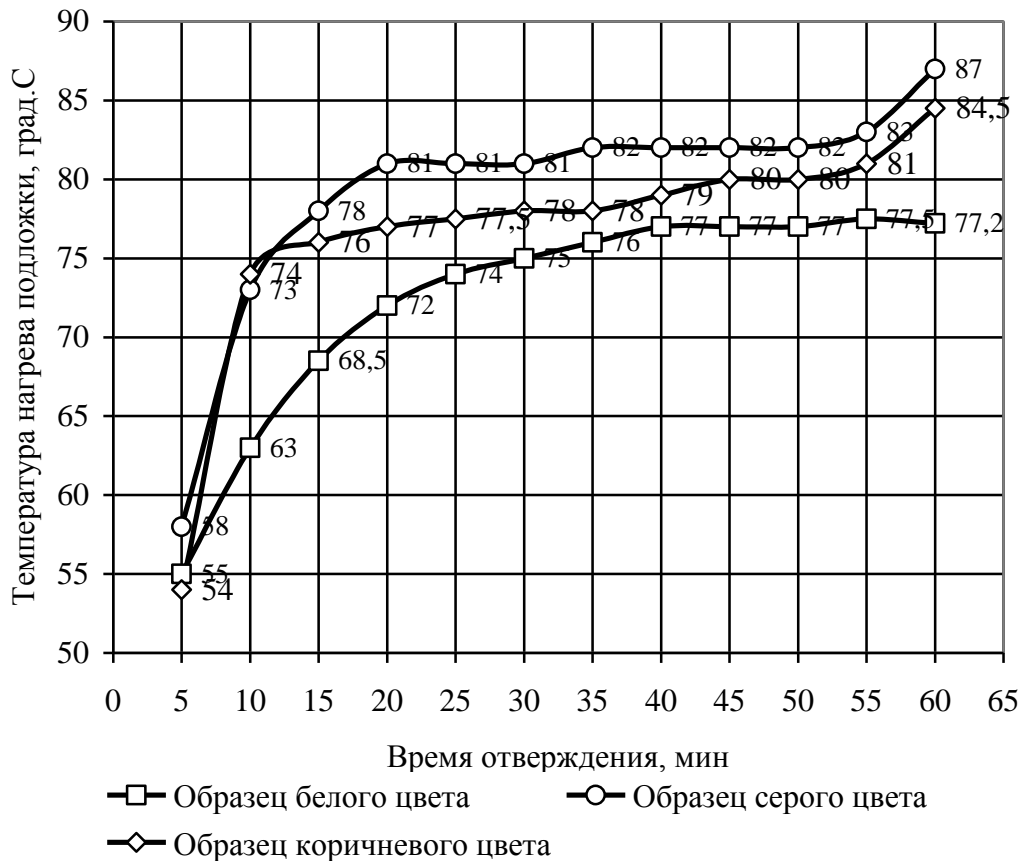


Рисунок 1 – Зависимость температуры нагрева подложки образцов белого, серого и коричневого цвета от времени отверждения

При окрашивании элементов кузова без демонтажа возникает необходимость применения инфракрасного излучения для отверждения получаемых покрытий. Однако применение данного вида отверждения представляет ряд трудностей, таких как:

- различная восприимчивость покрытий разных цветов инфракрасного излучения (рис. 1);
- зависимость температуры нагрева подложки от толщины нанесённого слоя порошковой краски (рис. 2);
- зависимость степени адгезии и температуры нагрева подложки от расстояния до излучателя (рис. 3).

Различная восприимчивость покрытий разных цветов инфракрасного излучения обусловлена различной способностью каждого цвета к поглощению инфракрасного излучения.

При формировании покрытий большое влияние на степень адгезии и прохождение тепла через напылённое покрытие к поверхности подложки имеет толщина наносимого слоя порошкового материала. Температура нагрева подложки с наиболее толстым слоем покрытия ниже, чем у более тонкого напыления. При этом у образцов разнится и степень адгезии.

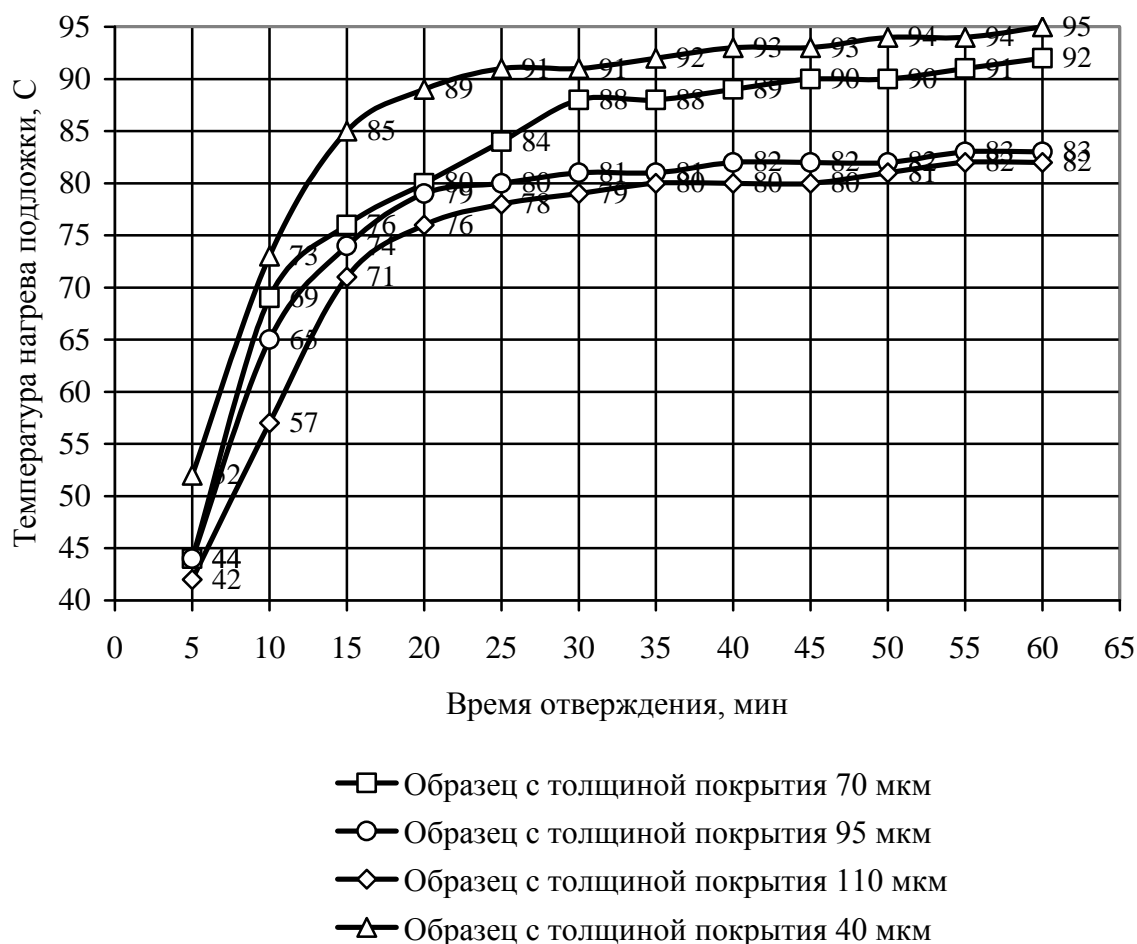


Рисунок 2 – Зависимость температуры нагрева подложки образцов с толщиной покрытия 40 мкм, 70 мкм, 95 мкм и 110 мкм от времени отверждения

Кроме того, температура на поверхности подложки зависит от расстояния излучателя до отверждаемой поверхности. При увеличении расстояния температура уменьшается, а при уменьшении соответственно увеличивается.

Заключительной операцией технологического процесса окраски является полировка перехода. Переход возникает в результате маскировочной операции, т.к. при удалении малярного скотча имеется небольшой выступ нанесённого покрытия по отношению к первоначальному покрытию, который расположен по границе оклейки. Полировку, как и шлифование, можно выполнять вручную и при помощи полировальных машинок. Применение полировальных машинок позволяет существенно сократить операционное время на

полировку. Полировка осуществляется кругами прямого профиля на войлочной основе с подводом полировальной пасты в зону полирования. Полирование осуществляется периферией круга. Остатки пасты смыть водой. По окончании полировки пастами поверхность протереть фланелевым тампоном, смоченным полировочной водой или восковым полирующим составом.

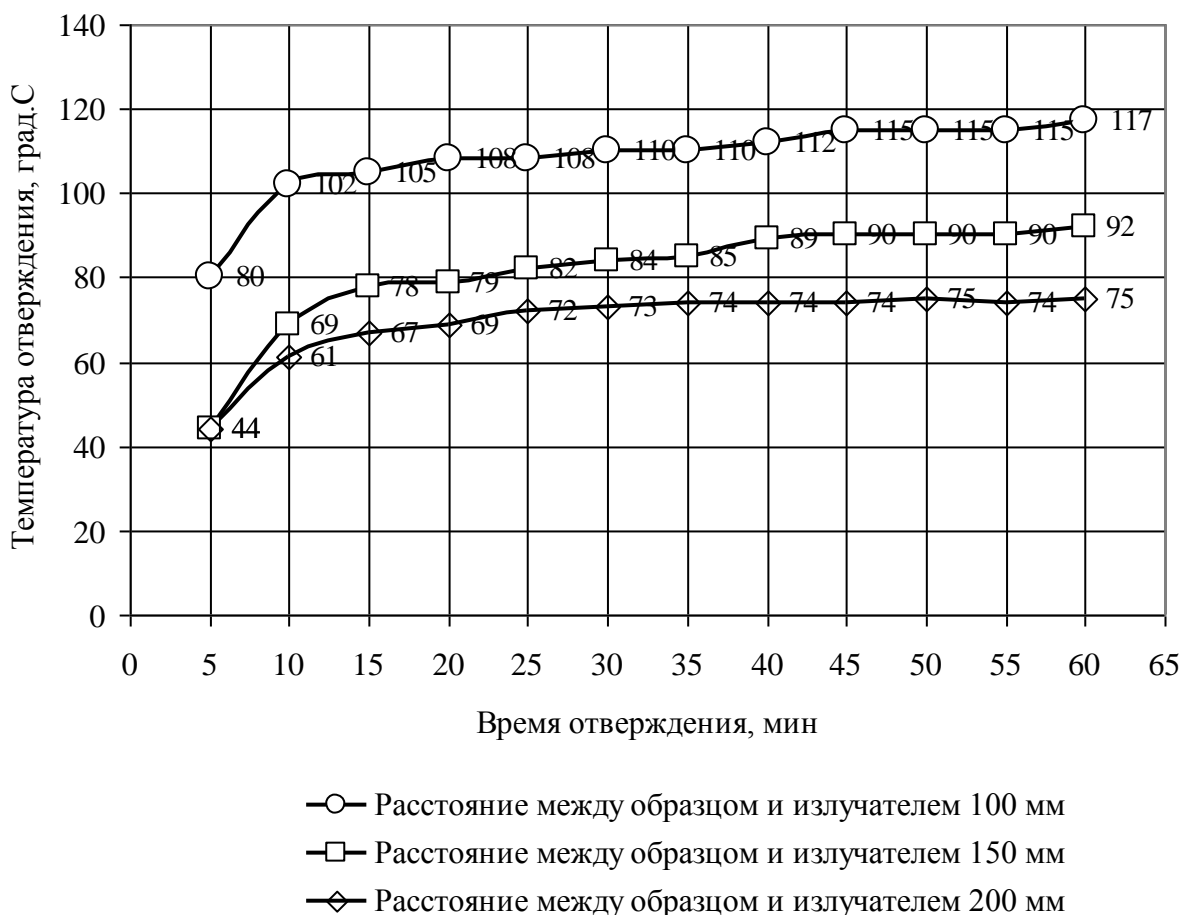


Рисунок 3 – Зависимость температуры нагрева подложки образцов отверждаемых при расстоянии между излучателем и отверждаемой поверхностью 100мм, 150 мм и 200 мм от времени отверждения

Как видно из выше приведённых данных применение порошковых красок имеет ряд преимуществ, по сравнению с традиционными эмалями. Это проявляется в сокращении количества наносимых слоёв лакокрасочных материалов. Так при применении порошковой краски возможно нанесение одного слоя толщиной до 100 микрон, в то время как, при использовании эмалей необходимо наносить два – три слоя, при этом суммарная толщина этих слоёв составляет 35...40 микрон. Кроме, того при проведении исследований порошковая краска наносилась на металл, без предварительного грунтования. Полученные при этом покрытия имели хорошую степень адгезии к стальной поверхности, а также хорошие антикоррозионные показатели.

Главными факторами, определяющими экономическую эффективность производства и применения порошковых красок, являются:

- отсутствие в их составе летучих компонентов, в первую очередь органических растворителей;
- почти 100%-ное использование материала при получении покрытий;
- пригодность для эксплуатации однослойных покрытий.

Фактором эффективности является долговечность покрытий. Покрытия из порошковой краски в большинстве случаев показывают лучшие защитные свойства и

имеют больший срок службы, чем покрытия из растворов и дисперсий полимеров. Это объясняется тем, что порошковые краски не содержат посредников плёнообразования (растворителей, воды) и ПАВ, и готовятся преимущественно на термореактивных олигомерах и полимерах кристаллической структуры с повышенной химической стойкостью.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новиков, А. Н. Технология ремонтного окрашивания машин порошковыми красками [Текст] / А. Н. Новиков, А. С. Бодров // Международный научный журнал. – 2007. - №1. - С. 24-28.
2. Бодров, А.С. Особенности применения порошковых красок при ремонтном окрашивании автомобилей [Текст] / А. С. Бодров // Объединённый научный журнал. – 2006. - №11. - С. 69-71.
3. Бодров, А. С. Влияние способа подготовки поверхности на адгезию лакокрасочной пленки [Текст] / А . С. Бодров, В. В. Недолужко // Научно-технический журнал. – 2010. - №3(30). – С.3-8.

**Недолужко Владимир Валентинович**

ФГОУ ВПО «Госунiversитет-УНПК», г. Орел  
Аспирант кафедры «Сервис и ремонт машин»  
Тел: +7 (4862) 73 43 50  
E-mail: [Vnedoluzhko@yandex.ru](mailto:Vnedoluzhko@yandex.ru)

**Новиков Александр Николаевич**

ФГОУ ВПО «Госунiversитет-УНПК», г. Орел  
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Сервис и ремонт машин»  
Тел. +7 (4862) 73 43 50  
E-mail: [sirm@ostu.ru](mailto:sirm@ostu.ru)

А.А. ЖОСАН, М.М. РЕВЯКИН

## ТОПОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ САМОДИАГНОСТИКИ: ВАРИАТИВНОСТЬ И ОПТИМАЛЬНОСТЬ

*Обоснована причина создания системы самодиагностики мобильных энергетических средств. Рассмотрена топология построения системы самодиагностики. Выявлена оптимальная структура в ее формировании.*

**Ключевые слова:** Надежность, заявленный ресурс, самодиагностика, уровневая архитектура, структура построения.

*The reason for creating a self-diagnostic system for mobile energetic means is justified. Consider the topology construction of the system self-test and found the optimal structure in its formation.*

**Key words:** Reliability, claimed the resource, self-diagnostics, tier architecture, the structure.

Уровень надежности сельскохозяйственной техники во многом определяет сырьевую независимость РФ. Основным мобильным энергетическим средством, активно эксплуатирующимся в сельском хозяйстве, а также в других сферах, является трактор. Нарботка до капитального ремонта отечественных и зарубежных образцов может варьироваться в достаточно широких пределах в зависимости от условий эксплуатации и других факторов. Таким образом, ресурс, заявленный заводом-изготовителем, в большинстве случаев реализуется далеко не в полной мере. Увеличение показателя наработки на отказ и наработки до капитального ремонта позволит сельскохозяйственным машинам дополнительно выполнить значительный объем работ. Следовательно, возникает необходимость применения механизмов оперативного контроля условий эксплуатации и состояния МЭС в целом.

Недостижение заявленного ресурса напрямую связано с несвоевременным обнаружением и устранением неисправности, что приводит к увеличению скорости изнашивания комплектующих, и в последствии к возникновению отказов различных групп сложности. Для решения этой проблемы в планово-предупредительной системе технического обслуживания предусмотрено диагностирование. Однако все это не решит вопрос достижения заявленного ресурса. Планово-предупредительная система технического обслуживания не учитывает фактическое состояние МЭС и ее цикличность также неудовлетворительна. Большинство диагностических средств способны фиксировать момент наступления отказа в точке  $m_1(m_2)$  удаленной от точки  $E_1(E_2)$  на величину  $\delta_1(\delta_2)$ , что в свою очередь незначительно уменьшит периоды восстановления объекта  $\Delta t$  (рис. 1). Но тогда можно говорить о «незавершенном отказе», т.е. факт наличия отказа зафиксирован при недостижении объектом предельно допустимого значения качества. Однако даже такая величина  $B_1m_1(B_2m_2)$  на отрезке отказа  $F_1(F_2)$  способна негативно отразиться на качестве МЭС, что в конечном итоге повлияет на ресурс. Решением этой проблемы является использование программных структур и физических компонентов, позволяющих фиксировать моменты формирования отказов (точки  $B_1, B_2$  и близкие к ним), а также исключить характер внезапности их появления, т.е. применение системы самодиагностики. Это в значительной мере повысит надежность МЭС в целом.

Одним из вариантов формализации системы бортовой самодиагностики является использование внутренней коммуникационной шины для передачи данных. Таким образом, формируется локальная сеть открытого типа непосредственно на борту МЭС. Данная структура характеризуется уровневой архитектурой (рис. 2).

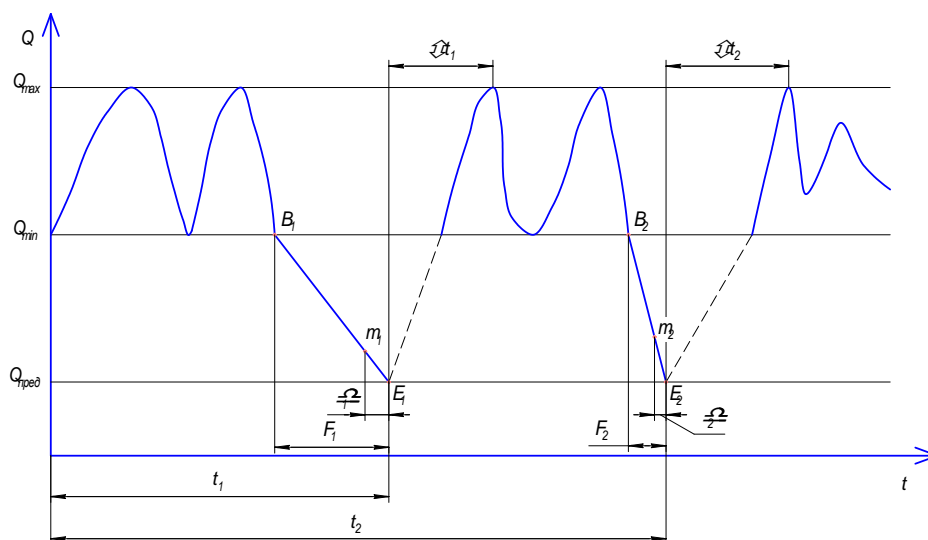


Рисунок 1 – Характер изменения «качества» МЭС в процессе эксплуатации

$Q_{\max}$ ,  $Q_{\min}$ ,  $Q_{\text{пред}}$  – соответственно максимальное, минимальное и предельно допустимое «качество» (абстрактная величина) МЭС;  $B_1$ ,  $B_2$  – начала формирования отказа;  $E_1$ ,  $E_2$  – точки отказа;  $\Delta t_1$ ,  $\Delta t_2$  – периоды восстановления

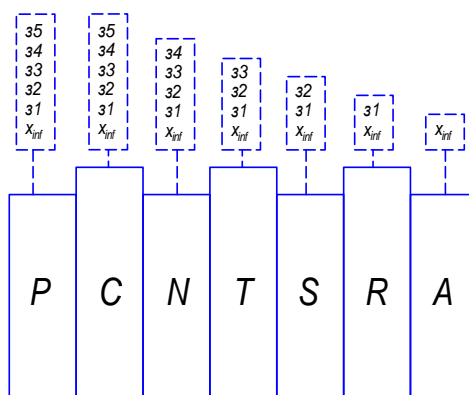


Рисунок 2 – Уровневая архитектура системы самодиагностики

$P$  – физический (physical) уровень;  $C$  – каналный (channel) уровень;  $N$  – сетевой (network) уровень;  $T$  – транспортный (transport) уровень;  $S$  – сеансовый (show) уровень;  $R$  – представительный (representative) уровень;  $A$  – прикладной (applied) уровень;  $x_{\text{inf}}$  – блок информации;  $z$  – уникальный заголовок

Прикладной уровень осуществляет поддержку прикладных процессов конечных пользователей. Данный уровень фиксирует спектр прикладных задач, реализуемых в локальной сети.

Представительный уровень определяет синтаксис (инициализация и формирование) данных в системе в кодированных и форматированных модификациях, свойственных рассматриваемой нами структуре. В целях упрощения архитектуры оправдано его объединение с прикладным уровнем.

Сеансовый уровень реализует установление и поддержку передачи потоков по локациям сети и позволяет производить обмен информацией в режимах, установленных на прикладном уровне, а также завершает сеанс связи.

Рассмотренные уровни согласно требованиям LAN (Local Area Network) целесообразно суммировать в общий прикладной процесс, который определяет функциональные особенности локальной сети на борту МЭС как прикладной системы.

Транспортный уровень обеспечивает интерфейс между процессами и сетью путем формирования логико-транспондерных каналов (ЛТК), что позволяет осуществлять передачу информационных пакетов, которыми обмениваются компоненты системы.



Сетевой уровень определяет интерфейс оборудования оператора с сетевой передачей пакетов, а также отвечает за маршрутизацию в рамках локальной сети и за связь между сетями, тем самым, обеспечивая межсетевое взаимодействие (на предмет использования диагностической информации системы самодиагностики вне самой системы).

Канальный уровень обеспечивает передачу информации по логическому каналу между двумя и более идентичными по образуемому составу структурными элементами, соединенными физическим каналом. Канальный уровень обеспечивает управление потоком данных в виде фреймов, в которые упаковываются информационные пакеты, обнаруживает ошибки передачи и реализует логическую структуру восстановления информации при фиксации сбоев или потерь данных. Фрейм характеризуется данными об источнике, информацией о конечном объекте приема, информацией о собственном типе, контекстными данными и контрольной информацией.

Физический уровень выполняет все необходимые процедуры в канале связи. Основной задачей является управление аппаратурой передачи данных и подключенным к ней каналом связи.

При транспортировке информационного потока от прикладного процесса в основную сферу локальной сети осуществляется его обработка на каждом уровне (рис. 2). Каждый уровень добавляет к информации процесса уникальный заголовок, т.е. служебную информацию, необходимую для адресации и для контрольных функций. Канальный уровень суммирует полученный блок фреймов и добавляет контрольную последовательность, которая используется для проверки правильности приема потока из коммуникаций сети.

Физический уровень характеризуется блокиацией заголовков. Информационный блок уходит в коммуникационную сеть, где осуществляется дешифрация адресов и определяется предназначение полученных данных. При этом происходит процесс удаления уникальных заголовков каждым уровнем системы. Считывание заголовков верхних уровней нижними уровнями невозможно по принципам прозрачности. Таким образом, перемещаясь по уровням, информация поступает к процессу, которому была адресована.

Рассмотренная уровневая архитектура является оптимальным вариантом, полностью гарантирующим возможность расширения (терминальное оборудование должно поддерживать расширение системы как альтернативу замены и обновления отдельных частей). Если между уровнями реализованы однозначно интерфейсы, то замена одного из уровней не влечет за собой необходимости внесения изменений в другие уровни. Таким образом, уровни относительно независимы друг от друга.

Структурные элементы системы самодиагностики (они же структурные элементы локальной сети) в рамках отдельного МЭС могут быть расположены в стохастическом порядке. Следует отметить, что для способа обращения к передающей среде и методов управления локальной сетью неважно расположение структурных единиц. Поэтому необходимо рассмотреть возможные варианты.

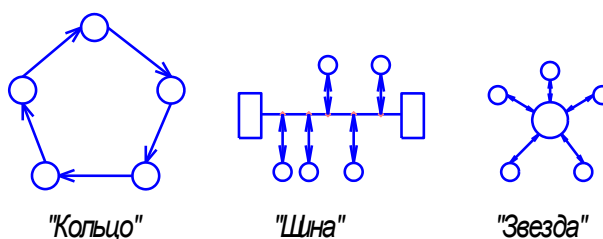


Рисунок 3 – Типы систем обмена в диагностике

Кольцевая структура (рис. 3) предусматривает соединение структурных единиц в сети в замкнутый контур кабелем передающей среды. Выход одной единицы сети соединяется с входом другого. Информация по каналу передается от элемента к элементу. Каждый промежуточный элемент между передатчиком и приемником осуществляет ретрансляцию посланной информации. Принимающий элемент распознает и получает только ад-

ресованную ему информацию. Для данной схемы характерен симплексный режим обмена информацией, т.е. возможна передача лишь одного модуля. Структура обусловлена отсутствием центрального узла, что повышает ее надежность. Однако последовательный порядок обслуживания элементов в такой сети снижает ее быстродействие, а выход из строя одного из элементов нарушает целостность «кольца» и требует принятия специальных мер для сохранения тракта передачи информации.

Структура типа «Звезда» основана на концепции центрального узла, куда подключаются интерфейсы периферии. Они имеют обособленную линию связи с центром. Поток информации неизбежно проходит через центральный узел, где осуществляется его передача на другие элементы с помощью переключения и маршрутизации потока. Начать передачу потока может любой элемент только в том случае, если линия связи свободна. Это полудуплексный режим обмена. Работоспособность сети полностью зависит от центрального узла.

Структура типа «Шина» характеризуется сложным распространением данных от передающего элемента. Промежуточные элементы не транслируют поступающую информацию. Она поступает на все элементы, но прием осуществляется только указанным адресатом. При связи нескольких структурных единиц в такую схему в каждый момент времени связь может быть осуществлена между одной единицей – источником информации и одним или несколькими единицами – приемниками по общему каналу передачи со структурой связи «много – точка». Это обеспечивает высокое быстродействие сети на борту МЭС.

Таким образом, целесообразность применения схемы типа «Шина» для системы самодиагностики сомнений не вызывает.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Никитин, Е. А. Диагностирование дизелей [Текст] / Е. А. Никитин. – М.: Машиностроение. – 1987. – 246 с.
2. Калашников, В. И. Информационно-измерительная техника и технологии [Текст] / В. И. Калашников, С. В. Нефедов, А. Б. Путилин. – М.: Высшая школа. – 2002. – 520 с.
3. Блохин, С. М. Шина ISA персонального компьютера типа IBM PC/AT [Текст] / С. М. Блохин. – М.: ПК «Сплэйн». – 1995. – 76 с.

**Жосан Артур Александрович**

ФГОУ ВПО ОрелГАУ, г. Орел

Кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой «ЭМТП и тракторы»

E-mail: [a-josan@yandex.ru](mailto:a-josan@yandex.ru)

**Ревякин Максим Михайлович**

ФГОУ ВПО ОрелГАУ, г. Орел

Ассистент кафедры «ЭМТП и тракторы»

E-mail: [revyakinmm@inbox.ru](mailto:revyakinmm@inbox.ru)

УДК 627

А. А. КАТУНИН, М. Д. ТЕБЕКИН

## УСКОРЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ШАРОВЫХ ОПОР ПЕРЕДНЕЙ ПОДВЕСКИ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

*В статье предложена новая конструкция испытательного стенда шаровых опор передней подвески легковых автомобилей, позволяющего проводить ускоренные испытания. Устройство обеспечивает наиболее приближенное к реальным условиям воспроизведение действующих нагрузок.*

**Ключевые слова:** *стендовые испытания, шаровая опора, шаровый шарнир.*

*The paper proposes a new design of the test bench front suspension ball joints car, allowing to carry out accelerated testing. The device provides the best approximation to real conditions of play acting loads.*

**Keywords:** *bench testing, spherical bearing, ball joints.*

Одной из основных систем автомобиля является подвеска, обеспечивающая безопасность, качество и комфорт процесса перевозки пассажиров, грузов и оборудования. Поэтому надежность работы подвески является определяющим фактором, обеспечивающим нормальный перевозочный процесс автомобильным транспортом.

Среди множества узлов подвески автомобилей, шаровая опора является наиболее важным несущим узлом. Она является связующим элементом между колесом и подвеской, позволяя колесу поворачиваться для изменения направления движения, таким образом, через шаровые опоры передается вся нагрузка от подвески к колесам. В связи с чем надежность работы шаровых опор в передней подвеске автомобилей определяет надежность всего автомобиля.

В большинстве случаев шаровая опора является неразборным узлом, что значительно затрудняет исследование процессов износа и разрушения шаровой опоры. Одним из способов таких исследований являются стендовые испытания шаровых опор. Таким образом, для получения достоверной информации о характере износа шаровых шарниров необходима область стендовых испытаний. При этом стенд, на котором производится испытание шаровых шарниров, должен в полном объеме воспроизводить все движения и силовые нагрузки, воспринимаемые шарнирами в реальных условиях.

На основе анализа конструкций стендов для испытания подвесок и шаровых шарниров в частности, в ФГОУ ВПО «Госунiversитет - УНПК» была предложена конструкция стенда, позволяющая проводить ресурсные испытания шаровых шарниров и других элементов подвески. Данный стенд совмещает в себе простоту конструкции компактность с высокой степенью имитации реальных условий эксплуатации шаровых опор. Это осуществляется за счет использования в качестве основы стенда модернизированной передней подвески типа «МакФерсон» легкового автомобиля с сохранением кинематики движения и всех нагрузок на стенде по сравнению с автомобилем.

На рисунке 1 представлена механическая часть разработанного стенда для испытания элементов передней подвески легковых автомобилей, на рисунке 2 - гидравлическая часть стенда.

Стенд содержит вертикальный гидроцилиндр 1, шаровую опору 2, горизонтальный гидроцилиндр 3, поворотный кулак 4, нижнюю опору пружины 5, пружину 6, верхнюю опору пружины 7, основание 8, верхнюю раму 9, гайку верхнего крепления направляющего элемента 10, упорную шайбу 11, верхнюю опору направляющего элемента 12, боковую раму 13, гайку штока направляющего элемента 14, опорный подшипник 15, защитный чехол 16, шток 17, цилиндр 18, рычаг 19, крепление рычага 20, поперечину 21. Гидравлическая часть стенда (рис. 2) содержит насос 23, муфту 24, электродвигатель 25, манометр 26, клапан регулятора потока 27, контроллер 28, гидравлическую линию 29, реле 30, блок

питания 31, гидравлические распределители 32, 33, предохранительный клапан 34, фильтр 35, рабочую жидкость 36, гидробак 37 и станину 38.

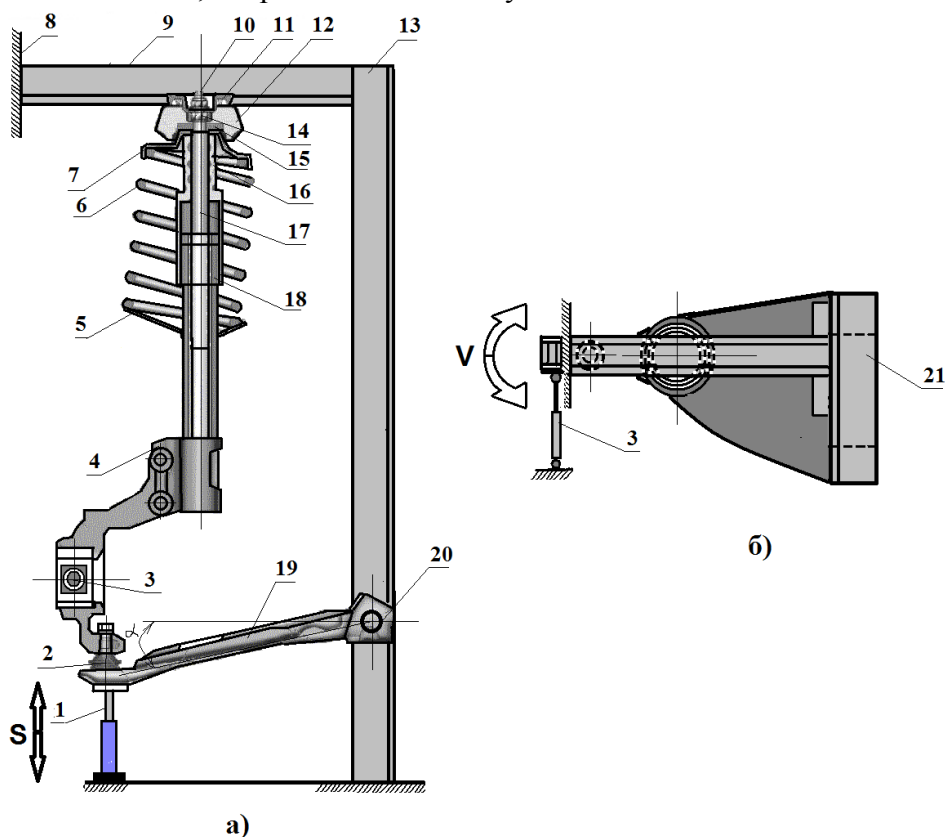


Рисунок 1 - Стенд для испытания элементов передней подвески легковых автомобилей, общий вид

Стенд работает следующим образом:

Масло из гидробака засасывается насосом, который приводится в действие от электродвигателя через упругую муфту. Далее от насоса масло под давлением подается на регулятор потока, который разделяет поток масла на два потока различных по расходу.

Один поток с большим расходом масла подается в гидравлический распределитель 33, который воздействует на вертикальный гидроцилиндр, обеспечивающий движение вверх рычага, шаровой опоры, поворотного кулака и направляющего элемента, движение вниз обеспечивает пружина. Направляющий элемент движется относительно неподвижного штока. Работа вертикального гидроцилиндра имитирует нагрузки возникающие в передней подвеске автомобиля при преодолении неровностей дороги, разгоне, торможении, повороте. Второй поток с меньшим расходом масла подается в распределитель 32, управляющим горизонтальным гидроцилиндром двустороннего действия, воздействующего на поворотный кулак, который поворачивается вместе с цилиндром относительно неподвижного штока и относительно рычага в шаровой опоре. Пружина поворачивается вместе с цилиндром в опорном подшипнике. Работа горизонтального гидроцилиндра имитирует нагрузки возникающие в передней подвеске автомобиля при повороте, а также сам поворот. Цилиндр наполнен смазкой для облегчения перемещения штока. Для герметизации смазки используется защитный чехол. Различный расход масла для гидроцилиндров обеспечивает их работу с различными частотами. В систему также включены манометр для контроля давления масла в гидросистеме, предохранительный клапан для сбрасывания давления при его критическом повышении и фильтр для отделения от масла и задержания поступающих по сливной линии в гидробак загрязняющих частиц, воды и др. образующихся при работе стенда. Направляющий элемент прикреплен к верхней раме через опору 12 и опорный подшипник 15 обеспечивающий вращение стойки и шарового шарнира. Направляющий элемент обеспечивает вертикальное перемещение S стойки с рычагом,

и представляет собой шток 17, перемещающийся в цилиндре 18. В качестве источника движения используются два гидравлических цилиндра. Основной гидроцилиндр 1 воздействует на нижний рычаг 19 и обеспечивает перемещение в вертикальной плоскости, дополнительный гидроцилиндр 3 воздействует на поворотный кулак 4 и позволяет имитировать боковую нагрузку на подвеску и поворот  $V$  колеса.

Гидравлическая часть станда обеспечивает:

- циклическое нагружение шарового шарнира в вертикальной плоскости в диапазоне 3000-5000 Н (ход сжатия), с частотой 2 Гц, при этом шаровый шарнир находится под постоянной вертикальной нагрузкой 400 кг. При этом ход рычага подвески 19 составляет 30-40 мм, угол  $\alpha$  составляет 15-20 градусов.

- циклическое нагружение шарового шарнира в горизонтальной плоскости (боковое нагружение) с усилием достаточным для поворота кулака 4 на угол 40-50 градусов с частотой до 30 циклов в мин. Ход составляет 150-200 мм.

- испытание одного шарового шарнира происходит при 1 млн. циклах испытания. При этом станд останавливают каждые 100 тыс. циклов, изымают шаровый шарнир и производят замеры осевого зазора между шаровым пальцем и вкладышем. А так же осуществляют визуальный контроль корпуса шарнира и основания пальца, проверяют легкость и углы вращения пальца в корпусе, фиксируют усилие вращения пальца.

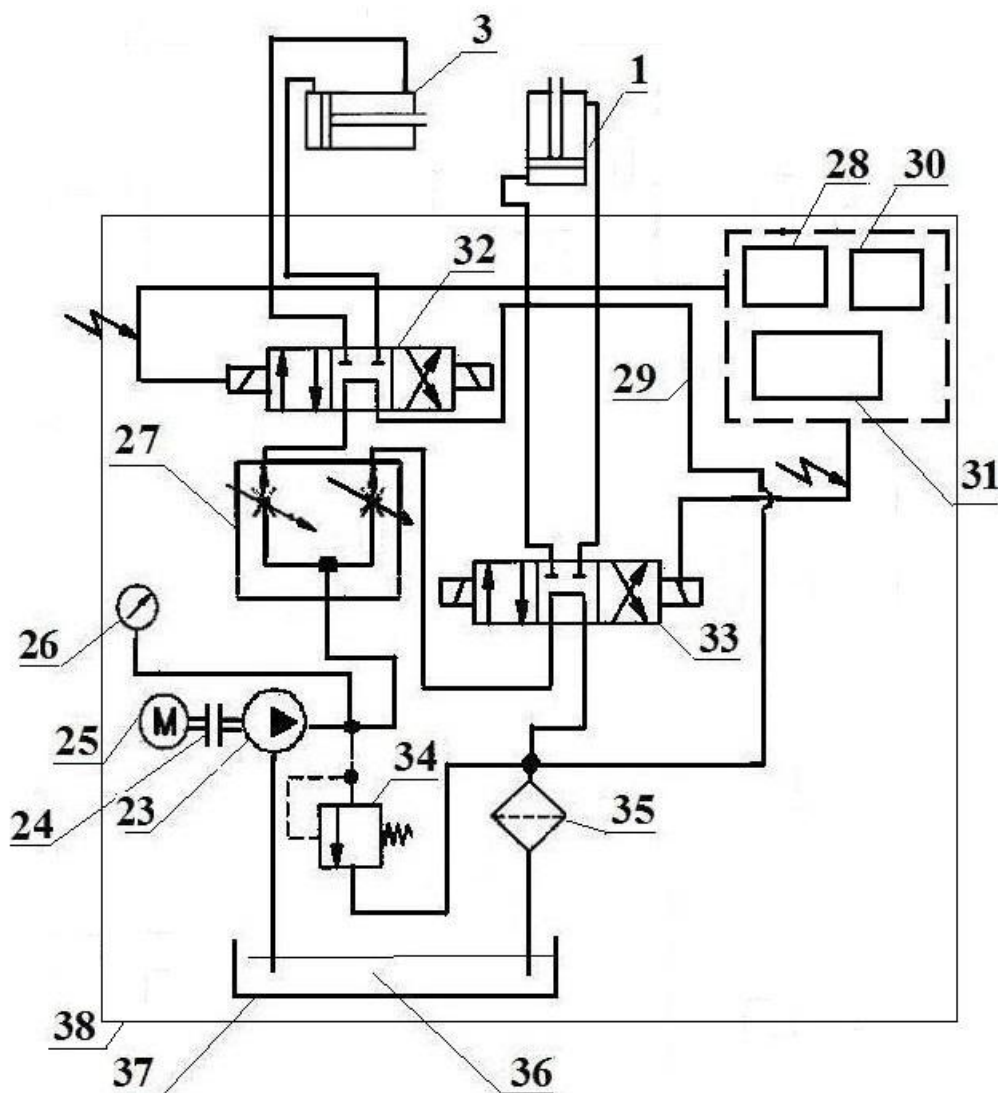


Рисунок 2 - Стенд для испытания элементов передней подвески легковых автомобилей, гидравлическая часть

Цикл представляет собой движение рычага от нижней точки (отбой), до верхней точки (сжатие) и возврат в нижнюю точку, т.е. угол  $2\alpha$ .

Таким образом, стенд обеспечивает имитацию износа шаровой опоры передней подвески легкового автомобиля в ускоренном режиме. Это достигается за счет сохранения кинематики подвески на стенде при его работе соответствующей кинематике подвески на автомобиле полной массой, движущемся по булыжному покрытию со скоростью 30-40 км/ч.

Испытания предусматривают контроль количества циклов.

Технический результат - за счет исключения части рабочих элементов удалось, увеличить частоту колебаний подвески и соответственно ускорить проведение испытаний, одновременно упростив конструкцию. Имитация реальных условий достигается за счет использования в качестве основы модернизированной передней подвески легкового автомобиля. Нагрузки, действующие на шаровую опору и ее кинематика движения максимально приближены к реальным условиям эксплуатации.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Новиков, А. Н. Проблемы эксплуатации шаровых опор легковых автомобилей [Текст] / А. Н. Новиков, А. А. Катунин, М. Д. Тебекин // Мир транспорта и технологических машин. – 2010. - №3 (30). С. 42-45.
2. Новиков, А. Н. Современные способы испытаний шаровых шарниров [Текст] / А. Н. Новиков, А. А. Катунин, М. Д. Тебекин // Мир транспорта и технологических машин. – 2010. - №4 (31). С. 26-33.

**Катунин Андрей Александрович**

ФГОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК», г. Орел

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Сервис и ремонт машин»

Тел. +7 (915) 508 0508

E-mail: [aak808@yandex.ru](mailto:aak808@yandex.ru)

**Тебекин Максим Дмитриевич**

ФГОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК», г. Орел

Аспирант кафедры «Сервис и ремонт машин»

Тел. +7 (920) 829 4998

E-mail: [srmostu@mail.ru](mailto:srmostu@mail.ru)

УДК 629.113.004.67

Е. В. БОНДАРЕНКО, В. П. КЛИЩЕНКО, А. П. ПОСЛАВСКИЙ, В. В. СОРОКИН

## ФОРМИРОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН

*Рассмотрена актуальная проблема автомобильного транспорта, заключающаяся в недостаточной эффективности технологии утилизации компонентов автомобиля, в частности, автомобильных шин. Представлен подробный анализ состояния производственного потенциала утилизации и отмечена необходимость реализации комплексного подхода в решении этой проблемы. Подбор наиболее эффективной технологии и оборудования оценивается по критерию максимального полезного использования энергии при помощи разработанного аппаратно-программного измерительно-вычислительного комплекса.*

**Ключевые слова:** утилизация, технология, энергосбережение, автомобильные шины.

*The presented work considers urgent problem of automotive transport – low efficiency of the process of recycling components, in particular, automotive tires. Authors analyze industrial capacity of recycling and prove the necessity of complex approach to this problem. They suggest computer complex that analyze efficiency of energy usage and thus can serve as means to choose the most effective recycling method and technology.*

**Key words:** recycling, technology, energy-saving, automobile tires.

Автомобильные шины являются одним из наиболее дорогостоящих элементов автомобиля. В процессе эксплуатации автомобиля потребляется несколько комплектов шин. Количество комплектов зависит как от физико-механических свойств резины, так и дорожно-климатических условий, качества эксплуатации и обслуживания подвижного состава. Результаты проведенных исследований [1] свидетельствуют о том, что примерно 50% шин грузовых автомобилей из-за различного рода повреждений выходят из строя преждевременно, что влияет на интенсивность образования отходов автошин. Вышеперечисленные факторы, а также рост парка автомобилей в последние годы, требуют формирования новой отрасли и ее инфраструктуры для их эффективной утилизации.

Реализация программы утилизации отработанных автомобильных шин в промышленных масштабах требует использования современных энергоэффективных технологий их переработки. В связи с этим, исследования методов и средств утилизации шин с минимальными энергозатратами, являются актуальными и согласуются с перечнем критических технологий РФ, утвержденным Приказом Президента РФ (Пр-842 от 21 мая 2006 г.) - «Технологии переработки и утилизации техногенных образований и отходов».

Процесс утилизации является заключительным этапом жизненного цикла автомобилей, позволяющий существенно экономить средства при производстве материалов. К примеру, в Германии более 10 % стали получают из металлического лома транспортных средств, которые уже сейчас утилизируются практически на 100 % [2].

Однако не все материалы имеют такую высокую степень утилизации. Синтетические и композиционные материалы, в частности резина и резиноармированные изделия (РАИ), представителями которых являются автомобильные шины, из-за отсутствия эффективных технологий их утилизации, как правило, подвергаются традиционному захоронению или складированию, в результате чего происходит их постоянное накопление. Например, только в Оренбургской области ежегодно образуется около 8 тыс. тонн изношенных автомобильных шин [3].

Несмотря на многообразие способов утилизации шин, этот вопрос в практической плоскости так и остается нерешенным. Прежде всего, это связано с уникальными физико-механическими свойствами резины, как основного компонента при производстве шин, затрудняющими процесс ее переработки.

Конструктивно автомобильные шины являются сложными изделиями, состоящими из различных компонентов органической или неорганической природы, которые обладают различными физико-химическими свойствами. Это различие существенно затрудняет выбор способа утилизации.

Все известные методы переработки и утилизации изношенных автомобильных шин можно разделить на три основные группы.

К первой группе можно отнести технологии, предполагающие использование шин в целом виде для создания искусственных рифов, детских спортивных площадок, укрепления дорог, дамб и т.д. В этом случае нет необходимости затрачивать энергию на разрушение шин. Однако объем изношенных шин, используемых для этих целей очень незначителен, и только частично может решить вопрос утилизации.

Вторая группа включает методы утилизации шин, приводящие к глубоким необратимым изменениям структуры резины, основаны на термическом разложении (деструкции) резины в различных технологических средах, с получением продуктов различной молекулярной массы. К этим методам относятся сжигание, пиролиз и термоожижение [4, 5, 6].

Сжигание шин используется с целью получения энергии на различные технологические нужды и обусловлено высокой теплотой сгорания резины (порядка 32 МДж/кг), соответствующей углю высокого качества. В этом случае шины в целом и (или) измельченном виде используются либо в качестве самостоятельного топлива, либо как добавка к другим видам топлив.

Одним из главных недостатков этих процессов являются потери при сжигании ценных компонентов, содержащихся в резине, к тому же, для процесса сжигания требуется значительное количество кислорода.

Процесс пиролиза шин основан на термическом разложении резины при отсутствии или большом дефиците кислорода, в результате чего образуется твердый остаток, жидкая фракция и пиролизный газ, который поступает на сжигание. Переработка твердого остатка позволяет получать технический углерод, являющийся товарным продуктом, и металлокорд, направляемый на дальнейшую переплавку. Жидкая фракция представляет собой, так называемое пиролизное масло, используемое как добавка к битуму в дорожном строительстве, либо как жидкое топливо.

Недостатком данного способа переработки является пожароопасность процесса из-за высоких температур нагрева (до 1000 °С), при котором чаще всего используется открытое пламя. Кроме того, в результате пиролиза происходит обугливание компонентов резины, сопровождающееся выбросами в атмосферу, что является сдерживающим фактором его широкого практического применения.

Способ термоожижения основан на термической деструкции резины в среде продуктов нефтепереработки (например, в моторном масле). Полученные в результате процесса продукты представляют собой металлокорд и жидкую суспензию деструктурированной резины в технологическом растворителе, используемую для получения технического углерода или в качестве добавки для получения защитных и битумных мастик, печного топлива и т.д. [6].

Третья группа наиболее многочисленна и включает методы утилизации шин, основанные на измельчении резины. В этом случае наиболее полно сохраняются первоначальная структура и свойства каучука и других полимеров. К этой группе можно отнести: криогенные технологии утилизации (обработка шин отрицательными температурами с последующим дроблением); О-Кей-технология (продувание шин озоном); бародеструкционную технологию (переработка шин высокими механическими давлениями), гидродинамические технологии (разрушение шин высоконапорными струями воды); детонационные технологии (разрушение шин энергией взрывной волны); технологии высокоскоростного резания, дробления, и т.д. [7]



Конечным продуктом таких технологий является резиновая крошка различных фракций, используемая как сырье в химической промышленности при производстве неотвественных резинотехнических изделий (РТИ) и строительных материалов, как сорбент для сбора жидких нефтепродуктов, как добавка к битуму в дорожном строительстве и т.д.

Однако, высокая стоимость полученной резиновой крошки (до 1000 \$ за тонну), обусловленная применением сложного энергоемкого оборудования, не позволяет ей конкурировать с аналогичными продуктами, получаемыми в процессах непосредственной, прямой нефтегазопереработки.

Из приведенного анализа можно сделать вывод, что наряду с технической сложностью переработки шин существуют социально-экономические причины, препятствующие реализации существующих методов утилизации. По мнению авторов, основными причинами являются:

- высокая себестоимость продуктов утилизации, вызванная, как правило, значительными энергозатратами;
- высокая конкуренция со стороны уже сложившихся рынков сбыта сырья для химической промышленности, в том числе, предприятий по производству РТИ;
- высокие требования к качеству исходного сырья для производства изделий ответственного назначения;
- развитость инфраструктуры нефтегазовых перерабатывающих комплексов, ориентированных на производство очищенных, светлых продуктов из добываемой сырой нефти. При этом сажа и сера, используемые в производстве, а также битум, применяющийся для дорожного строительства, являются побочными продуктами. Поэтому, те же продукты, полученные методами утилизации, не могут конкурировать ни по себестоимости, ни по качеству.

Тем не менее, при выборе рациональной стратегии утилизации автошин, уже в ближайшей перспективе возможна реализация рентабельных производств, специализирующихся на комплексной переработке с извлечением полезных и ценных продуктов (технический углерод, металлоарматура, углеводороды и др.), пригодных для вторичного использования без значительных затрат. Одновременно возможна концентрация и локализация токсичных и вредных примесей с их утилизацией без неблагоприятных экологических последствий (сера, цинк, тяжелые металлы и т.д.).

Решение задачи энергоэффективности утилизации автомобильных шин возможно на основе разработки комплексного подхода, включающего несколько этапов.

Сущность предлагаемой стратегии утилизации шин сводится к следующему. На первоначальном этапе производится сбор и концентрация утилизуемых шин на специализированном пункте сбора в рамках региона с соблюдением всех мер безопасного их хранения. Далее, производится сортировка в зависимости от номенклатуры, типоразмера и состояния утилизуемых изделий. Отобранная партия изделий проходит операцию мойки и сушки, после которой направляется для первичной переработки методами механического разделения. Часть наиболее востребованных с коммерческой точки зрения компонентов перерабатывается наиболее рациональным способом, например, механическим измельчением с целью получения товарной продукции. Остатки компонентов шин, не представляющие практической ценности, например, резиноармированные элементы, направляются для дальнейшей вторичной переработки методом термоожижения (пиролиза) в среде технологических растворителей. На этом этапе производится выделение металлоарматуры или синтетического корда, технического углерода, растворенного в технологическом растворителе и дистиллята кипящих фракций, отводимых на конденсацию и сбор для технологических нужд. При этом жидкая фракция направляется для концентрации и фильтрации разделением физико-механическими методами (отстаивание, центрифугирование и др.). Остаток твердых и жидких продуктов переработки после их сбора и очистки оборудования направляется в асфальтобитумные смеси для получения дорожных покрытий. В данном случае, негативное их влияние на экологию будет минимальным, так как условия

эксплуатации дорожных покрытий не способствуют процессам испарения вредных и токсичных компонентов первоначально, присутствующих в резиновых смесях.

Для реализации предложенной стратегии комплексной утилизации необходимо проведение значительного объема научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-технологических работ, результатом которых должны стать энерго- и ресурсосберегающие опытно-промышленные технологии и оборудование утилизации автомобильных шин.

Оценка энергозатрат на утилизацию отдельных компонентов шин для различных вариантов их конструкций возможны на основе расчетно-аналитических или экспериментальных методов.

Аналитические методы применимы для материалов с известными теплофизическими константами фазовых и структурных превращений. Однако такие справочные данные приведены для достаточно узкого перечня наиболее распространенных материалов. Принимая во внимание тот факт, что разнообразие вариантов конструкции и состава компонентов утилизуемых шин априори неизвестно, как могут быть неизвестны и теплофизические свойства некоторых компонентов, возможности расчетно-аналитического метода не обеспечивают достоверную оценку энергетических затрат на их переработку.

Для значительного количества структурных компонентов автомобильных шин теплофизические константы могут быть определены только экспериментально. Общие удельные затраты энергии на утилизацию шин  $\mathcal{E}_{y.общ}$  (кВт ч/кг) можно представить в виде:

$$\mathcal{E}_{y.общ} = \mathcal{E}_{сбор} + \mathcal{E}_{сорт} + \mathcal{E}_{тп} + \mathcal{E}_{мо} + \mathcal{E}_{то} + \mathcal{E}_{рф} + \sum_{i=1}^n \mathcal{E}_{ук}, \quad (1)$$

где  $\mathcal{E}_{сбор}, \mathcal{E}_{сорт}, \mathcal{E}_{тп}, \mathcal{E}_{мо}, \mathcal{E}_{то}, \mathcal{E}_{рф}, \mathcal{E}_{ук}$  – удельные энергозатраты, соответственно, на сбор, сортировку, технологическую подготовку, механическую переработку, термическую обработку, разделение фракций и фаз, утилизацию и переработку отдельного  $i$ -го компонента или структурного элемента шин.

Энергетическая эффективность утилизации в оптимальном ее значении должна удовлетворять условиям целевой функции:

$$\mathcal{E}_{y.общ} \rightarrow \min. \quad (2)$$

Оптимизация целевой функции достигается оптимизацией составляющих элементов выражения (1), с учетом их возможного взаимного влияния. Для этого необходимо определить энергозатраты по всем операциям и каждому из вариантов конструктивного исполнения оборудования для одноименной операции технологического процесса. При выборе состава оборудования по переработке шин предпочтение отдается оборудованию с максимальным коэффициентом полезного использования энергоносителя  $\eta_y$ , аналогичного по своей сути коэффициенту полезного действия механических устройств и определяемого по формуле:

$$\eta_y = \frac{\mathcal{E}_n}{\mathcal{E}_{общ}}, \quad (3)$$

где  $\mathcal{E}_n$  – теоретически минимальные, принятые как полезные, затраты тепла на осуществление перехода полезной загрузки в качественно новое состояние (нагрев и деструкция реакционной массы), кВт-ч;

$\mathcal{E}_{общ}$  - общие, суммарные затраты энергии в реальном технологическом процессе, кВт-ч.

Применительно к теплотехнологическим процессам с использованием электроэнергии, значение общих затрат энергии определяется как сумма элементарных составляющих:

$$\mathcal{E}_{\text{общ}} = \sum_1^n \mathcal{E}_i, \quad (4)$$

где  $\mathcal{E}_i$  - каждая из  $n$  элементарных составляющая энергозатрат, которые могут быть измерены с достаточно высокой точностью, например, ваттметрами.

Необходимым условием реализации стратегии является возможность определения с заданной точностью значения коэффициента полезного использования энергоносителя  $\eta_y$  каждого теплоэнергетического процесса на всех этапах утилизации.

Энергоэффективность технологии утилизации автомобильных шин определяется разработанным с этой целью аппаратно-программным, измерительно-вычислительный комплекс энергетических и теплофизических параметров (ИВК) посредством энерготестирования реальных или моделируемых процессов [8].

По результатам энерготестирования каждой единицы задействованного в технологическом процессе оборудования для утилизации автомобильных шин, определяются значения потребляемой мощности и энергии в цикле переработки.

Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. Объемы образования изношенных автомобильных шин требуют использования целого комплекса подготовительных работ и разнообразных промышленных методов утилизации компонентов с максимально возможным коэффициентом их вторичного использования.

2. Выбор каждого из методов утилизации должен соответствовать критерию максимальной энергоэффективности.

3. Технология утилизации автомобильных шин включает этапы сбора и подготовки шин, их сортировку, технологическую подготовку перед утилизацией, комплекс различных по методу воздействия технологий переработки с разделением шины на компоненты вторичного использования и продукты утилизации.

4. Компоненты шин в процессе утилизации возвращаются в цикл производства изделий или органическое топливо, после очистки от вредных и токсичных продуктов.

5. Реализация энергоэффективной стратегии утилизации автомобильных шин возможна на основе использования разработанного ИВК, позволяющего регистрировать энергетические характеристики процесса энергопотребления и подбирать наиболее оптимальные варианты реализации процесса переработки шин при их утилизации, а также, оптимизировать состав оборудования по критерию максимально возможного  $\eta_y$ .

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Техническая эксплуатация автомобилей [Текст]: учеб. для вузов / под ред. Е. С. Кузнецова. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Наука, 2004. - 535 с.
2. Теория и практика регионального инжиниринга [Текст] / под общ. ред. проф. Р. Т. Абдрашитова, проф. В. Г. Колосова, проф. И. Л. Туккеля. - СПб.: Политехника, 1997 г.
3. Клищенко, В.П. Мини-завод по утилизации изношенных автошин / В.П. Клищенко // Экология и промышленность России. - 2009. - №1. - С.4-5.
4. Пат. 2309961 Российская Федерация, С08 J11/20. Способ переработки резинометаллических изделий и установка для его осуществления [Текст] / Пославский А. П., Бондаренко Е. В., Апсин В. П., Сорокин В. В., Летечин В. М., Трошина Т. М.; опубл. 10.11.2007. БИ № 31.
5. Пат. 2167168 Российская Федерация, МПК С 08 J 11/04. Устройство для утилизации отходов резинотехнических изделий [Текст] / Денисов М. В., Денисов А. М., Литвин Н. К. - № 2002110990/12; заявл. 25.04.2002; опубл. 10.02.2004, Бюл. №4. - С. 493.

6. Пат. 2223172 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> С 08 J 11/04. Способ переработки органических полимерных отходов [Текст] / Летечин В. М.; патентообладатели: Летечин В. М., Летечина Т. В., Старков С. В. - № 2000121587/04; заявл. 17.08.2000; опубл. 20.05.2001, Бюл. №14. – 7с.

7. Пат. 2239555 Российская Федерация, МКП С 27 В 29 В 17/00// В 29. Способ механического измельчения резины и устройство для его осуществления [Текст] / Клищенко В. П., Романцов В. Н., Халяпин А. Е., Полянцев А. М. - №2002114528/12; заявл.03.06.2002.; опубл.10.11.2004, Бюл. № 31.

8. Ковриков, И. Т. Диагностирование эксплуатационных характеристик теплообменников транспортной техники [Текст] / И. Т. Ковриков, А. П. Пославский, В. Ю. Соколов // Вестник Оренбургского государственного ун-та. – 2009. - №9 (103). – С.134-139.

**Бондаренко Елена Викторовна**

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург  
Доктор технических наук, профессор кафедры «Техническая эксплуатация и ремонт автомобилей»  
Тел. +7 (3532) 75 77 71

**Клищенко Владимир Петрович**

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург  
Инженер кафедры «Техническая эксплуатация и ремонт автомобилей»  
Тел. +7 (3532) 75 77 71

**Пославский Александр Павлович**

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Техническая эксплуатация и ремонт автомобилей»  
Тел. +7 (3532) 75 77 71

**Сорокин Владимир Владимирович**

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург  
Кандидат технических наук, преподаватель кафедры «Техническая эксплуатация и ремонт автомобилей»  
Тел. +7 (3532) 75 77 71  
E-mail: [bbc1979@rambler.ru](mailto:bbc1979@rambler.ru)

УДК 629. 113. 004

В. В. ЛЯНДЕНБУРСКИЙ, А. И. ТАРАСОВ, А. В. ФЕДОСКОВ

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И САМОРЕГУЛИРОВАНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ

*Эффективность использования диагностирования, самодиагностирования и саморегулирования элементов автомобилей составляют функции, характеризующие зависимость издержек от пробега рассматриваемого элемента автомобиля. Минимум этих издержек на эксплуатацию и ремонт элемента, включая затраты на диагностирование и саморегулирование указывают на наиболее целесообразный метод.*

**Ключевые слова:** Эффективность, диагностирование, самодиагностирование, саморегулирование, элемент, автомобиль, метод.

*Efficiency of use of diagnosing, self-diagnosing and self-regulation of elements of cars make the criterion functions characterising dependence of costs from run of the considered element of the car. The minimum of these costs on operation and element repair, including expenses for diagnosing and self-regulation specifies in the most expedient method.*

**Key words:** Efficiency, diagnosing, self-diagnosing, self-regulation, car, elements, method.

Производительность труда на автомобильном транспорте находится в прямой зависимости от технического состояния автомобилей и их готовности надежно, качественно, экономично и безопасно осуществлять транспортный процесс. В процессе эксплуатации трущиеся сопряжения автомобиля изнашиваются, происходит нарушение регулировки его систем, узлов и агрегатов, изменяются значения его структурных параметров, непосредственно характеризующих исправность объекта. К ним относят зазоры в сопряжении, величина износа поверхностей детали и другие параметры, измерение которых связано с необходимостью проведения разборочных работ. Это повышает трудоемкость контроля и существенно снижает ресурс контролируемого агрегата. Последнее объясняется появлением дополнительного цикла приработки поверхностей контролируемого сопряжения.

Изменение структурных параметров сопровождается изменениями параметров рабочих и сопутствующих выходных процессов автомобиля, которые могут наблюдаться и измеряться извне без разборки или с частичной разборкой контролируемого агрегата. Состояние автомобилей, в свою очередь, зависит от организации, технологии и качества выполнения работ при их диагностировании, техническом обслуживании и ремонте. В связи с возможностью определения неисправности без разборки, они при регулярном диагностировании выявляются до наступления отказа, что позволяет планировать их устранение, предотвращает прогрессирующее изнашивание деталей и снижает общие расходы на техническое обслуживание и текущий ремонт. Диагностирование способствует также уменьшению расхода топлива и загрязнения окружающей среды, повышению безопасности движения, технической готовности автомобильного парка и других технико-экономических показателей его использования.

Повышение эффективности функционирования подвижного состава автотранспортного предприятия обеспечиваются своевременным техническим обслуживанием и ремонтом на основе диагностирования автомобилей. Однако периодичность контроля такова, что имеется возможность эксплуатации автомобилей с состоянием, требующим технического обслуживания, или оно проводится до наступления допустимого состояния элемента автомобиля. Это приводит к неисправностям автомобиля или не полному использованию ресурса отдельных агрегатов, систем и деталей, к значительным материальным затратам.

Экономическая сторона диагностирования говорит о больших её возможностях. Достаточно сказать, что срок окупаемости затрат в зависимости от степени механизации и

мощности предприятия не превышает 3х лет. Рост численности парка машин и количества автомобилей приводит к необходимости увеличения производительности технологического оборудования, что вызывает необходимость совершенствования этого оборудования.

Применение самодиагностирования и регулируемых систем позволит увеличить уровень эксплуатационной надежности автомобильного парка, снизить материальные и трудовые затраты на проведение технического обслуживания и ремонта автомобилей, уменьшить потребность в технологическом оборудовании и производственно-складских помещениях.

Возможны четыре метода контроля с последующим восстановлением состояния элементов автомобилей с помощью:

1. Традиционных внешних средств диагностирования, с последующим техническим обслуживанием или ремонтом;
2. Систем встроенных датчиков, с последующим техническим обслуживанием или ремонтом;
3. Бортовых систем контроля, с последующим техническим обслуживанием или ремонтом;
4. Саморегулирующих средств, с последующим ремонтом.

Для первого и второго методов определение технического состояния зависит от периодичности технического обслуживания автомобилей.

Поэтому выполнение технического обслуживания, согласно технико-экономического метода, должно соответствовать минимуму затрат на поддержание и восстановление работоспособности с учетом диагностирования:

$$C_{\Sigma 1,2} = \sum_{i=1}^k C_{Ii} + \sum_{i=1}^k C_{IIi} + \sum_{i=1}^k C_{Ii} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $C_{\Sigma 1,2}$  - суммарные удельные затраты на технического обслуживания и ремонт  $k$  элементов, включенных в перечень ступени технического обслуживания для первого и второго методов;

$k$  – общее количество элементов;

$C_{Ii}$  - удельные затраты на технического обслуживания  $i$ -го элемента;

$C_{IIi}$  - удельные затраты на ремонт  $i$ -го элемента;

$C_{Ii}$  - удельные затраты на диагностирование.

Однако в общем случае оптимальная периодичность обслуживания группы элементов не будет совпадать с оптимальной периодичностью обслуживания элемента в перечне. Минимальные удельные затраты элемента соответствуют удельным затратам элемента при оптимальной периодичности обслуживания этого элемента. Тогда элемент будет обслуживаться с групповой периодичностью, а его удельные затраты будут больше минимальных затрат с учетом затрат на диагностирование и коэффициента повторяемости выполнения операции:

$$\Delta C_i = K(C_i(l_{0\Sigma}) - C_{imin}) + C_{Ii}, \quad (2)$$

где  $C_i(l_{0\Sigma})$  - удельные затраты, элемента обслуживания, соответствующие удельным затратам при оптимальной периодичности;

$l_{0\Sigma}$  - групповая периодичность обслуживания элемента;

$C_{imin}$  - минимальные удельные затраты элемента;

$K$  - коэффициент повторяемости выполнения операции.

Таким образом, минимальные суммарные издержки при проведении технического обслуживания с групповой периодичностью будут выше тех, которые достижимы в том случае, если профилактические воздействия по каждому элементу будут выполняться с оптимальной для него периодичностью на величину изменения суммарных удельных затрат по всем элементам перечня, которые определяются из выражения:

$$\Delta C_{\Sigma} = \sum_{i=1}^k \Delta C_i, \quad (3)$$

Величина изменения суммарных удельных затрат по всем элементам перечня формируется из изменений удельных затрат элементов перечня. Любое увеличение удельных затрат одного элемента должно компенсироваться уменьшением суммарных удельных затрат другого элемента. Желательно, чтобы эти изменения были минимальны. В качестве периодичности проведения технического обслуживания для группы операций выбирается такая периодичность, которая соответствует минимальным изменениям суммарных удельных затрат по всем элементам перечня, т. е.

$$\sum_{i=1}^k \Delta C_i(l_{0\Sigma}) \rightarrow \min, \quad (4)$$

Эффективность использования первого и второго методов соответствует функции, характеризующей зависимость издержек от периодичности диагностирования рассматриваемого элемента автомобиля. Минимум этих функций дает оптимальную периодичность диагностирования, которая определяет минимальные издержки на эксплуатацию и ремонт элемента, включая и затраты на диагностирование.

Функция издержек на диагностирование элемента первым методом, его ремонты и простои в ремонтах в зависимости от периодичности диагностирования на тыс. км пробега имеет вид:

$$I_1(l) = l \cdot C_1 + (C_{i+} + C_i(l_{0\Sigma})) \cdot A_{ин}(l) + C_{иr} \cdot A_{иr}(l) + \Pi \cdot (t_{в1} + t_c \cdot A_{ин}(l) + t_a \cdot A_{ин}(l)), \quad (5)$$

где  $\Pi$  – удельная чистая прибыль, приносимая автомобилем за 1 час эксплуатации;

$A_{ин}(l)$  – автомобили, для которых будет произведено профилактическое техническое обслуживание на пробеге  $l$ ;

$A_{иr}(l)$  – автомобили, для которых будет произведен аварийный ремонт на пробеге  $l$ ;

$t_{в1}$  – время на одно диагностирование;

$t_{п}$  и  $t_a$  – соответственно время, отведенное на профилактическое техническое обслуживание и аварийный ремонт элемента.

Для второго метода диагностирования функция издержек имеет вид:

$$I_2(l) = l \cdot C_1 + (C_{i+} + C_i(l_{0\Sigma})) \cdot A_{ин}(l) + C_{иr} \cdot A_{иr}(l) + \Pi \cdot (t_{в2} + t_c \cdot A_{ин}(l) + t_a \cdot A_{ин}(l)) + l \cdot C_{свд} / T_{свд}, \quad (6)$$

где  $t_{в2}$  – время на диагностирование элемента при использовании систем встроенных датчиков;  
 $C_{свд}$  и  $T_{свд}$  – соответственно затраты на систему встроенных датчиков и срок службы систем встроенных датчиков рассматриваемого элемента; остальные обозначения аналогичны обозначениям для первой функции.

В настоящее время автомобили оснащаются бортовыми и встроенными системами диагностирования, при этом не теряют актуальность и традиционные системы внешнего диагностирования. Кроме того, начинают внедряться в конструкцию автомобилей элементы, регулирующие состояние механизмов без проведения дополнительных работ. В связи с этим при выборе диагностических параметров необходимо определить, какие из них целесообразно контролировать бортовыми системами, какие – с помощью внешних средств технического диагностирования, а которые должны подвергаться саморегулированию.

При самодиагностировании периодичность технического обслуживания будет величиной динамичной и зависит от момента достижения агрегатом, системой или деталью допустимого значения параметра состояния, а в саморегулирующихся системах элемент обслуживания отсутствует.

Преимуществом таких систем является снижение материальных и временных затрат на техническое обслуживание и ремонт автомобилей, а также увеличение ресурса автомобиля.

Как известно, при технико-экономическом методе определяется такая периодичность технического обслуживания для перечня операций, которая соответствует минимуму за-

трат на поддержание и восстановление работоспособности по всем элементам, входящим в этот перечень с учетом затрат на техническое обслуживание и ремонт бортовой системы контроля:

$$C_{\Sigma 3} = \sum_{i=1}^k C_{i1} + \sum_{i=1}^k C_{i2} + \sum_{i=1}^k C_{i3} \rightarrow \min, \quad (7)$$

где  $C_{\Sigma 3}$  - суммарные удельные затраты на ТО и ремонт  $k$  элементов, включенных в перечень ступени ТО;

$C_{i3}$  - удельные затраты на ТО и ремонт бортовой системы контроля.

При самодиагностировании удельные затраты  $\Delta C_i$  будут больше минимальных затрат и затрат на ТО и ремонт бортовой системы контроля на величину изменения затрат элемента при оптимальной периодичности обслуживания этого элемента:

$$\Delta C_{i3} = C_i(l_{0\Sigma}) - C_{i\min} - C_{i3}, \quad (8)$$

Таким образом, изменение суммарных удельных затрат по всем элементам перечня определяется из выражения:

$$\Delta C_{\Sigma 3} = \sum_{i=1}^{k-n} \Delta C_i + \sum_{i=1}^n \Delta C_i, \quad (9)$$

где  $n$  – количество элементов с периодичностью близкой к оптимальной.

Для третьего метода величина, как для первого и для второго методов увеличение удельных затрат одного элемента должно компенсироваться уменьшением суммарных удельных затрат другого элемента. и в качестве периодичности проведения технического обслуживания для группы операций выбирается такая периодичность, которая соответствует минимальным изменениям суммарных удельных затрат по всем элементам перечня.

Издержки, соответствующие третьему методу самодиагностирования, определяют по формуле:

$$I_3 = T_{\text{БК}}(C) \cdot C_{\text{БК}} + C_{\text{III}} + C_{\text{П}} \cdot P_{\text{В}} + \Pi \cdot t_{\text{П}} \cdot P_{\text{В}}, \quad (10)$$

где  $T_{\text{БК}}$  – срок службы системы бортового контроля ;

$C_{\text{БК}}$  - затраты системы бортового контроля;

$C_{\text{пр}}$  – затраты на ремонт и техническое обслуживание системы бортового контроля (применительно к рассматриваемому элементу) за срок его службы;

$P_{\text{В}}$  – контролируемые части автомобиля, для которых будет произведен текущий ремонт на каждую тыс. км пробега.

Применение самодиагностирования позволит увеличить уровень эксплуатационной надежности автомобильного парка, снизить материальные и трудовые затраты на проведение технического обслуживания и ремонта автомобилей, уменьшить потребность в технологическом оборудовании и производственно-складских помещениях.

Для узлов подвергающихся саморегулированию издержки определяются по формуле:

$$I_4 = T_{\text{СС}}(C) \cdot C_{\text{СС}} + C_{\text{пр}} + C_{\text{П}} \cdot P_{\text{В}} + \Pi \cdot t_{\text{П}} \cdot P_{\text{В}}, \quad (11)$$

где  $T_{\text{СС}}$  – срок службы системы саморегулирования ;

$C_{\text{СС}}$  - затраты (стоимость) системы саморегулирования;

$C_{\text{пр}}$  – затраты на ремонт и техническое обслуживание системы саморегулирования (применительно к рассматриваемому элементу) за срок его службы;

В данном случае, для четвертого метода исключаются затраты на техническое обслуживание элементов подвергающихся саморегулированию.

Минимальное значение одного из четырех полученных чисел для перечисленных методов указывает на наиболее целесообразный вариант диагностирования, самодиагностирования или саморегулирования элементов автомобилей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ



1. Мастепан, Н. А. Корректирование периодичности технического обслуживания автомобилей технико-экономическим методом [Текст] / Н. А. Мастепан, Г. В. Крамаренко, Б. С. Клейнер // Техническая эксплуатация автомобилей: Сб. научн. тр. - М.: МАДИ, 1980. - С. 4-8

2. Катаргин, В. Н. Оптимизация процедуры назначения перечней работ ТО при проектировании систем профилактики [Текст] / В. Н. Катаргин, А. Н. Князьков А. Н. // Транспортные средства Сибири: Сб. научн. тр. - Красноярск: КГТУ, 1998. - С. 193-197.

3. Лянденбургский, В. В. Эффективность применения систем диагностирования и саморегулирования в современных автомобилях. Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств. Материалы III международной научно-технической конференции [Текст] / В. В. Лянденбургский, А. С. Иванов, А. В. Рыбачков. – Пенза, 2004. Часть II. С. 45-47.

4. Лянденбургский, В. В. Комбинированная система технического обслуживания автомобилей [Текст] / В. В. Лянденбургский, В. И. Назаров // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств. Материалы III международной научно-технической конференции. – Пенза, 2004. Часть II. С. 47-49.

5. Лянденбургский В.В., Тарасов А.И., Ильина И.Е. Модифицированный технико-экономический метод технического обслуживания автомобилей [Текст] / В. В. Лянденбургский, А. И. Тарасов, И. Е. Ильина И.Е. // Перспективные направления развития автотранспортного комплекса. Материалы II международной научно-производственной конференции. – Пенза, 2009. С. 147-150.

**Лянденбургский Владимир Владимирович**

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Кандидат технических наук, доцент

Тел. +7 (8412) 49 83 30

Email: [dekauto@pguas.ru](mailto:dekauto@pguas.ru)

**Тарасов Александр Иванович**

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Аспирант

Тел. +7 (8412) 49 83 30

Email: [dekauto@pguas.ru](mailto:dekauto@pguas.ru)

**Федосков Александр Владимирович**

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Студент

Тел. +7 (8412) 49 83 30

Email: [dekauto@pguas.ru](mailto:dekauto@pguas.ru)

О.А. ЛУСКАНЬ

## ВЛИЯНИЕ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕНИЯ РАМЫ ИМПУЛЬСНОГО РОЛИКОВОГО КОНВЕЙЕРА НА ПРОЦЕСС ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ШТУЧНЫХ ГРУЗОВ

*В статье представлено теоретическое обоснование условий движения штучных грузов в зависимости от режимных параметров колебания рамы конвейера, определяющие возможность движения груза без проскальзывания относительно роликов и с относительным скольжением. Основной задачей данной работы является установление границ варьируемыми режимными параметрами, характеризующих функциональную работоспособность импульсного роликового конвейера.*

**Ключевые слова:** штучный груз, ролик, механизм свободного хода, инерция, транспортирование, сила трения.

*In article the theoretical substantiation of traffic conditions of piece cargoes depending on regime parameters of fluctuation of a frame of the conveyor, movements of cargo defining possibility without sliding concerning rollers and with relative sliding is presented. The primary goal of the given work is the establishment of borders in the varied regime parameters characterizing functional working capacity of the pulse roller conveyor.*

**Keywords:** piece cargo, a roller, the free wheeling mechanism, inertia, transportation, force of a friction.

В настоящее время межоперационный транспорт, обслуживающий гибкие производственные системы в условиях машиностроительного производства является очень важной составляющей, от которой зависит своевременное выполнение заказа и в конечном итоге формируется себестоимость выпускаемой продукции. Известные типы транспортных систем, в частности конвейеры, не всегда могут удовлетворить требования технологического процесса при выпуске новой продукции и не могут совместить в одной машине ряд операций: перемещение, реверсирование, ориентирование, накопление грузов и т.д.

Среди большого многообразия конвейеров особое место занимают конвейеры, предназначенные для транспортирования штучных грузов. Они обеспечивают не только перемещение, но и широко применяются для технологических процессов.

Для перемещения штучных грузов широко применяются приводные роликовые конвейеры, так как они обеспечивают непрерывность подачи, изменение скорости транспортирования и накопление грузов, а также выполнение на них различных технологических операций. Недостатками указанных конвейеров является сложность конструкции, значительная энергоёмкость и металлоёмкость.

Штучные грузы можно транспортировать и инерционным конвейером, в котором груз перемещается за счет бигармонического характера колебания желоба, однако этот тип конвейеров из-за больших динамических нагрузок на привод и сопротивлений от перемещаемого груза по желобу не получили широкого применения.

Конструктивное объединение роликового и инерционного конвейера с переменным сопротивлением движению груза при прямом и обратном ходе рамы позволяет исключить недостатки известных инерционных конвейеров с постоянным давлением груза на дно желоба и тем самым расширить область их применения, в частности, для перемещения штучных грузов с плоской опорной поверхностью.

На кафедре Подъёмно-транспортные строительные и дорожные машины Саратовского государственного технического университета разработаны новые конструкции импульсных конвейеров, в которых в отличие от инерционного конвейера с постоянным давлением

груза на дно желоба его опорная поверхность выполнена из роликоопор, оснащенных механизмами свободного хода, которые дают возможность вращения роликов в одном направлении и стопорят их в обратном.

Конструкция импульсного роликового конвейера (рис. 1) представляет собой подвижную раму 1, опирающуюся на катки 3, на которой установлены ролики 2, каждый из которых оснащён управляемым или неуправляемым механизмом свободного хода 4. Привод 5 обеспечивает возвратно-поступательные движения рамы в плоскости транспортирования.

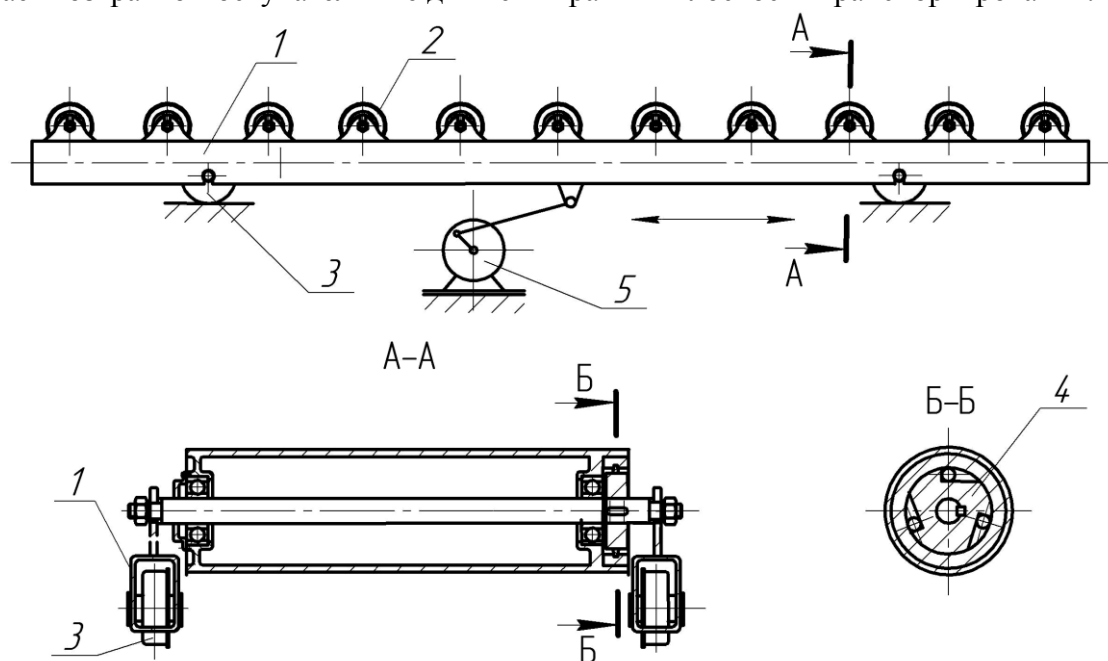


Рисунок 1 – Конструктивная схема импульсного роликового конвейера

Для прямолинейного транспортирования груза ролики должны вращаться в одном направлении. При движении рамы конвейера в сторону транспортирования сила инерции лежащего на роликах груза направлена в противоположную сторону, стремясь удержать груз от совместного движения с рамой. Так как ролики оснащены механизмами свободного хода, то между опорной поверхностью груза и обечайками роликов возникает сила трения, вовлекающая груз в совместное движение с рамой.

При обратном ходе рамы, сила инерции меняет свое направление на противоположное и груз, преодолевая силу сопротивления, возникающую при перемещении по роликам, движется в сторону транспортирования, так как механизмы свободного хода не препятствуют свободному вращению роликов.

Гармонический привод обеспечивает переменные кинематические характеристики качающейся раме за период цикла, поэтому одним из важных условий является условие совместного движения рамы и груза с одинаковой абсолютной скоростью, с целью накопления грузом кинетической энергии для создания относительного движения груза в период хода рамы при прямом и обратном направлении. Следует учитывать при этом, что совместное движение груза с рамой осуществляется за счет силы трения, возникающей между опорной поверхностью груза и грузонесущими элементами, находящимися в состоянии покоя.

Таким образом, условием совместного движения груза с рамой в направлении транспортирования без относительного скольжения (рис. 2, а), будет определяться выражением:

$$F_u \leq F_{mp}, \quad (1)$$

где  $F_u$  – сила инерции груза;

$F_{mp}$  – сила трения покоя опорной поверхности груза о ролики;

$$F_u = m_{zp} a_{zp}^{отн}, \quad (2)$$

где  $m_{гр}$  – масса груза;

$a_{zp}^{отн}$  – ускорение груза относительно рамы.

$$F_{тр} = m_{zp} g f, \quad (3)$$

где  $f$  – коэффициент трения покоя опорной поверхности груза о ролики;

таким образом, выражение (1) можно записать в виде:

$$m_{zp} a_{zp}^{отн} \leq m_{zp} g f, \quad (4)$$

а относительное ускорение груза при прямом ходе рамы определится из условия отсутствия скольжения груза по роликам:

$$a_{zp}^{отн} \leq g f. \quad (5)$$

После определения закономерности движения груза на конвейере согласно выражению (5) можно будет определить рациональные режимы колебаний рамы, обеспечивающие транспортирование груза без относительного скольжения по раме.

Совместное движение груза с рамой будет происходить до тех пор, пока скорость рамы не достигнет максимального значения, после чего сила инерции груза изменит свое направление, и груз, преодолевая сопротивление движению, начнет относительное перемещение по роликам.

Одним из основополагающим условием транспортирования груза будет его движение относительно роликов при прямом и обратном ходах рамы конвейера (рис. 2, б), определяемое выражением:

$$F_u > W_{zp}, \quad (6)$$

где  $W_{гр}$  – сила сопротивления движению груза по роликам конвейера, допуская при этом, что она меньше силы трения  $F_{тр}$ .

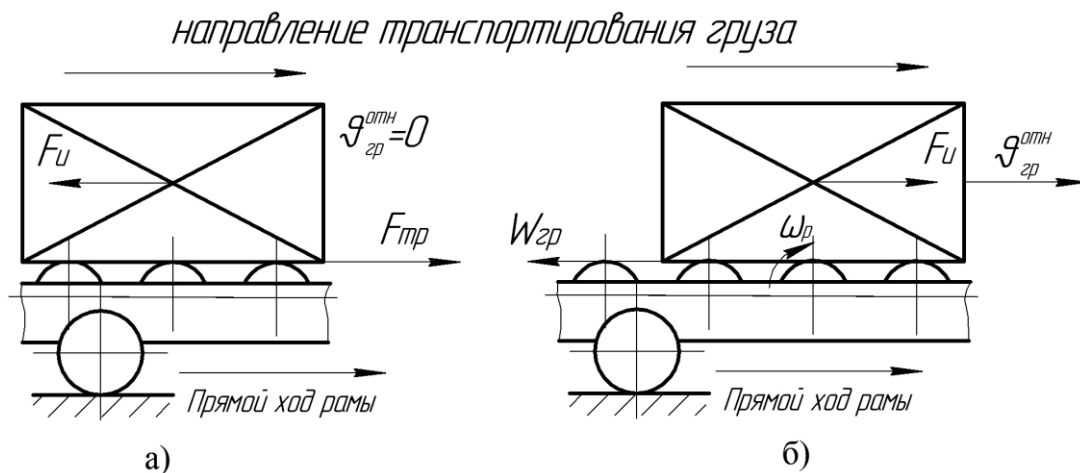


Рисунок 2 – Схемы к определению условий транспортирования груза при прямом ходе рамы

$$W_{гр} = m_{гр} g \delta_{гр}, \quad (7)$$

где  $\delta_{гр}$  – приведенный коэффициент сопротивления движению груза по роликам.

Или выражение (6) запишется:

$$m_{гр} a_{гр}^{отн} > m_{гр} g \delta_{гр},$$

т.е.

$$a_{гр}^{отн} > g \delta_{гр}. \quad (8)$$

При обратном ходе рамы, т.е. в сторону обратную транспортированию груза (рис. 3) необходимо, чтобы также выполнялось условие (6). После того, как относительная скорость движения груза будет равной нулю, начинается совместное движение груза и рамы конвейера в сторону транспортирования (рис. 2, а) и цикл повторится.

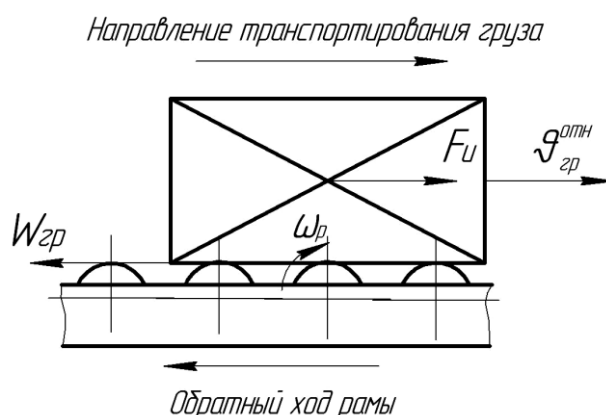


Рисунок 3 – Схема к определению условий движения груза при обратном ходе рамы

Таким образом, выражение (8) позволяет определить минимально допустимое относительное ускорение, необходимое для транспортирования груза, пропорционально зависящее от приведенного коэффициента сопротивления движению груза по грузонесущим элементам  $\delta_{zp}$ , который зависит от массы транспортируемого груза и конструктивных особенностей типа импульсного конвейера.

На основе полученных зависимостей (5) и (8) можно будет сделать выводы о численных значениях ускорения груза относительно рамы конвейера, которые, в зависимости от вида транспортируемых изделий (физико-механических свойств), лежат в пределах:

$$g\delta_{zp} < a_{zp}^{отн} \leq gf \quad (9)$$

Условие (9) позволяет сделать вывод о том, что чем меньше будут значения приведенного коэффициента сопротивления движению груза  $\delta_{zp}$ , тем больше расширятся границы варьирования скоростью движения груза на конвейере.

На основе проведенных теоретических исследований [1] была определена зависимость амплитуды колебания рамы  $A$  и угловой скорости привода  $\omega$  из условия отсутствия скольжения груза относительно роликов:

$$A \leq \frac{g \left( f^2 + 4f\delta_{zp} \frac{m_{zp}}{m_{zp} + m_p} + 3\delta_{zp}^2 \left( \frac{m_{zp}}{m_{zp} + m_p} \right)^2 \right)}{4\omega^2 \pi \delta_{zp} \frac{m_{zp}}{m_{zp} + m_p} \left( 1 - \frac{m_p}{m_{zp} + m_p} \right)}, \quad (10)$$

где  $m_p$  – масса вращающихся частей роликов, находящихся под грузом.

При перемещении грузов на импульсном роликовом конвейере в случае, когда сила инерции груза значительно больше силы трения, тогда возможно относительное движение (скольжение) груза по заторможенным роликам в сторону обратную транспортированию. В разведывательных экспериментальных исследованиях [2] было установлено, что при параметрах колебания рамы, выходящих за граничные, наблюдается явление скольжения груза по роликам, но груз все равно движется в сторону транспортирования. В связи с этим необходимо определить граничные параметры колебания рамы и разработать рекомендации для инженерного расчета, характеризующие режимы качания рамы конвейера при которых возможно транспортирование груза с относительным скольжением.

Таким образом, при скольжении груза относительно роликов (рис. 4, а), сила инерции груза по значению будет больше силы трения, возникающей между опорной поверхностью груза и роликами, т.е.:

$$F_{и} \geq F_{тр}, \quad (11)$$

где  $F_{тр}$  – сила трения покоя опорной поверхности груза о ролики;

$$F_{и} = m_{гр} a_{к}, \quad (12)$$

где  $a_{к}$  – ускорение рамы конвейера.

$$F_{тр} = m_{гр} g f, \quad (13)$$

где  $f$  – коэффициент трения покоя опорной поверхности груза о ролики; таким образом, выражение (11) можно записать в виде:

$$m_{гр} a_{к} \geq m_{гр} g f,$$

или

$$a_{к} \geq g f. \quad (14)$$

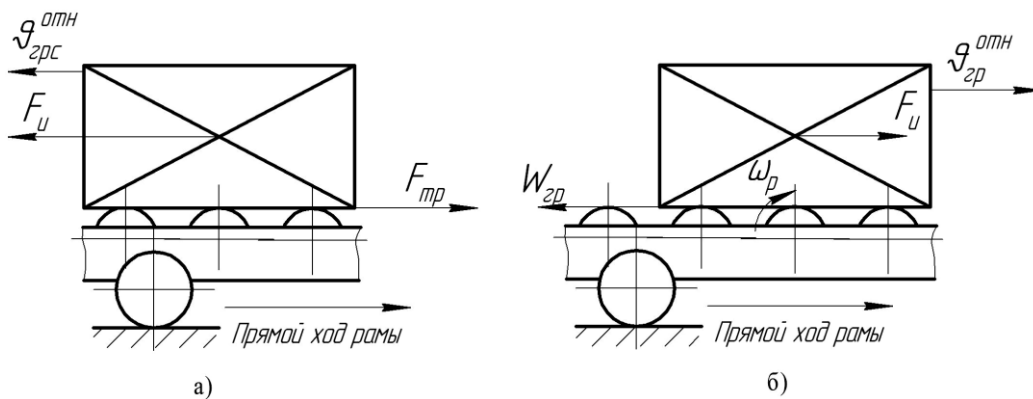


Рисунок 4 – Схемы к определению условий транспортирования груза с относительным скольжением при прямом ходе рамы

После подстановки значения ускорения в выражение (14) получим:

$$A \omega^2 \sin \omega t_c \geq g f,$$

откуда значение времени относительного скольжения определится по формуле:

$$t_c = \frac{\arcsin \frac{g f}{A \omega^2}}{\omega}. \quad (15)$$

Полученное время  $t_c$  необходимо сравнить со временем  $t$ , значение которого определено в [2], в течение которого происходит накопление грузом кинетической энергии и изменение направления силы инерции груза в сторону транспортирования, т.е.:

$$t_c \leq t. \quad (16)$$

На основе поставленного условия (16) можно определить границы варьирования параметрами колебания рамы импульсного роликового конвейера, при которых возможно транспортирование груза с относительным скольжением:

$$\frac{\arcsin \frac{g f}{A \omega^2}}{\omega} \leq \frac{\sqrt{\left(\frac{m_{гр}}{m_{гр} + m_p}\right)^2 g^2 \delta_{гр}^2 + \frac{4 A \omega^2 \pi g \delta_{гр} m_{гр}}{m_{гр} + m_p} \left(1 - \frac{m_p}{m_{гр} + m_p}\right)} - \frac{m_{гр}}{m_{гр} + m_p} g \delta_{гр}}{A \omega^3 \left(1 - \frac{m_p}{m_{гр} + m_p}\right)}.$$

Откуда допустимая амплитуда колебания рамы, при которой возможно транспортирование груза с относительным скольжением груза по роликам будет определяться выражением:

$$A \leq \frac{g \left( f^2 \left( 1 + \left( 1 - \frac{m_p}{m_{rp} + m_p} \right)^2 \right) + 2f\delta_{rp} \frac{m_{rp}}{m_{rp} + m_p} \left( 3 - \frac{m_p}{m_{rp} + m_p} \right) + 3\delta_{rp}^2 \left( \frac{m_{rp}}{m_{rp} + m_p} \right)^2 \right)}{4\omega^2 \pi \delta_{rp} \frac{m_{rp}}{m_{rp} + m_p} \left( 1 - \frac{m_p}{m_{rp} + m_p} \right)}. \quad (17)$$

Полученные зависимости (10) и (17) позволяют теоретически обосновать выбор граничных режимных параметров качания рамы импульсного роликового конвейера, которые могут быть использованы при разработке рекомендаций по проектированию импульсных конвейеров.

Внедрение в производство транспортно-технологического импульсного роликового конвейера для транспортирования штучных грузов с плоской опорной поверхностью позволит обслуживать производственный цикл по заданной программе и может конкурировать с традиционными видами транспорта.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лускань, О.А. Теоретические основы перемещения грузов импульсными конвейерами: Монография [Текст] / О.А.Лускань. – Саратов: Изд-во СГТУ, 2010. – 99 с.
2. Лускань, О.А. Определение рациональных параметров инерционного роликового конвейера: Дис...канд. техн. наук. – Саратов, 2004. – 149 с.

**Лускань Олег Александрович**

Балаковский институт техники, технологии и управления (филиал) ГОУ ВПО «СГТУ», г. Балаково  
Кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры «Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины»

Тел. +7 (8453) 68 12 21

E-mail: [cap248@yandex.ru](mailto:cap248@yandex.ru)

В. М. ЗЕМСКОВ

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВИБРАЦИОННОГО ИНСТРУМЕНТА БЕСТРАНШЕЙНОЙ МАШИНЫ С ГРУНТОМ

*Проведен анализ процесса распространения энергии колебаний при взаимодействии вибрационного инструмента бестраншейной машины с грунтом. Предлагается математическая модель, описывающая процесс распространения энергии колебаний в массиве грунта с учётом диссипативных свойств и пространственного изменения параметров системы.*

**Ключевые слова:** математическая модель, прокол, вибрационный инструмент, энергия, грунт, структурная прочность, диссипация.

*The analysis of process of distribution of energy of fluctuations is carried out at interaction of the vibrating tool of trenchless cars with a ground. The mathematical model describing process of distribution of energy of fluctuations in a file of a ground with the account of dissipative properties and spatial change of parameters of system is offered.*

**Keywords:** mathematical model, moling, vibrating tool, energy, ground, structural durability, dissipation.

В жизнедеятельности современных городов большое значение имеют подземные коммуникации: водопровод, санитарная канализация, водостоки, газопроводы, теплосети, кабели связи и др. Российская Федерация занимает одно из первых мест в мире по протяженности различных коммуникаций, при этом более половины из них проложены 20-50 лет тому назад, поэтому требуют реконструкции и обновления. Решение проблемы замены, прокладки и ремонта подземных коммуникаций, как по оценкам российских специалистов, так и зарубежных экспертов видится в кардинальном расширении применения современных бестраншейных технологий, создании новых технологий и машин для эффективной замены старых и прокладки новых трубопроводов, особенно из неметаллических материалов.

Одним из перспективных способов бестраншейной прокладки коммуникаций является способ вибрационного прокола с колебаниями рабочего инструмента перпендикулярно оси проходки [1], который характеризуется меньшей энергоёмкостью процесса образования скважин по сравнению с известными способами. В рамках данной статьи предлагается математическая модель процесса распространения энергии колебаний в грунте, учитывающая диссипативные свойства грунта и изменения параметров системы.

В решении задачи исследования взаимодействия вибрационного инструмента с грунтом наиболее предпочтительным следует считать термодинамический (энергетический) метод [2]. Этот метод основан на том, что всякое изменение, происходящее в некоторой системе, рассматривается с точки зрения выделения или поглощения энергии, преобразования одних видов энергии в другие. Как показывают исследования, энергетический анализ во многих случаях не только существенно облегчает решение различных задач механики грунтов, но и делает гораздо более ясной физическую сущность рассматриваемых проблем. Энергетический метод позволяет с достаточной определённой находить конечные состояния среды при тех или иных воздействиях на неё. К выбору энергетического метода для исследования процесса вибрационного прокола направляет и развитие современной термодинамики, которая рассматривает взаимосвязи и взаимопревращения различных видов энергии при любых процессах и явлениях и влияние переходов энергии на изменение свойств физических тел (грунта).

При вибрационном проколе напорная или тяговая сила, осуществляющая поступательное движение рабочего инструмента по траектории, определяемой осью образуемой скважины, осуществляет переукладку (перемещение) частиц грунта в массиве, окружающем



наконечник. Энергия колебаний способствует снижению структурной прочности грунта. По аналогии с теплопроводностью распространение энергии колебаний происходит при непосредственном контакте частиц грунта между собой, сопровождающимся обменом энергии, расходуемой на перемещение частиц, их взаимное проскальзывание. Распространение энергии колебаний в грунте, также как и распространение тепла, теплопроводностью, зависит от физических свойств среды.

Процесс распространения энергии вибратора в грунтовом массиве, окружающем рабочий наконечник (инструмент) носит волновой характер. Причём доля энергии колебаний рассеиваемой в грунтовом массиве расходуется на перестройку частиц грунта и прямо пропорционально общему количеству подведенной энергии и объёму грунта, вовлекаемого в колебания.

Грунт, в котором распространяется волна, получает энергию, доставляемую от вибратора рабочего наконечника – это количество энергии, переносимое через некоторую поверхность (цилиндрическую в данном случае) в единицу времени, называется потоком энергии, размерность которого совпадает с размерностью мощности и определяется:

$$\Phi = \frac{dW}{dt}, \quad (1)$$

где  $dW$  - энергия колебаний, передаваемая в грунт, Дж;  
 $dt$  - время, за которое энергия от вибратора передавалась в грунт, с.

Энергия вибратора, передаваемая в массив грунта, по мере удаления от оси образуемой скважины снижается. Поверхность, на которую было передано одинаковое количество энергии  $dW$ , называется волновой поверхностью и в рассматриваемом случае она имеет цилиндрическую форму конечной длины, которая определяется осевыми габаритами рабочего наконечника. Цилиндрические поверхности различного уровня по мере удаления от рабочего наконечника имеют меньшую энергию по двум причинам:

1. С удалением от источника колебаний волновая поверхность фронта волны увеличивается и на единицу массы грунта, прилегающего к фронту волны, приходится всё меньшая доля переносимой волной энергии, которая затрачивается на перестройку частиц.
2. При передаче энергии происходит необратимый процесс рассеяния части механической энергии в грунте.

Таким образом, процесс вибрационного прокола, происходящий при передаче энергии колебаний в грунтовый массив, сопровождается изменением в пространстве и времени энергии колебаний. Аналитическое исследование процесса переноса энергии сводится к изучению пространственно-временного изменения энергии  $dW$ , то есть нахождения уравнения:

$$W = f(x, y, z, t). \quad (2)$$

По аналогии с терминологией теплопередачи уравнение (2) представляет собой математическое выражение энергетического поля – являющегося совокупностью значений энергии  $W$  во всех точках изучаемого пространства в определённый момент времени. Следует отметить, что энергетическое поле будет изменяться со временем по приведённым выше причинам, поэтому оно является нестационарным.

Геометрическое место точек, которые в данный момент времени имеют одинаковую энергетическую заряженность, будет называться поверхностями равного энергетического уровня (РЭУ). По аналогии с изотермическими поверхностями температурного поля при передаче энергии теплопроводностью, поверхности РЭУ не пересекаются между собой и не обрываются внутри грунтового массива, в котором распространяется энергия колебаний. На рисунке 1 схематично представлена часть грунтового массива у рабочего наконечника с нанесёнными через интервалы  $\Delta W$  поверхностями РЭУ.

Наибольшее изменение энергии на единицу длины находится в направлении нормали  $\vec{n}$  к поверхности РЭУ. Предел изменения энергии  $\Delta W$  к расстоянию  $\Delta l$  между поверхностями РЭУ, определённому по нормали будет называться градиентом энергии колебаний:

$$\lim\left(\frac{\Delta W}{\Delta n}\right)_{\Delta n \rightarrow 0} = \frac{\partial W}{\partial n} = \text{grad } W. \quad (3)$$

Градиент энергии колебаний является вектором, совпадающим с направлением нормали к поверхности РЭУ. За положительное направление  $\text{grad } W$  принято направление в сторону большей энергетической заряженности.

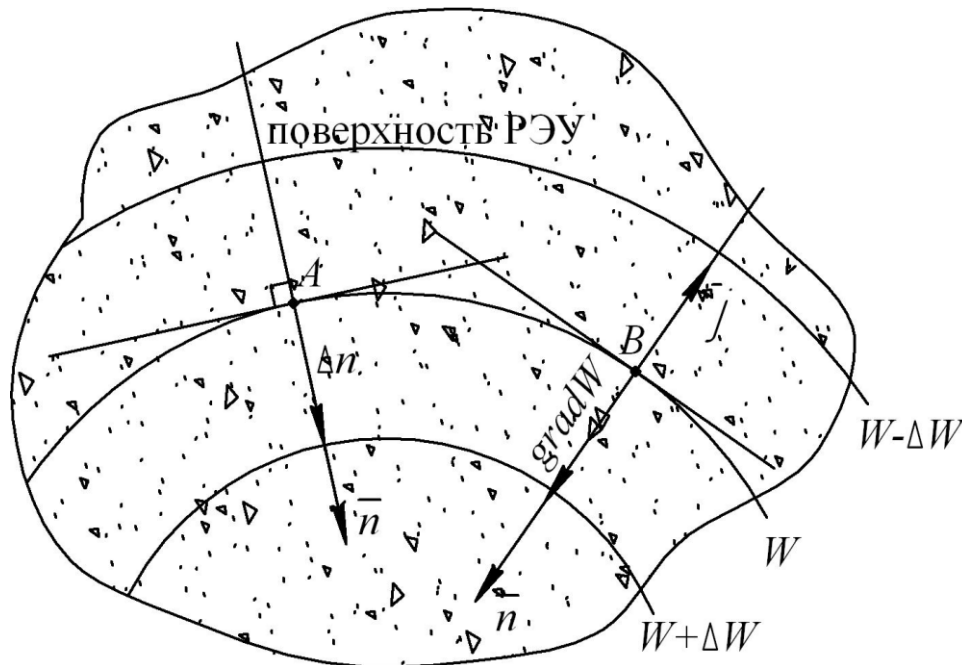


Рисунок 1 - Схема поверхностей РЭУ

Для характеристики процесса распространения энергии в разных точках грунтового массива введем понятие плотности потока энергии, которая также является векторной величиной. Плотность потока энергии  $\Delta W$  переносимую через площадку  $\Delta S_{\perp}$  поверхности РЭУ, перпендикулярную к направлению распространения энергии за время  $\Delta t$ , определится:

$$j = \frac{\Delta W}{\Delta S_{\perp} \Delta t} = \frac{d^2 W}{dS_{\perp} dt}. \quad (4)$$

Очевидно, что плотность потока энергии  $\bar{j}$  связана с градиентом энергии колебаний  $\text{grad } W$  через параметры грунта и частоту импульсов энергии. Посредством анализа размерностей, запишем взаимосвязь между плотностью потока энергии  $\bar{j}$  и градиентом энергии колебаний  $\text{grad } W$ :

$$\bar{j} = -\chi n_{\kappa} \text{grad } W, \quad (5)$$

где  $\chi$  - коэффициент поглощения волны (энергии) колебаний, величина обратная  $\chi$  - равна расстоянию, на котором интенсивность волны уменьшается в  $e$  раз,  $1/m$ ;

$n_{\kappa}$  - частота колебаний, определяющая количество импульсов энергии в массив грунта,  $1/c$ .

Знак «-» в формуле (5), указывает на противоположное направление векторов  $\bar{j}$  и  $\text{grad } W$ . Величина  $\chi$  характеризует способность грунта передать энергию колебаний на расстояние.

Рассмотрим массив грунта, окружающий вибрационный рабочий инструмент при образовании скважины, принимая грунт однородным и изотропным, рисунок 2. Пространственно-временное состояние энергетического поля в грунте определяется зависимостью (2). Выделим в рассматриваемом объеме грунта параллелепипед с ребрами  $dx$ ,  $dy$ ,  $dz$ , дефор-

мация рассматриваемого объема грунта за время  $dt$  принимается равной нулю. Составим уравнение энергетического баланса, для чего определим количество переданной энергии через грани параллелепипеда.

В соответствии с формулой (5) при проецировании плотности потока энергии на координатные оси  $x, y, z$  получим:

$$j_x = -\chi \cdot n_k \cdot \frac{\partial W}{\partial x}; j_y = -\chi \cdot n_k \cdot \frac{\partial W}{\partial y}; j_z = -\chi \cdot n_k \cdot \frac{\partial W}{\partial z}, \quad (6)$$

где  $j_x, j_y, j_z$  - проекции вектора плотности потока энергии  $\vec{j}$  на оси  $X, Y, Z$ .

$\frac{\partial W}{\partial x}, \frac{\partial W}{\partial y}, \frac{\partial W}{\partial z}$  - проекция вектора градиента энергии колебаний на оси  $X, Y, Z$ .

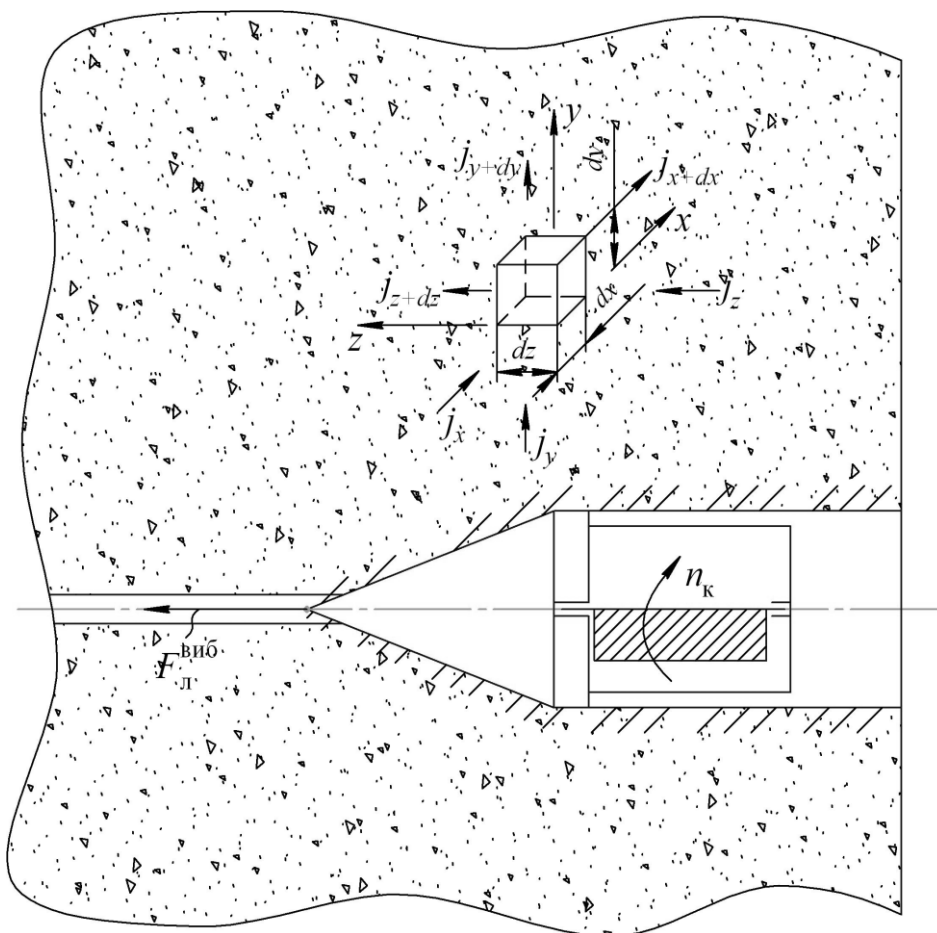


Рисунок 2 - Вибрационный рабочий наконечник в массиве грунта

Количество энергии, поступающее в параллелепипед за время  $dt$  через лицевую грань  $dydz$  равно:

$$W_x = j_x \cdot dy \cdot dz \cdot dt. \quad (7)$$

Количество энергии, отдаваемое параллелепипедом за то же время  $dt$  через тыльную грань  $dydz$  определяется:

$$W_{x+dx} = j_{x+dx} \cdot dy \cdot dz \cdot dt. \quad (8)$$

Аналогично рассматривая потоки энергии по другим граням параллелепипеда, получим, что за время  $dt$  количество энергии аккумулированное (рассеянное) в объеме  $dV = dx \cdot dy \cdot dz$  определится:

$$\Delta W = [(j_x - j_{x+dx})dx \cdot dz + (j_y - j_{y+dy})dx \cdot dz + (j_z - j_{z+dz}) \cdot dx \cdot dy] \cdot dt. \quad (9)$$

Величины  $j_{x+dx}$ ;  $j_{y+dy}$ ;  $j_{z+dz}$  являются неизвестными функциями координат  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ . Разложим  $j_{x+dx}$  в ряд Тейлора, ограничиваясь двумя первыми членами:

$$j_{x+dx} = j_x + \frac{\partial j_x}{\partial x} \cdot dx. \quad (10)$$

В результате получим:

$$(j_x - j_{x+dx}) = -\frac{\partial j_x}{\partial x} dx = \chi \cdot n_k \cdot \frac{\partial \left( \frac{\partial W}{\partial x} \right)}{\partial x} \cdot dx = \chi \cdot n_k \cdot \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \cdot dx \quad (11)$$

Аналогично заменяем:

$$(j_y - j_{y+dy}) = \chi \cdot n_k \cdot \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \cdot dy; \quad (j_z - j_{z+dz}) = \chi \cdot n_k \cdot \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} \cdot dz. \quad (12)$$

Следовательно:

$$\Delta W = \chi \cdot n_k \cdot \left( \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} \right) \cdot dV \cdot dt. \quad (13)$$

Преобразуем уравнение (13) к цилиндрической системе координат с координатой  $\rho$ . Такое допущение основано на сравнении скорости осевой подачи  $v_{i\delta}$  рабочего инструмента по оси  $Z$  и скорости волны колебаний  $v_{\delta}$ , описываемое отношением:

$$\frac{v_k}{v_{np}} = \frac{0.105 \div 0.314 \text{ м/с}}{0.008 \div 0.0277 \text{ м/с}} = 11 \div 13.$$

Таким образом, осевая подача оказывает незначительное влияние. Для цилиндрической системы координат с координатой  $\rho$  уравнение (13) переписывается в виде:

$$\Delta W = \chi \cdot n_k \cdot \left( \frac{\partial^2 W}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial W}{\partial \rho} \right) \cdot dV \cdot dt. \quad (14)$$

По закону сохранения энергии количество энергии  $\Delta W$ , рассеянное за время  $dt$  в объеме грунта  $dV$  можно рассматривать как диссипативную работу грунта за время  $dt$ :

$$\Delta W = W_{\text{дисс}}. \quad (15)$$

В свою очередь диссипативная работа грунта определяется падением потенциала на перенесённом заряде. Величина потенциала характеризует интенсивность изменения заряда (координату) состояния грунта. За координату состояния грунта принимаем параметр  $\Theta$ , характеризующий эффективность вибрационного воздействия и определяемый отношением:

$$\Theta = \frac{\sigma^{\text{виб}}}{\sigma^{\text{ст}}}, \quad (16)$$

где  $\sigma^{\text{виб}}$  - напряжение, характеризующее структурную прочность грунта при вибрационном воздействии, Па;

$\sigma^{\text{ст}}$  - напряжение, характеризующее структурную прочность грунта при статическом нагружении, Па.

Структурная прочность грунта при статическом нагружении постоянна  $\sigma^{\text{ст}} = \text{const}$ , так как грунт принимается однородным и изотропным.

Изменение параметра  $\Theta$  будет определяться величиной потенциала, который в рассматриваемом случае характеризуется интенсивностью вибрационного воздействия через удельную работу вибратора  $\tilde{N}$ , расходуемую на снижение структурной прочности грунта:

$$C = \frac{m_{\text{дб}} e_{\text{дб}} a}{V}, \quad (17)$$

где  $m_{дб}$  - масса дебаланса вибратора рабочего наконечника, кг;

$e_{дб}$  - эксцентриситет дебаланса, м;

$a$  - ускорение колебаний частиц грунта, м/с<sup>2</sup>;

$V$  - объём грунта, в котором распространяется энергия колебаний, м<sup>3</sup>.

В конечном итоге диссипативная работа грунта за время  $dt$  в элементарном объёме  $dV$  определится:

$$W_{дисс} = \frac{\Theta}{\Delta t} \frac{m_{дб} e_{дб} a}{V} dV dt. \quad (18)$$

Приравнявая полученные уравнения (14) и (18) и сокращая  $dV dt$ , получим дифференциальное уравнение распространения энергии колебаний в грунте:

$$\Theta \frac{m_{дб} e_{дб} a}{\Delta t \cdot V} = \chi \cdot n_{к} \cdot \left( \frac{\partial^2 W}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial W}{\partial \rho} \right). \quad (19)$$

Решим представленное уравнение (19) приняв следующие допущения:

1. Время  $\Delta t$ , за которое происходит снижение структурной прочности грунта, определяется временем периода колебаний, то есть  $\Delta t = 1/n_{к}$ .

2. Структурная прочность при вибрационном воздействии в массиве грунта, ограниченном радиусом структурных деформаций, изменяется незначительно, что позволяет принять её постоянной в этом объёме, при этом значение  $\sigma^{виб}$  определяется отношением количества рассеянной энергии к полной энергии, переданной в массив грунта, и величиной внутреннего трения в грунте. Таким образом, напряжение  $\sigma^{виб}$ , характеризующее структурную прочность грунта при вибрационном воздействии определяется выражением:

$$\sigma^{виб} = \sigma_{макс}^{виб} e^{-\theta}, \quad (20)$$

где  $\sigma_{макс}^{виб}$  - структурная прочность при вибрационном воздействии на границе зон структурных и упругих деформаций в массиве грунта, Па;

$\theta$  - логарифмический декремент, являющийся мерой внутреннего трения грунта, определяет величину рассеянной энергии, расходуемой на изменение структурной прочности грунта:

$$\theta = \ln \frac{A_n}{A_{n+1}} = \frac{W_{рас}}{2 \cdot W_{макс}}, \quad (21)$$

где  $A_n, A_{n+1}$  - амплитуда двух последовательных колебаний;

$W_{рас}$  - потерянная (рассеянная) энергия равная диссипативной работе грунта, Дж;

$W_{макс}$  - полная энергия колебаний, Дж.

3. Величина ускорения колебаний частиц грунта подчиняется закону:

$$a(\rho) = a_{макс} \cdot e^{-\chi \cdot \rho}, \quad (22)$$

где  $a_{макс}$  - максимальная величина ускорений колебаний на границе взаимодействия поверхности рабочего инструмента с грунтом, м/с<sup>2</sup>.

В результате, с учетом принятых допущений уравнение (19) переписывается:

$$\frac{\partial^2 W}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial W}{\partial \rho} = \frac{\sigma_{макс}^{виб} \cdot e^{-\theta}}{\sigma^{ст}} \cdot \frac{m_{дб} e_{дб} a_{макс}}{\chi \cdot V} e^{-\chi \cdot \rho}. \quad (23)$$

Полученное выражение представляет собой линейное неоднородное дифференциальное уравнение второго порядка [3] с постоянными коэффициентами вида:

$$y'' + p \cdot y' = \varphi(\rho), \quad (24)$$

где  $y'' = \frac{\partial^2 W}{\partial \rho^2}$ ;  $p = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{R_{ср.д}}$ ;  $y' = \frac{\partial W}{\partial \rho}$ ;  $\varphi(\rho) = \frac{\sigma_{макс}^{виб} \cdot e^{-\theta}}{\sigma^{ст}} \cdot \frac{m_{дб} e_{дб} a_{макс}}{\chi \cdot V} \cdot e^{-\chi \cdot \rho}$ .

Общее решение уравнения (24) определяется формулой:

$$W = W_0 + W_1, \quad (25)$$

где  $W_0$  - общее решение соответствующего однородного уравнения -  $\frac{\partial^2 W}{\partial \rho^2} + \frac{1}{R_{\text{стр.д}}} \cdot \frac{\partial W}{\partial \rho} = 0$ ;

$W_1$  - частное решение уравнения (23).

Находя общее решение однородного уравнения, получим:

$$W_0 = C_1 \cdot e^{-\frac{\rho}{R_{\text{стр.д}}}}. \quad (26)$$

Для нахождения коэффициента  $C_1$  примем начальные условия:  $\rho = 0$ ;  $W_0 = W_{\text{макс}}$ , тогда получим  $C_1 = W_{\text{макс}}$ .

В итоге:

$$W_0 = W_{\text{макс}} \cdot e^{-\frac{\rho}{R_{\text{стр.д}}}}. \quad (27)$$

Учитывая, что уравнение  $\varphi(\rho) = \frac{\sigma_{\text{макс}}^{\text{виб}} \cdot e^{-\theta}}{\sigma_{\text{ст}}} \cdot \frac{m_{\text{дб}} e_{\text{дб}} a_{\text{макс}}}{\chi \cdot V} \cdot e^{-\chi \cdot \rho}$  может быть представлено в виде:

$$\varphi(\rho) = d \cdot e^{c \cdot \rho}, \quad (28)$$

где  $d$ ,  $c$  - постоянные коэффициенты, то частное решение уравнения (23) находится в виде:

$$W_1 = D \cdot e^{c \cdot \rho} = D \cdot e^{-\chi \cdot \rho}. \quad (29)$$

Найдем производные  $W_1'$ ,  $W_1''$ :

$$W_1' = -D \cdot \chi \cdot e^{-\chi \cdot \rho}. \quad (30)$$

$$W_1'' = D \cdot \chi^2 \cdot e^{-\chi \cdot \rho}. \quad (31)$$

Подставляя полученные выражения (30) и (31) в исходное уравнение (23), получим:

$$D \cdot \chi^2 \cdot e^{-\chi \cdot \rho} - \frac{1}{R_{\text{стр.д}}} \cdot D \cdot \chi \cdot e^{-\chi \cdot \rho} = \frac{\sigma_{\text{макс}}^{\text{виб}} \cdot e^{-\theta}}{\sigma_{\text{ст}}} \cdot \frac{m_{\text{дб}} e_{\text{дб}} a_{\text{макс}}}{\chi \cdot V} \cdot e^{-\chi \cdot \rho}. \quad (32)$$

Проводя математические преобразования, получим значения коэффициента  $D$ :

$$D = \frac{\sigma_{\text{макс}}^{\text{виб}} \cdot e^{-\theta}}{\sigma_{\text{ст}}} \cdot \frac{m_{\text{дб}} e_{\text{дб}} a_{\text{макс}}}{V \cdot \chi^2 \left( \chi - \frac{1}{R_{\text{стр.д}}} \right)}. \quad (33)$$

Таким образом, частное решение  $W_1$  запишется:

$$W_1 = \frac{\sigma_{\text{макс}}^{\text{виб}} \cdot e^{-\theta}}{\sigma_{\text{ст}}} \cdot \frac{m_{\text{дб}} e_{\text{дб}} a_{\text{макс}}}{V \cdot \chi^2 \left( \chi - \frac{1}{R_{\text{стр.д}}} \right)} \cdot e^{-\chi \cdot \rho}. \quad (34)$$

В результате с учетом зависимостей (27) и (34) получаем уравнение распространения энергии колебаний в грунтовом массиве:

$$W(\rho) = W_{\text{макс}} \cdot e^{-\frac{\rho}{R_{\text{стр.д}}}} - \frac{\sigma_{\text{макс}}^{\text{виб}} \cdot e^{-\theta}}{\sigma_{\text{ст}}} \cdot \frac{m_{\text{дб}} e_{\text{дб}} a_{\text{макс}}}{V \cdot \chi^2 \left( \frac{1}{R_{\text{стр.д}}} - \chi \right)} \cdot e^{-\chi \cdot \rho}. \quad (35)$$

В полученном уравнении первая зависимость  $W_{\text{макс}} \cdot e^{-\frac{\rho}{R_{\text{стр.д}}}}$  выражает изменение энергии связанное с увеличением поверхности фронта волны при удалении от источника колебаний.

Второе выражение  $\frac{\sigma_{\text{макс}}^{\text{виб}} \cdot e^{-\theta}}{\sigma_{\text{ст}}} \cdot \frac{m_{\text{дб}} e_{\text{дб}} a_{\text{макс}}}{V \cdot \chi^2 \left( \frac{1}{R_{\text{стр.д}}} - \chi \right)} \cdot e^{-\chi \cdot \rho}$  определяет рассеянную часть

энергии в массиве грунта.

Полученное выражение (35) с учётом принятых допущений представляет собой математическая модель, описывающую процесс распространения энергии колебаний в массиве грунта с учётом диссипативных свойств и пространственного изменения параметров системы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Земсков, В. М. Теоретические основы взаимодействия рабочего наконечника с грунтом при проколе горизонтальных скважин [Текст]: монография / В. М. Земсков. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2010. - 104 с.
2. Гольдштейн, М. Н. Механические свойства грунтов [Текст] / М. Н. Гольдштейн. - М.: Стройиздат, 1971.- 366 с.
3. Гусак, А. А. Справочник по высшей математике [Текст] / А. А. Гусак, Е. А. Бричикова. – Мн.: Тетра-Системс, 2002. – 640 с.

**Земсков Владимир Михайлович**

Балаковский институт техники, технологии и управления, г. Балаково

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины»

Тел. +7 (927) 225 1820

E-mail: zevlam@yandex.ru

М. А. БУРНАШОВ, С. Д. УСМОНОВ

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОСТРУЙНОЙ ОЧИСТКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СОПЕЛ РАЗЛИЧНОГО ВНУТРЕННЕГО ПРОФИЛЯ

*Представлен расчет геометрических и гидравлических параметров гидроструйной очистки с использованием сопел различного внутреннего профиля, наиболее часто встречающихся в промышленности при ремонте транспортных машин.*

**Ключевые слова:** гидроструйная очистка, сопла, внутренний профиль, промышленность.

*Calculation of geometrical and hydraulic parameters of hydrojet clearing with use is presented snuffled the various internal profile, most often meeting in the industry at repair of transport cars.*

**Keywords:** hydrojet clearing, nozzles, an internal profile, promyshlen-nost.

Одной из важнейших операций при техническом обслуживании и ремонте машин и оборудования является очистка поверхностей от различных загрязнений.

В зависимости от условий изготовления, обработки и хранения металлов и сплавов на поверхностях могут присутствовать различные виды загрязнений. Различают загрязнения органической (минеральные масла) и неорганической природы (оксиды и гидроксиды металла, шлаки, цеховая пыль и др.).

Очистка поверхности достигается разными методами: механическим, струйным, физическим, химическим, физико-химическим и химико-термическим. На протяжении многих десятилетий традиционные методы очистки были достаточно полно описаны в технической литературе [1,2].

Практика гидроструйной очистки (водяная струя под определенным давлением, воздействуя на слой загрязнения, удаляет его до границы основного металла) показывает, что наибольшую эффективность применения получили насадки с круглым и прямоугольным сечением (рисунок 1). Однако научно обоснованных обобщенных рекомендаций по обеспечению режимов очистки (скорости перемещения гидроструйной головки, расстояния между соплом и поверхностью, оптимальном давлении струи и диаметра сопла) нет, а практика по их выбору основывается на индивидуальном опыте, что не позволяет обобщить для иных параметров процесса.

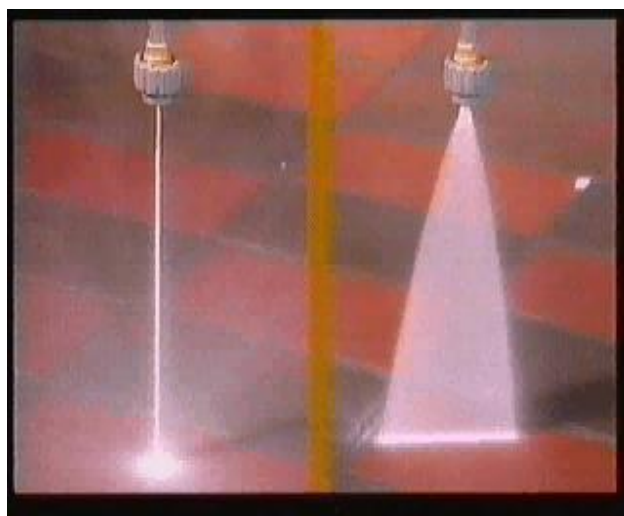


Рисунок 1 - Фотографии применения гидроструйной очистки круглой и плоской струей



Рассмотрим схемы для определения параметров процесса очистки для обеих струй (рис. 2).

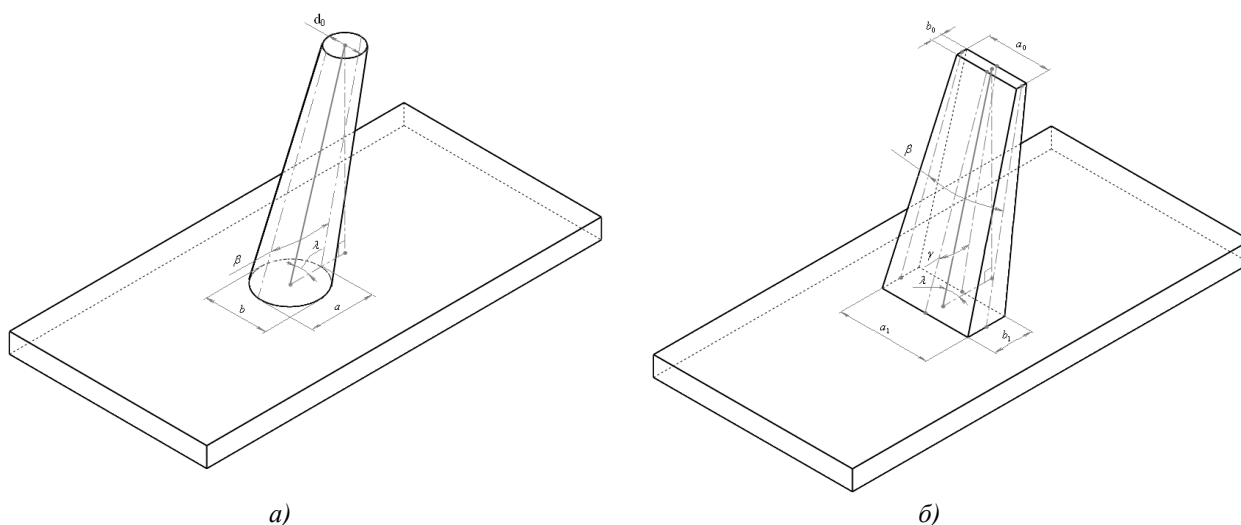


Рисунок 2 - Схемы для определения параметров очистки круглой и плоской струями

Проведя ряд геометрических расчетов, получим формулы площади пятна контакта:

$$\text{для струи круглого сечения } F_1 = \frac{\pi(2H \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} + d_0)^2}{4 \sin \lambda}, \quad (1)$$

$$\text{для струи прямоугольного сечения } F_2 = \frac{(2H \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} + a_0)(2H \cdot \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} + b_0)}{\sin \lambda}, \quad (2)$$

где  $H$  - расстояние от сопла до очищаемой поверхности;

$d_0$  - диаметр выходного отверстия сопла,

$\beta$  - угол раскрытия струи,

$\lambda$  - угол атаки,

$a_0$  - ширина прямоугольного отверстия сопла,

$b_0$  - длина (малая сторона) прямоугольного отверстия сопла.

Определим ударное давление для площади пятна контакта в зависимости от давления на выходе из сопла. На основании закона Паскаля:

$$\frac{P_0}{P_1} = \frac{F_1}{F_0}, \quad (3)$$

где  $P_0$  - давление на выходе из сопла,

$P_1$  - среднее давление на пятно контакта,

$F_0$  - площадь выходного сечения сопла.

Тогда для струи круглого сечения среднее давление на пятно контакта равно:

$$P_1 = \frac{P_0 d_0^2 \sin \lambda}{(2H \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} + d_0)^2}. \quad (4)$$

Для струи прямоугольного сечения среднее давление на пятно контакта равно:

$$P_2 = \frac{P_0 a_0 b_0 \sin \lambda}{(2H \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} + a_0)(2H \cdot \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} + b_0)}. \quad (5)$$

Расход воды через сечение сопла определяется:

$$Q = v_0 \cdot F_0, \quad (6)$$

где  $v_0$  – скорость струи жидкости на выходе из сопла,  
 $F_0$  – площадь сечения струи на выходе из сопла.

Скорость вытекающей из сопла рабочей жидкости струи  $v_0$  зависит от давления, т.е.  $v_0=f(P_0)$ . В работе [3] для определения  $v_0$  приводится формула, предложенная Л.Ф.Верещагиным:

$$v_0 = 44,3 \cdot \sqrt{P_0}, \quad (7)$$

где:  $v_0$  – скорость струи жидкости на выходе из сопла, м/с,

$P_0$  – давление истечения струи, МПа.

Формула основывается на данных о сжимаемости жидкости по Бриджмену, где плотность для всех точек струи принята неизменной, равной плотности воды, а коэффициент скорости – равным единице. Тогда выражение (7) принимает вид:

$$Q = 44,3 \cdot \sqrt{P_0} \cdot F_0. \quad (8)$$

Для струи круглого сечения расход равен:

$$Q = 34,78 \cdot d_0^2 \cdot \sqrt{P_0}. \quad (9)$$

Для струи прямоугольного сечения расход равен:

$$Q = 44,3 \cdot a_0 b_0 \cdot \sqrt{P_0}. \quad (10)$$

Величину максимально допустимой подачи будем определять исходя из равенства объемов снимаемого материала загрязнения за промежуток времени  $\tau$  для двух случаев. В первом случае снимается более толстый слой загрязнения и подача равна 0 (так называемое «гидросверление»). Во втором случае обработка ведется с подачей  $S_m$  вдоль очищаемой поверхности.

Проведя ряд метаматематических преобразований, получим:  
 для сопла круглого сечения:

$$S_{m1} = \pi \cdot \frac{2H \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} + d_0}{2\tau \cdot \sin \lambda} \cdot \left( \frac{h_1}{h_2} - 1 \right), \quad (11)$$

для сопла прямоугольного сечения:

$$S_{m2} = \frac{2H \cdot \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} + b_0}{\tau \cdot \sin \lambda} \cdot \left( \frac{h_1}{h_2} - 1 \right), \quad (12)$$

где:  $h_1$  - глубина лунки материала загрязнения при его «гидросверлении»,  
 $h_2$  - толщина слоя загрязнения.

Давление на пятно контакта должно обеспечивать разрушение материала загрязнения, т.е. должно превышать его предел прочности  $\sigma$  с некоторым запасом (т.е.  $P_1 = \mu \sigma$ , где коэффициент запаса  $\mu$  определяется эмпирически и обычно равен 1,2 – 1,3).

Для назначения режимов гидроструйной очистки по указанной методике необходимо провести экспериментальные исследования по определению предела прочности на сжатие слоя загрязнения  $\sigma$  и глубины лунки материала загрязнения  $h_1$  при его «гидросверлении», когда жидкость под рабочем давлением подается на поверхность без перемещения сопла. Для этого из сопла на поверхность загрязнения кратковременно (в течении 0,1 с) «выстреливают» под рабочим давлением малый объем жидкости, а затем измеряют глубину лунки, которая не превышает толщину загрязнения.

Представленная методика определения параметров гидроструйной очистки была успешно апробирована авторами в Технологическом институте им. Н.Н. Поликарпова ФГОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК» при назначении режимов очистки различного рода загрязненных деталей машин перед их восстановлением.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козлов, Ю. С. Очистка изделий в машиностроении [Текст] / Ю. С. Козлов, О. К. Кузнецов, А. Ф. Тельнов. - М.: Машиностроение, 1982. - 261 с.
2. Беянин, П. Н. Промышленная чистота машин [Текст] / Беянин, П.Н., Данилов В.М. - М: Машиностроение, 1982. – 224 с.
3. Тихомиров, Р. А. Высокопроизводительное резание полимерных материалов сверхзвуковыми струями жидкости [Текст]: дис... док. техн. наук. - Владимир, 1989.- 470 с.

**Бурнашов Михаил Анатольевич**

ФГОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел

Доктор технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика»

Тел. +7 (4862) 54 15 03

E-mail: [arshin721@yandex.ru](mailto:arshin721@yandex.ru)

**Усмонов Саймурод Дустмуродович**

ФГОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел

Аспирант кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика»

Тел. +7 (4862) 54 15 03

E-mail: [arshin72@mail.ru](mailto:arshin72@mail.ru)

В.Б. КУЛЕШОВ, А.В. КРАСНОЛУДСКИЙ

## ОПЫТ ИСКУССТВЕННОГО ОБРУШЕНИЯ БАШЕН ТРУБ В АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНОЙ ТЕХНИКИ

*Приводится практический опыт контролируемого искусственного обрушения высотных решетчатых металлоконструкций башен химических производств с использованием строительной техники, не прибегая к взрывчатым веществам. Рассмотрен порядок проведения работ, вопросы техники безопасности, указаны дополнительные факторы, влияющие на процесс обрушения.*

**Ключевые слова:** контролируемое обрушение, решетчатые металлоконструкции, строительная техника.

*Practical experience of controllable artificial falling of high-altitude trellised metal designs of towers of chemical manufactures with use of building - road technics is resulted, not resorting to explosives. The order of work, questions of the safety precautions is considered, the additional factors influencing process of falling are specified.*

**Keywords:** controllable falling, trellised metal designs, building - road technics.

В СССР был наработан большой опыт строительства и монтажа высотных промышленных сооружений. Сегодня многие из них отработали нормативный срок эксплуатации, пришли в неработоспособное состояние и представляют серьезную угрозу для производств и обслуживающего персонала по причине нахождения в радиусе падения 120...180-метровой башни трубы цехов и коммуникаций. В 90-х годах прошлого века из-за развала и банкротства заводов с угрозой обрушения высотных труб с решетчатой металлоконструкцией боролись просто и эффективно: демонтировали ствол трубы, снижая ветровую нагрузку в 3-4 раза, что обеспечивало снижение действующих в металлоконструкции башни напряжений в несколько раз. В период выживания производств это устраивало городской технадзор и руководство заводов. Начавшиеся в последние годы оживление и модернизация многих производств требуют перепланировки коммуникаций и новых свободных площадей на территории заводов. Высокий спрос на металл позволяет расплачиваться за демонтаж таких многотонных конструкций металлоломом, без отвлечения денежных средств от плановых мероприятий по ремонту и эксплуатации зданий и сооружений. Кроме того, с первого дня работы привлеченных организаций вся ответственность за безопасность работ переходит в компетенцию этих, часто низко квалифицированных мелких организаций, занимающихся утилизацией металлоконструкций. Ситуация распространенная и очень опасная из-за отсутствия должного опыта демонтажа таких колоссальных сооружений, часто находящихся в аварийном состоянии.

Демонтаж промышленных сооружений, высота которых редко превышает 30-40 метров, успешно ведется самоходными стреловыми кранами, но демонтаж высотных труб (60-180 м) кранами не возможен и выполняется самыми примитивными механизмами: лебедками и домкратами. Причем, в отличие от монтажа новых металлоконструкций, монтажникам приходится работать с сильно корродированными, часто поврежденными конструкциями, прочность которых не гарантирована. Поэтому демонтаж высотных сооружений всегда сопряжен с большим риском обрушения многотонных конструкций на расположенные в радиусе их падения действующие производства и гибелью монтажников.

На сегодняшний день, из-за отсутствия фирм, занимающихся контролируемым обрушением зданий и сооружений с использованием взрывчатых веществ, снос выполняется способом обратного монтажа. Однако, уже имеющийся опыт, и особенно опыт аварийных ситуаций, заставляющих искать нестандартные решения, показывает возникновение и развитие

совершенно новых нетрадиционных способов, требующих осмысления, теоретического обоснования, серьезных доработок технологии и приемов выполнения, от которых решающим образом зависит безопасность и успех проведения таких работ.

В этой статье сделана попытка привлечь внимание к необходимости накопления и обобщения опыта выхода из подобных ситуаций, которые все чаще случаются. Возможно, необходим единый координационный центр, возможно в структуре городского технадзора или МЧС, в который могли бы обратиться руководители предприятий в случае возникновения подобных серьезных аварийных ситуаций. Пока же руководство пытается обращаться к проектировщикам данной конструкции и связываться с другими заводами, которые, если и предлагают помощь, то в течение нескольких недель, а не дней, да и результативность этой помощи часто неизвестна. Надо отдать должное мужеству, решительности и опыту технических руководителей и простых монтажников, вынужденных искать простые и эффективные решения в безвыходных ситуациях.

Так в 2007 году на Балаковском химическом заводе при демонтаже 120-метровой башни трубы (рис. 1) бывшего производства искусственных волокон, отработавшей свой срок и подлежащей утилизации, верхняя секция башни решетчатой металлоконструкции по невыясненным причинам опрокинулась в сторону и, разрушив нижележащую секцию, повисла с боку башни трубы, угрожая в любой момент сорваться и упасть с высоты 110 метров на расширяющееся основание башни, состоящее из сильно корродированных (на 60%) стальных уголков. Разрушение основания башни трубы, скорее всего, привело бы к ее падению на близлежащие цеха и коммуникации. Дальнейший демонтаж башни был невозможен, так как верхние полуразрушенные секции представляли из себя хаотичное переплетение деформированного, предельно напряженного и готового к обрушению металла. Посылать бригаду монтажников на такой объект в нарушение всех правил техники безопасности невозможно. Поэтому, даже экзотические в наше время варианты демонтажа с помощью вертолета были неприемлемы. На наш взгляд, единственное решение - искусственное обрушение башни в нужном направлении. Однако и такого направления не было: в радиусе падения оставшейся 110-метровой башни находились производственные здания и коммуникации.

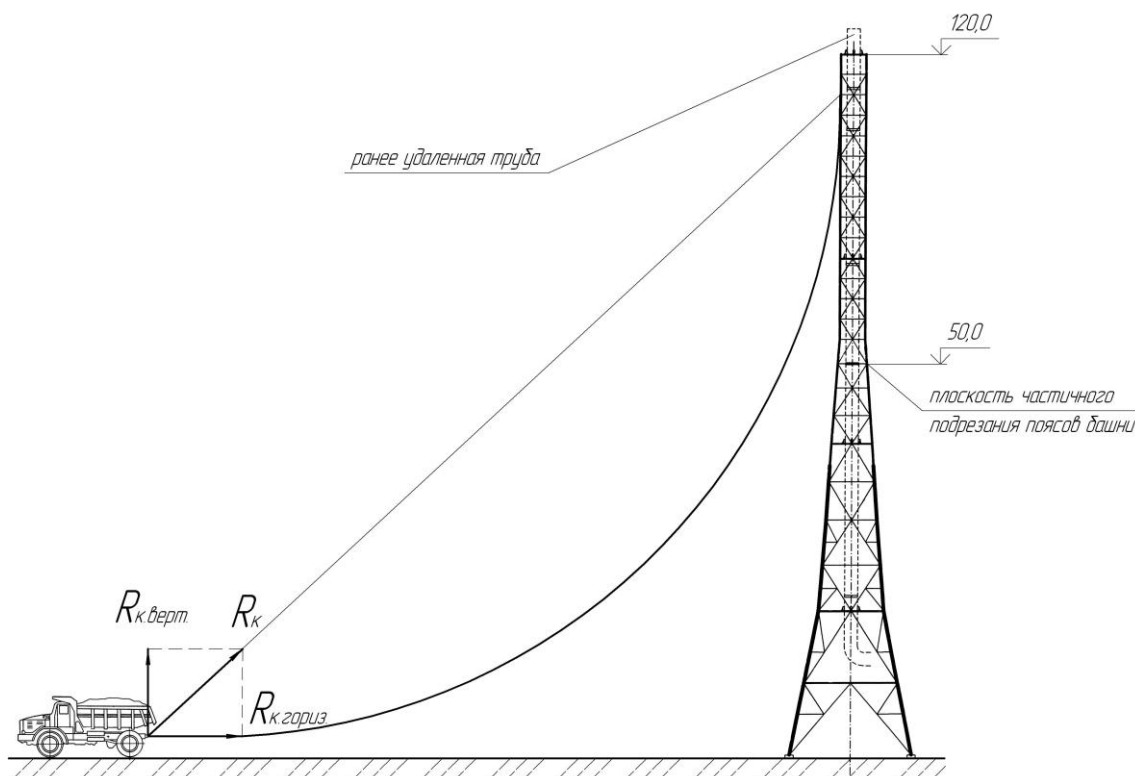


Рисунок 1 - Схема обрушения металлоконструкции башни трубы

Сами «виновники» возникновения аварийной ситуации (небольшая частная организация монтажников-высотников, занимающихся утилизацией металлоконструкций) предложили простой и сравнительно безопасный вариант: «сложить башню пополам», так чтобы верхние разрушенные секции «легли» в 10-20 метрах от ее основания, где не было зданий и коммуникаций. Затем предполагалось «сложить пополам» и оставшуюся почти 50-метровую часть основания башни с дальнейшей резкой на металлолом.

В результате совместной работы была создана, согласована с городским технадзором и утверждена главным инженером эксплуатирующего предприятия следующая технология:

1. Два опытных монтажника-высотника поднимаются до отметки 80-100 м (выше подниматься опасно из-за разрушенных верхних секций) и закрепляют с внешней стороны башни легкий блок с альпинистским шнуром диаметром 10 мм и длиной 200 м, к которому закрепляется стальной канат диаметром 22 мм с грузовыми стропами на конце. Другой конец шнура присоединяется к сцепному устройству грузового автомобиля, расположенного на безопасном расстоянии от башни трубы.

2. После спуска монтажников с башни трубы канат со стропами затягивается на отметку 80-100м.

3. Двое монтажников поднимаются и закрепляют канат крюковыми стропами к двум поясам башни, со стороны, обратной нависающей полуразрушенной секции (работать под готовой к обрушению секцией крайне опасно и психологически очень трудно).

4. Монтажники опускаются до отметки 50 м и практически перерезают все четыре пояса башни в узлах ее решетчатой конструкции. Это наиболее опасная и требующая не только смелости и квалификации, но и большого опыта операция.

Отметим, что опыт этого обрушения выявил необходимость выполнения дополнительных мероприятий по значительному снижению степени риска самопроизвольного падения башни трубы, которыми монтажники мелких организаций часто пренебрегают, рассчитывая на свой опыт и стремясь максимально сократить трудоемкость и сроки выявления операций.

5. Грузеный песком МАЗ-525 с закрепленным к нему канатом, двигаясь на первой передаче, тянет верхнюю половину башни трубы до разрыва подрезанных поясов и ее падения. Операция завершающая и, казалось бы, не сложная, но самая главная и из-за особенностей ее выполнения первое наше обрушение пошло совсем по другой схеме. Практика, как это часто бывает, сама подсказала простую и, главное, более безопасную технологию искусственного обрушения. При выполнении этой операции крайне важно, чтобы движение грузового автомобиля было непрерывным. Водителю, хорошо чувствующему сопротивление движению своей машины, психологически трудно продолжать движение в момент максимального натяжения каната. Именно из-за остановки тягача в решающий момент и возникла первоначальная аварийная ситуация, когда верхняя секция трубы на отметке 110 метров не была сброшена вниз на безопасное расстояние от расширяющегося основания башни, а соскользнула с подрезанных поясов и зависла на указанной высоте. Водитель в самый решающий момент опрокидывания секции занервничал и остановился, что катастрофично по своим последствиям (секция не может быть опущена на свое прежнее место, т.к. она не попадет на прежнее место разреза поясов). Поэтому, чтобы не повторить ошибку, перед обрушением водителю не только тщательно объяснили этот момент, но и провели простой, но совершенно необходимый тренинг: симитировали ситуацию и проехали вместе с ним пять раз по намеченному пути движения. Психологический момент выполнения этой операции на этот раз был учтен и хорошо подготовлен: в кабине рядом с водителем сидел бригадир монтажников, уже выполнявший подобные обрушения.

При выполнении этой операции не учли ряд факторов. В самый решающий момент тягач остановился из-за пробуксовки колес по причине нарушения условия движения машины без буксования:

$$P_{\text{сц}} \geq P_T \geq \Sigma P$$

1)

где  $P_{\text{сц}}$  - сила тяги машины по сцеплению;

$P_T$  - сила тяги машины по мощности двигателя;

$\Sigma P$  - суммарное сопротивление, возникающее в процессе работы машины.

Отметим, что путь движения тягача не был специально подготовлен: накатали колею по грунту и не придали значения небольшим неровностям колеи, что увеличило суммарное сопротивление, возникающее в процессе работы (рисунок 2).

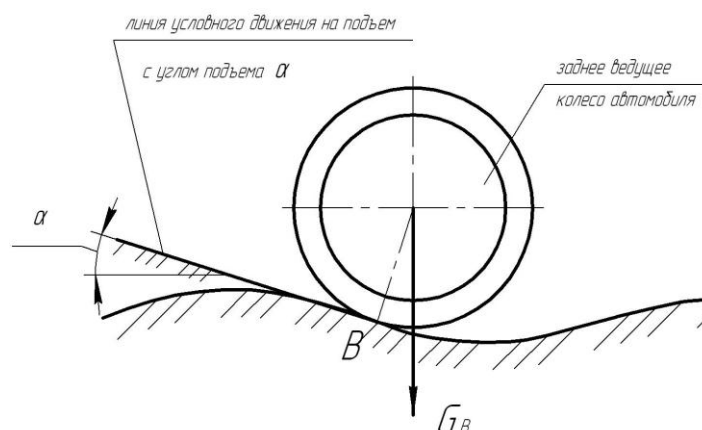


Рисунок 2 - Схема, учитывающая неровности колеи на примере ведущего колеса тягача

Стальной канат автомобиля до начала операции сильно провисает (рис. 1), а в момент максимального натяжения, он выпрямляется и уходит вверх к отметке 100 м практически без провисания под углом 40-45%, существенно уменьшая сцепной вес ведущего заднего моста автомобиля за счет усилия отрыва от действия  $R_{\text{к.верт.}}$ .

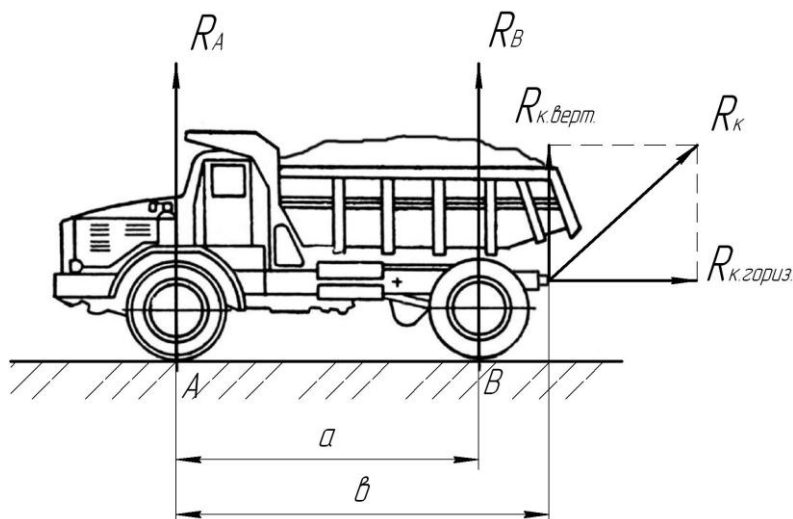


Рисунок 3 - Определение сцепного веса ведущего заднего моста

Сцепной вес заднего ведущего моста  $G_{\text{сц}}$  уменьшается не только на величину  $R_{\text{к.верт.}}$ , но как видно из рисунка 3, из-за соотношения плеч  $a$  и  $b$ .

$$G_{\text{сц}} = R_B - \frac{R_{\text{К.ВЕРТ.}} \cdot \epsilon}{a} \quad 2)$$

Кроме того, величина коэффициента сцепления сильно колеблется в зависимости от многих трудно прогнозируемых факторов. Поэтому, запас тягового усилия должен быть двукратным. Это бывает трудно организовать и требует дополнительных расходов, но с учетом масштабов возможной аварии совершенно необходимо. Так, например, при проведении следующего обрушения 180-метровой тубы на другом заводе в качестве тягача был использован груженный автомобиль марки БелАЗ, участок его движения был отсыпан щебнем, спланирован, уплотнен и обрушение было проведено удачно.

При выполнении первого обрушения запас тягового усилия (без учета ветрового давления на обрушаемую часть башни) составлял около 20-30%. В результате сочетания всех не учтенных факторов в решающий момент опрокидывания башни тягач остановился, забуксовал и верхняя часть башни высотой 60 м и массой 150 т, качнувшись вперед, начала движение в обратную, выбранному направлению сторону, где были расположены действующие цеха и коммуникации завода. Это еще раз подтвердило необходимость полной эвакуации людей из действующих цехов по всему радиусу возможного обрушения башни, хотя бы на момент проведения последнего этапа работ. В этот раз массы груженого тягача и его сцепного веса хватило, чтобы остановить и удержать башню от падения в обратную сторону, но попасть перерезанным поясам на свое прежнее место, как указано выше, невозможно. Поэтому, верхняя часть башни, соскользнув с подрезанных поясов, начала проседать вертикально вниз, разрушаясь и разрушая ниже расположенные секции 50-метрового основания башни. В течение нескольких секунд 120-метровая конструкция сложилась на своем фундаменте в сравнительно небольшую, компактную грудку металла, удобную для утилизации. Таким образом, обрушение было произведено не в 3 этапа путем складывания пополам 120-метровой и 50-метровой конструкций, на что проектом отводилось 2 недели, а в течение нескольких секунд при минимальных денежных затратах и времени пребывания персонала на высоте.

Обрушение было признано очень удачным, но остался невыясненным один вопрос: что помешало башне начать заваливаться влево или вправо от намеченного направления падения. Один канат не способен удерживать ее в поперечном направлении. Здесь важно отметить, что любой канат способен удерживать башню лишь первые 1...2 секунды. Достаточно башне просесть на 10...15 м и канат провисает, переставая работать. Даже с помощью четырех канатов, закрепленных со всех сторон трубы, ее можно удерживать только в течение первых секунд обрушения, дальше падение идет неуправляемо из-за большой массы металлоконструкции башни и провисания канатов.

Необходимо отметить, что опыт наблюдения за характером падения таких больших масс у нас единичный и касается только решетчатых сильно коррозированных металлоконструкций открытого профиля. Сопротивление разрушению таких стержней существенно ниже сопротивления трубчатых элементов более современных конструкций. Поэтому распространить опыт этого «удачного» обрушения на другие типы сооружений в целом можно, но с неизвестной степенью достоверности. Это еще раз указывает на необходимость накопления и обобщения любого опыта искусственных обрушений.

У нас имеется значительный практический опыт демонтажа различных башен труб другим, более безопасным способом: путем последовательного обрушения отдельных секций высотой 10-12 м, позволяющий выполнять такой «скоростной» демонтаж довольно уверенно (монтажники даже забивают колышек в то место, куда приземлится очередная секция).

Способ демонтажа высотных сооружений последовательным обрушением одиночных секций для подготовленных людей достаточно безопасен и только на первый взгляд кажется авантюризмом и чуть ли не промышленным хулиганством. Обычно, демонтируют башню трубы в порядке обратном ее монтажу; приваривают к верхней и нижерасположенной секциям шарниры, перерезают их пояса и с помощью двух лебедок верхнюю секцию переворачивают на 180 градусов и опускают на одной лебедке, оттягивая ее от расширяющегося осно-



вания башни другой лебедкой. Это занимает 2...3 месяца. И все это время люди работают на высоте и под самим сооружением, имеющим многочисленные повреждения и сильную коррозию металла. Не секрет, что монтажники мелких частных предприятий, занимающихся утилизацией металла, как правило, не имеют необходимой квалификации и постоянно пренебрегают техникой безопасности работ. Поэтому каждый день их работы на высоте - это безусловный риск, растянутый на месяцы.

При демонтаже сильно корродированных труб кислотных производств, отработавших 40-45 лет, всегда велика вероятность, что при переворачивании и спуске секции весом 10-15т она может сорваться вниз, разрушая основание башни и канаты лебедок. В этом случае возникает тяжелая аварийная ситуация с угрозой возникновения катастрофических последствий, т.к. дальнейший демонтаж ее обычными методами не возможен. А при последовательном обрушении отдельных секций все происходит быстро и просто: опасным ситуациям некогда развиваться, и, главное, что монтажники-высотники в операциях обрушения непосредственно не участвуют. Здесь важно, как подробно показано выше, чтобы в момент обрушения тягач непрерывно двигался с набором скорости. Тогда он выполняет функцию оттягивающей лебедки и успевает отвести падающую секцию от расширяющегося к низу основания башни.

По производительности и экономической эффективности метод обрушения не сопоставим с другими методами демонтажа. Так 180-метровую башню сернокислотного производства (типовой проект организации «Ленстальконструкция») организация из четырех человек демонтировала за несколько дней. Причем, завод расплатился с монтажниками не денежными средствами, а частью металлолома этой же конструкции массой 700 т. Поэтому, заводу такой демонтаж практически ничего не стоил, и не мешал реконструкции производства. Подобное искусственное обрушение безопасный и эффективный способ выхода из тяжелых аварийных ситуаций все чаще возникающих на химических промышленных предприятиях.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ветров, Ю. А. Машины для специальных земляных работ [Текст] / Ю. А. Ветров, В. Л. Баладинский. - Киев: Вища школа. - 1980. - С. 1 - 17, 68 - 82.
2. Дорожные машины. Ч. I. Машины для земляных работ. Теория и расчет [Текст] / Т. В. Алексеева, К. А. Артемьев, А. А. Бромберг, Р. И. Войцеховский, Н. А. Ульянов. - 3-е изд., перераб., и доп. - М.: Машиностроение, 1972. - 504 с.
3. Бородачев, И.В. Справочник конструктора дорожных машин [Текст] / И. В. Бородачев. - М.: Машиностроение. - 1965. - 725 с.
4. Качанов, Л.М. Основы механики разрушения [Текст] / Л. М. Качанов. - М.: Машиностроение, 1974. - 312 с.

### **Кулешов Валерий Борисович**

Балаковский институт техники, технологии и управления (филиал Саратовского государственного технического университета), г. Балаково

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины»

E-mail: [kafpsm@bittu.org.ru](mailto:kafpsm@bittu.org.ru)

### **Краснолудский Андрей Викторович**

Балаковский институт техники, технологии и управления (филиал Саратовского государственного технического университета), г. Балаково

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины»

E-mail: [andrey\\_krasnoludskiy@mail.ru](mailto:andrey_krasnoludskiy@mail.ru)

УДК 502.175:681.518.3:534.836.2

В. В. ВАСИЛЬЕВА

## УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ АКУСТИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ГОРОДА НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

*В статье рассматриваются вопросы оценки и прогноза негативного техногенного воздействия автотранспортных потоков на акустическую среду города. Приводится пример построения нейросетевой модели и расчета экономического эффекта использования моделирования.*

**Ключевые слова:** автотранспортные потоки, акустическая среда, моделирование, искусственная нейронная сеть (ИНС).

*The article deals with the assessment and prediction of negative anthropogenic impact vehicle flows on the acoustic environment of the city. An example is given for constructing neural network model and calculate the economic effect of the simulation.*

**Key words:** vehicular flow, acoustic environment modeling, artificial neural network (ANN).

Из всех видов негативного воздействия, оказываемого на природную среду при функционировании транспортного комплекса России, с точки зрения наносимого экологического ущерба, более 35% приходится на долю шума. Около 50% этого ущерба связано с эксплуатацией автомобильного транспорта (более 80% городского населения России проживает в условиях сверхнормативной шумовой нагрузки, обусловленной движением автотранспортных потоков).

Шум ведет к утомлению людей, снижению их работоспособности и (при длительном воздействии) является причиной патологических изменений в органах слуха, нарушений нормального функционирования всех систем организма человека.

Вопросы оценки и прогноза воздействия автотранспортных потоков на акустическую среду, разработки на их основе рациональных мероприятий по снижению этого воздействия являются крайне актуальными.

Натурные измерения и оценка влияния автотранспорта на акустическую среду с привлечением реального оборудования зачастую требует значительных расходов временных, энергетических и материальных ресурсов. Кроме того, для исследования может представлять интерес задача, трудновыполнимая в условиях реального эксперимента (например, не только в силу большой продолжительности эксперимента во времени, но и риска провести необъективную оценку).

Возможность проводить контролируемые эксперименты в ситуациях, где экспериментирование на реальных объектах было бы практически невозможным или экономически нецелесообразным, дает применение моделей.

Хорошо построенная модель, как правило, доступнее для исследователя, нежели реальный эксперимент. С ее помощью выявляются наиболее существенные факторы, формирующие те или иные свойства процесса. Модель позволяет также научиться правильно управлять процессом, апробируя различные варианты. Одним из наиболее важных применением моделей является прогнозирование поведения моделируемых систем.

Оценка воздействия автотранспортных потоков на акустическую среду – это сложный, нелинейный или динамический процесс, для которого трудно построить физическую модель. Наиболее приемлемым способом решения данной проблемы является применение имитационного моделирования.

При этом наиболее высокую точность будут показывать частные модели, разработанные для конкретных участков автодорог с фиксированными факторами внешнего воздействия, характеризующими распространение и рассеяние звуковых волн.

*Построение нейросетевой модели.*

Распространение звуковых волн в атмосфере - сложный процесс, так как состояние атмосферы неустойчиво по своей природе. Такие ее параметры как температура окружающей среды, скорость и направление ветра, влажность не являются постоянными, и воздействие их на распространение шума незначительно, так как расстояние прохождения звуковой волны невелико. А так же в случае сложившейся застройки улиц, варьирование некоторыми параметрами не представляется возможным.

Поэтому в исследования в качестве входов были определены следующие параметры:

- I - интенсивность транспортного потока (АТС/ч);
- Q - доля грузового и общественного транспорта в потоке (%);
- V - скорость транспортного потока (км/ч);
- s - длина перегона (м);
- H - этажность застройки (м);
- коз - коэффициент озеленения придорожной полосы (ед./100м);
- l - ширина проезжей части (м).

Выходной параметр -  $L_{экв}$  - эквивалентный уровень транспортного шума (дБА).

Лучший результат показала двухслойная ИНС с архитектурой 7-(5-2)-1, ее архитектура показана на рисунке 1.

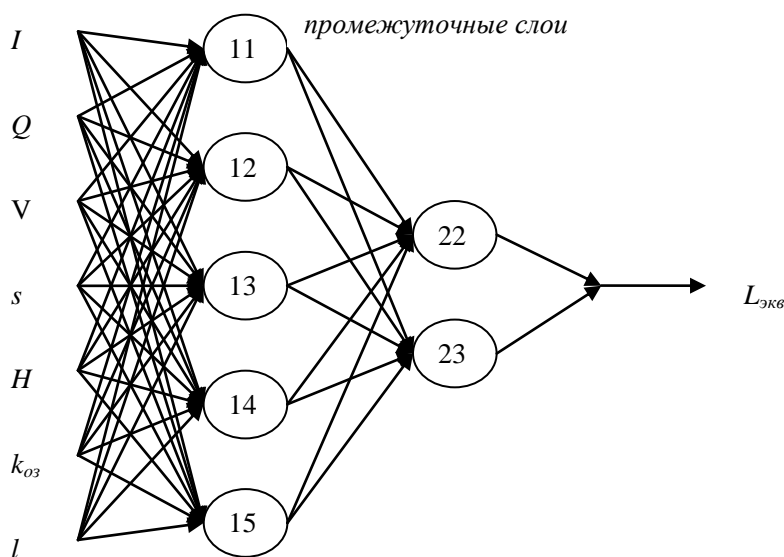


Рисунок 1 – ИНС с архитектурой 7-(5-2)-1

Определив в построенной сети значимость входов, представилось возможным упрощение сети посредством исключения незначимых (малозначимых) входов.

В результате для адекватной оценки и прогноза воздействия автотранспортных потоков на акустическую среду придорожной территории получено: необходимо использование трех входных параметров транспортного потока, а именно интенсивности, доли грузового и общественного транспорта и скорости.

Для данного случая так же были проанализированы нейронные сети, имеющие различную архитектуру (три входа сети, соответствующие I, Q и V; два (три) скрытых слоя с различным числом нейронов; один выход сети  $L_{экв}$ ).

ИНС с архитектурой 3-(3-2-1)-1, показанная на рисунке 2, является наиболее точной. Используемые параметры транспортного потока имеют следующее обозначение:

- I - интенсивность транспортного потока (АТС/ч);
- Q - доля грузового и общественного транспорта в потоке (%);

$V$  - скорость транспортного потока (км/ч);

$L_{эkv}$  - эквивалентный уровень транспортного шума (дБА).

Наиболее высокими прогностическими способностями обладают модели, построенные для конкретного техногенного источника воздействия на акустическую среду. В нашем случае – это конкретный транспортный поток.

Автором работы [1] в ходе исследования на основании применения специализированной экспертной системы ES были выявлены участки автодорог г. Орла с наиболее опасной экологической обстановкой с точки зрения воздействия автотранспортных потоков на акустическую среду.

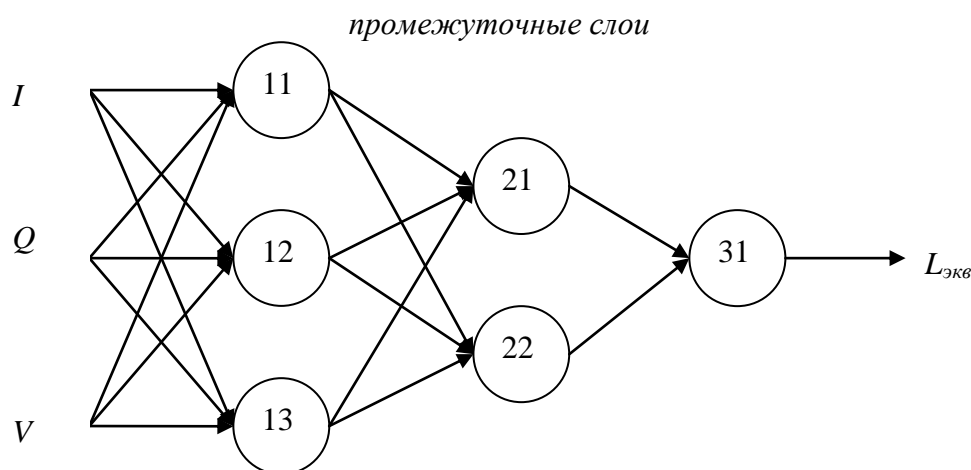


Рисунок 2 – ИНС с архитектурой 3-(3-2-1)-1

Для всех локальных опасных участков города, на которых образуются устойчивые зоны акустического дискомфорта с  $L_{эkv} \geq 80$  дБА, разработаны нейросетевые модели.

Для выбора рациональных мероприятий по снижению шума, создаваемого автотранспортом при его эксплуатации на автодорогах города также были разработаны соответствующие нейросетевые математические модели. Они позволяют определить значения параметров автотранспортного потока для достижения требуемого значения эквивалентного уровня шума на данной территории.

Все построенные нейросетевые модели характеризуются приемлемыми величинами ошибок обучения и прогноза (менее 10%).

Разработанный банк нейросетевых моделей для определения шума и параметров транспортного потока рекомендуется для использования в автоматических системах экологического мониторинга, функционирующих в зоне влияния автодорог.

*Экономический эффект использования моделирования для оценки воздействия автотранспорта на акустическую среду города.*

Экономическая эффективность разработанных на основе процесса моделирования воздействия автотранспорта на акустическую среду города мероприятий, направленных на снижение транспортного шума определяется согласно методике [2].

Для примера предотвращенный годовой ущерб рассчитан для одного из опасных участков – ул. Комсомольской.

Расчет экономической эффективности противошумового мероприятия производится по формуле:

$$\Pi = (B(L1) - B(L2)) \times N \times \beta,$$

где  $N$  – количество людей, подверженных воздействию транспортного шума на расчетной территории,

$\beta$  – множитель, имеющий размерность руб./чел.×год),

$V(L1)$  и  $V(L2)$  – безразмерные величины, вычисляемые по формулам:

$$V(L1) = 100,0301 \times L1 - 5,3; \quad V(L2) = 100,0301 \times L2 - 5,3,$$

$L1$  и  $L2$  – безразмерные целочисленные величины, численно равные максимальным значениям величин эквивалентного уровня шума транспортного потока на расчетной территории.

Множитель  $\beta$ , являющийся индексом потребительских цен, рассчитан в соответствии с Положением о порядке наблюдения за изменением цен и тарифов на товары и услуги, определения индекса потребительских цен, утвержденным Постановлением Госкомстата РФ от 25.03.2002 №23.

Величина  $L1$  численно равна уровню транспортного шума на указанном участке и составляет 81 дБА.

Если в результате применения противозумовых мероприятий на основе предложенных моделей эквивалентный уровень шума транспортного потока на данном участке снизить на 1дБА (до 80 дБА), то  $\Pi1 = 0,3$  тыс. руб./чел.×год. При снижении шума на 6 дБА (до допустимого уровня в 75 дБА) предотвращенный годовой ущерб равен  $\Pi6 = 0,68$  тыс. руб./чел.×год

Экономический эффект от реализации мероприятий по снижению шума от автотранспортных потоков, рекомендуемых для ул. Комсомольской г. Орла, на которой проживает более 15 % населения города и которая находится в зоне устойчивого акустического дискомфорта составил  $\Pi1 = 720$  тыс. руб. в год,  $\Pi6 = 1,6$  млн. руб. в год.

Результат расчета показателей экономического эффекта комплекса мероприятий приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Расчет показателей экономического эффекта

Показатель	Символ, формула	Численное значение показателя
Капиталовложение в комплекс мероприятий	K	183,50 тыс. руб.
Эксплуатационные расходы	C	85,43 тыс. руб./год
Приведенные затраты	$Z=C+0,12K$	107,45 тыс. руб./год
Предотвращенный годовой ущерб	$\Pi$	720 тыс. руб./год
Чистый экономический эффект комплекса мероприятий (годовой)	$R=\Pi-Z$	612,55 тыс. руб./год

Итак,  $R > 0$ , т.е. оцениваемый комплекс противозумовых мероприятий на основе применения модели оценки воздействия автотранспортных потоков на акустическую среду городской территории экономически эффективен.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иващук, О. А. Повышение экологической безопасности автотранспорта региона на основе систем мониторинга с использованием интеллектуальных технологий [Текст]: монография / О. А. Иващук: научн. ред. А. Н. Новиков. – Орел: изд-во Орел ГАУ, 2008. – 244 с.: табл.11, рис.69, библиогр.137 назв. – ISBN 978-5-93382-100-7.
2. Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экологического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды [Текст] / А.С. Быстрой [и др.]. - М.: Экономика, 1986. - 91 с.
3. Васильева, В. В. Автотранспортный шум в городах и его влияние на окружающую среду [Текст] / В.В. Васильева // Научно-технический журнал. – 2010. - №3(30). – С.101-109.

**Васильева Виктория Владимировна**

ФГОУ ВПО Орловский государственный аграрный университет, г. Орел  
Кандидат технических наук, ст. преподаватель кафедры физики  
Тел. +7 (953) 620 9099

Г.В. БУКАЛОВА

## ДЕЯТЕЛЬНОСТНЫЙ ПОДХОД КАК ОСНОВА РЕАЛИЗУЕМОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ НОРМ

*Автором раскрывается значение использования деятельностного педагогического подхода для реализации образовательно-педагогических норм в условиях компетентностно-ориентированного образовательного процесса технического профиля.*

**Ключевые слова:** *деятельностный подход, компетенции, норма образования, профессиональная подготовка.*

*The author reveals the importance of the activity of pedagogical approaches for the implementation of educational and pedagogical standards in competence-oriented educational process of a technical profile.*

**Key words:** *activity approach, competence standard of education, training.*

Современная ориентация высшего профессионального образования на педагогическую стандартизацию актуализирует проблему практической реализуемости образовательно-педагогических норм.

Нормирование результата профессиональной подготовки в форме компетенций выпускника вуза связано с внесением новых методологических идей, которые неизбежно оказывают существенное влияние на концептуальный аппарат образовательного процесса. При этом оптимальность нормирования результата образования во многом определяется его практической реализуемостью в образовательном процессе. На основании этого можно отметить, что образовательный процесс посредством своего рефлексивного воздействия на образовательно-педагогическое нормирование ориентирует его на практическую реализуемость. Касаясь проблемы практической реализуемости норм следует заметить, что в своем методологическом аспекте она инвариантна для различных профилей высшего технического образования.

Деятельностный педагогический подход представляется одним из основных средств обеспечения практической реализуемости образовательно-педагогических норм. При этом педагогический подход понимается как «система исходных теоретических положений и требований к проектированию, организации и осуществлению целостного образовательного процесса, вытекающих из его закономерностей и реализуемых во всех звеньях педагогической системы: целях, содержании, педагогических технологиях, деятельности преподавателей и деятельности студентов» [1, с. 130].

Известно, что одной из наиболее сильных сторон русской инженерной школы всегда было то, что в наше время называют "интуитивно-деятельностным подходом в образовании". Привлечение деятельностного подхода в качестве методологической основы для практической реализации образовательно-педагогических норм позволяет построить процесс освоения обучающимися соответствующей совокупности компетенций на базе квазипрофессиональной (подобно профессиональной) и профессиональной деятельности. Термин «квазипрофессиональная деятельность» введен А.А. Вербицким и означает деятельность, «моделирующую в аудиторных условиях и на языке наук условия, содержание и динамику производства, отношения, занятых в нем людей» [1, с. 134].

Специфика инженерного образования, выраженная в четких и часто сменяемых фрагментах информации, предполагает деятельностный подход не только к *процессу* образования, но и к *содержанию* образования. В этой связи продуктивным можно признать разделение вариантов деятельностного подхода на психологический, представленный научной школой А.Н. Леонтьева и методологический, разработанный Г.П. Щедровицким и его научной

школой. В психологической теории деятельность трактуется как атрибут индивида; рассматривается деятельность, осуществляемая субъектом; описывается в терминах субъекта и мотива. В методологическом же подходе деятельность признается субстанциональной: деятельность сама есть свой субъект. При этом описывается она в терминах позиции и нормы. Функционирование специалиста технического профиля правомерно представить как социокультурный феномен, не сомненно, деятельностный по своей сущности. Соответственно этому, приоритетным предстает *методологический деятельностный подход*, ориентированный на вскрытие деятельностной структуры трудовых функций работников, должные позиции которых соответствуют должностям, занимаемым выпускниками вуза в первые годы своей производственной деятельности.

Нормы результата образования, представленные в форме компетенций, наглядно демонстрируют для студентов и преподавателей структуру необходимого результата профессиональной подготовки. Это создает условия для плодотворной реализации данного вида деятельностного подхода. В качестве основной образовательной цели при этом выдвигается овладение деятельностным подходом к самой профессиональной деятельности, что должно представить студенту, как будущему работнику, широкую возможность для понимания и осознания не только объектов будущей профессиональной деятельности: с чем (объект) он будет работать, но и способов деятельности: что и как он должен делать.

Применение же только психологической теории деятельности в инженерном образовании неуклонно направляет организацию образовательного процесса и соответствующую ему учебную деятельность, на *усвоение* лишь содержания изучаемых дисциплин, как основ соответствующих им наук. Не отрицая значимость и полезность психологического деятельностного подхода, необходимо отметить его недостаточность для формирования востребованной современным производством компетентности выпускника вуза. В силу того, что использование психологического деятельностного подхода в качестве методологической основы образовательного процесса ориентирует его, главным образом, на усвоение *предметного содержания* учебной информации, обеспечивая только понятийное знание. Структура же профессиональной деятельности при этом остается внешним фактором по отношению к содержанию образования. В итоге усвоенное предметное содержание остается принципиально ограниченным корпусом знаний. Исходя из выше сказанного, в качестве центрального возникает вопрос: как организовать транслируемое студентам научно-дисциплинарное знание, чтобы оно отвечало сущности методологической разновидности деятельностного подхода? Отвечая на этот вопрос, приходится признать, как очевидное, необходимость целенаправленного управления процессом формирования компетенций обучающихся, соответствующих профессиональной деятельности. Заменяя им традиционно предполагаемую опору на спонтанное творческое отношение отдельных талантливых студентов к освоению профессиональной деятельности.

Общеизвестно, что важнейшими характеристиками деятельности являются предметность и субъективность (в силу того, что деятельность выполняется конкретным человеком). Инженерная деятельность связана с множеством различного вида эпистемических единиц (знаний). К ним относят методики расчетов, схемы, чертежи, факты производственных ситуаций. Позиция методологического деятельностного подхода дает возможность утверждать, что объем профессионально-специализированных компетенций выпускника вуза, то есть степень освоения им профессиональной деятельности, характеризуется не столько тем, что он *владеет* определенным объемом эпистемических единиц, сколько тем, что он может сам *получать* эти единицы, понимает их структуру и в состоянии дать им критическую оценку.

Методологический деятельностный подход к организации образовательного процесса ориентирует содержание учебного процесса на обязательность организации рефлексии студентов. Это создает условия для формирования компетенций, связанных с овладения критическим анализом и проектированием производственных ситуаций, прогнозированием результатов трудовой деятельности. Важность этого положения подтверждает тезис известно-

го исследователя в области теории профессионального образования В.В. Никитаева: " Без рефлексии не возможна свобода владения предметом" [2]. Нормирование результата образования в виде компетентностной модели выпускника вуза по данному направлению (специальности), отражающая необходимую совокупность его компетенций, выступает средством для рефлексивного оснащения образовательного процесса. Учебная деятельность при компетентностно-организованном образовательном процессе может быть структурирована в соответствии с различными уровнями, последовательно обеспечивающими усвоение определенной компетенции. Так усвоение студентом отдельного фрагмента профессиональной деятельности представляет первый, начальный уровень. Например, выполнение лабораторной работы традиционного характера или решение по предложенному алгоритму типовых учебных задач. На следующем, втором - более высоком этапе студент усваивает опыт рефлексивно-критического отношения, необходимого для выполнения более сложного фрагмента квазипрофессиональной деятельности. Примером может служить работа студента с компьютерной программой-тренажером. На третьем уровне усвоения компетенции студент приобретает способность функционировать в определенном фрагменте профессиональной деятельности и развивать данный фрагмент к переходу в другие проблемно-тематические производственные ситуации. В качестве примера работы студента на данном уровне можно назвать участие его в коллективном курсовом проектировании. Ценность компетентностной организации образовательного процесса может быть повышена в результате дополнения рейтинговым контролем результатов обучения. При этом создаются условия для действительной реализации рефлексии студентов по поводу достижения поставленных образовательных целей и обеспечивается квалиметрическая оценка результатов этой рефлексии. Эффективность образовательного процесса, организованного подобным образом в значительной степени определяется корректностью оценки результатов рефлексии студентов, которая, в свою очередь, обеспечивается корректностью конструирования учебных заданий, призванных обеспечить организацию данной рефлексии.

При разработке содержания дидактического материала целесообразно использование концептуальных выводов, представляемых методологическим деятельностным подходом в отношении одной из основных эпистемических единиц инженерии – факта как совокупности сведений. Методологический деятельностный подход позволяет рассматривать факт в качестве результата особых деятельностных процедур. В рамках деятельностного подхода термин "факт" определяется как "сделанное" (в соответствии с этимологией слова). В практической инженерии, в результате господствования натуралистического подхода, "факт" зачастую трактуется только в качестве понятия информации, "знание". Организация рефлексии студентов, как определяющей характеристики компетентностного обучения, требует раскрытия структуры получения факта и его критичного рассмотрения. В производственной деятельности технического профиля признается очевидным, что некритичное восприятие фактов ограничивает эффективность принимаемых технических решений. Использование деятельностного подхода дает возможность для представления механизма формирования «факта» в образовательной среде следующим образом. Первым этапом этого процесса является создание для обучающихся *ситуации неопределенности*. Следующий этап характеризуется возникновением для них необходимости *преодоления ситуации неопределенности*. Преодоление ситуации неопределенности начинается с постановки вопроса, который является базовым элементом, организующим последующее действие, ведущее к получению факта. С позиции деятельностного подхода вопрос, как таковой, имеет фундаментальное значение. Из педагогической практики известно - все, что студент может узнать и все, что он знает во многом определяется тем, какие вопросы в ходе учебных занятий он задает. Интенция вопроса (то, что студент стремится узнать) определяет характер и метод ответа. Следовательно, через содержание дидактического материала, воздействуя на интенцию вопросов, воспринимаемых студентами как самостоятельно ими поставленных, можно в определенной степени управлять процессом формирования соответствующих компетенций. В этом значительное



отличие компетентностного обучения от традиционного, при котором не создается необходимости постановки вопросов самими студентами. Они лишь попадают в условия необходимости запоминания ответов на вопросы, которые зачастую для самих студентов бывают неактуальны или вообще неизвестны.

Следующим элементом, формирующим «факт», является *позиция*, выражающаяся в формировании обучающимся определенного отношения к анализируемому объекту. Выявление характера данного отношения включает в себя определенное изменение образовательной ситуации. Это может быть выполнение определенных процедур, выражающихся в применении к объекту познания соответствующих средств, например, методики расчета каких-либо параметров. Как особенное, следует отметить, что для обучающегося в данном случае объект познания при превращается в предмет действия - предметизируется. Таким образом, позиция, как элемент организующего плана, предъявляет к студенту требование владения необходимым набором средств профессионального воздействия на анализируемую ситуацию, т.е. соответствующих профессиональных и общенаучных компетенций. При этом позиция, определяемая совокупностью приобретенных студентом к данному моменту знаний, умений, навыков и личностных качеств, является "опорной точкой" организующей себя деятельности (поскольку в соответствии с принятым подходом деятельность субстанциональна). Таким образом, результат квазипрофессиональной деятельности студента образует "объективное содержание" формируемых компетенций. Полученный результат деятельности, претендующий на статус факта, должен занять определенное место в системе других фактов того, к кому результаты данной деятельности адресуются. В условиях образовательного процесса таким адресатом зачастую выступает сам студент. Таким образом, совокупность сведений, соответствующая условному статусу «факт», должна быть *легитимизирована* в личной системе знаний обучающегося.

Представленная схема демонстрирует сложность конструкции факта как эпистемической единицы и её уязвимость - возможность дефекта в любом звене. Именно понимание (видение) скрытой конструкции факта обеспечивает рефлексивно-критическое оснащение студента в ходе освоения профессиональной инженерной деятельности. Имея представление о структуре факта, студент может его анализировать, "разбирать" по структурным составляющим и путем сравнения должного и действительного осуществлять критику. Рассмотренная схема получения факта характеризует структуру элементарного сингулярного (единичного) факта. Усложнение описанной конструкции возможно за счет обобщения, преобразования единичного (сингулярного) факта в общий (регулярный) факт. Схема факта может быть развернута в другие эпистемические единицы, характерные для трудовой деятельности технического профиля, с которыми имеют дело инженеры и которые могут быть использованы как средство преодоления определенных проблемных типичных производственных ситуаций.

Из теории профессионального образования известно, что условием полноценного освоения профессиональной деятельности является организация рефлексии обучающихся [3]. Нормирование результата образования, структурированное посредством совокупности компетенций, обеспечивает активное протекание указанных процессов рефлексии. При этом в качестве основных фаз рефлексии, можно принять фазы, указываемые Г.А. Суворовой [4]: стимулирование поисковой деятельности по определению норм образованности, фиксация формального результата собственной учебной деятельности, самооценка действительного уровня собственной образованности, активный поиск решения проблемы повышения качества и полноты образованности. Поддерживая тезис П.И. Третьяковым и И.Б. Сенновским: "Рефлексии практически нельзя научить без действия" [5,с.30], можно отметить целесообразность использования в компетентностно-ориентированном образовательном процессе модульно-рейтинговой технологии обучения. Этот вид педагогической технологии обеспечивает реализацию деятельностного подхода посредством целой системы факторов, отмечаемых как основополагающие факторы рефлексивного развития обучающихся. Это - структуриро-

вание по модульному принципу содержания учебных дисциплин, взаимодействие обучающихся и преподавателя на основе субъектно-субъектных отношений, коллективная деятельность обучающихся по выполнению учебных заданий, связанных с решением квазипрофессиональных проблем.

Рассматривая с позиций теории поэтапного формирования умственных действий проблему практической реализуемости установленных образовательных норм, следует признать, что результативность учебной деятельности, эффективность формирования компетенций определяются корректностью логики структурирования учебной и учебно-профессиональной деятельности обучающихся. Согласно теории А.Н. Леонтьева, всякое действие можно представить состоящим из двух частей: ориентировочной и исполнительной [6]. Основываясь на методологии деятельностного подхода, в качестве средства обучения, обеспечивающего динамизм и эффективность образовательного процесса технического профиля, можно назвать схему ориентировочную основу действия (ООД). В теории профессионального образования известны три вида схем ориентировочной основы действия: материализованная, внешнеречевая, умственная (внутренняя) [6]. Учебный материал дисциплин технического профиля, структурированный в соответствии с нормами результата профессиональной подготовки, обеспечивает широкую возможность реализации всех трех видов схемы ориентировочной основы действия от материализованной через внешнеречевую к умственной. Ориентировочная основа действия через схемы ООД, представленные в виде определенных алгоритмов учебной деятельности, позволяют студентам быстро и безошибочно выполнять учебные и квазипрофессиональные действия, самостоятельно определяя возможную сферу их переноса. Механизмом формирования компетенций при этом служат блоки-алгоритмы учебной деятельности, соответствующие установленным образовательным нормам. Посредством модульной организации содержания учебных дисциплин, соответствующей структуре образовательных норм, в ходе образовательного процесса транслируется дозированный учебный материал. В результате обеспечиваются условия для осознанного освоения студентом нормированных компетенций. Он осознает, какую информацию и для чего он осваивает по предлагаемому алгоритмическому предписанию. При этом существенную роль в формировании конкретной компетенции играет собственная продуктивная деятельность студента, основанная на рефлексии. Рефлексивная деятельность, признаваемая приоритетной в компетентностно-ориентированном образовании, позволяет студенту прогнозировать, исследовать и моделировать свое саморазвитие на основе *самоорганизации*. Это и составляет, по сути, основное преимущество использования в образовательном процессе деятельностного подхода. Теория профессионального образования устанавливает как показатель высшего уровня развития учебно-познавательной деятельности ее *самоорганизацию*, когда учебная деятельность становится предметом сознания и воли обучающегося.

В основе деятельностного подхода к организации образовательного процесса лежит моделирование предметного и социального содержания будущей профессиональной деятельности. Концепция деятельностного подхода требует таких форм обучения, в которых с той или иной мерой конкретности было бы представлено предметное и социальное содержание будущего профессионального труда. Содержание учебной дисциплины, структурированное в соответствии с формируемыми компетенциями, обеспечивает постепенный переход от абстрактных моделей, связанных с фундаментальными знаниями, к все более конкретным моделям, воспроизводящим реальные производственные ситуации и систему социальных отношений занятых в нем работников. Таким образом, использование концепции деятельностного подхода позволяет представить студенту контуры его будущего профессионального труда. Предметно-профессиональное и социальное развитие личности будущего работника целесообразно осуществлять на учебном материале, представляющемся студенту как профессионально-значимый.

Инженерный труд носит коллективный характер, поэтому деятельность инженера не сводится к чисто техническим действиям: важны, например, компетенции, связанные с соци-

альными действиями. Например, в случае принятия согласованных технических и организационных решений и т.п. Задавая социальный контекст будущей профессиональной деятельности, можно формировать условия для развития социальных качеств личности обучающегося: ответственности, умения проявить инициативу, адаптацию к работе в коллективе.

Деятельностный подход акцентирует необходимость формирования работоспособной системы межличностного взаимодействия студентов в учебной группе, обеспечивающего возможность освоения ими коллективной квазипрофессиональной деятельности. При этом целью и предметом общения в коллективе становится поиск эффективных средств для осуществления студентами совместной деятельности. Учебный материал, структурированный в соответствии с этапами формирования компетенций, обеспечивает постепенный переход, по выражению А.А. Вербицкого, - "от знаковых структур учебных текстов" к профессиональной деятельности [1]. Практический педагогический опыт показывает, что образовательный процесс, насыщенный учебными ситуациями, отражающими будущую профессиональную деятельность, привносит в учебную деятельность студентов личностный смысл. В процессе обучения студенты не просто усваивают новую для них информацию, но посредством ее «включают» себя в ситуацию решения квазипрофессиональных задач. В результате такого субъективного проживания в ситуации профессионального действия происходит комплексное формирование компетенций, отражающих норму профессиональной подготовки. Особо важным следует отметить, что в этих условиях студент сознательно строит свое поведение в условиях образовательного процесса. В силу того, что в контексте будущего проявляется для него смысл настоящего. Именно этот факт и обуславливает активную позицию студента, его личностное включение в процесс формирования компетенций. Таким образом, детерминация будущим, наличие "осознанной перспективы" – также одно из ключевых положений реализации норм результата профессионального образования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вербицкий, А. А. Личностный и компетентностный подходы в образовании: проблемы интеграции [Текст] / А.А. Вербицкий, О.Г. Ларионова. – М.: Логос, 2009.
2. Никитаев, В. В. О техническом и гуманитарном знании в инженерной деятельности (к постановке проблемы) [Текст] // Высшее образование в России. - №2 . 1996.
3. Смирнов, С. Д. Педагогика и психология высшего образования от деятельности к личности [Текст] / С. Д. Смирнов. - М.: Академия, 2005.
4. Суворова, Г. А. Психология деятельности [Текст] : учеб. Пособие / Г. А. Суворова. – М., 2003.
5. Третьяков, П. И. Технология модульного обучения [Текст]: Практико-ориентированная монография / П. И. Третьяков, Н. Б. Сенновский. – М.: Новая школа, 1997.
6. Леонтьев, А. Н. Деятельность. Сознание. Личность [Текст] / А. Н. Леонтьев. – М.: Педагогика, 1991.

**Букалова Галина Васильевна**

ФГОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК», г. Орел

Кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Сервис и ремонт машин»

Тел. +7 (4862) 73 43 50

E-mail: [sirm@ostu.ru](mailto:sirm@ostu.ru)

УДК 629.3.082.2:[005.6:004.9

В. В. ЖУКОВ, А. В. МАВЛЮБЕРДИНОВА

## КВАЛИФИКАЦИЯ ПЕРСОНАЛА – ДОМИНАНТНЫЙ ФАКТОР ВЛИЯНИЯ НА КАЧЕСТВО УСЛУГ ПРЕДПРИЯТИЙ АВТОМОБИЛЬНОГО СЕРВИСА

*Проанализирован российский и зарубежный опыт повышения квалификации персонала. Выявлена оптимальность концепции непрерывного образования. Отмечены особенности сферы автомобильного сервиса с точки зрения повышения квалификации персонала. Даны рекомендации о возможности использования учебных курсов компании Bosch по современному автомобильному оборудованию и технологиям для автосервисных предприятий.*

**Ключевые слова:** качество услуг, предприятия автомобильного сервиса, квалификация персонала.

*Analyzed by Russian and foreign experience of staff development. Optimal concept of lifelong education. The peculiarities of the scope of car service from the perspective of staff development. The recommendations about the use of training courses by Bosch for modern automotive equipment and technologies for the auto service business.*

**Key words:** quality of services, automotive services, qualified personnel.

В Российской Федерации последние годы (2000...2010 гг.) отмечены высокими темпами автомобилизации, как в отдельных регионах, так и по стране в целом. В свою очередь увеличение численности автомобилей приводит к увеличению рынка услуг автомобильного сервиса (АС). Его объем в ближайшие 5-10 лет по прогнозам специалистов может увеличиться вдвое.

В сложившейся ситуации вероятно увеличение конкуренции в данном сегменте рынка между предприятиями АС. Данные исследования [1] показывают, что малые и средние компании конкурируют обычно по следующим семи позициям: цена; качество; обратная связь с потребителем; новые продукты и услуги; доставка; разнообразие продукции; забота о клиентах и сервис.

Одним из факторов определения конкурентоспособности предприятий автомобильного сервиса является качество оказываемых ими услуг. Несмотря на то, что понятие качества сервиса и его основные детерминанты отличаются нечеткостью и неопределенностью, важность этого понятия для предприятия и его клиентов очевидна. Среди экономистов и специалистов по менеджменту сервиса главенствует утверждение о том, что качество услуг является определяющим фактором их конкурентоспособности.

Решающими факторами эффективности производства и конкурентоспособности и качества услуг являются формирование производственного коллектива и обеспечение высокого качества персонала.

Сфера деятельности предприятий автомобильного сервиса имеет ряд особенностей[2]:

- в связи с постоянным техническим прогрессом возникает необходимость в «избытке» квалификации персонала, т. е. в создании резерва знаний у работников предприятий;
- в связи с большим количеством операций выполняемых на предприятиях АС возникает необходимость как в их технологической, так и в профессиональной поддержке, т. е. в умении конкретных специалистов.

Профессиональное и экономическое обучение в системе подготовки, повышения квалификации и переподготовки производственных и управленческих кадров должно быть непрерывным в течение всей трудовой деятельности персонала.

Предпосылками необходимости обучения и повышения квалификации персонала предприятий АС являются:

- текучесть кадров на предприятиях АС;
- изменения, происходящие в конструкции автомобилей, технологии технического обслуживания и ремонта и оборудовании;

- повышение требований к кадрам в условиях конкуренции и повышении культуры и требований клиентов.

Анализ кадрового состава предприятий АС показал, что на многих из них преобладают специалисты со средним образованием [3]. Однако анализ мировых тенденций развития рынка АС услуг свидетельствует об абсолютном преобладании на предприятиях АС персонала с высшим образованием, поскольку усложнение конструкции автомобиля, применение сложной электроники требуют углубленных комплексных знаний в различных областях техники.

В связи с изложенным можно сделать вывод, что стратегическим направлением развития цивилизованного рынка АС услуг является система подготовки, переподготовки и повышения квалификации персонала как инженерно-технического, так и управленческого звена.

Под повышением квалификации понимается формальное и неформальное обучение персонала, обусловленное изменением характера и содержания труда специалистов с целью развития способности квалифицированно выполнять полный спектр своих служебных обязанностей в условиях изменяющейся обстановки.

При этом в зависимости от преследуемых целей приобретенная ранее квалификация должна быть сохранена, приведена в соответствие с изменившейся обстановкой или использована для профессионального продвижения по службе. Данный подход к повышению квалификации непосредственно вытекает из концепции непрерывного образования, в основе которой лежит принцип организации ступенчатого производственного обучения персонала.

Под непрерывностью подготовки понимается не эпизодическое переобучение работников, а планируемый на основе прогнозов развития средств производства преемственный процесс систематического повышения квалификации и расширения ее объема по принципу перехода от менее к более сложным профессиям, от узкой специализации к многопрофильности. Такое планирование процесса развития потенциала рабочей силы в соответствии с развитием материально-технической базы сводит к минимуму потребность в срочных и малоподготовленных мероприятиях по переобучению работников новым профессиям.

В настоящее время нет всесторонне обоснованных соображений по срокам переподготовки. Организуя эту работу, исходят из того, что за средний период своей трудовой деятельности (40-45 лет) квалифицированный работник должен 4-5 раз пройти переподготовку и повысить свою квалификацию. В промышленности, и особенно в машиностроении, «обновлять» свою квалификацию для освоения новой техники приходится сегодня уже 6-8 раз, меняя при этом 3-4 раза профессию. Это совпадает с продолжительностью циклов жизни продукции, т.е. исходя из периодов смены видов продукции каждый работник раз в 4-7 лет должен обновлять свои знания.

Для специалистов занятых на предприятиях АС ситуация еще сложнее. Происходит не только смена продукции (рестайлинг, глубокая модернизация и выпуск новых автомобилей), но и в соответствии с этим усовершенствуется технологическое оборудование и производственные процессы на предприятиях АС. Поэтому актуальными являются исследования направленные на установление обоснованного периода между мероприятиями по повышению квалификации персонала.

Для повышения квалификации персонала в мировой практике характерно применение большого арсенала различных методов [4].

Основная задача японской системы профессиональной подготовки и обучения персонала – превращение «знания отдельного работника в знание всей организации». Во всем мире общее признание получили т.н. «кружки качества», благодаря которым японская система очень эффективна, и ее использование имеет практическую значимость для развития и совершенствования как отдельного работника, так и фирмы в целом. Благодаря данной системе формируется многопрофильность именно оперативного персонала, непосредственно занятого в производстве, здесь одни сотрудники передают свой производственный опыт другим; путем самосовершенствования идет развитие способностей к управлению и контролю у рабочих и мастеров; улучшается морально-психологический климат; на рабочих местах развивается потребность в качественной работе и рационализаторстве.

В своей основе японская профессиональная подготовка и непрерывное обучение персонала не только и не столько переобучение работников в связи со «старением» их квалифи-

кации, сколько планируемый процесс систематического повышения квалификации и перехода от простых к более сложным профессиям, от узкой специализации к многопрофильной.

Американская система управления профессиональной квалификацией персонала является «динамичной». Она построена на постулате - «квалификация работников, уровень их знаний, индивидуальный и групповой интеллектуальный потенциалы непосредственно сказываются на прибыли». Обучение, переподготовка и повышение квалификации персонала происходит в корпоративных университетах, принадлежащих фирмам. В основе организации профессиональной подготовки и обучения лежат три главных принципа: непрерывность профессиональной подготовки и обучения персонала, обусловленная ускоряющимися темпами развития, модернизации техники и технологии; практическая их направленность; использование преимущественно активных методов обучения.

В Европе, в отличие от США, профессиональной подготовке и обучению персонала более пристальное внимание уделяют в небольших фирмах. Это связано с их существенными преимуществами перед крупными: гибкость управления, быструю реакцию на изменение конъюнктуры рынка, особую атмосферу межличностных отношений («фирма – семья») и т.д.

В России системная, непрерывная профессиональная подготовка персонала проводится преимущественно в крупных фирмах. Но уже явно прослеживается тенденция к ее созданию в малых и средних предприятиях бизнеса. Особенно в тех, деятельность которых осуществляется в таких динамично развивающихся сферах как автомобильный сервис. На данном рынке прекрасно себя зарекомендовали учебные курсы компании Bosch по современному автомобильному оборудованию и технологиям для автосервисных предприятий. Данные курсы разрабатываются учебным центром STC в тесном сотрудничестве с научно-исследовательскими подразделениями Bosch, и в учебных планах отражаются самые последние достижения автомобильной индустрии.

Проанализировав изложенное можно заключить, что применение современных методов непрерывной профессиональной подготовки персонала и обоснованного периода между мероприятиями по повышению его квалификации приведет к повышению качества услуг предприятий АС.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Cassel, C. The use and effectiveness of benchmarking in SMEs / C. Cassel, S. Nadin, M. O. Gray // Benchmarking: An International Journal, 2001. - Vol. 8, No. 3. - p. 212-222.
2. Марков, О. Д. Автосервис: Рынок, автомобиль, клиент [Текст] / О.Д. Марков. - М.: Транспорт, 1999. - 270 с.
3. Сапронов, Ю.Г. Экспертиза и диагностика объектов и систем сервиса [Текст]/ Ю. Г. Сапронов.– М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 224 с.
4. Желнина, Е.В. Системы управления профессиональной подготовкой персонала в крупных промышленных фирмах [Текст] / Е.В. Желнина // Автомобильная промышленность. - 2009.- №6. - С. 2 – 5.
5. Жуков, В. В. Исследование факторов, влияющих на качество услуг предприятий автомобильного сервиса [Текст] / В. В. Жуков, А. В. Мавлюбердинова // Научно-технический журнал. – 2010. - №3(30). – С. 8-12.

### **Жуков Вячеслав Васильевич**

ФГОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК», г. Орел  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Сервис и ремонт машин»  
Тел. +7 (4862) 73 29 94  
E-mail: [zhukov-sl@mail.ru](mailto:zhukov-sl@mail.ru)

### **Мавлюбердинова Анна Викторовна**

ФГОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК», г. Орел  
Аспирант кафедры «Сервис и ремонт машин»  
Тел. +7 (4862) 73 29 94  
E-mail: [anvic@oreloblato.ru](mailto:anvic@oreloblato.ru)