

**Редакционный совет:**

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

**Пилипенко О.В.** д-р техн. наук, проф.,

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

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

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

**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.

Заместитель главного редактора:

**Катунин А.А.** канд. техн. наук, доц.

**Редколлегия:**

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

**Бажинов А.В.** д-р техн. наук, проф. (Украина)

**Басков В.Н.** д-р техн. наук, проф. (Россия)

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

**Браннольте У.** д-р техн. наук, проф. (Германия)

**Бялы В.** д-р техн. наук, проф. (Польша)

**Венцель Е.С.** д-р техн. наук, проф. (Украина)

**Власов В.М.** д-р техн. наук, проф. (Россия)

**Глаголев С.Н.** д-р техн. наук, проф. (Россия)

**Горовиц В.Б.** д-р техн. наук, проф. (США)

**Демич М.** д-р техн. наук, проф. (Сербия)

**Денисов А.С.** д-р техн. наук, проф. (Россия)

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

**Макарова И.В.** д-р техн. наук, проф. (Россия)

**Мартюченко И.Г.** д-р техн. наук, проф. (Россия)

**Митусов А.А.** д-р техн. наук, проф. (Казахстан)

**Нордин В.В.** канд. техн. наук, проф. (Россия)

**Прентковский О.** д-р техн. наук, проф. (Литва)

**Пржибыл П.** д-р техн. наук, проф. (Чехия)

**Пушкарев А.Е.** д-р техн. наук, проф. (Россия)

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

**Савин Л.А.** д-р техн. наук, проф. (Россия)

**Сарбаев В.И.** д-р техн. наук, профессор (Россия)

**Сиваченко Л.А.** д-р техн. наук, проф. (Беларусь)

**Хабибуллин Р.Г.** д-р техн. наук, проф. (Россия)

**Юнгмейстер Д.А.** д-р техн. наук, проф. (Россия)

**Ответственный за выпуск: Акимочкина И.В.**

**Адрес редколлегии:**

302030, Россия, г. Орел, ул. Московская, 77

Тел. +7 (4862) 73-43-50

<http://www.gu-unpk.ru/science/journal/mtitm>

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

Зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в  
сфере связи, информационных технологий и массовых  
коммуникаций (Роскомнадзор).

Свидетельство: ПИ № ФС77-47352 от 03.11.2011г.

Подписной индекс: 16376

по объединенному каталогу «Пресса России»

© Госуниверситет-УНПК, 2015

## Содержание

### Эксплуатация, ремонт, восстановление

<i>С.А. Евтюков, И.С. Брылев</i> Алгоритм корректировки нормативных значений времени нарастания замедления, установившегося замедления двухколесных механических транспортных средств.....	3
<i>Н.С. Севрюгина</i> Анализ влияния ресурсных характеристик элементной базы и систем автомобиля на показатель комфортности водителя.....	12
<i>А.С. Денисов, К.Н. Приказчиков</i> Влияние периодичности, объема и качества технического обслуживания на затраты на обеспечение работоспособности автобусов.....	17
<i>Е.В. Агеев, Е.В. Агеева, Н.М. Хорьякова, В.С. Малюхов</i> Использование медного электроэрозионного нанопорошка в гальванических покрытиях поршневых колец.....	24
<i>А.В. Селихов</i> Метод и средства диагностирования электрогенератора автомобиля по параметрам электрического сопротивления смазочного слоя.....	34
<i>М.А. Бурнашов, А.Н. Прежбилов</i> Очистка поверхностей деталей автомобилей водоледяной струей с заранее подготовленными частицами.....	46
<i>Н.А. Федин, С.С. Рябов</i> Показатели оценки качества отремонтированных двигателей и источники поступления продуктов износа в моторное масло.....	54

### Технологические машины

<i>Р.М. Шахбанов, Л.А. Савин, С.В. Григорьев</i> Повышение энергетических показателей центробежных насосов на основе решения задачи параметрической оптимизации.....	62
<i>А.А. Поддубный, А.В. Яровая</i> Теоретическое и экспериментальное определение перемещений трехслойной балки при неполном контакте с упругим основанием.....	68

### Безопасность движения и автомобильные перевозки

<i>И.Е. Ильина, В.И. Буркина</i> Исследование возможности предотвращения дорожно-транспортного происшествия при использовании пограничных значений.....	77
<i>А.В. Липенков, Н.А. Кузьмин</i> Исследование потерь времени от взаимных помех между автобусами на остановочных пунктах.....	84
<i>Ю.Н. Баранов, Н.А. Загородних, А.П. Трясцин, А.С. Бодров</i> Математическая модель построения алгоритма на основе структурного подхода при создании транспортных интеллектуальных систем.....	96
<i>И.В. Макарова, Р.Г. Хабибуллин, К.А. Шубенкова</i> Оптимизация маршрутной сети пассажирского транспорта с помощью транспортной модели города.....	103
<i>А.Н. Новиков, А.В. Кулев, А.А. Катунин, М.В. Кулев, Н.С. Кулева</i> Оптимизация маршрутов пассажирского транспорта в г. Орле.....	115
<i>А.В. Паничкин, Н.В. Голубенко</i> Оценка ресурса двигателя автобусов, работающих на газовом топливе, эксплуатируемых в режиме городских перевозок пассажиров.....	123

### Вопросы экологии

<i>В.А. Корчагин, Ю.Н. Ризаева, Т.В. Корчагина</i> Модель поиска биосферно-совместимого функционирования транспортной социоприродо-экономической системы.....	130
---	-----

### Экономика и управление

<i>Ю.В. Родионов, М.Ю. Обишвалкин, Н.В. Паули</i> Учет изменения эффективности эксплуатации подвижного состава в зависимости от наработки.....	136
--	-----



The scholarly  
journal  
A quarterly review

№ 3(50) 2015

July - September

# World transport and technological machinery

Founder - Federal State budget Institution higher education  
«State University – Education-Scientific-Production Complex»  
(State University-ESPC)

<p><i>Editorial Council:</i> <b>V.A. Golenkov</b> <i>Doc. Eng., Prof.,</i> <b>O.V. Pilipenko</b> <i>Doc. Eng., Prof.,</i> <b>S.Y. Radchenko</b> <i>Doc. Eng., Prof.</i> <i>Vice-Chairman</i> <b>P.A. Astafichev</b> <i>Doc. Law., Prof.,</i> <b>M.I. Borzenkov</b> <i>Can. Eng., Prof.,</i> <b>T.N. Ivanova</b> <i>Doc. Eng., Prof.,</i> <b>V.I. Kolchunov</b> <i>Doc. Eng., Prof.,</i> <b>I.S. Konstantinov</b> <i>Doc. Eng., Prof.,</i> <b>A.N. Novikov</b> <i>Doc. Eng., Prof.,</i> <b>L.I. Popova</b> <i>Doc. Ec., Prof.,</i> <b>Y.S. Stepanov</b> <i>Doc. Eng., Prof.</i></p>	<h2 style="text-align: center;">Contents</h2> <h3 style="text-align: center;">Operation, Repair, Restoration</h3> <p><i>S.A. Evtukov, I.S. Brylev</i> Corraction algorithms normative values rise time deceleration, set deceleration motorized two wheelers..... 3 <i>N.S. Sevryugina</i> Analysis of resource characteristics components and vehicle systems driver comfort for measure..... 12 <i>A.S. Denisov, K.N. Prikazhnikov</i> Influence of the frequency, volume and quality of technical service on the cost of providing health buses ..... 17 <i>E.V. Ageev, E.V. Ageeva, N.M. Horyakova</i> The use of copper EDM the nanopowder in the galvanic coatings of piston rings ..... 24 <i>A.V. Selihov</i> Methods and devices for diagnostics of automobile electric generators by parameters of lubricants-layer electrical resistance..... 34 <i>M.A. Burnashov, A.N. Prezhbilov</i> Cleaning of surfaces of details of cars with the water ice stream with in advance prepared particles..... 46 <i>N.A. Fedin, S.S. Ryabov</i> The indicators of an assessment of quality of the repaired engines and sources of deterioration products in engine oil..... 54</p>
<p><i>Editor-in-Chief</i> <b>A.N. Novikov</b> <i>Doc.Eng., Prof</i> <i>Associate Editor</i> <b>A.A. Katunin</b> <i>Can.Eng.</i></p>	<h3 style="text-align: center;">Technological Machinery</h3> <p><i>R.M. Shahbanov, I.A. Savin, S.V. Grigor'ev</i> Improvement of energy characteristics of centrifugal pumps by solving the problem of parametric optimization..... 62 <i>A.A. Poddubny, A.V. Yarovaya</i> Theoretical and experimental definition of movements of the three-layer beam at incomplete contact with the elastic foundation.... 68</p>
<p><i>Editorial Board:</i> <b>I.E. Agureev</b> <i>Doc.Eng., Prof. (Russia)</i> <b>A.V. Bazhinov</b> <i>Doc.Eng., Prof. (Ukraine)</i> <b>V.N. Baskov</b> <i>Doc.Eng., Prof. (Russia)</i> <b>E.V. Bondarenko</b> <i>Doc.Eng., Prof. (Russia)</i> <b>U. Brannolte</b> <i>Doc.Eng., Prof. (Germany)</i> <b>V. Bialy</b> <i>Doc.Eng., Prof. (Poland)</i> <b>E.S. Vencel</b> <i>Doc.Eng., Prof. (Ukraine)</i> <b>V.M. Vlasov</b> <i>Doc.Eng., Prof. (Russia)</i> <b>S.N. Glagolev</b> <i>Doc.Eng., Prof. (Russia)</i> <b>V.B. Gorovic</b> <i>Doc.Eng., Prof. (USA)</i> <b>M. Demic</b> <i>Doc.Eng., Prof. (Serbia)</i> <b>A.S. Denisov</b> <i>Doc.Eng., Prof. (Russia)</i> <b>V.A. Korchagin</b> <i>Doc.Eng., Prof. (Russia)</i> <b>I.V. Makarova</b> <i>Doc.Eng., Prof. (Russia)</i> <b>I.G. Martyuchenko</b> <i>Doc.Eng., Prof. (Russia)</i> <b>A.A. Mitusov</b> <i>Doc.Eng., Prof. (Kazakhstan)</i> <b>V.V. Nordin</b> <i>Doc.Eng., Prof. (Lithuania)</i> <b>O. Prentkovskis</b> <i>Doc.Eng., Prof. (Lithuania)</i> <b>P. Pribyl</b> <i>Doc.Eng., Prof. (Czech Republic)</i> <b>A.E. Pushkarev</b> <i>Doc.Eng., Prof. (Russia)</i> <b>A.N. Rementsov</b> <i>Doc.Eng., Prof. (Russia)</i> <b>L.A. Savin</b> <i>Doc.Eng., Prof. (Russia)</i> <b>V.I. Sarbaev</b> <i>Doc.Eng., Prof. (Russia)</i> <b>L.A. Sivachenko</b> <i>Doc.Eng., Prof. (Belarus)</i> <b>R.G. Habibullin</b> <i>Doc.Eng., Prof. (Russia)</i> <b>D.A. Yungmeister</b> <i>Doc.Eng., Prof. (Russia)</i></p>	<h3 style="text-align: center;">Road safety and road transport</h3> <p><i>I.E. Il'ina, V.I. Burkina</i> Study on the possibility of prevention of road accidents when using edge values..... 77 <i>A.V. Lipenkov, N.A. Kuz'min</i> The study of loss of time at the bus stops as a reason of mutual hindrance between busses..... 84 <i>Ju.N. Baranov, N.A. Zagorodnih, A.P. Tryastin, A.S. Bodrov</i> Mathematical models of algorithms on based on structural approach to create transport intelligent systems 96 <i>I.V. Makarova, R.G. Khabibullin, K.A. Shubenkova</i> Optimize routes passenger transport by transport model city ..... 103 <i>A.N. Novikov, A.V. Kulev, A.A. Katunin, M.V. Kulev, N.S. Kuleva</i> Optimization of routes passenger transport in the city of Orel..... 115 <i>A.V. Panichkin, N.V. Golubenko</i> Оценка ресурса газового двигателя автобусов, эксплуатируемых в режиме городских перевозок пассажиров..... 123</p>
<p><i>Person in charge for publication:</i> <b>I.V. Akimochkina</b></p>	<h3 style="text-align: center;">Ecological Problems</h3> <p><i>V.A. Korchagin, Yu.N. Rizaeva, T.V. Korchagina</i> Model search biosphere-compatible operation transport socio nature of the economic system..... 130</p>
<p><i>Editorial Board Address:</i> 302030, Russia, Orel, Moskovskaya Str., 77 Tel. +7 (4862) 73-43-50 <a href="http://www.gu-unpk.ru/science/journal/mtitm">http://www.gu-unpk.ru/science/journal/mtitm</a> E-mail: <a href="mailto:srmostu@mail.ru">srmostu@mail.ru</a></p>	<h3 style="text-align: center;">Economics and Management</h3> <p><i>Yu.V. Rodionov, M.Yu. Obshivalkin</i> Accounting changes in operating efficient rolling stock according to hours..... 136</p>
<p>The journal is registered in Federal Agency of supervision in sphere of communication, information technology and mass communications. Registration Certificate PI № FS77- 47352 of November 03 2011</p>	
<p>Subscription index: <b>16376</b> in a union catalog "The Press of Russia"</p>	
<p>© State University-ESPC, 2015</p>	

## ЭКСПЛУАТАЦИЯ, РЕМОНТ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ

УДК 343.148.63

С.А. ЕВТЮКОВ, И.С. БРЫЛЕВ

### АЛГОРИТМ КОРРЕКТИРОВКИ НОРМАТИВНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ВРЕМЕНИ НАРАСТАНИЯ ЗАМЕДЛЕНИЯ, УСТАНОВИВШЕГОСЯ ЗАМЕДЛЕНИЯ ДВУХКОЛЕСНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

*Авторским коллективом проводятся экспериментальные исследования времени нарастания замедления, параметров замедления двухколесных механических транспортных средств (ДМТС), которые не уточнялись более 35 лет.*

*Целью исследования авторов является разработка алгоритма корректировки времени нарастания замедления, установившегося замедления транспортных средств категории L<sub>3</sub>.*

*Ключевые слова:* автотехническая экспертиза, двухколесные транспортные средства, расчет скорости движения, замедление.

Почти во всех странах мира в дорожном движении наблюдается рост числа двухколесных механических транспортных средств (ДМТС, мотоциклов, ТС категории L<sub>3</sub>). В связи с этим возросло число жертв и тяжело раненных в результате дорожно-транспортных происшествий (ДТП). В большинстве своем ДТП это – результат многих обстоятельств, которые образуют совокупности различных причин и следствий. Установление фактических причин, приведших к аварии, и обстоятельств им способствующих, является одной из важных задач обеспечения безопасности движения [1-5].

За последние десятилетия, с одной стороны, конструкции двухколесных механических транспортных средств значительно усовершенствованы, поэтому требуется приведение в соответствии с ними аналитического аппарата оценки параметров процесса их торможения. С другой стороны, в действующей экспертной практике анализа ДТП при проведении расчетов продолжают использоваться оценки времени нарастания замедления и установившегося замедления для мотоциклов отечественного производства прошлых лет, которые на сегодняшний день по возрасту практически не участвуют в дорожном движении. Оба этих обстоятельства требуют переработки, уточнения и формирования обновленной расчетной базы оценки процессов торможения ДМТС с целью повышения достоверности такой оценки при проведении экспертизы ДТП – для задач установления соответствия либо несоответствия действий водителей требованиям правил дорожного движения (ПДД), обоснования причин возникновения аварийных ситуаций, оценки наличия либо отсутствия технической возможности у водителя ДМТС предотвратить ДТП. Решение всех перечисленных задач может быть обеспечено отсутствующими в настоящее время эффективными методиками их расчетной (количественной) оценки [1, 9, 10-12].

Работа посвящена совершенствованию методики оценки параметров процесса торможения ДМТС при реконструкции ДТП, которая обеспечила бы учет типа тормозной системы мотоцикла, наличия антиблокировочной системы (АБС), переменной степени нагрузки на мотоцикл, режима торможения, состояния и типа дорожного покрытия.

Проведенный анализ недостатков действующей методики расчетной оценки таких основных параметров процесса торможения как: остановочный путь ДМТС ( $S_o$ ), скорость движения перед торможением ( $V_a$ ), удаление ДМТС от места столкновения ( $S_y$ ), остановочное время ( $T_o$ ), допустимая скорость движения по условию видимости ( $V_{ов}$ ), традиционно применяемых при реконструкции ДТП позволил установить, что при выборе

нормативных значений установившегося замедления и времени его нарастания не учитывается тип тормозной системы ДМТС, промежуточная степень их нагрузки, наличие АБС, влияющих на формирование значений параметров процесса торможения [2-7].

Результаты сравнительной оценки соответствия требованиям дня значений установившегося замедления и времени его нарастания, одобренных и рекомендованных Научно-методическим советом по судебной автотехнической экспертизе при ВНИИСЭ МЮ СССР и введенных в действие с 01.01.1991, а так же установленных ГОСТ 41.78-2001 – и значений, полученных в экспериментальных исследованиях установлено, что величина времени нарастания замедления и установившегося замедления ДМТС значительно занижена. Это связано с тем, что применяемые нормативные значения были установлены без учета значительных изменений конструкции ДМТС, их надежности и других функциональных свойств. В российской экспертной практике эти новые качества конструкций ДМТС не нашли своего отражения в усовершенствованных расчетных зависимостях, рекомендуемых к применению при расследовании и реконструкции механизма ДТП при определении остановочного пути, удаления ДМТС от места столкновения, расчета скорости движения в момент начала торможения, остановочного времени, допустимой скорости движения по условию видимости [14-21, 23,24].

В ходе проведения экспериментальных исследований, проведена оценка влияния указанных выше факторов на формирование значения установившегося замедления ( $j$ ) и времени его нарастания до установившегося значения замедления ( $t_3$ ), обоснована необходимость учета в расчетных зависимостях наличия либо отсутствия АБС, типа тормозной системы, переменной степени нагрузки ДМТС, режима торможения, в зависимости от состояния дорожного покрытия на момент возникновения ДТП. В этой связи, при выборе значения установившегося замедления и времени его нарастания показана целесообразность введения экспериментальных коэффициентов  $K_j$  и  $K_i$ , корректирующих величину установившегося замедления и времени его нарастания с учетом режима торможения, типа тормозной системы ДМТС, состояния и типа дорожного покрытия, наличия АБС и переменной степени нагрузки ДМТС. Расчетные зависимости для вычисления параметров процессов торможения при реконструкции механизма ДТП, с учетом указанных факторов примут вид [1,2]:

- остановочный путь ДМТС, м:

$$S_o = (t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3 \cdot K_i) \frac{V_a}{3,6} + \frac{V_a^2}{26,0 \cdot j \cdot K_j}; \quad (1)$$

- скорость ДМТС в начале торможения при наличии зафиксированных следов торможения, км/ч:

$$V_a = 1,8 \cdot t_3 \cdot K_i \cdot j \cdot K_j + 3,6 \cdot \sqrt{2,0 \cdot j \cdot K_j \cdot S_o}; \quad (2)$$

- удаление ДМТС от места столкновения, м:

$$S_v = (t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3 \cdot K_i) \cdot \frac{V_a}{3,6} + S_i; \quad (3)$$

- остановочное время ДМТС, с:

$$T_o = (t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3 \cdot K_i) + \frac{V_a}{3,6 \cdot j \cdot K_j}; \quad (4)$$

- допустимая скорость движения ДМТС по условиям видимости, км/ч:

$$V_{ог} = 3,6 \cdot \sqrt{(j \cdot K_j \cdot (t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3 \cdot K_i))^2 + 2 \cdot j \cdot K_j \cdot S_B} - 3,6 \cdot j \cdot K_j \cdot (t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3 \cdot K_i), \quad (5)$$

где  $K_j$  – коэффициент, корректирующий величину замедления ДМТС;

$K_i$  – коэффициент, корректирующий величину времени нарастания замедления ДМТС до установившегося;

$t_1$  – время реакции водителя, с;

$t_2$  – время срабатывания тормозного привода, с;

- $t_3$  – время нарастания замедления до установившегося, с;  
 $j$  – установившееся замедление  $\text{м/с}^2$ ;  
 $S_T$  – тормозной след ДМТС от его начала до места столкновения, м;  
 $V_a$  – скорость движения в момент принятия решения о торможении;  
 $S_{ю}$  – следы торможения, м;  
 $S_e$  – видимость с места водителя.

Анализируя результаты экспериментальных исследований установившегося замедления ( $j$ ) и времени его нарастания ( $t_3$ ) установлено, что их фактическая величина у большинства современных ДМТС значительно выше нормативных значений, рекомендуемых к использованию при проведении автотехнических исследований. При расчете технической возможности у водителя ДМТС предотвратить ДТП, целесообразно использовать не нормативную величину установившегося замедления и времени его нарастания, а величину фактически установленную в ходе экспериментальных исследований.

Разработанная система моделей количественной оценки параметров процесса торможения ДМТС позволяет обосновать блок-схему элементов организации экспериментальных исследований процесса торможения ДМТС для задач исследования влияния величины коэффициента продольного сцепления колес с дорожной поверхностью, типа тормозной системы ДМТС, режима торможения, степени нагрузки ДМТС, а так же наличия АБС на формирование величины установившегося замедления и времени его нарастания. Определение указанных параметров обеспечивает совершенствование расчетных зависимостей, применяемых при реконструкции механизма ДТП (рис. 1).

Корректность усовершенствованной методики оценки параметров процесса торможения ДМТС при реконструкции механизма ДТП подтверждена математической оценкой полученных результатов и рекомендуется к использованию экспертами при выборе значений установившегося замедления и времени его нарастания в ситуациях, когда невозможно проведение эксперимента в дорожных условиях.

Введенные уточнения расчетных зависимостей для определения остановочного пути ДМТС ( $S_o$ ), скорости движения в начале торможения ( $V_a$ ), удаления ДМТС от места столкновения ( $S_j$ ), остановочного времени ( $T_o$ ), допустимой скорости движения по условию видимости ( $V_{ов}$ ), позволяют повысить точность и достоверность, а так же объективность оценки экспертом по анализу ДТП, действий водителя с точки зрения наличия или отсутствия у него технической возможности предотвратить ДТП.

Тормозные испытания проводились на 24 мотоциклах шести марок. В качестве примера представлены результаты измерения установившегося замедления мотоцикла марки BMW S1000RR с комбинированной тормозной системой (КТС) при включенной и выключенной АБС, а так же результаты измерения среднего значения времени нарастания замедления ДМТС с независимой тормозной системой (НТС) без АБС (табл. 1-3).

Таблица 1 – Экспериментальные значения установившегося замедления мотоцикла марки BMW S1000RR (2009 г.в.) с КТС при включенной АБС,  $j$ ,  $\text{м/с}^2$

BMW S1000RR, АБС включено										
нагрузка $\phi$	Снаряж. масса		Снаряж. масса + 20 кг		Снаряж. масса + 40 кг		Снаряж. масса + пассажир		Снаряж. масса + пассажир + 20 кг	
	р	н	р	н	р	н	р	н	р	н
	Тип торможения									
	р	н	р	н	р	н	р	н	р	н
0,4	7,5	6,4	7,4	6,3	7,1	6,0	6,9	5,9	6,7	5,7
0,5	7,5	6,5	7,5	6,3	7,5	6,4	7,8	6,1	7,1	5,7
0,6	8,3	6,9	8,3	6,8	7,6	6,9	7,8	6,5	7,5	6,4
0,7	8,9	7,6	8,9	8,1	8,3	7,9	8,5	7,8	8,5	7,2
0,8	9,3	8,7	9,3	8,6	9,2	8,4	8,9	8,0	8,7	7,7

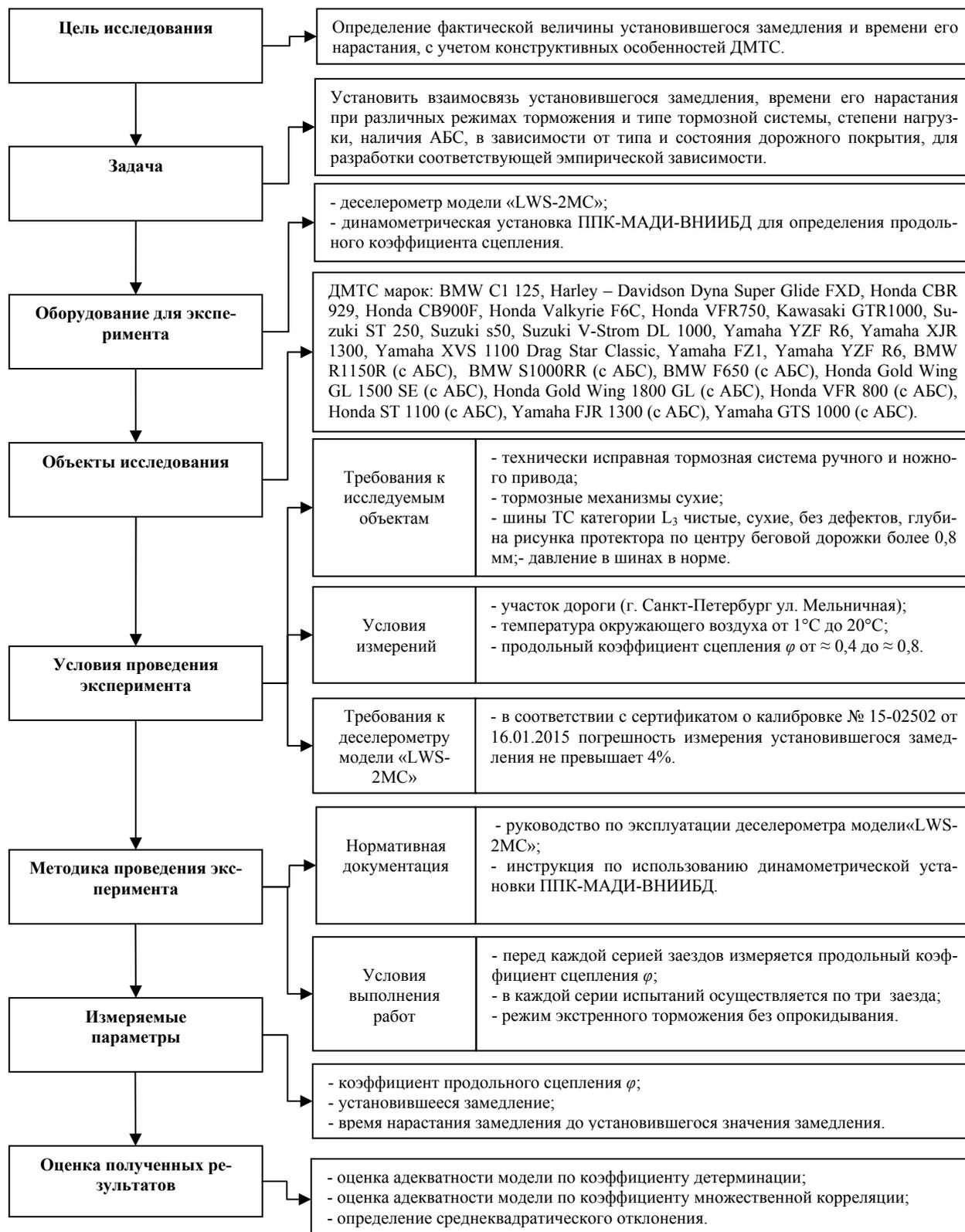


Рисунок 1 – Блок-схема организации и обеспечения оценки полученных результатов экспериментальных исследований процесса торможения ДМТС

Таблица 2 – Экспериментальные значения установившегося замедления мотоцикла марки BMW S1000RR (2009 г.в.) с КТС при выключенной АБС,  $j$ ,  $m/s^2$

BMW S1000RR, АБС выключено										
нагрузка $\varphi$	Снаряж. масса		Снаряж. масса + 20 кг		Снаряж. масса + 40 кг		Снаряж. масса + пассажир		Снаряж. масса + пассажир + 20 кг	
	р	н	р	н	р	н	р	н	р	н
0,4	6,3	5,5	6,2	5,5	6,1	5,3	5,8	5,0	5,7	4,9
0,5	6,6	5,9	6,5	5,5	6,3	5,8	5,9	5,3	5,8	5,0
0,6	7,4	6,4	7,0	6,3	6,9	6,3	6,4	5,8	6,3	5,5
0,7	7,9	7,2	7,8	6,8	7,5	6,9	7,3	6,4	7,1	5,9
0,8	8,1	7,3	8,0	7,0	7,8	6,9	7,5	6,5	7,3	6,0

Таблица 3 – Средние значения времени нарастания замедления ДМТС с НТС без АБС,  $t_3$ , с

нагрузка $\varphi$	Снаряж. масса		Снаряж. масса + 20 кг			Снаряж. масса + 40 кг			Снаряж. масса + пассажир			Снаряж. масса + пассажир + 20 кг			
	р	н	к	р	н	к	р	н	к	р	н	к	р	н	к
0,4	0,2	0,4	0,4	0,25	0,4	0,45	0,25	0,4	0,4	0,25	0,4	0,4	0,25	0,4	0,4
0,5	0,25	0,45	0,45	0,25	0,45	0,5	0,35	0,4	0,45	0,35	0,45	0,45	0,35	0,45	0,45
0,6	0,3	0,55	0,55	0,3	0,50	0,55	0,3	0,55	0,5	0,35	0,55	0,5	0,4	0,55	0,5
0,7	0,45	0,55	0,65	0,45	0,6	0,65	0,45	0,55	0,65	0,45	0,55	0,65	0,45	0,55	0,65
0,8	0,5	0,6	0,65	0,5	0,65	0,65	0,5	0,7	0,7	0,5	0,7	0,75	0,5	0,65	0,75

Характер изменения величины замедления и времени его нарастания на примере мотоцикла марки Yamaha XVS 1100 Drag Star Classic при комбинированном режиме торможения, коэффициенте сцепления  $\varphi \approx 0,8$ , в снаряженном состоянии, представлен в виде диаграммы торможения (рис. 2).

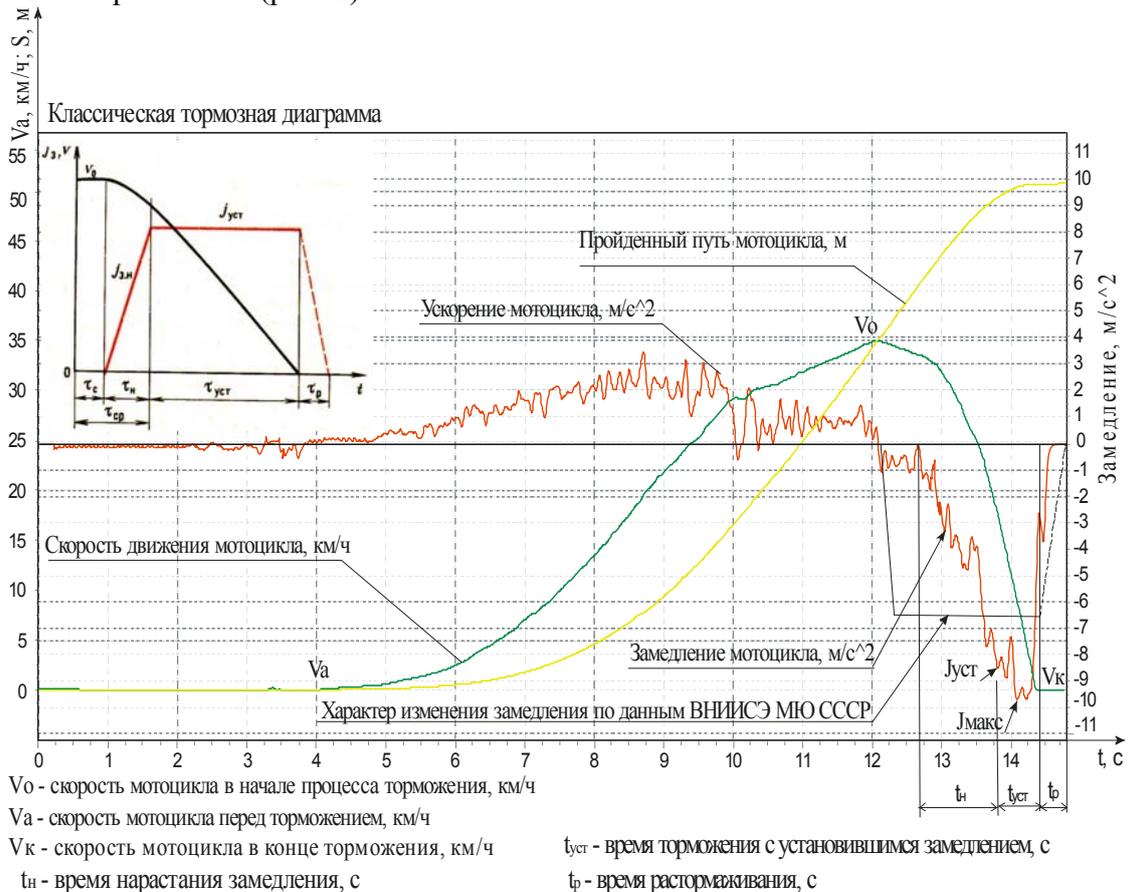


Рисунок 2 – Тормозная диаграмма мотоцикла марки Yamaha XVS 1100 Drag Star Classic при комбинированном режиме торможения и снаряженной массе,  $\varphi \approx 0,8$

Из тормозной диаграммы на рисунке 2 следует, что фактическая величина установившегося замедления мотоцикла марки Yamaha XVS 1100 Drag Star Classic при комбинированном режиме торможения, коэффициенте сцепления  $\varphi \approx 0,8$ , в снаряженном состоянии на 22% больше нормативного значения, при этом значение времени нарастания замедления до установившегося значения замедления в 4 раза превышает нормативное значение.

Из экспертной практики известно, что в большинстве случаев не представляется возможным определить фактическое значение установившегося замедления и времени его нарастания ( $y_{\phi j}$  и  $y_{\phi i}$ ) на момент ДТП. В таких случаях, в рамках решения краевой задачи, рекомендуется нормативные, справочные значения замедления ( $y_{nj}$ ) и времени его нарастания ( $y_{ni}$ ) сравнивать с рекомендуемыми ( $y_{pj}$ ) и ( $y_{pi}$ ), полученными автором в ходе проведения экспериментов. Если  $(y_n) \geq (y_p)$ , то исследуемый тормозной параметр не может повлиять на формирование величины установившегося замедления либо времени его нарастания, а если  $(y_n) < (y_p)$ , то исследуемый тормозной параметр оказывает влияние на формирование величины установившегося замедления, либо времени его нарастания. Алгоритм определения корректирующих коэффициентов  $K_i, K_j$  (рис. 3) [1-4].

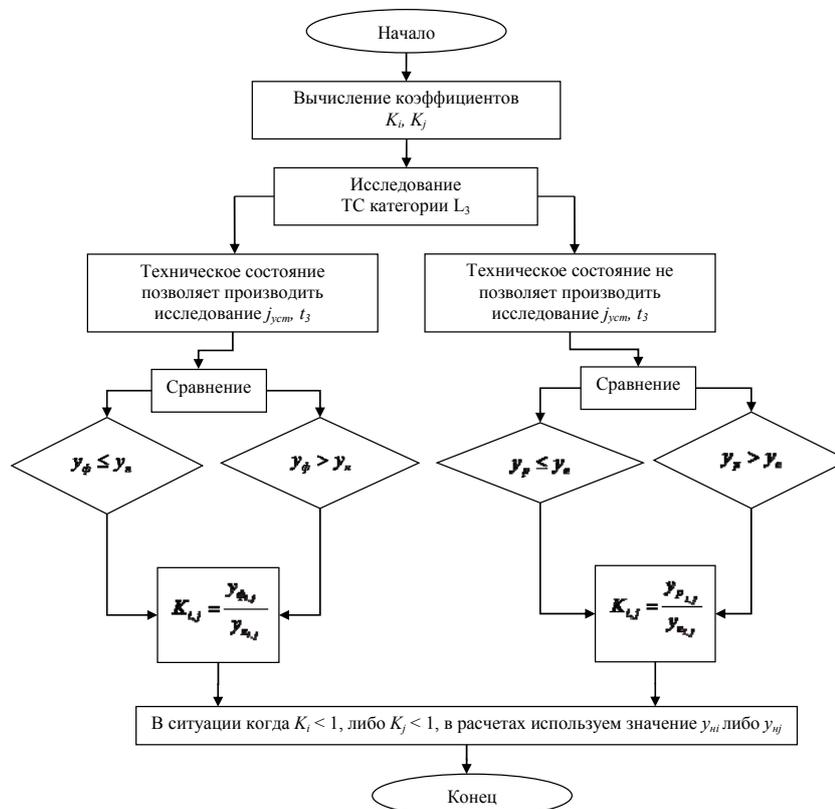


Рисунок 3 – Алгоритм определения коэффициентов  $K_j$  и  $K_i$ , корректирующих нормативное значение установившееся замедления и время его нарастания

Практическая значимость введения корректирующих коэффициентов заключается в повышении точности и достоверности результатов расчетов при реконструкции ДТП с участием ТС категории L3.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брылев, И.С. Определение значения времени нарастания замедления, установившегося замедления двухколесных механических транспортных средств [Текст] / И.С. Брылев // Вестник гражданских инженеров СПбГАСУ. – 2015. – №3 (50). – С. 219-224.

При наличии возможности определения фактического значения установившегося замедления ТС категории L3 и времени его нарастания непосредственного после ДТП, коэффициент  $K_{i,j}$  вычисляется по зависимости:

$$K_{i,j} = \frac{y_{\phi i,j}}{y_{n i,j}} \quad (6)$$

В случае отсутствия возможности определения фактического значения установившегося замедления ТС категории L3 и времени его нарастания непосредственного после ДТП, коэффициент  $K_{i,j}$  вычисляется по зависимости:

$$K_{i,j} = \frac{y_{p i,j}}{y_{n i,j}} \quad (7)$$

2. Брылев, И.С. Экспериментальные исследования параметров установившегося замедления ДМТС [Текст] / И.С. Брылев // Вестник гражданских инженеров СПбГАСУ. – 2015. – №2 (49). – С. 131-137.
3. Брылев, И.С. Оценка погрешности расчетов скорости движения мотоциклов на стадии сближения [Текст] / И.С. Брылев // Вестник гражданских инженеров СПбГАСУ. – 2014. – №6 (47). – С. 194-199.
4. Евтюков, С.А. Экспериментальные исследования параметров установившегося замедления и тормозного пути транспортных средств [Текст] / Евтюков С.А., Брылев И.С. // Мир транспорта и технологических машин. - №4. – 2014. – С. 125-130.
5. Евтюков, С.А. Факторы, влияющие на определение тормозного пути в расчетах при проведении экспертизы [Текст] / С.А. Евтюков, И.С. Брылев, Н.В. Сватковский // Вестник гражданских инженеров СПбГАСУ – 2014. – №6 (47). – С. 178-182.
6. Евтюков, С.А. Обзор существующих методик расчета скорости двухколесных транспортных средств [Текст] / С.А. Евтюков, И.С. Брылев // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6; URL: [www.science-education.ru/113-10750](http://www.science-education.ru/113-10750).
7. Евтюков, С.А. Проблемы проведения автотехнических экспертиз с участием мотоциклистов [Текст] / С.А. Евтюков, И.С. Брылев // Фундаментальные и прикладные науки North Charleston, SC, USA. – 2013. - б/н – С.125-129.
8. Евтюков, С.А. Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий [Текст] / С.А. Евтюков, Я.В. Васильев. - СПб.: ООО «Издательство ДНК». - 2-е издание, 2005. – 288 с.
9. Евтюков, С.А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий [Текст]: справочник / С.А. Евтюков, Я.В. Васильев. – СПб.: Издательство ДНК, 2006. – 536 с.
10. Евтюков, С.А. ДТП: Расследование, реконструкция и экспертиза [Текст] / С.А. Евтюков, Я.В. Васильев. – СПб.: Издательство ДНК, 2008. – 390 с.
11. Евтюков, С.А. Реконструкция и экспертиза ДТП в примерах [Текст] / С.А. Евтюков, Я.В. Васильев. – СПб.: Издательский дом Петрополис, 2012. – 323 с.
12. Евтюков, С.А. Экспертиза ДТП: методы и технологии [Текст] / С.А. Евтюков, Я.В. Васильев. – СПбГАСУ.- СПб., 2012. – 310 с.
13. Евтюков, С.А. Структура и требования к системе автоматического уведомления о ДТП для задач реконструкции механизма ДТП [Текст] / С.А. Евтюков, Я.В. Васильев, И.С. Брылев // Вестник гражданских инженеров СПбГАСУ. – 2015. – №1 (48). – С. 187-193.
14. Зотов, Б.Л. Расследование и предупреждение автотранспортных происшествий [Текст] / Б.Л. Зотов. – М.: Юрид. лит., 1972. – 192 с.
15. Иларионов, В.А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий [Текст]: учебник для вузов / В.А. Иларионов. – М.: Транспорт, 1989. – 255 с.
16. Кристи, Н.М. Методические рекомендации по производству автотехнической экспертизы [Текст] / Н.М. Кристи. - М.: ЦНИИСЭ, 1971 – 112 с.
17. Пучкин, В.А. Актуальные проблемы судебной автотехнической экспертизы [Текст] / Юж. Региональный центр суд. экспертизы. Ростов-на-Дону, 2001. – 80 с.
18. Пучкин, В.А. Справочно-нормативные материалы для эксперта-автотехника [Текст] / Пучкин, В.А., Лозовой В.И. - Новочеркасск: ЮРГТУ, 2002. – 172 с.
19. Пучкин, В.А. Основы экспертного анализа дорожно-транспортных происшествий: Базы данных. Экспертная техника. Методы решений [Текст] / В.А. Пучкин. – Ростов н/д: ИПО ЮФУ, 2010. – 400с.
20. Смирнова, С.А. Судебная экспертиза на рубеже XXI века. Состояние, развитие проблемы [Текст] / С.А. Смирнова. - 2-е изд-е, пер. и доп. СПб.: Питер, 2004. – 875 с.
21. Суворов, Ю.Б. Судебная дорожно-транспортная экспертиза [Текст]: учебное пособие. – М.: «Экзамен», «Право и закон», 2003. – 208 с.
22. Судебная автотехническая экспертиза [Текст]: пособие для экспертов - автотехников, следователей и судей. - Часть II Теоретические основы и методика экспериментального исследования при производстве автотехнической экспертизы; под ред. В.А. Иларионова. – М.:ВНИИСЭ, 1980. – 492 с.
23. ГОСТ 6253—78. Мототранспортные средства. Методы испытаний [Текст]. М.: Изд-во стандартов, 1986. – 142с.
24. ГОСТ Р 41,78-2001 (Правила № 78-88 ЕЭК ООН). Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств категории L в отношении торможения [Текст]. - М.: Изд-во стандартов, 2001. – 20с.

**Евтюков Сергей Аркадьевич**

ГОУ ВПО «СПбГАСУ»

Адрес: Россия, 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4

Д-р техн. наук, профессор, декан автомобильно-дорожного факультета, заведующий кафедрой «Наземные транспортно-технологические машины»

E-mail: evtyukovs@gmail.com

**Брылев Илья Сергеевич**

ГОУ ВПО «СПБГАСУ»

Адрес: Россия, 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4

Аспирант кафедры «Наземные транспортно-технологические машины»

E-mail: ilya2104@mail.ru

S.A. EVTUKOV, I.S. BRYLEV

## CORRACTION ALGORITHMS NORMATIVE VALUES RISE TIME DECELERATION, SET DECELERATION MOTORIZED TWO WHEELERS

*A group of authors conducted experimental studies of the rise time of deceleration, the deceleration parameter of two-wheeled motor vehicles, which were not specified more than 35 years.*

*The aim of the study is to determine the authors of the factors affecting the value of the steady slowing of vehicles of category L<sub>3</sub>.*

**Keywords:** autotechnical expertise, two-wheeled vehicles, calculation speed, deceleration.

### BIBLIOGRAPHY

1. Brylev, I.S. Opredelenie znacheniya vremeni narastaniya zamedleniya, ustanovivshegosya zamedleniya dvukhkolesnykh mekhanicheskikh transportnykh sredstv [Tekst] / I.S. Brylev // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov SPBGASU. - 2015. - №3 (50). - S. 219-224.
2. Brylev, I.S. Eksperimental'nye issledovaniya parametrov ustanovivshegosya zamedleniya DMTS [Tekst] / I.S. Brylev // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov SPBGASU. - 2015. - №2 (49). - S. 131-137.
3. Brylev, I.S. Otsenka pogreshnosti raschetov skorosti dvizheniya mototsiklov na stadii sblizheniya [Tekst] / I.S. Brylev // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov SPBGASU. - 2014. - №6 (47). - S. 194-199.
4. Evtyukov, S.A. Eksperimental'nye issledovaniya parametrov ustanovivshegosya zamedleniya i tormoznogo puti transportnykh sredstv [Tekst] / Evtyukov S.A., Brylev I.S. // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - №4. - 2014. - S. 125-130.
5. Evtyukov, S.A. Faktory, vliyayushchie na opredelenie tormoznogo puti v raschetakh pri provedenii ekspertizy [Tekst] / S.A. Evtyukov, I.S. Brylev, N.V. Svatkovskiy // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov SPBGASU - 2014. - №6 (47). - S. 178-182.
6. Evtyukov, S.A. Obzor sushchestvuyushchikh metodik rascheta skorosti dvukhkolesnykh transportnykh sredstv [Tekst] / S.A. Evtyukov, I.S. Brylev // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. - 2013. - № 6; URL: [www.science-education.ru/113-10750](http://www.science-education.ru/113-10750).
7. Evtyukov, S.A. Problemy provedeniya avtotekhnicheskikh ekspertiz s uchastiem mototsiklistov [Tekst] / S.A. Evtyukov, I.S. Brylev // Fundamental'nye i prikladnye nauki North Charleston, SC, USA. - 2013. - b/n - S.125-129.
8. Evtyukov, S.A. Rassledovanie i ekspertiza dorozhno-transportnykh proisshestviy [Tekst] / S.A. Evtyukov, YA.V. Vasil'ev. - SPb.: OOO "Izdatel'stvo DNK". - 2-e izdanie, 2005. - 288 s.
9. Evtyukov, S.A. Ekspertiza dorozhno-transportnykh proisshestviy [Tekst]: spravochnik / S.A. Evtyukov, YA.V. Vasil'ev. - SPb.: Izdatel'stvo DNK, 2006. - 536 s.
10. Evtyukov, S.A. DTP: Rassledovanie, rekonstruktsiya i ekspertiza [Tekst] / S.A. Evtyukov, YA.V. Vasil'ev. - SPb.: Izdatel'stvo DNK, 2008. - 390 s.
11. Evtyukov, S.A. Rekonstruktsiya i ekspertiza DTP v primerakh [Tekst] / S.A. Evtyukov, YA.V. Vasil'ev. - SPb.: Izdatel'skiy dom Petropolis, 2012. - 323 s.
12. Evtyukov, S.A. Ekspertiza DTP: metody i tekhnologii [Tekst] / S.A. Evtyukov, YA.V. Vasil'ev. - SPbGASU.- SPb., 2012. - 310 s.
13. Evtyukov, S.A. Struktura i trebovaniya k sisteme avtomaticheskogo uvedomleniya o DTP dlya zadach rekonstruktsii mekhanizma DTP [Tekst] / S.A. Evtyukov, YA.V. Vasil'ev, I.S. Brylev // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov SPBGASU. - 2015. - №1 (48). - S. 187-193.
14. Zotov, B.L. Rassledovanie i preduprezhdenie avtotransportnykh proisshestviy [Tekst] / B.L. Zotov. - M.: YUrid. lit., 1972. - 192 s.
15. Ilarionov, V.A. Ekspertiza dorozhno-transportnykh proisshestviy [Tekst]: uchebnyk dlya vuzov / V.A. Ilarionov. - M.: Transport, 1989. - 255 s.
16. Kristi, N.M. Metodicheskie rekomendatsii po proizvodstvu avtotekhnicheskoy ekspertizy [Tekst] / N.M. Kristi. - M.: TSNIISE, 1971 - 112 s.
17. Puchkin, V.A. Aktual'nye problemy sudebnoy avtotekhnicheskoy ekspertizy [Tekst] / YUzh. Regional'noy

tsentr sud. ekspertizy. Rostov-na-Donu, 2001. - 80 s.

18. Puchkin, V.A. Spravochno-normativnye materialy dlya eksperta-avtotekhnika [Tekst] / Puchkin, V.A., Lozovoy V.I. - Novocherkassk: YURGTU, 2002. - 172 s.

19. Puchkin, V.A. Osnovy ekspertnogo analiza dorozhno-transportnykh proisshestviy: Bazy dannykh. Ekspertnaya tekhnika. Metody resheniy [Tekst] / V.A. Puchkin. - Rostov n/d: IPO YUFU, 2010. - 400s.

20. Smirnova, S.A. Sudebnaya ekspertiza na rubezhe XXI veka. Sostoyanie, razvitie problemy [Tekst] / S.A. Smirnova. - 2-e izd-e, per. i dop. SPb.: Piter, 2004. - 875 s.

21. Suvorov, YU.B. Sudebnaya dorozhno-transportnaya ekspertiza [Tekst]: uchebnoe posobie. - M.: "Ekzamen", "Pravo i zakon", 2003. - 208 s.

22. Sudebnaya avtotekhnicheskaya ekspertiza [Tekst]: posobie dlya ekspertov - avtotekhnikov, sledovateley i sudey. - Chast' II Teoreticheskie osnovy i metodika eksperimental'nogo issledovaniya pri proizvodstve avtotekhnicheskoy ekspertizy; pod red. V.A. Ilarionova. - M.: VNIISE, 1980. - 492 s.

23. GOST 6253-78. Mototransportnye sredstva. Metody ispytaniy [Tekst]. M.: Izd-vo standartov, 1986. - 142s.

24. GOST R 41,78-2001 (Pravila № 78-88 EEK OON). Edinoobraznye predpisaniya, kasayushchiesya ofitsial'nogo utverzhdeniya transportnykh sredstv kategorii L v otnoshenii tormozheniya [Tekst]. - M.: Izd-vo standartov, 2001. - 20s.

**Evtyukov Sergei Arkadievich**

GOU VPO «SPBGASU»

Adress: Rossia, 190005, St. Petersburg, 2nd Red Army Street., D. 4

Dr. tehn. Sciences, Professor, Head of the Department «Land transport and technological machines»

E-mail: evtyukovs@gmail.com

**Brylev Ilya Sergeevich**

GOU VPO «SPBGASU»

Adress: Rossia, 190005, St. Petersburg, 2nd Red Army Street., D. 4

Postgraduate student «Land transport and technological machines»

E-mail: ilya2104@mail.ru

*Продолжается подписка на журнал  
«Мир транспорта и  
технологических машин»*

*Подписной индекс журнала:*

*16376 («Пресса России»)*

*Подписка через редакцию:*

*(с любого месяца)*

*Информация о подписке на нашем сайте*

*[www.gu-unpk.ru](http://www.gu-unpk.ru)*

*Тел. +7 (4862) 43-48-90*

УДК 625.76.08:621.87:001.89

Н. С. СЕВРЮГИНА

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РЕСУРСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ И СИСТЕМ АВТОМОБИЛЯ НА ПОКАЗАТЕЛЬ КОМФОРТНОСТИ ВОДИТЕЛЯ

*Рассмотрен характер соответствия заявленного производителем автомобиля ресурса его технической функциональности. Проведен расчет динамики снижения ресурса за весь период службы с учетом средней наработки автомобиля. Дано графическое определение условной потери ресурса машины при заложенных типовых условиях эксплуатации и периодическом проведении плановых сервисных воздействий поддержания машины в работоспособном состоянии. Доказана зависимость между потерей функциональности машины, ее физическим износом за годы эксплуатации и психофизическими нагрузками на оператора.*

**Ключевые слова:** производитель, ресурс, срок службы, отказ, анализ, комфортность, функциональность, автомобиль.

После изготовления машина теоретически находится в критериальном максимуме своего технического функционирования ( $b_{\text{опт}}$ ), фактически же этот показатель для единичной машины будет иметь значение ( $b_{\text{ф}}$ ). За определенный отрезок времени, характеризуемый понятием период эксплуатации ( $t_{\text{экспл}}$ ) возможности эффективного функционирования снижаются до значения ( $a_{\text{ф}}$ ) для единичной машины, но не должны быть ниже критериального минимума ( $a_{\text{кр}}$ ).

Применение системы сервисного сопровождения, поддерживающей машину в работоспособном состоянии позволяет показатель технического функционирования поддерживать на уровне заложенного производителем, но данная величина неизменно будет снижаться пропорционально величине потери ресурса.

Типовая методика расчета представлена примером расчета ресурса транспортного средства. Производителем назначаются средние наработки машины  $T_{\text{нi}}$  до капитального ремонта или замены сборочных единиц, включенных в структурную схему надежности машины, значения  $T_{\text{нi}}$  для основных сборочных единиц, являющихся последовательными элементами структурной схемы, ресурс назначается не меньше среднего ресурса машины до капитального ремонта, а для базовых металлических конструкций, а также для гидросистем, пневмосистем, элементы, которые неоднократно ремонтируются или заменяются в процессе эксплуатации и при плановых ремонтах, назначается ресурс  $T_{\text{нi}}$ , соответствующий сроку службы машины до списания.

Срок службы до списания, при условии двух межремонтных циклов (один капремонт) определяется из выражения:

$$T_a = \frac{T_{\text{р.ср}} \cdot (1 + C)}{8760 \cdot \kappa_{\text{и.г}} \cdot \kappa_{\text{и.д}} \cdot \kappa_{\text{с}}},$$

где  $C$  - коэффициент сокращения межремонтного цикла;  $C = 0,8$ .

Используя справочную литературу для машины принимаются усредненные значения коэффициентов использования:

в году  $\kappa_{\text{и.г}} = 0,55$ ;

в сутках  $\kappa_{\text{и.д}} = 0,6$ ;

в смене  $\kappa_{\text{с}} = 0,6$ .

В соответствии с этим теоретический ресурс транспортного средства может быть принят по результатам расчета:

$$T_a = \frac{9600(1 + 0,8)}{8760 \cdot 0,55 \cdot 0,6 \cdot 0,6} = 10 \text{ лет.}$$

Значения наработок для основной рамы, электрооборудования, пневмооборудования, гидрооборудования и управления принимается в соответствии со сроком службы до списания машины:

$$T_{н.баз} = 8760 \cdot \kappa_{из} \cdot \kappa_{ид} \cdot \kappa_c \cdot T_a;$$

$$T_{н.баз} = 8760 \cdot 0,55 \cdot 0,6 \cdot 0,6 \cdot 0,10 = 17300 \text{ ч.}$$

Принимаем  $T_{н.баз} = 17000$  ч., что соответствует принятому значению  $1,8T_{p.ср}$ .

Данный расчет позволяет графически определить условную потерю ресурса машины при заложенных типовых условиях эксплуатации и периодическом проведении плановых сервисных воздействий поддержания машины в работоспособном состоянии.

Следует отметить, что теоретически не допускается эксплуатация машины с потерей ресурса более 20%, что с экономической точки зрения делает неэффективной ее функционирования, но на практике картина противоположна. Функциональность машины эксплуатант оценивает отношением суммарной прибыли к понесенным фактическим затратам, пытаясь поддерживать доходность на приемлемом для эксплуатанта уровне.

По данным ведущих ученых о техническом состоянии машины за весь период эксплуатации и статистическим значениям потери на физический износ составлен график, наглядно показывающий изменение за 10 летний период эксплуатации функциональности машины и ее физического износа.

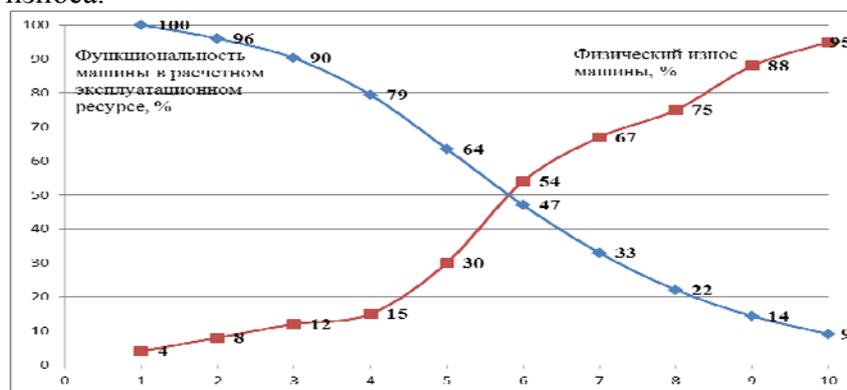


Рисунок 1 – График изменения функциональности машины и ее физического износа за 10 летний период эксплуатации

Также построена диаграмма изменения совокупных годовых затрат с учетом срока службы машины

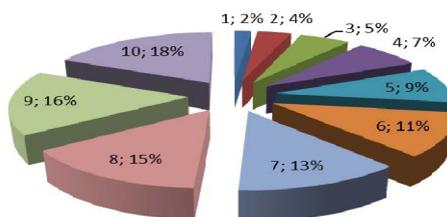


Рисунок 2 – Диаграмма изменения совокупных годовых затрат с учетом срока службы машины

Представленные выше рассуждения базируются на учете совершенства конструкции машины, т.е. обеспечиваемой производителем ее функциональности в заложенный им же период времени эксплуатации. Показатель физического износа также указывает на внешние факторы воздействующие на машину при выполнении ею технологических операций. Это все хорошо коррелируется с основными положениями теории системного анализа, по которой рассмотрен элемент системы «машина» и «окружающая среда», вне поля внимания остался системный элемент «человек» - водитель транспортного средства (машины).

Общеизвестно, что функциональность машины конструктивно закладываемая производителем реализуется оператором в мере его мастерства и опыта работы, а также психофизической совместимостью с системным элементом «машина», который можно выразить показателем комфортности, заложенным производителем машины.

Следует установить зависимость между потерей функциональности машины, ее физическим износом за годы эксплуатации и психофизическими нагрузками на оператора.

Комфортность управления машиной для водителя характеризуется многими признаками, среди которых следует отметить фактор рассредоточения внимания из-за внешних (объект выполнения технологической операции-окружающая среда) и внутренних (комфортность управления машиной-стабильность технического состояния).

Логично заключить, что поддержание комфортности водителя находится в прямой зависимости от уровня потери функциональности машины, уменьшение данного показателя компенсируется пропорциональным повышением нагрузки на водителя (оператора), предел которого находится в рамках психофизического состояния человека.

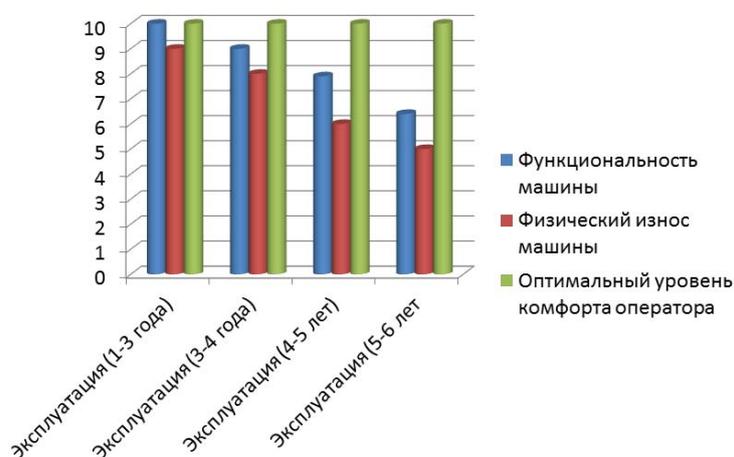


Рисунок 3 - Комфортность водителя в зависимости от функциональности машины, физического износа машины и оптимального уровня комфорта оператора

Дальнейшие рассуждения логично строить используя положения системного анализа, в частности рассматривая систему «человек-машина-окружающая среда».

Представленная диаграмма показывает, что независимо от остаточного ресурса машины поддержание комфорта оператора на уровне заложенном производителем с годами эксплуатации все сложнее, а так как технически машина не совершенствуется, то компенсация комфорта выражается повышением психофизической нагрузки на водителя, среди которых ключевыми являются уровень шума и вибрации в кабине, запыленность и температура воздуха в кабине. По графику можно установить, что совокупность негативных факторов воздействующих на водителя делает невозможным получение максимального функционального эффекта работы машины, в рассматриваемом случае, транспортного средства, что доказано теоретически и подтверждено на практике статистическими данными многих лет наблюдения и сбора информации.

### ВЫВОДЫ

1. Рассмотрен характер соответствия заявленного производителем автомобиля ресурса его технической функциональности.
2. Проведен расчет динамики снижения ресурса за весь период службы с учетом средней наработки автомобиля.
3. Дано графическое определение условной потери ресурса машины при заложенных типовых условиях эксплуатации и периодическом проведении плановых сервисных воздействий поддержания машины в работоспособном состоянии.

4. Установлено, что поддержание комфортности оператора находится в прямой зависимости от уровня потери функциональности машины, уменьшение данного показателя компенсируется пропорциональным повышением нагрузки на оператора, предел которого находится в рамках психофизического состояния человека.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов, Ю. Н. Анализ и оценка риска при перевозке опасных грузов автомобильным транспортом в АПК [Текст] / Ю.Н. Баранов, А.П. Трясцин // Вестник орловского государственного аграрного университета. - 2010. - Т. 26. - № 5. - С. 29-32.
2. Баранов, Ю. Н. Основы обеспечения безопасности в системе «человек - машина - среда» [Текст] / Ю.Н. Баранов, А. А. Катунин, Р. В. Шкрабак., Ю. Н. Брагинец // Вестник НЦБЖД. - 2014. - № 1 (19). - С. 73-76.
3. Богомолов, А. А. Структура и семантика вариационной оптимизации транспортных машин и технологических процессов в общей теории систем [Текст]: монография / А.А. Богомолов, М.В. Бунин, Н.С. Севрюгина. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2009. – 83 с.
4. Бодров, А. С. Программно-целевые подходы к управлению качеством автосервисных услуг [Текст] / А.С. Бодров, Д.О. Ломакин // Мир транспорта и технологических машин. - 2009. - № 2 (25). - С. 28-34.
5. Зорин, В. А. Основы работоспособности технических систем [Текст]: учебник для вузов / В. А. Зорин. – М.: ООО «Магистр-Пресс», 2005. – 536 с.
6. Зорин, В.А. Требования безопасности к наземным транспортным системам [Текст]: учебник / В. А. Зорин, В. А. Даугелло, Н. С. Севрюгина. – Белгород :БелГТУ, 2009. – 186 с. (10,8/4,3 п.л.)
7. Кожин, О. Д. Исследование факторов, определяющих вероятность отказа (опасного действия) водителей автотранспортных средств [Текст] / Д.О. Кожин, Д.Е. Алёкминский, В.В. Евграшин, Ю.Н. Баранов // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. - 2014. - № 1. - С. 235-239.
8. Кожин, О. Д. Факторы, определяющие опасное действие водителя при управлении транспортным средством [Текст] / Д.О. Кожин, Д.Е. Алёкминский, В.В. Евграшин, Ю.Н. Баранов // Научные труды sworld. - 2014. - Т. 2. - № 4. - С. 3-7.
9. Лапин, А.П. Применение интегрального показателя качества при оценке биотехнических систем по критерию безопасности [Текст] // А.П. Лапин, А.Н. Новиков, Д.Н. Шопов, Р.Р. Садыков // Мир транспорта и технологических машин. - 2009. - № 3 (26). - С. 83-89.
10. Новиков, А.Н. Пути снижения негативного воздействия автотранспортных потоков на качество актуальной среды [Текст] /А.Н. Новиков, О.А. Иващук, В.В. Васильева // Мир транспорта и технологических машин. - 2009. - № 1. С. - 107-111.
11. Севрюгина, Н.С. Вариационная трактовка жизненного цикла технических систем [Текст] / Н.С. Севрюгина, А.А. Богомолов // Строительные и дорожные машины. - 2010. - №10. - С. 48-52.
12. Севрюгина, Н. С. Инфографическая модель комплексной безопасности транспортных и технологических машин [Текст] / Н.С. Севрюгина // Безопасность труда в промышленности. – 2011. – № 6. – С. 72–74.
13. Севрюгина, Н. С. Теория формирования технической безопасности полного жизненного цикла транспортных и технологических машин: монография [Текст] / Н.С. Севрюгина. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. – 179 с.
14. Трясцин, А. П. Методологические аспекты системного анализа опасностей при эксплуатации мобильных самоходных машин сельскохозяйственного назначения [Текст] / А.П. Трясцин, Ю.Н. Баранов, О.Н. Данилина // Вестник АПК Верхневолжья. - 2009. - № 3. - С. 77-80.
15. Трясцин, А. П. Улучшение условий и охраны труда водителей, занятых перевозкой опасных грузов в агропромышленном комплексе путем разработки и внедрения инженерно-технических предложений и организационных мероприятий [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Трясцин Антон Павлович. - Орел, 2006.
16. Трясцин, А.П. Формирование комплексной технологической безопасности автотранспортных систем [Текст] / А.П. Трясцин // Мир транспорта и технологических машин. - 2013. - № 3 (42). - С. 89-94.
17. Федеральный закон от 27.12.2002г. № 184-ФЗ “о техническом регулировании”, 19 с.

**Севрюгина Надежда Савельевна**

ФГБОУ ВПО «Государственный университет-УНПК»

Адрес: Россия, 302030, г. Орел, ул. Московская, 77

Канд. техн. наук, доцент кафедры «Сервис и ремонт машин»

E-mail: nssevri@yandex.ru

N.S. SEVRYUGINA

## ANALYSIS OF RESOURCE CHARACTERISTICS COMPONENTS AND VEHICLE SYSTEMS DRIVER COMFORT FOR MEASURE

*Consider the nature of conformity the manufacturer of the vehicle resource is its technical functionality. The calculation of the dynamics of the decrease of a resource for the entire period of service based on average operating time of the vehicle. Given the graphical definition of the conditional loss of resources for laid typical operating conditions and periodic routine maintenance impacts keeping the machine in working condition. Proves the relationship between the loss of functionality of the machine, its physical deterioration over the years of exploitation and mental and physical stress on the operator.*

**Keywords:** manufacturer, resource, service life, failure, analysis, comfort, functionality, car.

### BIBLIOGRAPHY

1. Baranov, YU. N. Analiz i otsenka riska pri perevozke opasnykh gruzov avtomobil'nym transportom v APK [Tekst] / YU.N. Baranov, A.P. Tryastin // Vestnik orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. - 2010. - T. 26. - № 5. - S. 29-32.
2. Baranov, YU. N. Osnovy obespecheniya bezopasnosti v sisteme "chelovek - mashina - sreda" [Tekst] / YU.N. Baranov, A. A. Katunin, R. V. SHkrabak., YU. N. Braginets // Vestnik NTSBZHD. - 2014. - № 1 (19). - S. 73-76.
3. Bogomolov, A. A. Struktura i semantika variatsionnoy optimizatsii transportnykh mashin i tekhnologicheskikh protsessov v obshchey teorii sistem [Tekst]: monografiya / A.A. Bogomolov, M.V. Bunin, N.S. Sevryugina. - Belgorod: Izd-vo BGTU, 2009. - 83 s.
4. Bodrov, A. S. Programmno-tselevye podkhody k upravleniyu kachestvom avtoservisnykh uslug [Tekst] / A.S. Bodrov, D.O. Lomakin // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2009. - № 2 (25). - S. 28-34.
5. Zorin, V. A. Osnovy rabotosposobnosti tekhnicheskikh sistem [Tekst]: uchebnik dlya vuzov / V. A. Zorin. ? M.: OOO "Magistr-Press", 2005. ? 536 s.
6. Zorin, V.A. Trebovaniya bezopasnosti k nazemnym transportnym sistemam [Tekst]: uchebnik / V. A. Zorin, V. A. Daugello, N. S. Sevryugina. - Belgorod :BelGTU, 2009. - 186 c. (10,8/4,3 p.l.)
7. Kozhin, O. D. Issledovanie faktorov, opredelyayushchikh veroyatnost' otkaza (opasnogo deystviya) vodi-teley avtotransportnykh sredstv [Tekst] / D.O. Kozhin, D.E. Aliokminskiy, V.V. Evgrashin, YU.N. Baranov // Al'ternativnye istochniki energii v transportno-tekhnologicheskome komplekse: problemy i perspektivy ratsional'nogo ispol'zovaniya. - 2014. - № 1. - S. 235-239.
8. Kozhin, O. D. Faktory, opredelyayushchie opasnoe deystvie voditelya pri upravlenii transportnym sredstvom [Tekst] / D.O. Kozhin, D.E. Aliokminskiy, V.V. Evgrashin, YU.N. Baranov // Nauchnye trudy sworld. - 2014. - T. 2. - № 4. - S. 3-7.
9. Lapin, A.P. Primenenie integral'nogo pokazatelya kachestva pri otsenke biotekhnicheskikh sistem po kriteriyu bezopasnosti [Tekst] // A.P. Lapin, A.N. Novikov, D.N. Shopov, R.R. Sadykov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2009. - № 3 (26). - S. 83-89.
10. Novikov, A.N. Puti snizheniya negativnogo vozdeystviya avtotransportnykh potokov na kachestvo aksticheskoy sredy [Tekst] / A.N. Novikov, O.A. Ivashchuk, V.V. Vasil'eva // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2009. - № 1. S. - 107-111.
11. Sevryugina, N.S. Variatsionnaya traktovka zhiznennogo tsikla tekhnicheskikh sistem [Tekst] / N.S. Sevryugina, A.A. Bogomolov // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. - 2010. - №10. - S. 48-52.
12. Sevryugina, N. S. Infograficheskaya model' kompleksnoy bezopasnosti transportnykh i tekhnologicheskikh mashin [Tekst] / N.S. Sevryugina // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. - 2011. - № 6. - S. 72-74.
13. Sevryugina, N. S. Teoriya formirovaniya tekhnicheskoy bezopasnosti polnogo zhiznennogo tsikla transportnykh i tekhnologicheskikh mashin: monografiya [Tekst] / N.S. Sevryugina. - Belgorod: Izd-vo BGTU, 2012. - 179 s.
14. Tryastin, A. P. Metodologicheskie aspekty sistemnogo analiza opasnostey pri ekspluatatsii mo-bil'nykh samokhodnykh mashin sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya [Tekst] / A.P. Tryastin, YU.N. Baranov, O.N. Danilina // Vestnik APK Verkhnevolzh'ya. - 2009. - № 3. - S. 77-80.
15. Tryastin, A. P. Uluchshenie usloviy i okhrany truda vodi-teley, zanyatykh perevozkoj opasnykh gruzov v agropromyshlennom komplekse putem razrabotki i vnedreniya inzhenerno-tekhnicheskikh predlozheniy i organizatsionnykh meropriyatiy [Tekst]: dis. ... kand. tekhn. nauk / Tryastin Anton Pavlovich. - Orel, 2006.
16. Tryastin, A.P. Formirovanie kompleksnoy tekhnologicheskoy bezopasnosti avtotransportnykh sistem [Tekst] / A.P. Tryastin // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2013. - № 3 (42). - S. 89-94.
17. Federal'nyy zakon ot 27.12.2002g. № 184-FZ "o tekhnicheskome regulirovani", 19 s.

**Sevryugina Hope Savelievna**

FGBOU VPO "State University-UNPK"

Address: Russia, 302030, Orel, ul. Moscow, 77

Kand. tehn. professor of "Service and repair of machinery"

E-mail: nssevr@yandex.ru

УДК 629.113.004.67

А.С. ДЕНИСОВ, К.Н. ПРИКАЗЧИКОВ

## ВЛИЯНИЕ ПЕРИОДИЧНОСТИ, ОБЪЕМА И КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НА ЗАТРАТЫ НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ АВТОБУСОВ

Обоснованы аналитические зависимости затрат на обеспечение работоспособности автобусов от параметров уровня качества. Эти зависимости подтверждены экспериментальными статистическими данными и используются централизованными специализированными предприятиями при планировании затрат на обеспечение качество профилактики.

**Ключевые слова:** техническое обслуживание, ремонт, периодичность, качество, трудоемкость, время, цена.

Уровень профилактики характеризуется тремя показателями: *периодичность; качество; трудоемкость*. Из этих показателей, только качество входит в тройку факторов – *время, цена, качество* – определяющих конкурентоспособность товара (услуги). Таким образом, наблюдается пересечение показателей уровня профилактики и факторов конкурентоспособности услуги (рис. 1.).

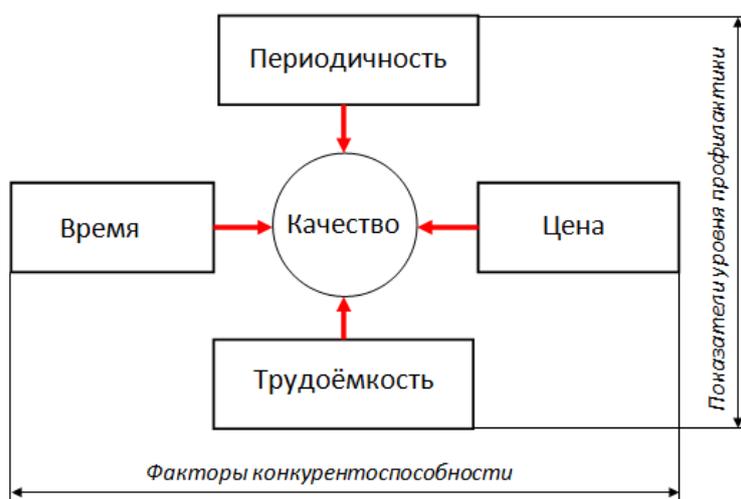


Рисунок 1 - Влияние показателей уровня профилактики и факторов конкурентоспособности на качество

Показатели уровня профилактики и факторы конкурентоспособности услуги имеют выраженное влияние друг на друга

*Периодичность ТО* – это нормативная наработка (в километрах пробега или часах работы) между двумя последовательно проводимыми однородными работами ТО [1].

*Нарботка* – это продолжительность работы изделия, измеряемая в часах или километрах пробега, а в ряде случаев в единицах выполненной работы.

Существует большое многообразие определений понятия качество. Рассмотрим два определения. *Качество* – совокупность свойств и мера полезности продукции, товаров, услуг, работ, определяющая их способность более полно удовлетворять общественные и личные потребности. Обусловлено уровнем соответствия товаров и услуг нормативам стандартов, условиям договоров, запросам потребителей. Различают качество продукции, труда, материалов, работ и услуг [2].

В следующем определении под продукцией подразумеваются услуги, работы, материалы и т.п. *Качество продукции* – совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением [3].

*Уровень качества продукции* – определяется сопоставлением показателей качества сравниваемой продукции с эталонными при планировании, учете, контроле и анализе степени удовлетворения конкретных потребностей.

*Трудоёмкость* – экономический показатель, характеризующий затраты рабочего времени на производство товара или на выполнение конкретной технологической операции. Он определяет эффективность использования трудовых ресурсов [2]. На величину этого показателя воздействуют различные факторы: технический уровень производства, квалификация работников, организация и условия труда, сложность изготавливаемой продукции или выполняемой операции и т.д.

В настоящее время имеют место [4]: недостаточная техническая готовность парка автомобилей; большие (до 45 %) непроизводительные потери рабочего времени персоналом; полнота выполнения технологических операций при ТО-1 не превышает 55 %, а при ТО-2 – 52 % для грузовых автомобилей и автобусов. Надежность выполнения операций ТО, оцениваемая безошибочностью, составляет для ТО-1 38-43 %, а для ТО-2 не более 45 %. Все это в совокупности существенно обостряет проблему поддержания надежности автомобилей на должном уровне, которая самым тесным образом связана с качеством функционирования системы обслуживания и ремонта и формированием доверия к ней потребителей услуг.

Согласно проводимым в разное время статистическим исследованиям периодичность и качество ТО имеют значительное влияние на затраты по техническому содержанию автомобилей. Одно из последних исследований показывает, что в зависимости от этих показателей средняя периодичность текущих ремонтов (ТР) автомобилей меняется в несколько раз (табл. 1.).

Таблица 1 - Изменение наработки на текущий ремонт в зависимости от периодичности и качества технического обслуживания [5]

Виды выполняемых работ	Средняя наработка на текущий ремонт, тыс. км		Отношение наработок
	I группа*	II группа	
<b>Крепежные</b>	3,7	3,1	1,2
Регулировочные	4,0	1,6	2,5
Восстановление герметичности (устранение утечек и т.п.)	4,2	3,4	1,2
Замена узлов и агрегатов	3,2	1,6	2,0
Среднее по всем работам	0,9	0,5	1,9
* В I группе периодичность и качество ТО соответствуют положению о техническом обслуживании и ремонте [66], а во II группе ТО проводится в соответствии со сложившейся в АТП периодичностью, превышающей рекомендации положения.			

Несоблюдение периодичности ТО приводит к снижению наработки на отказ (то есть на текущий ремонт) в 1,9 раза. Причем несоблюдение регламента работ по регулировочным работам наиболее сильно влияет на снижение наработок (соотношение – 2,5).

Имеются данные, которые говорят о влиянии качества профилактики не только на объем, но и на состав текущего ремонта (табл. 1, рис. 2). Из них следует: во-первых, наблюдается значительное снижение общего количества работ по текущему ремонту (ТР) по мере улучшения качества проведения ТО; во-вторых, наблюдается более значительное по сравнению с другими работами сокращение количества крепежных работ. Необходимо также отметить, что согласно распределению трудоёмкости ТР подвижного состава по видам работ и производственным отделениям [6] на крепежные и регулировочные работы приходится до 27 % от общей трудоёмкости всех операций связанных с ТР.

Таблица 2 - Изменение характера текущего ремонта в зависимости от качества ТО [5]

Качество выполнения ТО	Количество случаев текущего ремонта, %			
	крепежные работы	регулировка	замена узлов, агрегатов	прочее
<b>Неудовлетворительное</b>	43	30,5	40,0	48,6
Удовлетворительное	15,3	26,5	27,1	19,9
Хорошее	7,3	17,0	10,6	14,2

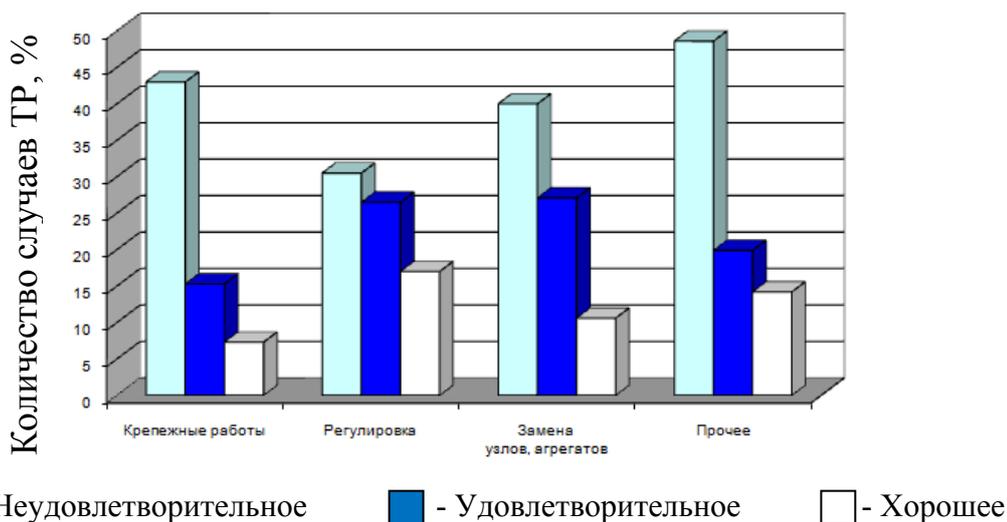


Рисунок 2 - Изменение характера текущего ремонта в зависимости от качества ТО

На основании полученных выводов, можно говорить о значительном снижении трудовых затрат. Данные таблицы 2 можно использовать для получения представления о динамике изменения затрат на ТР в результате повышения качества ТО.

Если сделать допущение, что стоимость текущего ремонта не меняется с повышением качества и составляет некоторую усредненную величину  $C_p$ , то суммарные затраты на ремонт  $S_p$  можно получить в результате умножения  $C_p$  на количество случаев ремонта  $N_p$

$$S_p = C_p \times N_p \quad (1)$$

А так, как  $C_p$  является постоянной величиной, то для определения процентного изменения затрат на ТР (динамики изменения затрат на ТР) достаточно знание процентного изменения количества случаев ремонта при разных качествах проведения ТО относительно количества случаев ТР при неудовлетворительном качестве. Таким образом, мы можем получить зависимость изменения затрат на ремонт вследствие повышения качества проведения ТО. На основании приведенных расчетов и предположения, что уровень качества ТО оценивается, как произведения долей полноты выполнения операций, превышения периодичности над нормативной, получены зависимости относительного изменения и удельных затрат на ТР от уровня качества ТО по 21 предприятию (рис. 3, 4).

Подтверждаются предположения о характере изменения затрат на ремонт от затрат на повышение качества проведения работ по ТО на фиксированном пробеге. С точки зрения логистики, имеет место потребность в представлении качества продукции (товаров, услуг и

т.п.) через затраты. Поэтому, параллельно с использованием затратного механизма, необходимо использование других показателей, способствующих правильной оценке уровня качества.

Таблица 3 - Снижение затрат на ремонт с повышением качества ТО

Качество выполнения ТО	Количество случаев ТР *, %	Процент от количества случаев неудовлетворительного качества, %	Снижение затрат на ТР, %
Неудовлетворительное	162,1	100	0
Удовлетворительное	88,8	54,78	45,22
Хорошее	49,1	30,29	69,71

\* значения в данном столбце получены суммированием случаев текущих ремонтов по всем работам для соответствующего качества ТО из таблицы 1.

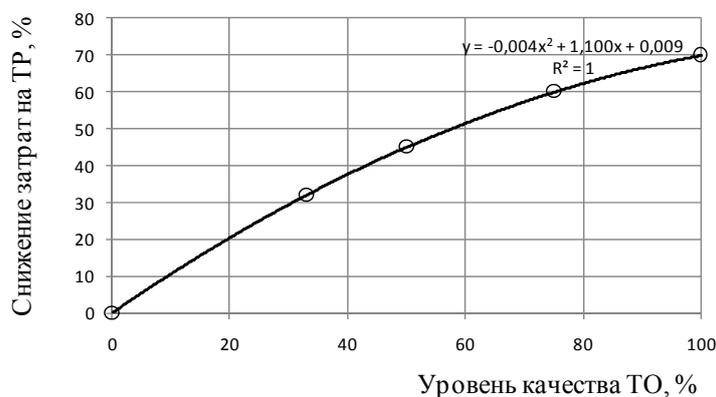


Рисунок 3 - Изменение затрат на ремонт в зависимости от качества ТО

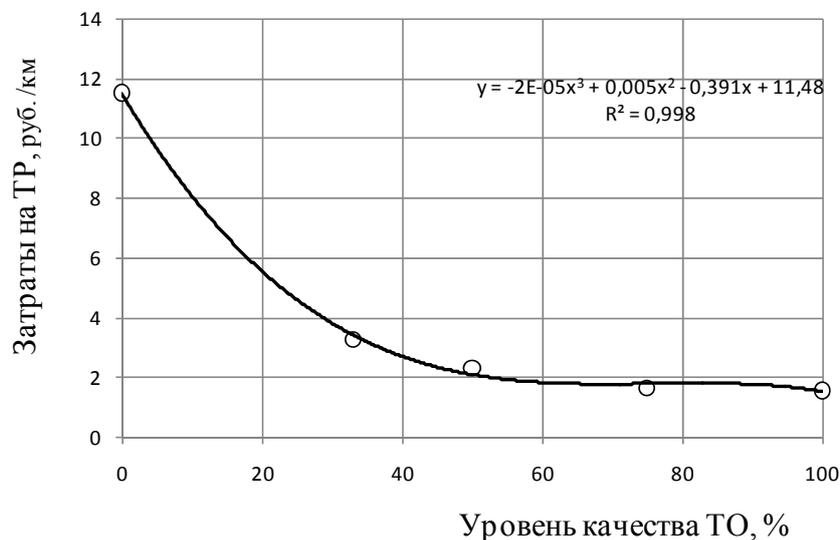


Рисунок 4 - Зависимость удельных затрат на ТР от уровня качества ТО

Можно сказать, что повышать качество технического обслуживания целесообразно до определенного оптимального уровня, которому соответствует минимум эксплуатационных затрат.

Целесообразность отклонения от этих оптимумов может наблюдаться в том случае, если эти отклонения позволят решить какие-то определенные задачи, включаемые в рассмотрение, с минимальными общими затратами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов, Е.С. Техническая эксплуатация автомобилей [Текст]: учебник для вузов / Е.С. Кузнецов, В.П. Воронов, А.П. Болдин и др.; под ред. Е.С. Кузнецова. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Транспорт, 1991. - 413 с.
2. Василевский, А.И. Экономика. Современная экономическая наука в понятиях и терминах [Текст]: школьный справочник / А.И. Василевский. - Ярославль: Академия развития, 1997. - 256 с.
3. Воронов, В.П. Управление качеством технических обслуживаний и ремонтов автомобилей на автотранспортных предприятиях [Текст] / В.П. Воронов. - М.: МАДИ, 1987. - 85 с.
4. Трубицын, В.А. Качество и эффективность системы обслуживания и ремонта автомобилей [Текст] / В.А. Трубицын, В.С. Селин // Пути повышения эффективности в эксплуатации автомобилей. - Саратов: Саратовский политехнический институт. - 1992. С. 78-82.
5. Лукинский, В.С. Модели и алгоритмы управления обслуживанием и ремонтом автотранспортных средств [Текст]: учебное пособие по спец. 060813 – Экономика и управление на предприятиях транспорта / В.С. Лукинский, Е.И. Зайцев, В.И. Бережной // СПб.: СПбГИЭА. - 1997. - ISBN 5-88996-063-6.
6. Напольский, Г.М. Технологическое проектирование автотранспортных предприятий и станций технического обслуживания [Текст] / Г.М. Напольский. - М.: Транспорт, 1993. - 272 с.
7. Авдонкин, Ф.Н. Оптимизация изменения технического состояния автомобиля в процессе эксплуатации [Текст] / Ф.Н. Авдонкин. - М.: Транспорт, 1993. - 350 с.
8. Автомобильная промышленность за рубежом [Текст] / Общ. ред. и предисл. Ю.Н. Карпова. - Пер. с англ. - М.: Прогресс, 1986. - 488 с.
9. Асоян, А.Р. Научные основы повышения долговечности автомобильных двигателей совершенствованием методов оценки технического состояния и технологий восстановления их основных элементов [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук. - Волгоград., 2012. - 384 с.
10. Басков, В.Н. Эксплуатационные факторы и надежность автомобиля [Текст] / В.Н. Басков, А.С. Денисов. - Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2003. - 269с.
11. Власов, В.М. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей [Текст]: учебник / В.М. Власов. - М.: Издательский центр «Академия», 2004. - 480 с.
12. Гаджинский, А.М. Логистика [Текст]: учебник для высших и средних специальных учебных заведений. - М.: Информационно-внедренческий центр «Маркетинг», 1998. - 228 с.
13. Гаджинский, А.М. Основы логистики [Текст] / А.М. Гаджинский. - М.: Информационно-внедренческий центр «Маркетинг», 1995. - 124 с.
14. Говорущенко, Н.Я. Новая тактика управления техническим состоянием автомобилей [Текст] / Н.Я. Говорущенко // Автомобильный транспорт. - 1980. - №4. - С. 22–25.
15. Говорущенко, Н.Я. Техническая эксплуатация автомобилей [Текст] / Н.Я. Говорущенко. - Харьков: Вища школа, 1984. - 312 с.
16. Говорущенко, Н.Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте [Текст] / Н.Я. Говорущенко. - М.: Транспорт, 1990. - 135 с.
17. Данилов, И.К. Моделирование и оптимизация структуры эксплуатационно-ремонтного цикла ДВС [Текст] / И.К. Данилов. - Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2004. - 110 с.
18. Дегтяренко, В.Н. Основы логистики и маркетинга [Текст]: учебное пособие. - Ростов-на-Дону: Гос. академия строительства, 1992. - 128 с.
19. Денисов, А.С. Основы маркетинга транспортных и сервисных услуг [Текст]: учебное пособие / А.С. Денисов. - Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т., 1997. - 84 с.
20. Денисов, А.С. Централизация и специализация предприятий автосервиса [Текст]: учебное пособие / А.С. Денисов, Р.В. Романцов. - Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т., 2008. - 116 с.
21. Денисов, А.С. Практикум по технической эксплуатации автомобилей [Текст] / А.С. Денисов, А.С. Гребенников. - Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2004. - 112 с.
22. Денисов, А.С. Основы формирования структуры эксплуатационно-ремонтного цикла автомобилей [Текст] / А.С. Денисов. - Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 1999. - 352 с.
23. Денисов, А.С. Ресурсосбережение при централизации обеспечения работоспособности кузовов автобусов [Текст] / А.С. Денисов, Б.А. Кайданов, К.Н. Приказчиков // Автотранспортное предприятие. - 2010. - № 6. - С. 48-52.
24. Денисов, А.С. Оценка технического состояния городского пассажирского автотранспорта [Текст] / А.С. Денисов, К.Н. Приказчиков // Совершенствование технологий и организации обеспечения работоспособности машин. - Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т. - 2011. - С. 23-25.

25. Дехтеринский, Л.В. Концентрация и специализация производства [Текст]: учебное пособие / Л.В. Дехтеринский, В.И. Карагодин. – М.: МАДИ, 1980. – 85 с.

26. Дихтль, Е. Практический маркетинг [Текст]: учеб. пособие / Е. Дихтль, Х. Хершген. - пер. с нем. А.М. Макарова; под ред. И.С. Минко. – М.: Высш. шк., 1995. – 255 с: ил.

27. Жданов, С.А. Экономические модели и методы в управлении [Текст] / С.А. Жданов. – М.: Издательство «Дело и Сервис», 1998. – 176 с.

**Денисов Александр Сергеевич**

ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Адрес: Россия, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

Д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Автомобили и автомобильное хозяйство»

**Приказчиков Константин Николаевич**

ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Адрес: Россия, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

Аспирант кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство», ведущий инженер технического отдела Филиала 9 автобусный парк ГУП «Мосгортранс»

E-mail: denisov0307@yandex.ru; pto\_prikazchikov@mail.ru

---

A.S. DENISOV, K.N. PRIKAZCHIKOV

## INFLUENCE OF THE FREQUENCY, VOLUME AND QUALITY OF TECHNICAL SERVICE ON THE COST OF PROVIDING HEALTH BUSES

*Grounded analytical relationships to ensure the cost efficiency of buses on the parameters of quality. These relationships are confirmed by experimental and statistical data used by centralized specialized enterprises in the planning cost of providing quality prevention.*

**Keywords:** *maintenance, repair, frequency, quality, complexity, the time, the price.*

### BIBLIOGRAPHY

1. Kuznetsov, E.S. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya avtomobiley [Tekst]: uchebnyk dlya vuzov / E.S. Kuznetsov, V.P. Voronov, A.P. Boldin i dr.; pod red. E.S. Kuznetsova. - 3-e izd., pererab. i dop. - M.: Transport, 1991. - 413 s.
2. Vasilevskiy, A.I. Ekonomika. Sovremennaya ekonomicheskaya nauka v ponyatiyakh i terminakh [Tekst]: shkol'nyy spravochnik / A.I. Vasilevskiy. - YAroslavl': Akademiya razvitiya, 1997. - 256 s.
3. Voronov, V.P. Upravlenie kachestvom tekhnicheskikh obsluzhivaniy i remontov avtomobiley na avto-transportnykh predpriyatiyakh [Tekst] / V.P. Voronov. - M.: MADI, 1987. - 85 s.
4. Trubitsyn, V.A. Kachestvo i effektivnost' sistemy obsluzhivaniya i remonta avtomobiley [Tekst] / V.A. Trubitsyn, V.S. Selin // Puti povysheniya effektivnosti v ekspluatatsii avtomobiley. - Saratov: Sara-tovskiy politekhnicheskii institut. - 1992. S. 78-82.
5. Lukinskiy, V.S. Modeli i algoritmy upravleniya obsluzhivaniem i remontom avtotransportnykh sredstv [Tekst]: uchebnoe posobie po spets. 060813- Ekonomika i upravlenie na predpriyatiyakh transporta / V.S. Lukinskiy, E.I. Zaytsev, V.I. Berezhnoy // SPb.: SPbGIEA. - 1997. - ISBN 5-88996-063-6.
6. Napol'skiy, G.M. Tekhnologicheskoe proektirovanie avtotransportnykh predpriyatiy i stantsiy tekhnicheskogo obsluzhivaniya [Tekst] / G.M. Napol'skiy. - M.: Transport, 1993. - 272 s.
7. Avdon'kin, F.N. Optimizatsiya izmeneniya tekhnicheskogo sostoyaniya avtomobilya v protsesse ekspluatatsii [Tekst] / F.N. Avdon'kin. - M.: Transport, 1993. - 350 s.
8. Avtomobil'naya promyshlennost' za rubezhom [Tekst] / Obshch. red. i predisl. YU.N. Karpova. - Per. s angl. - M.: Progress, 1986. - 488 s.
9. Asoyan, A.R. Nauchnye osnovy povysheniya dolgovечnosti avtomobil'nykh dvigateley sovershenstvovaniem metodov otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya i tekhnologiy vosstanovleniya ikh osnovnykh elementov [Tekst]: dis. ... d-ra tekhn. nauk. - Volgograd., 2012. - 384 s.
10. Baskov, V.N. Ekspluatatsionnye faktory i nadezhnost' avtomobilya [Tekst] / V.N. Baskov, A.S. Denisov. - Saratov: Sarat. gos. tekhn. un-t, 2003. - 269s.
11. Vlasov, V.M. Tekhnicheskoe obsluzhivanie i remont avtomobiley [Tekst]: uchebnyk / V.M. Vlasov. - M.: Izdatel'skiy tsentr "Akademiya", 2004. - 480 s.

12. Gadzhinskiy, A.M. Logistika [Tekst]: uchebnik dlya vysshikh i srednikh spetsial'nykh uchebnykh zavedeniy. - M.: Informatsionno-vnedrencheskiy tsentr "Marketing", 1998. - 228 s.
13. Gadzhinskiy, A.M. Osnovy logistiki [Tekst] / A.M. Gadzhinskiy. - M.: Informatsionno-vnedrencheskiy tsentr "Marketing", 1995. - 124 s.
14. Govorushchenko, N.YA. Novaya taktika upravleniya tekhnicheskim sostoyaniem avtomobiley [Tekst] / N.YA. Govorushchenko // Avtomobil'nyy transport. - 1980. - №4. - S. 22-25.
15. Govorushchenko, N.YA. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya avtomobiley [Tekst] / N.YA. Govorushchenko. - Har'kov: Vishcha shkola, 1984.- 312 s.
16. Govorushchenko, N.YA. Ekonomiya topliva i snizhenie toksichnosti na avtomobil'nom transporte [Tekst] / N.YA. Govorushchenko. - M.: Transport, 1990. - 135 s.
17. Danilov, I.K. Modelirovanie i optimizatsiya struktury ekspluatatsionno-remontnogo tsikla DVS [Tekst] / I.K. Danilov. - Saratov: Sarat. gos. tekhn. un-t, 2004. - 110 s.
18. Degtyarenko, V.N. Osnovy logistiki i marketinga [Tekst]: uchebnoe posobie. - Rostov-na-Donu: Gos. akademiya stroitel'stva, 1992. - 128 s.
19. Denisov, A.S. Osnovy marketinga transportnykh i servisnykh uslug [Tekst]: uchebnoe posobie / A.S. Denisov. - Saratov: Sarat. gos. tekhn. un-t., 1997. - 84 s.
20. Denisov, A.S. Tsentralizatsiya i spetsializatsiya predpriyatiy avtoservisa [Tekst]: uchebnoe posobie / A.S. Denisov, R.V. Romantsov. - Saratov: Sarat. gos. tekhn. un-t., 2008. - 116 s.
21. Denisov, A.S. Praktikum po tekhnicheskoy ekspluatatsii avtomobiley [Tekst] / A.S. Denisov, A.S. Grebennikov. - Saratov: Sarat. gos. tekhn. un-t, 2004. - 112 s.
22. Denisov, A.S. Osnovy formirovaniya struktury ekspluatatsionno-remontnogo tsikla avtomobiley [Tekst] / A.S. Denisov. - Saratov: Sarat. gos. tekhn. un-t, 1999. - 352 s.
23. Denisov, A.S. Resursoberezhenie pri tsentralizatsii obespecheniya rabotosposobnosti kuzovov av-tobusov [Tekst] / A.S. Denisov, B.A. Kaydanov, K.N. Prikazchikov // Avtotransportnoe predpriyatie. - 2010. - № 6. - S. 48-52.
24. Denisov, A.S. Otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya gorodskogo passazhirskogo avtotransporta [Tekst] / A.S. Denisov, K.N. Prikazchikov // Sovershenstvovanie tekhnologiy i organizatsii obespecheniya rabotosposobnosti mashin. - Saratov: Sarat. gos. tekhn. un-t. - 2011. - S. 23-25.
25. Dekhterinskiy, L.V. Kontsentratsiya i spetsializatsiya proizvodstva [Tekst]: uchebnoe posobie / L.V. Dekhterinskiy, V.I. Karagodin. - M.: MADI, 1980.- 85 s.
26. Dikhtl', E. Prakticheskiy marketing [Tekst]: ucheb. posobie / E. Dikhtl', H. Hershgen. - per. s nem. A.M. Makarova; pod red. I.S. Minko. - M.: Vyssh. shk., 1995. - 255 s: il.
27. ZHDanov, S.A. Ekonomicheskie modeli i metody v upravlenii [Tekst] / S.A. ZHDanov. - M.: Izdatel'-stvo "Delo i Servis", 1998. - 176 s.

**Denisov Alexander Sergeevich**

FGBOU VPO "Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin"

Address: Russia, 410054, g. Saratov, ul. Polytechnique, 77

Dr. Sc. , Professor, Head of Department "Automobiles and automobile economy»

**Prikazchikov Konstantin Nikolaevich**

FGBOU VPO "Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin"

Address: Russia, 410054, g. Saratov, ul. Polytechnique, 77

Student of "Cars and car economy", the chief engineer of the technical department of the branch 9 bus fleet SUE "Mosgortrans"

E-mail: denisov0307@yandex.ru; pto\_prikazchikov@mail.ru

УДК 621.357.77

Е.В. АГЕЕВ, Е.В. АГЕЕВА, Н.М. ХОРЬЯКОВА

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕДНОГО ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО НАНОПОРОШКА В ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЯХ ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ

*В статье описано получение медных гальванических покрытий для поршневых колец, модифицированных наночастицами электроэрозионной меди и исследование полученного покрытия.*

**Ключевые слова:** медные нанопорошки, электроэрозионное диспергирование, гальваническое покрытие, износ цилиндров двигателей, твердость, приработка поршневых колец.

Поршневые кольца относятся к самым важным деталям автомобиля. От их состояния напрямую зависит работоспособность машины – ее разгонная динамика, расход масла и топлива, пусковые свойства двигателя, токсичность выхлопных газов и многие другие эксплуатационные показатели. Сейчас производством поршневых колец занимается довольно много предприятий. Отметим российские заводы в Мичуринске, Костроме, Ставрополе, Тольятти, Ижевске, Московской области, Лебединске, плюс производство в странах ближнего зарубежья – в Одессе и Запорожье (Украина), а также в Макинске (Казахстан) [1].

У каждого завода свои проблемы с сырьем, оборудованием, технологией, решаемые далеко не всегда успешно. Не везде есть хорошее оборудование, не все соблюдают технологии, особенно на последних операциях – притирка, снятие заусенцев и др. Но главная проблема для всех заводов – это материал колец. Чугун, из которого делают заготовки, не соответствует по составу материалам иностранных фирм, в нем не хватает легирующих элементов (молибден и др.) из-за их высокой цены. Некоторые заводы перешли на стальные кольца, но качество лучше не стало, поскольку у этой технологии немало своих хитростей. Да и с качеством ленты для стальных колец тоже есть проблемы [1].

Фирма SM («Шоттле Мотортайле», Германия) для снижения износа цилиндров двигателей внутреннего сгорания выпускает омедненные поршневые кольца. Нанесение слоя гальванической меди (cooper plated), благодаря пластическим свойствам которой развитый контакт создается за очень короткое время, способствует обеспечению быстрой приработки поршневых колец. Омедненные кольца ставят в верхние канавки поршня, где условия для приработки особенно затруднены. Проведенные сравнительные испытания показали, что применение омедненных поршневых колец снижает износ цилиндров двигателей в 500 раз [2, 3].

С другой стороны, автомобильная промышленность – не только важнейший потребитель гальванических и иных технологий покрытия поверхности, но и инициатор развития гальванотехники. Значительное влияние на свойства гальванических покрытий оказывает диспергирование в матрице покрытия наночастиц размером до 500 нм [4, 5]. Омеднение поршневых колец с использованием нанопорошков может стать решением существующих у отечественных производителей проблем и снизить износ цилиндров двигателей.

Для получения наноразмерных частиц часто используют электрохимические методы. На наш взгляд, метод электроэрозионного диспергирования (ЭЭД) выглядит весьма привлекательно для получения дисперсных систем. Процесс ЭЭД представляет собой разрушение токопроводящего материала в результате локального воздействия кратковременных электрических разрядов между электродами. Метод позволяет нанодиспергировать металлы и сплавы, процесс проходит внутри диэлектрической жидкости, продукты трансформации которой покрывают образующиеся наночастицы [6-8]. Однако, ЭЭД обладает очень существенными конкурентными преимуществами, такими как простота конструкции оборудования, возмож-

ность работы в жидкой среде, возможность получения сферических наночастиц с размерами 2,5–100 нм, использование в качестве металлической загрузки отходов, возможность управления характеристиками получаемых порошков, безвредность и экологическая чистота процесса, отсутствие механического износа оборудования, малые энергозатраты [9-20].

Учитывая вышесказанное, модификация известных гальванических покрытий наночастицами, полученными электроэрозионным диспергированием является актуальной.

Поэтому, целью настоящей работы было получение и исследование медных гальванических покрытий, полученных с добавлением медного электроэрозионного нанопорошка.

Для получения нанопорошка меди из медных отходов использовали установку для ЭЭД токопроводящих материалов [21, 22]. В качестве диспергируемого материала для выполнения намеченных исследований были выбраны отходы электротехнической медной проволоки. В качестве рабочей жидкости – вода дистиллированная. Процесс ЭЭД медных отходов проводили при следующих электрических параметрах установки: частота следования импульсов 100...120 Гц; напряжение на электродах 200...220 В; емкость конденсаторов 25,5 мкФ.

Наночастицы меди с помощью центрифуги отделили от крупноразмерных. Оставшейся после центрифугирования раствор выпарили. Осевший на стенки посуды для выпаривания нанопорошок растворили, ввели в стандартный электролит блестящего меднения, который в дальнейшем использовали для нанесения медного гальванического покрытия.

Гальванические медные покрытия получали электроосаждением слоя металла из электролита. Для электроосаждения металла использовали гальваническую установку (L1-210 v2, Италия). В качестве подложки использовали сталь 30ХГСА. Для подготовки стальной поверхности использовали состав электрохимического обезжиривания (универсальный) и раствор для электрохимической активации металлов фирмы «24 КАРАТА» (Москва, Россия).

В качестве электролита использовали электролит гальванического блестящего меднения фирмы «24 КАРАТА» (Москва, Россия). На сталь медное покрытие наносили после никелевого, полученного с помощью электролита никелирования подслоного фирмы «24 КАРАТА» (Москва, Россия). Технологические параметры подготовки стальной подложки, нанесения подслоя никеля и слоя меди представлены в таблице 1. Были получены стандартное покрытие, и покрытие, с добавкой электроэрозионных наночастиц меди.



*Рисунок 1 – Фотографии полученных медных покрытий (слева – стандартное, справа – с наночастицами меди)*

Таблица 1 – Технологические параметры подготовки стальной подложки, нанесения подслоя никеля и слоя меди

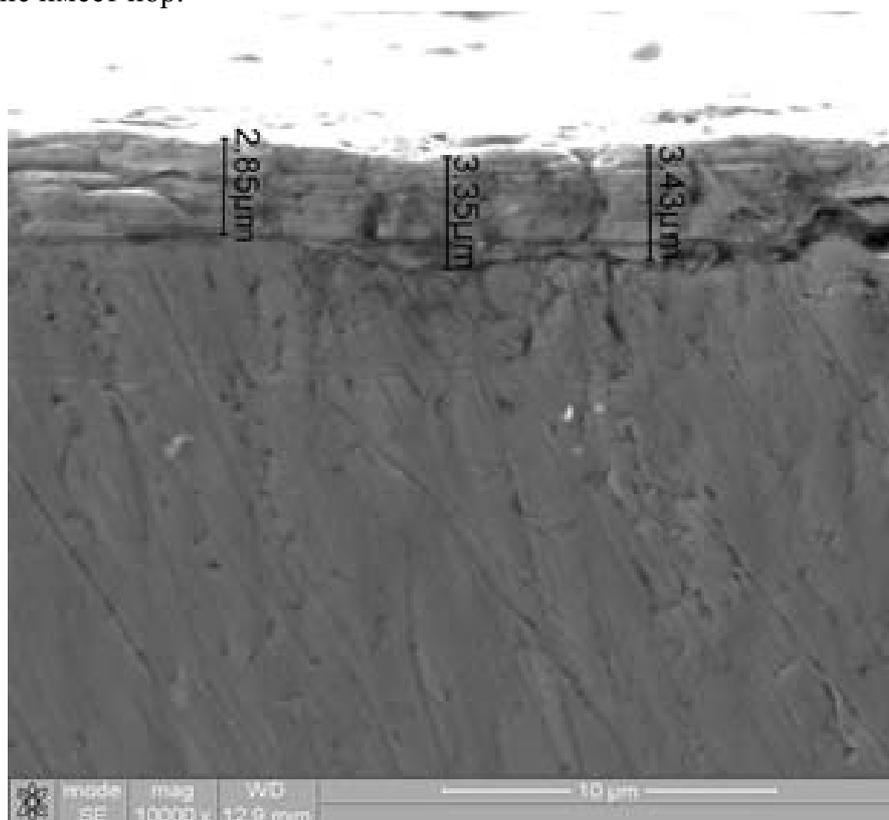
№	Стадия	Используемый электролит	Технологические параметры	Значение параметра
1	Обезжиривание стальной поверхности	Состав электрохимического обезжиривания (универсальный)	Материал анода	Нержавеющая сталь
			Соотношение площадей анод-катод	1:1
			Материал ванны	Химстекло
			Температура, °С	Комнатная
			Напряжение, В	10
			Плотность тока, А/дм <sup>2</sup>	15
2	Активация стальной поверхности	Раствор для электрохимической активации металлов	Материал анода	Нержавеющая сталь
			Соотношение площадей анод-катод	1:1
			Материал ванны	Химстекло
			Температура, °С	Комнатная
			Напряжение, В	2,5
			Плотность тока, А/дм <sup>2</sup>	4
3	Нанесение подслоя никеля	Электролит гальванического никелирования	Материал анода	Анодный никель марки НПА-1
			Соотношение площадей анод-катод	1:1
			Материал ванны	Химстекло
			Температура, °С	Комнатная
			Напряжение, В	1,5
			Плотность тока, А/дм <sup>2</sup>	3
4	Нанесение медного покрытия	Электролит гальванического блестящего меднения	Материал анода	Анодная медь марки АМФ
			Соотношение площадей анод-катод	1:1
			Материал ванны	Химстекло
			Температура, °С	Комнатная
			Напряжение, В	2,5
			Плотность тока А/дм <sup>2</sup>	6
			Перемешивание	Обязательно

Полученные медное гальваническое покрытие и медное гальваническое покрытие с добавкой электроэрозийных наночастиц меди исследовали различными методами.

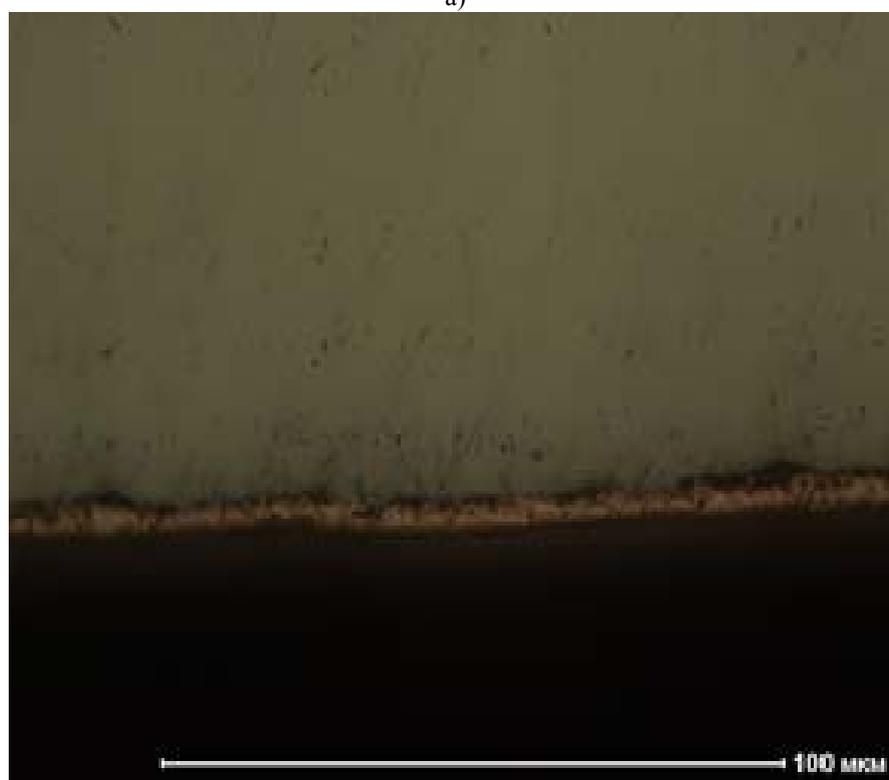
Методом растровой электронной и оптической микроскопии было проведено исследование микроструктуры образцов (по поперечному шлифу). Поверхность образцов шлифовали и полировали. Шлифование производили металлографической бумагой с крупным (№№ 60-70) и мелким зерном (№№ 220-240). В процессе шлифования образец периодически поворачивали на 90°. Смывали частицы абразива водой и подвергали полированию на круге суспензиями из оксидов металла (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). После достижения зеркального блеска, поверхность шлифа промывали водой, спиртом и просушивали фильтровальной бумагой.

Результаты исследования образца медное покрытие приведены на рисунке 2. Результаты исследования образца медное покрытие с добавкой электроэрозийных наночастиц меди приведены на рисунке 3. Исходя из рисунков, установлено, что покрытие, полученное с

добавлением наночастиц электроэрозионной меди более имеет более плотную структуру и практически не имеет пор.

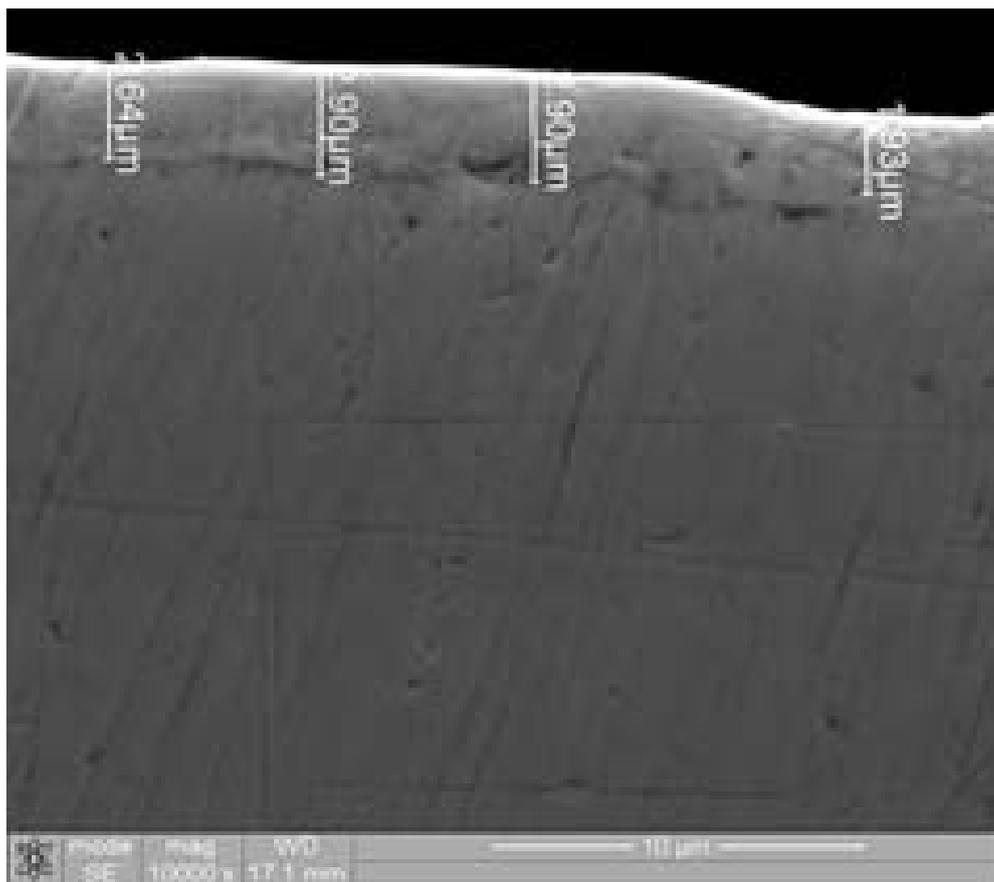


а)

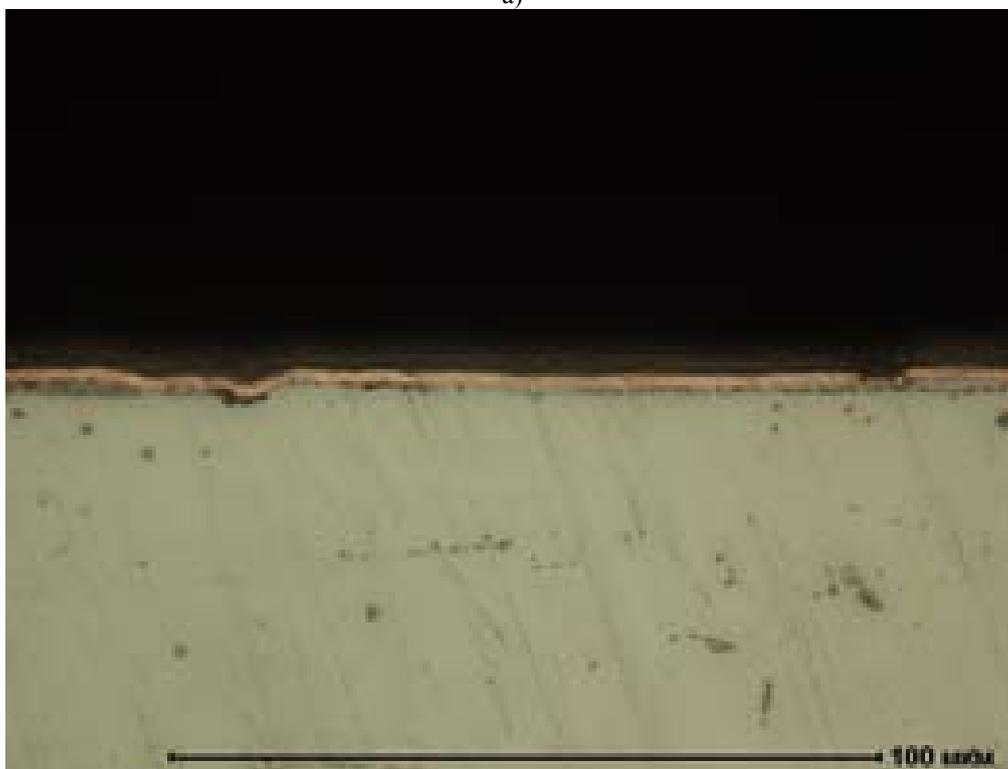


б)

**Рисунок 2 – Микроструктура образца медное покрытие:**  
а – поперечный шлиф (Quanta 200 3D), б – поверхность (OLYMPUS GX51)



а)



б)

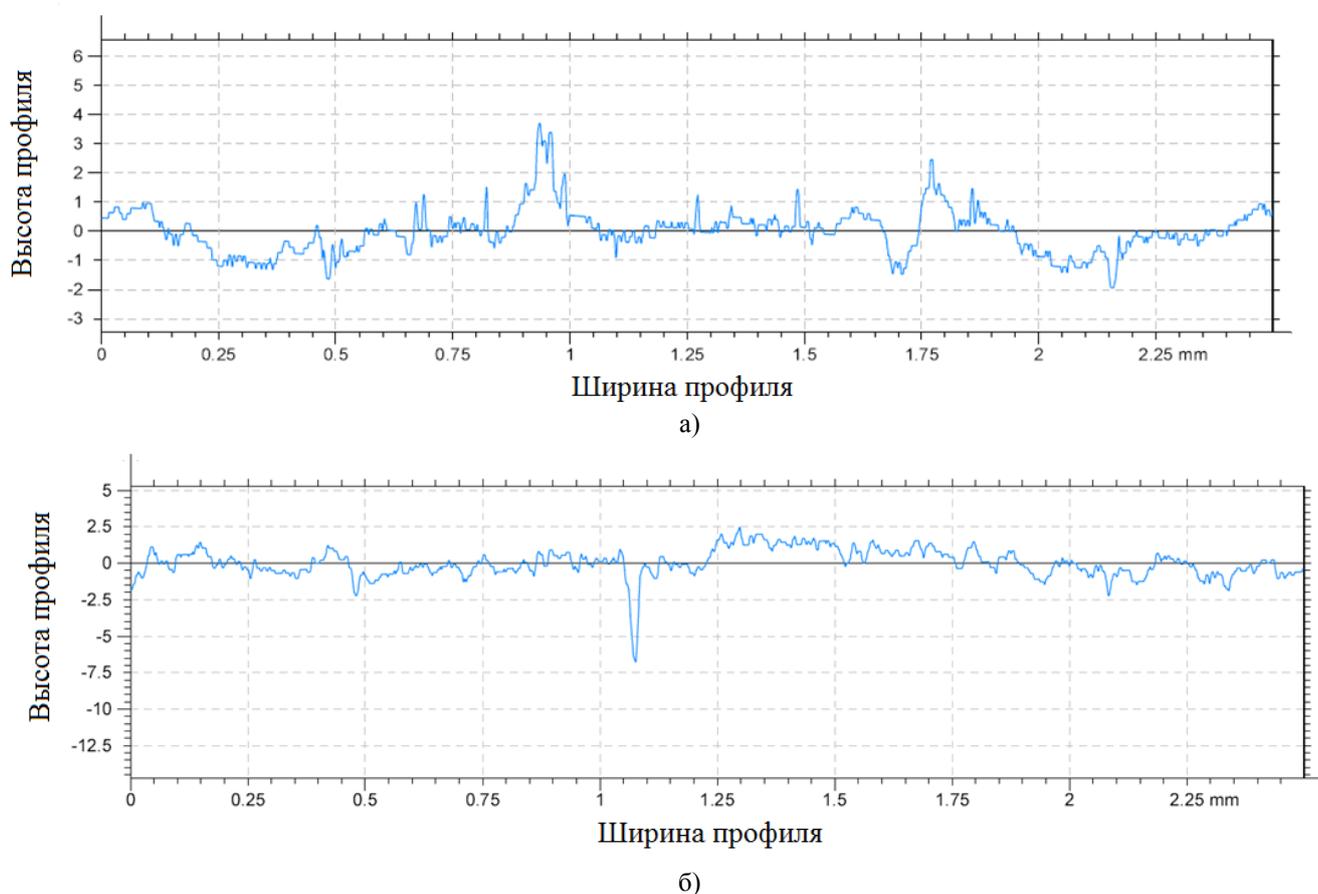
Рисунок 3 – Микроструктура образца медное покрытие с добавкой электроэрозионных наночастиц меди:  
а – поперечный шлиф (Quanta 200 3D), б – поверхность (OLYMPUS GX51)

Шероховатость поверхности определяли с помощью автоматизированного прецизионного контактного профилометра (SURTRONIC 25, Великобритания). Измерение линейно-

го профиля поверхности проводили путем измерения вертикального отклонения алмазного наконечника (щупа), перемещающегося под минимальной нагрузкой с постоянной скоростью в условиях механического контакта с образцом. По результатам измерений определяют поверхностный профиль вдоль прямой линии и с помощью программного обеспечения рассчитывают параметры шероховатости поверхности. Прибор может определять 35 параметров шероховатости согласно стандартам ГОСТ 2789-73, ISO, ANSI, JIS, DIN.

Результаты представлены на рисунке 4. Экспериментально установлены следующие параметры шероховатости медного покрытия с добавкой электроэрозионных наночастиц меди: среднее арифметическое отклонение профиля медного покрытия с добавкой электроэрозионных наночастиц меди  $R_a = 0,525$ ; высота неровностей профиля по 10 точкам  $R_z = 5,55$ .

Получены следующие параметры шероховатости медного покрытия: среднее арифметическое отклонение профиля медного покрытия  $R_a = 0,434$ ; высота неровностей профиля по 10 точкам  $R_z = 4,17$ .



**Рисунок 4 – Шероховатость поверхности:**

*а) медное покрытие; б) медное покрытие с добавкой электроэрозионных наночастиц меди*

Установлено, что высота неровностей профиля по 10 точкам и среднее арифметическое отклонение профиля медного покрытия с добавкой электроэрозионных наночастиц меди незначительно выше, чем у медного покрытия. Средние арифметические отклонения профилей обоих покрытий соответствуют 8 классу шероховатости деталей. Высота неровностей профиля по 10 точкам обоих покрытий соответствуют 7 классу шероховатости деталей.

Испытания твердости образца по поверхности проводили с помощью автоматической системы анализа микротвердости DM-8 по методу микро-Виккерса при нагрузке на индентор 25 г по десяти отпечаткам со свободным выбором места укола в соответствии с ГОСТом

9450-76 (Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников). Время нагружения индентора составило 15 с. Результаты измерений приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Среднее значение твердости по Виккерсу исследованных образцов

Среднее значение твердости по Виккерсу	Образец		
	Сталь	Медное покрытие	Медное покрытие плюс наночастицы меди
HV	267,0	266,0	316,0
ГПа	2,670	2,660	3,160

Отмечено, что микротвердость медного покрытия с добавкой наночастиц меди на 15% выше, чем микротвердость стальной подложки и образца со стандартным медным покрытием.

В ходе проведенного исследования был получен электроэрозионный медный нанопорошок из отходов электротехнической медной проволоки, а также, получены и исследованы медные гальванические покрытия, изготовленные с добавлением медного электроэрозионного нанопорошка и стандартного. По результатам сравнительных экспериментальных исследований установлено:

1. Высота неровностей профиля по 10 точкам и среднее арифметическое отклонение профиля медного покрытия с добавкой электроэрозионных наночастиц меди незначительно выше, чем у медного покрытия.

2. Микротвердость медного покрытия с добавкой наночастиц меди на 15 % выше, чем микротвердость стальной подложки и образца со стандартным медным покрытием.

3. Покрытие, полученное с добавлением наночастиц электроэрозионной меди, имеет более плотную структуру и практически не имеет пор.

Поэтому, можно предположить, что омеднение поршневых колец с использованием нанопорошков может снизить износ цилиндров двигателей и улучшить приработку.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хрулев, А.В. Поршневые кольца для современных двигателей [Текст] / А.В. Хрулев // АБС Авто. – 1998. – № 6. – С. 10-17.
2. Гаркунов, Д.Н. Повышение износостойкости на основе избирательного переноса [Текст] / Д.Н. Гаркунов. М.: Машиностроение, 1977. – 215 с.
3. Агеев, Е.В. Повышение эксплуатационных показателей восстановленных деталей автомобилей на основе научно обоснованных ресурсосберегающих технологий, материалов и устройств [Текст] / Е.В. Агеев // Мир транспорта и технологических машин. – 2012. – № 1. – С. 32–41.
4. Хорьякова, Н.М. Электроэрозионные медные порошки для гальванических покрытий [Текст] / Н.М. Хорьякова. Е.В. Агеева, Е.В. Агеев // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2014. – № 4. – С. 18-20.
5. Агеев, Е.В. Восстановление и упрочнение деталей машин композиционными гальваническими покрытиями [Текст]: монография / Е.В. Агеев, В.И. Серебровский, Б.А. Семенихин [и др.] – Курск: Изд-во Курск. гос. с.-х. ак., 2011. – 75 с.
6. Агеев, Е.В. Состав и свойства медных порошков, полученных электроэрозионным диспергированием [Текст]: монография / Е.В. Агеев, Е.В. Агеева, Н.М. Хорьякова; Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2014. – 143 с.
7. Агеев, Е.В. Состав и свойства порошков, полученных электроэрозионным диспергированием отходов твердых сплавов [Текст]: монография / Е.В. Агеев, Р.А. Латыпов, Семенихин Б.А. [и др.]; Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2011. – 123 с.
8. Гадалов, В.Н. Металлография металлов, порошковых материалов и покрытий, полученных электроискровыми способами [Текст]: монография / В.Н. Гадалов, В.Г. Сальников, Е.В. Агеев [и др.] – М.: ИНФРА-М, 2011. – 468 с.
9. Ageeva, E. V. Morphology of Copper Powder Produced by Electrospark Dispersion from Waste [Text] / E.V. Ageeva, N.M. Horyakova, E.V. Ageev // Russian Engineering Research. – 2014. – Vol. 34. – №. 11. pp. 694-696.
10. Ageeva, E. V. Morphology and Composition of Copper Electrospark Powder Suitable for Sintering [Text] / E.V. Ageeva, E.V. Ageev, N.M. Horyakova // Russian Engineering Research, 2015, Vol. 35, No. 1, pp. 33–35.

11. Агеев, Е.В. Особенности технологии получения порошковых наплавочных материалов методом электроэрозионного диспергирования отходов твердых сплавов для наплавки шеек коленчатых валов [Текст] / Е.В. Агеев, М.Е. Сальков // *Технология металлов*. – 2008. – № 5. – С. 34–37.
12. Агеев, Е.В. Форма и морфология поверхности частиц порошков, полученных электроэрозионным диспергированием твердых сплавов, содержащих вольфрам [Текст] / Е.В. Агеев // *Технология металлов*. – 2011. – № 7. – С. 30–32.
13. Агеев, Е.В. Получение износостойких порошков из отходов твердых сплавов [Текст] / Е.В. Агеев, В.Н. Гадалов, Б.А. Семенихин [и др.] // *Заготовительные производства в машиностроении*. – 2010. – № 12. – С. 39–44.
14. Агеев, Е.В. Рентгеноструктурный анализ порошков, полученных электроэрозионным диспергированием твердого сплава [Текст] / Е.В. Агеев, В.Н. Гадалов, Б.А. Семенихин [и др.] // *Заготовительные производства в машиностроении*. – 2011. – № 2. – С. 42–44.
15. Агеев, Е.В. Рентгеноспектральный микроанализ частиц порошков, полученных электроэрозионным диспергированием твердого сплава [Текст] / Е.В. Агеев, В.Н. Гадалов, Б.А. Семенихин [и др.] // *Упрочняющие технологии и покрытия*. – 2011. – № 2. – С. 13–16.
16. Агеев, Е.В. Изучение физико-механических свойств твердосплавных порошков, полученных электроэрозионным диспергированием отходов [Текст] / Е.В. Агеев // *Упрочняющие технологии и покрытия*. – 2011. – № 6. – С. 8–14.
17. Агеев, Е.В. Получение порошков из отходов твердых сплавов методом электроэрозионного диспергирования [Текст] / Е.В. Агеев // *Электротехнология*. – 2011. – № 10. – С. 24–27.
18. Агеев, Е.В. Исследование микротвердости порошков, полученных электроэрозионным диспергированием твердого сплава и используемых при восстановлении и упрочнении деталей автотракторной техники [Текст] / Е.В. Агеев, Б.А. Семенихин, Р.А. Латыпов // *Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. Агроинженерия*. – 2011. – Вып. № 1. – С. 78–80.
19. Агеев, Е.В. Выбор метода получения порошковых материалов из отходов спеченных твердых сплавов [Текст] / Е.В. Агеев, Б.А. Семенихин // *Известия Самарского научного центра РАН*. – Самара: Изд-во Самарского науч. ц-ра РАН. – 2009. – Спец. вып.: Актуальные проблемы машиностроения. – С. 12–15.
20. Агеев, Е.В. Получение нанопорошка на основе карбида вольфрама и применение для восстановления и упрочнения деталей машин [Текст] / Е.В. Агеев, Б.А. Семенихин, Р.А. Латыпов // *Известия Самарского научного центра РАН*. – Самара: Изд-во Самарского науч. ц-ра РАН. – 2010. – т. 12 (33), № 1 (2). – С. 273–276.
21. Агеев, Е.В. Разработка установки для получения порошков из токопроводящих материалов [Текст] / Е.В. Агеев, Р.А. Латыпов и [др.] // *Известия Самарского научного центра РАН*. – Самара: Изд-во Самарского науч. ц-ра РАН. – 2009. – т. 11 (31), № 5 (2). – С. 234–237.
22. Пат. 2449859 РФ, МПК С2, В22F9/14. Установка для получения нанодисперсных порошков из токопроводящих материалов [Текст] / Агеев Е.В (RU). № 2010104316/02; Заявлено 08.02.2010; Опубл. 10.05.2012. Бюл. №12.

**Агеев Евгений Викторович**

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»

Адрес: Россия, 305040, г. Курск, 50 лет Октября, 94

Д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры «Автомобили, транспортные системы и процессы»

E-mail: ageev\_ev@mail.ru

**Агеева Екатерина Владимировна**

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»

Адрес: Россия, 305040, г. Курск, 50 лет Октября, 94

Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Фундаментальная химия и химические технологии»

E-mail: ageeva-ev@yandex.ru

**Хорьякова Наталья Михайловна**

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»

Адрес: Россия, 305040, г. Курск, 50 лет Октября, 94

Аспирант

E-mail: natali030119891@yandex.ru

E.V. AGEEV, E.V. AGEEVA, N.M. HORYAKOVA

## THE USE OF COPPER EDM THE NANOPOWDER IN THE GALVANIC COATINGS OF PISTON RINGS

*The article describes the preparation of copper electroplating for piston rings, modified nanoparticles electroerosive copper and study of the obtained coating.*

**Keywords:** *copper nanopowders, spark erosion dispersion, plating, wear cylinder engines, hardness, burnpiston rings.*

### BIBLIOGRAPHY

1. Hrulev, A.V. Porshnevye kol'tsa dlya sovremennykh dvigateley [Tekst] / A.V. Hrulev // ABS Avto. - 1998. - № 6. - S. 10-17.
2. Garkunov, D.N. Povyshenie iznosostoykosti na osnove izbiratel'nogo perenosa [Tekst] / D.N. Garkunov. M.: Mashinostroenie, 1977. - 215 s.
3. Ageev, E.V. Povyshenie ekspluatatsionnykh pokazateley vosstanovlennykh detaley avtomobiley na osnove nauchno obosnovannykh resursosberegayushchikh tekhnologiy, materialov i ustroystv [Tekst] / E.V. Ageev // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2012. - № 1. - S. 32-41.
4. Hor'yakova, N.M. Elektroerozionnye mednye poroshki dlya gal'vanicheskikh pokrytiy [Tekst] / N.M. Hor'yakova. E.V. Ageeva, E.V. Ageev // Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya. - 2014. - № 4. - S. 18-20.
5. Ageev, E.V. Vosstanovlenie i uprochnenie detaley mashin kompozitsionnymi gal'vanicheskimi pokrytiyami Tekst : monografiya / E.V. Ageev, V.I. Serebrovskiy, B.A. Semenikhin [i dr.] ? Kursk: Izd-vo Kursk. gos. s.-kh. ak., 2011. ? 75 s.
6. Ageev, E.V. Sostav i svoystva mednykh poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovani-em [Tekst]: monografiya / E.V. Ageev, E.V. Ageeva, N.M. Hor'yakova; YUgo-Zap. gos. un-t. Kursk, 2014. - 143 s.
7. Ageev, E.V. Sostav i svoystva poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem otkhodov tverdykh splavov Tekst : monografiya / E.V. Ageev, R.A. Latypov, Semenikhin B.A. [i dr.]; YUgo-Zap. gos. un-t. Kursk, 2011. - 123 s.
8. Gadalov, V.N. Metallografiya metallov, poroshkovykh materialov i pokrytiy, poluchennykh elektroerozionnymi sposobami Tekst : monografiya / V.N. Gadalov, V.G. Sal'nikov, E.V. Ageev [i dr.] - M.: INFRA-M, 2011. - 468 s.
9. Ageeva, E. V. Morphology of Copper Powder Produced by Electrospark Dispersion from Waste [Text] / E.V. Ageeva, N.M. Horyakova, E.V. Ageev // Russian Engineering Research. - 2014. ? Vol. 34. ? № 11. pp. 694-696.
10. Ageeva, E.V. Morphology and Composition of Copper Electrospark Powder Suitable for Sintering [Text] / E.V. Ageeva, E.V. Ageev, N.M. Horyakova // Russian Engineering Research, 2015, Vol. 35, No. 1, pp. 33-35.
11. Ageev, E.V. Osobennosti tekhnologii polucheniya poroshkovykh naplavochnykh materialov metodom elektroerozionnogo dispergirovaniya otkhodov tverdykh splavov dlya naplavki sheek kolenchatykh valov [Tekst] / E.V. Ageev, M.E. Sal'kov // Tekhnologiya metallov. ? 2008. ? № 5. ? S. 34?37.
12. Ageev, E.V. Forma i morfologiya poverkhnosti chastits poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem tverdykh splavov, sodержashchikh vol'fram [Tekst] / E.V. Ageev // Tekhnologiya metallov. ? 2011. ? № 7. ? S. 30-32.
13. Ageev, E.V. Poluchenie iznosostoykikh poroshkov iz otkhodov tverdykh splavov [Tekst] / E.V. Ageev, V.N. Gadalov, B.A. Semenikhin [i dr.] // Zagotovitel' nye proizvodstva v mashinostroenii. - 2010. - № 12. - S. 39-44.
14. Ageev, E.V. Rentgenostrukturnyy analiz poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem tverdogo splava [Tekst] / E.V. Ageev, V.N. Gadalov, B.A. Semenikhin [i dr.] // Zagotovitel' nye proizvodstva v mashinostroenii. - 2011. - № 2. - S. 42?44.
15. Ageev, E.V. Rentgenospektral'nyy mikroanaliz chastits poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem tverdogo splava [Tekst] / E.V. Ageev, V.N. Gadalov, B.A. Semenikhin [i dr.] // Uprochnyayu-shchie tekhnologii i pokrytiya. - 2011. - № 2. - S. 13-16.
16. Ageev, E.V. Izuchenie fiziko-mekhanicheskikh svoystv tverdosplavnykh poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem otkhodov [Tekst] / E.V. Ageev // Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya. - 2011. - № 6. - S. 8-14.
17. Ageev, E.V. Poluchenie poroshkov iz otkhodov tverdykh splavov metodom elektroerozionnogo dispergirovaniya [Tekst] / E.V. Ageev // Elektrometallurgiya. - 2011. - № 10. - S. 24-27.
18. Ageev, E.V. Issledovanie mikrotverdsti poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem tverdogo splava i ispol'zuemykh pri vosstanovlenii i uprochnenii detaley avtotraktornoy tekhniki [Tekst] / E.V. Ageev, B.A. Semenikhin, R.A. Latypov // Vestnik FGOU VPO MGAU. Agroiuzheneriya. - 2011. - Vyp. № 1. - S. 78-80.

19. Ageev, E.V. Vybor metoda polucheniya poroshkovykh materialov iz otkhodov spechennykh tverdyykh splavov [Tekst] / E.V. Ageev, B.A. Semenikhin // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN. - Samara: Izd-vo Samarskogo nauch. ts-ra RAN. - 2009. - Spets. vyp.: Aktual' nye problemy mashinostroeniya. - S. 12-15.

20. Ageev, E.V. Poluchenie nanoporoshka na osnove karbida vol'frama i primeneniye dlya vosstanovleniya i uprochneniya detaley mashin [Tekst] / E.V. Ageev, B.A. Semenikhin, R.A. Latypov // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN. - Samara: Izd-vo Samarskogo nauch. ts-ra RAN. - 2010. - t. 12 (33), № 1 (2). - S. 273-276.

21. Ageev, E.V. Razrabotka ustanovki dlya polucheniya poroshkov iz tokoprovodyashchikh materialov [Tekst] / E.V. Ageev, R.A. Latypov i [dr.] // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN. - Samara: Izd-vo Samarskogo nauch. ts-ra RAN. - 2009. - t. 11 (31), № 5 (2). - S. 234-237.

22. Pat. 2449859 RF, MPK C2, B22F9/14. Ustanovka dlya polucheniya nanodispersnykh poroshkov iz tokoprovodyashchikh materialov [Tekst] / Ageev E.V (RU). № 2010104316/02; Zayavleno 08.02.2010; Opubl. 10.05.2012. Byul. №12.

**Ageev Evgeniy Viktorovich**

FGBOU VPO «South-West state University»

Address: 305040, Kursk, 50 October, 94

Kand. tehn. Sciences, associate professor, assistant professor of fundamental chemistry and chemical technology

E-mail: ageeva-ev@yandex.ru

**Ageeva Ekaterina Vladimirovna**

FGBOU VPO «South-West state University»

Address: 305040, Kursk, 50 October, 94

Candidate of technical Sciences, associate Professor, Department of fundamental chemistry and chemical technology

E-mail: ageeva-ev@yandex.ru

**Horyakova Natalia Mikhailovna**

FGBOU VPO «South-West state University»

Address: 305040, Kursk, 50 October, 94

Postgraduate

E-mail: natali030119891@yandex.ru

**Продолжается подписка на журнал  
«Мир транспорта и  
технологических машин»**

*Подписной индекс журнала:*

*16376 («Пресса России»)*

*Подписка через редакцию:*

*(с любого месяца)*

*Информация о подписке на нашем сайте*

[www.gu-uprk.ru](http://www.gu-uprk.ru)

*Тел. +7 (4862) 43-48-90*

УДК: 620.179.1:658.58

А.В. СЕЛИХОВ

## МЕТОД И СРЕДСТВА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА АВТОМОБИЛЯ ПО ПАРАМЕТРАМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СМАЗОЧНОГО СЛОЯ

*Данная статья посвящена завершению диссертационной работы в области разработки электрорезистивного метода и средств диагностирования автомобильного электрогенератора, решению задачи уменьшения влияния трибо-ЭДС в зоне трения, разделения диагностической информации в двухопорном узле трения.*

**Ключевые слова:** электрогенератор, автомобиль, электрорезистивный, двухопорный узел трения.

Узлы трения являются широко распространенными элементами механических систем промышленного оборудования и элементов систем управления, часто определяющих их эксплуатационные показатели. Одним из распространённых примеров двухопорного подшипникового узла является электрогенератор автомобиля, однако в процедуру диагностирования не входит операция проверки состояния подшипников узла [1], при этом, по статистике, у генераторов 40 из 100 отказов вызвано неисправностью подшипников [2], введение дополнительной контрольной процедуры позволит повысить надежность техники, сократить издержки.

Основная причина выхода из строя подшипников – некачественное состояние смазочного материала. От состояния смазочного материала зависит режим трения, который влияет на безотказность подшипника. Помимо непосредственно смазочного слоя на режим трения влияет качество контактирующих поверхностей. Так как длительная работа подшипника возможна в условиях жидкостного трения, когда износ деталей минимален, то, оценивая способность подшипников работать в заданном режиме трения можно судить об их техническом состоянии.

К основным методам диагностирования подшипников относятся: вибрационный, акустический, температурный, электрический. Они обладают своими преимуществами и недостатками, но для решения задачи диагностирования двухопорного узла трения предпочтительным является электрорезистивный метод является, поскольку, как показали ряд экспериментальных исследований, сопротивление высокочувствительно к параметрам микрогеометрии, смазочному материалу и практически безынерционно, по отношению к процессам трения. При этом анализ процессов и явлений в зоне трения подшипников качения и анализ патентной деятельности показал, что электрорезистивный метод является наиболее перспективным.

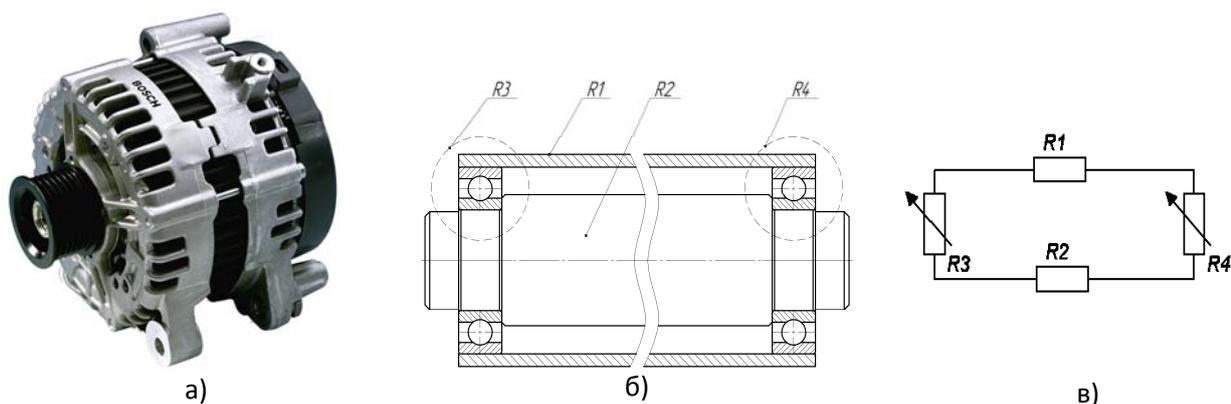
Вопросу электрорезистивного диагностирования подшипников качения, не входящих в состав узлов посвящены работы К.В. Подмастерьева, Е.В. Пахолкина, В.В. Мишина, С.Ф. Корндорфа. Трудность диагностирования многоопорных узлов трения заключается в необходимости разделения информации, поступающей от подшипников. Примером решения данной задачи служат работы [3-6], они основаны на переменном нагружении подшипников и формировании сложного диагностического воздействия. Недостатками такого подхода является необходимость дополнительного сложного технического оборудования, для обеспечения необходимых нагрузок. Другим недостатком является использование первичных преобразователей основанных на законе Ома, на работу которых оказывает генерируемое в трибосопряжении трибо-ЭДС [7], которое, обладая неизвестными амплитудой и частотой, вносит погрешность в результат измерения.

С учётом указанных проблем и целью разработки метода и средств диагностирования электрогенератора автомобиля были поставлены следующие задачи:

- 1) проведение теоретических исследований влияния условий работы и шероховатости рабочих поверхностей подшипников качения двухопорного узла трения на сигнал его электрического сопротивления;
- 2) проведение экспериментальных исследований по подтверждению правильности теоретических положений математической модели;
- 3) разработка метода диагностирования.
- 4) разработка средств диагностирования.

Для проведения теоретических исследований требуется разработка математической модели электрического сопротивления двухопорного узла трения с учетом типоразмера подшипников качения, входящих в состав узла, параметров смазочного материала, частоты вращения, радиальной нагрузки, шероховатости контактирующих поверхностей, оксидных и адгезионных слоев рабочих поверхностей подшипников качения.

Перейдём к упрощённой модели объекта, электрогенератора (рис. 1,а), имеющей характерные признаки. Ключевыми элементами являются: вал, корпус, подшипники (рис. 1,б), при этом в электрической схеме замещения подшипники рассматриваются как переменные сопротивления (рис. 1,в).



**Рисунок 1 – Объект исследования:**

*а – электрогенератор фирмы BOSCH, б – двухопорный узел, в – упрощенная схема замещения*

На основе анализа ассортимента электрогенераторов автотранспорта в качестве объекта исследования был выбран получивший широкое распространение генератор переменного тока с независимым возбуждением, 14 В, параллельным подключением обмотки, со щётками, электромагнитом в виде индуктора [8].

Так как был выбран электрорезистивный метод диагностирования, то требуется выявление зависимости электрического сопротивления узла трения от качественного состояния деталей подшипников, условий работы, с целью разработки диагностического параметра и составления методики диагностирования, для этого была разработана математическая модель.

Математическая модель двухопорного узла трения состоит из нескольких блоков: функциональные зависимости для определения распределения нагрузки в зоне трения, толщины смазочного слоя; расчеты для определения сопротивления между шариком и прилегающей поверхностью кольца наружного, внутреннего; аналитические выражения для расчёта электрического сопротивления одного подшипника и узла трения в целом [9].

Как и любая поверхность, контактирующие поверхности обладают некоторой шероховатостью, при этом, в ходе их приработки она изменяется, пока не установится некоторое

значение, оптимальное для данных условий трения, поэтому в рамках разрабатываемой модели принято допущение, что подшипники прошли режим приработки. При этом, так как поверхности изначально были обработаны механически, закон распределения шероховатости выбран нормальным, так же, в рамках моделирования, сделано допущение, что после итерации расчета сопротивления для одного оборота сепаратора, параметры шероховатости не изменяются.

Контактирующие тела не являются абсолютно упругими, поэтому подвержены некоторой деформации под воздействием радиальной нагрузки и контакт происходит по некоторой поверхности, принятой в рамках модели за эллипс. Расчет их сближения ведётся согласно теории Герца. Из-за наличия шероховатости контакт происходит не по всей площади эллипса, являющегося номинальной площадью контакта  $A_a$ , а по некоторым областям, где соприкасаются выступающие элементы поверхностей – фактической области контакта  $A_f$  (рис.2). Значение величины фактической площади контакта определяется параметрами шероховатости, макро и микрогеометрии, механическими свойствами материалов деталей, технологических режимов обработки. Таким образом, фактическая площадь контакта является величиной случайной, зависящей от законов распределения материала по высоте единичного выступа, по высоте шероховатости.

На площадь контакта, число контактов, на величину сближения поверхностей влияет величина максимального давления в контакте. Максимальное давление в контакте  $p_0$  определяется из выражений:

$$p_0 = \frac{1,5}{\pi \cdot n_a \cdot n_b} \cdot \sqrt[3]{\left[ E \cdot \sum \rho / 3 \cdot (1 - \eta^2) \right]^2 \cdot F_r},$$

где  $R_{1m}, R_{2m}$  – коэффициенты, определяемые кривизной контактирующих поверхностей;

$\mu_0$ , – динамическая вязкость;

$n_V$  – пьезокоэффициент вязкости смазочного материала;

$V$  – скорость относительного перемещения контактирующих поверхностей.

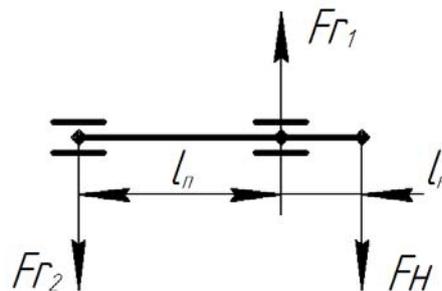


Рисунок 3 – Распределение нагрузки

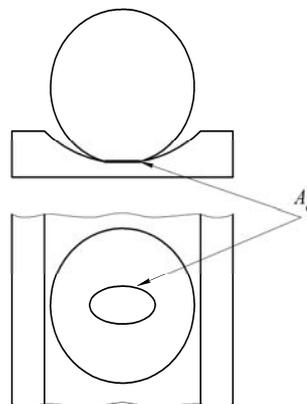


Рисунок 2 – Касание поверхностей

Так как узел двухопорный, то при приложении нагрузки, на некотором расстоянии  $l_n$  от первого подшипника, радиальная нагрузка будет действовать на первый и второй подшипник соответственно при расстоянии между ними  $l_n$  (рис. 3):

$$F_{r1} = F_H \cdot (l_n + l_n) / l_n; F_{r2} = F_H \cdot l_n / l_n.$$

Ввиду неоднородности поверхностей, наличия шероховатостей, макроотклонений профиля контакт рабочих поверхностей происходит в некотором вероятном числе  $z_k$  контактов, число контактов поверхностей влияет на электрическое сопротивление контакта, так как различное число контактов будет создавать различное сопротивление прохождению электрического тока. Число пятен фактического контакта:

$$n_r = \frac{3.1 \cdot A_c}{K_r \cdot r \cdot Ra} \cdot \left( \frac{p_c}{p_r} \right)^{0.66},$$

где  $A_c$  – контурная площадь контакта;

$K_r$  – коэффициент, зависящий от вида контакта выступов,  $K_r=11$  для упругого,  $K_r=21$ ;

$r$  – приведенный радиус закругления вершин неровностей двух поверхностей;

$Ra$  – среднее арифметическое отклонение профиля;

$p_c$  – контурное давление;

$p_r$  – фактическое давление.

Для небольших поверхностей, когда волнистость не обнаруживается, контурная площадь контакта будет равна номинальной, т.е.  $A_c = A_a$ . Номинальная площадь контакта определяется:

$$A_a = \pi \cdot a_a \cdot b_a,$$

где  $a_a, b_a$  – полуоси эллипса контакта.

При контакте возникают деформации поверхностей: упругая, пластическая, упруго-пластическая. При этом, для упругопластического контакта расчеты ведутся как при пластическом контакте.

Вид пластической деформации определяется по критерию на базе индекса пластичности:

$$\psi = \frac{E'}{H} \sqrt{\frac{\sigma'}{r}}; \begin{cases} \psi < 0,6 - \text{упругий контакт;} \\ 0,6 \leq \psi < 1 - \text{упругопластическая деформация;} \\ 1 \leq \psi - \text{пластический контакт.} \end{cases}$$

где  $E'$  – приведенный модуль упругости для двух контактирующих поверхностей;

$H = \min(H_1, H_2)$  — меньшая из микротвердостей контактирующих материалов;

$\sigma'$  – среднеквадратическое отклонение профиля относительно средней линии шероховатой поверхности;

$r$  – средний радиус закругления вершин.

Смазочный слой между трущимися поверхностями разделяет их, препятствуя непосредственному контакту металлов, и предотвращает их износ. Если толщина слоя достаточна для обеспечения отсутствия контактов между поверхностями, то присутствует жидкостной режим трения, при смешанном режиме участки поверхностей находятся в жидкостном и граничном режимах, при граничном трении толщина слоя смазочного материала значительно меньше величины шероховатости поверхностей. На основе соотношения величин параметра шероховатостей и толщины смазочного слоя определяется параметр  $\lambda$ :

$$\lambda = \frac{h_0}{\sqrt{Ra_1^2 + Ra_2^2}}; \begin{cases} 0 < \lambda < 1 - \text{граничное трение;} \\ 1 \leq \lambda < 3 - \text{смешанное трение;} \\ 3 \leq \lambda - \text{жидкостное трение.} \end{cases}$$

где  $h_0$  – толщина смазочного слоя;

$Ra_1, Ra_2$  – среднее арифметическое значение шероховатости контактирующих поверхностей.

Электрическое сопротивление зоны трения складывается из сопротивления контактирующих тел, окисных плёнок, адгезионных плёнок, сопротивления стягивания, сопротивления смазочных плёнок.

Сопротивление тел определяется удельным сопротивлением материалов деталей пары трения, которое для сталей составляет порядка  $10^{-7} \dots 10^{-6} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , что является пренебрежимо малым значением, по сравнению с остальными составляющими сопротивления, потому в рамках решаемой задачи можно пренебречь данной составляющей.

Сопротивление смазочных и адгезионных плёнок зависит от их толщины, площади, вида контакта – принято, что при пластическом контакте происходит разрушение поверхностных плёнок, и их сопротивление не учитывается.

Электрическое сопротивление контакта шарика подшипника качения с одним кольцом определяется:

$$\begin{cases} R_T = R_{CT} = \rho \cdot \sqrt{\pi} / (2 \cdot \sqrt{z \cdot A_r}); 0 < \lambda < 1 - \text{граничное трение;} \\ R_T = \frac{\rho_{CM}}{\rho} \cdot \frac{h_0}{r_k} \cdot \frac{A_r}{A_c - A_r} \cdot R_{CT}; 1 \leq \lambda < 3 - \text{смешанное трение;} \\ R_T = \rho_{CM} \cdot h / S_h; 3 \leq \lambda - \text{жидкостное трение.} \end{cases}$$

где  $R_{CT}$  – сопротивление стягивания;

$\rho$  – удельное электрическое сопротивление металла;

$z$  – число вероятных пятен контакта;

$A_r$  – фактическая площадь контакта;

$\rho_{CM}$  – удельное электрическое сопротивление смазочной плёнки;

$h_0$  – толщина смазочной плёнки;

$r_k$  – радиус пятна контакта;

$A_c$  – контурная площадь контакта.

Для получения полного сопротивления подшипника складываются все вышеперечисленные сопротивления шарика, находящегося в одновременном зацеплении с внутренним и наружным кольцом. Если контакт с одним из колец отсутствует – его сопротивление не учитывается, наличие контакта определяется по значению давления в точке. Окончательный расчет проводится в среде Mathcad, Delphi для полного оборота сепаратора, так как за это время все шарики пройдут зону нагружения.

Экспериментальные исследования для подтверждения работоспособности модели включали в себя опыты по исследованию зависимости электрического сопротивления подшипника качения от частоты вращения вала, радиальной нагрузки, качества контактирующих поверхностей, режима трения.

Исходя из имеющегося оборудования и минимизации затрат на проведение экспериментов исследование было проведено из принципа, что для проверки метода не обязательно использовать двухопорный узел, достаточно получить диагностические сигналы для единичного подшипника так как эквивалентная схема замещения двухопорного узла трения фактически представляет собой два параллельно соединенных подшипника, то получив зависимость диагностических сигналов подшипника от различных условий и комбинируя их, в соответствии с параллельным соединением, получим диагностический сигнал двухопорного

узла. Преимущество такого метода в том, что не требуется пересобирать узел, в результате чего возникли бы дополнительные дестабилизирующие факторы, имея диагностический сигнал для одного подшипника от каждого из  $N$  факторов может быть получено  $N^2$  диагностических сигналов для узла что позволяет сэкономить время на проведение экспериментов, так как для узла пришлось бы проводить все  $N^2$  эксперимента, так же были снижены экономические затраты на комплектующие и расходные материалы, необходимые для проведения исследования.

Исследования показали, что экспериментальная динамика изменения зависимости электрического сопротивления от внешних факторов совпадает с теоретическими результатами, что позволяет говорить об адекватности полученной модели [10-14], на рисунке 4 показан пример теоретического и экспериментального графиков.

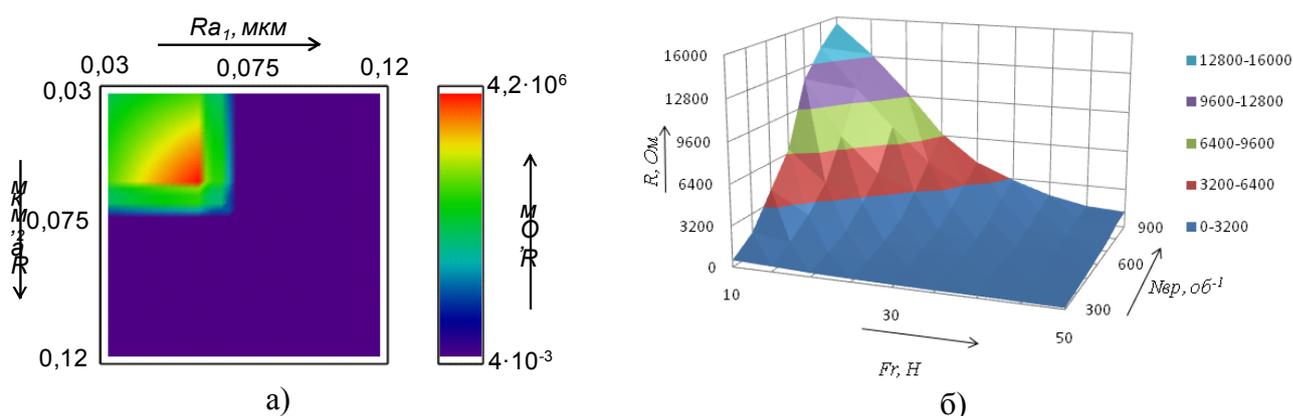


Рисунок 4 – Сравнение теоретических и экспериментальных данных:  
 а) –  $Fr=20$  Н,  $n=50$  об<sup>-1</sup>; б) – зависимость функции  $R(Fr, n)$  при 0,1 мл масла;

Так же проводились исследования по сравнению информативности и динамическим свойствам электрорезистивного метода контроля и вибрационного, акустического, температурного, по результатам исследований можно сделать вывод, что сигнал сопротивления адекватно характеризует подшипник на всей области доступных частот, вплоть до 1 МГц, в то время как вибрационный и акустический сигнал в низкой области частот, ограниченной инерционностью преобразователей, вплоть до 100 кГц, чувствительность данных сигналов к микронеровностям ниже электрического из-за того, что приложенной энергии недостаточно для формирования различного сигнала [12, 14]; температурный метод является высокоинерционным и не позволяет оценить ряд качественных характеристик [11].

Критерием, по которому будет выноситься суждение о состоянии узла является соответствие параметра НИВ требуемому значению. Переход от измеряемого электрического сопротивления к расчетному НИВ обусловлен следующим: метод измерения сопротивления позволит снизить влияние трибо-ЭДС, сигнал сопротивления обладает избыточной информацией и может быть выявлена дополнительная диагностическая информация. При этом параметр НИВ получаемый расчётным методом и методом непосредственного измерения различны ввиду инструментальных особенностей проводимых экспериментов [15].

Если представить метод в виде последовательности действий, то он будет выглядеть следующим образом:

I Процедура определения состояния узла.

1. Проверить электрическую изоляцию узла:

- а) если узел изолирован от внешних источников напряжения перейти к пункту 2;
- б) провести электрическую изоляцию объекта.

2. Подключить АЦП устройства диагностирования.
3. Запустить установку для диагностирования.
4. Измерить уровень шумов:
  - а) если уровень шумов не превышает допустимое значение принять меры для экранирования, перейти к пункту 5;
  - б) Если уровень шумов превышает допустимое значение принять меры для экранирования, перейти к пункту 4.
5. Подключить измерительное устройство.
6. Получить  $N$  серий измерений, содержащих  $M$  значений.
7. Преобразовать полученные данные в значения электрического сопротивления.
8. Исключить ошибки.
9. Из сигналов сопротивлений получить  $N$  значений параметра НИВ.
10. Исключить ошибочные значения, получить среднее значение.
11. Сравнить полученное значение НИВ с пороговым значением.
12. Если полученное значение не удовлетворяет требованиям, провести процедуру определения дефектного подшипника.

II Процедура определения дефектного подшипника.

1. Перед проведением эксперимента убедиться в выполнении необходимых условий проведения эксперимента.
2. Подключить двухпорный узел к измерительному оборудованию.
3. Произвести запуск установки.
4. Провести  $N$  измерений длительностью  $T$ .
5. Исключить ошибочные значения.
6. Проанализировать полученные данные на предмет определения дефектного подшипника.

Вывод о том, какой из подшипников дефектный делается на основании анализа разности фаз между несущим сигналом и выходным. Для случая, когда подшипник 1 обладает большим электрическим сопротивлением, чем подшипник 2, то разность фаз будет составлять  $180^\circ$ , иначе  $0^\circ$ . По значению разности фаз можно определить разность сопротивлений, что подшипник с меньшим средним сопротивлением является дефектным.

7. Произвести демонтаж дефектного подшипника.
8. Провести визуальный осмотр на предмет определения причины некачественной работы подшипника.
9. В случае, если причиной является низкое качество рабочих поверхностей провести замену подшипника, в случае, если причина может быть исправлена, провести необходимые мероприятия.
10. Повторить процедуру определения состояния узла. Если сделан вывод о не надлежащем качестве узла, провести замену второго подшипника, повторить процедуру определения состояния узла.

Для реализации данного метода требуются устройства по измерению электрического сопротивления узла и для определения дефектного подшипника.

Так как требуется определить только техническое состояние и определить дефектный подшипник, без определения причины, то можно воспользоваться следующим решением. Так как узел двухпорный и подшипники соединены электрически через вал и корпус, то они электрически соединены параллельно, значит, суммарное сопротивление стремится к меньшему из значений, так как сопротивление пересчитывается в НИВ, то и оно будет стремиться к худшему из значений двух подшипников, значит, о неблагоприятном техническом состоянии, присутствующем в узле можно судить по общему сопротивлению. Если состояние одного или обоих подшипников одновременно является неудовлетворительным, то таким же является состояние узла в целом [16].

Для определения суммарного сопротивления двухопорного узла трения, с малым влиянием трибо-ЭДС было разработано средство (рис. 5), в первичном преобразователе которого узел включен в обратную связь фазового фильтра, таким образом, его электрическое сопротивление влияет на разность фаз входного и выходного сигнала, а трибо-ЭДС только на среднее значение выходного сигнала, играя роль напряжения смещения. Сделано допущение, что сигнал трибо-ЭДС изменяется в диапазоне от 0 Гц до 1 МГц, если в качестве несущего сигнала с генератора использовать сигнал с большей частотой и настроить полосовой фильтр на это значение, то удастся значительно снизить погрешность от влияния трибо-ЭДС, при этом, считается, что на данной частоте её влияние незначительно.

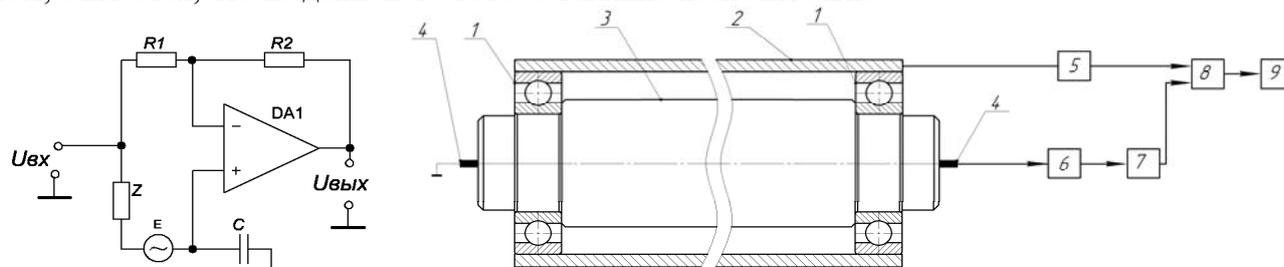


Рисунок 5 – Структурная схема устройства измерения электрического сопротивления:

1 – подшипник, 2 – корпус, 3 – вал, 4 – токосъемник, 5 – генератор синусоидального напряжения, 6 – фазовый фильтр, 7 – полосовой фильтр, 8 – перемножитель, 9 – АЦП

Получив серию измерений, описывающих изменение сопротивления узла, требуется получить значение параметра НИВ:

$$НИВ = \frac{M}{N},$$

где  $M$  – число значений, меньше порогового значения  $z$ ;  
 $N$  – число значений.

$$M = \text{card} \{y \mid y \in X, y < R_{II}\},$$

где  $X$  – множество значений;  
 $y$  – элемент множества;  
 $R_{II}$  – пороговое значение.

Экспериментальные исследования показали, что устройство обладает удовлетворительными точностными параметрами и демонстрирует работоспособность метода, позволяет расширить технические возможностей и области применения устройства для измерения электрического сопротивления подшипника при повышении точности и достоверности [11].

Так как состояние узла стремится к худшему из состояний подшипников, то требуется определить, какой из них не соответствует требованиям. Для определения дефектного подшипника был предложен метод, основанный на сравнении разности фаз входного и выходного сигналов, зависящих от соотношения сопротивлений.

Если представить двухопорный узел в виде электрической схемы замещения, то он представляет собой параллельно соединенные сопротивления, при подключении к нему разнополярных источников питания по схеме на рисунке рисунок 6, а), выходное напряжение описывается уравнением:

$$U_{\text{вых}} = E_1 - \frac{(E_1 + E_2) \cdot R_3}{R_2 + R_3 + R_4}.$$

При этом, сигналы в точках А, В будут различны по знаку или равны в зависимости от соотношения сопротивлений подшипников узла.

С учетом влияния трибо-ЭДС напряжение в точке измерения:

$$U_{\text{вых}_1} = E_1 - \frac{(E_1 + E_2) \cdot R_3}{R_2 + R_3 + R_4} - \frac{U_1 \cdot R_3}{R_2 + R_3 + R_4} + \frac{U_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3 + R_4} + U_1.$$

Так как трибосопряжения являются источником трибо-ЭДС, то данный фактор окажет влияние на результат измерения. Для уменьшения влияния используется метод измерения, принцип которого заключается в следующем: так как сигнал трибо-ЭДС обладает частотой и амплитудой случайного значения, то используя вместо постоянных источников питания генераторы синусоидального напряжения, с сигналами на выходе, отличными на 180° и выход узла подключить к входу полосового фильтра, настроенного на частоту сигнала генераторов, то влияние трибо-ЭДС будет снижено (рис. 6,б).

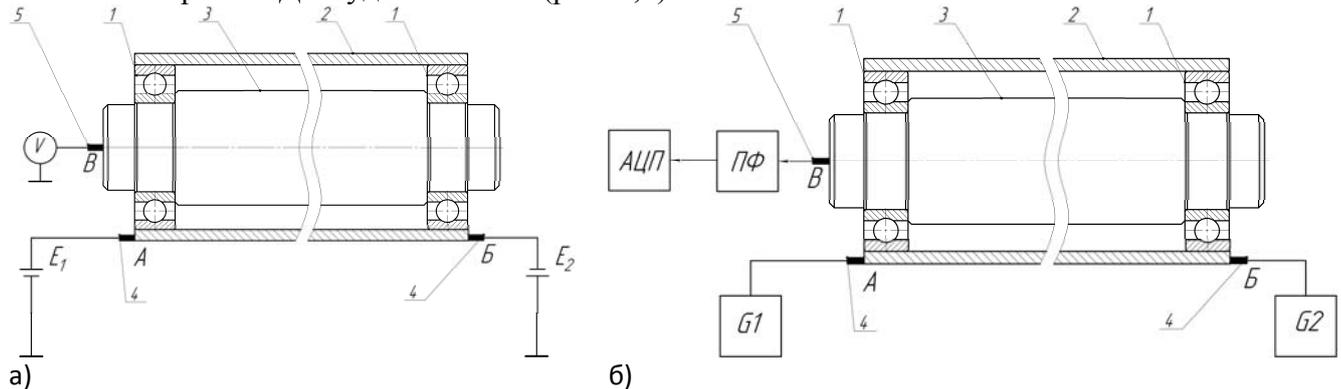


Рисунок 6 – Средство определения дефектного подшипника

Для проверки работоспособности метода был проведён соответствующий эксперимент на электрогенераторе Г221-070 1000. Использувавшиеся в нём подшипники были заменены на новые, априорно работоспособные, далее у первого подшипника были модифицированы контактирующие поверхности, для имитации их износа, после чего были сняты осциллограммы выходных сигналов в контрольных точках А, В (рис. 6,а), которые представлены на рисунке 7,а. Далее первый подшипник заменялся на новый, со вторым подшипником подвергся той же процедуре модификации контактирующих поверхностей, осциллограммы сигналов приведены на рисунке 7,б. Модификация поверхностей привела к изменению электрического сопротивления трибосопряжения, из-за чего менялись фазы сигналов в контрольных точках, таким образом, метод является работоспособным.

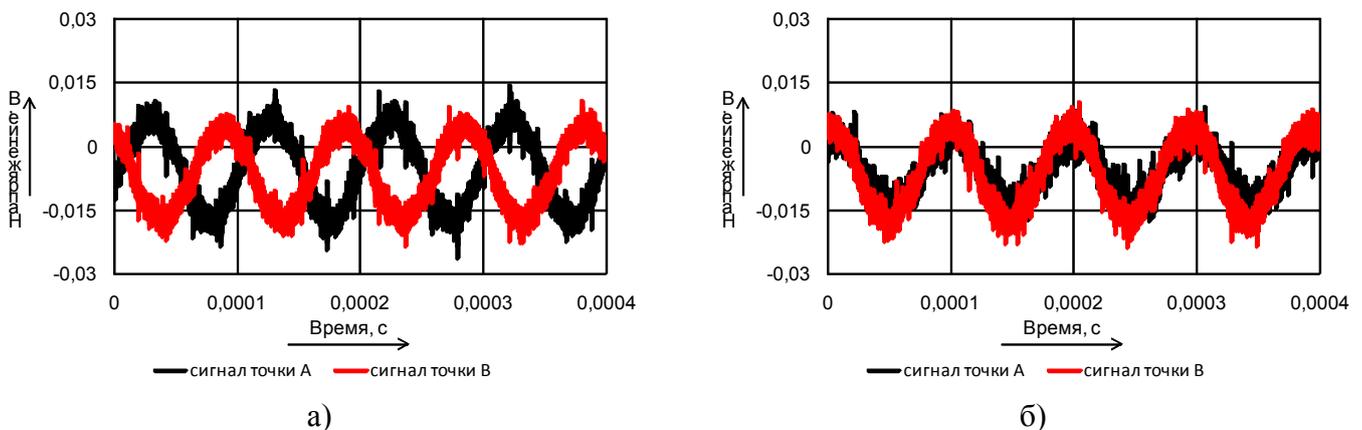


Рисунок 6 – Графики выходных сигналов: а – сопротивление правого подшипника меньше левого, б – сопротивление правого подшипника больше левого

Основные результаты:

1. Подтверждена принципиальная возможность использования метода диагностирования для двухопорного узла трения, основанного на контроле его электрического сопротивления в зонах трения.

2. Разработана математическая модель двухопорного узла трения для расчета его электрического сопротивления для различных типоразмеров подшипников, условий работы, базирующаяся на положениях теорий контакта реальных поверхностей, электропроводности контакта двух шероховатых тел, контактной гидродинамики, упругости, отличающаяся моделированием двухопорного узла трения, учетом влияния оксидных и адгезионных слоев на рабочих поверхностях подшипников качения.

3. Разработан метод диагностирования двухопорного узла трения, позволяющий определить его качественное состояние, базирующийся на взаимосвязи электрического сопротивления и условий работы, отличающийся возможностью определения дефектного подшипника в узле при минимизации влияния трибо-ЭДС или определения качественного состояния каждого из подшипников без минимизации влияния трибо-ЭДС.

4. Разработано устройство, реализующее электрорезистивный метод диагностирования, базирующееся на зависимости разности входного и выходного сигналов фазового фильтра, в обратную связь которого включен подшипник качения, отличающееся малым влиянием трибо-ЭДС в зоне трения подшипника качения на результат измерения электрического сопротивления подшипника качения.

5. Разработано устройство для определения дефектного подшипника в двухопорном узле трения, базирующееся на зависимости разности фаз входного и выходного сигнала от соотношения электрического сопротивления подшипников узла.

6. Разработаны алгоритмы диагностирования, позволяющие проводить усредненную оценку состояния двухопорного узла в целом и входящих в его состав подшипников качения отдельно.

Разработанные методы и средства диагностирования позволят ввести в технологический процесс контроля и диагностики электрогенераторов автотранспорта ранее отсутствовавшую там процедуру проверки технического состояния подшипников, что позволит повысить безопасность, надежность автотранспорта, позволит сократить экономические издержки, снизить брак изделий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов, Е.С. Техническая эксплуатация автомобилей [Текст]: учебник для вузов / Е.С. Кузнецов, А.П. Болдин, В.М. Власов и др. - 4-е изд., перераб. и дополн. - М.: Наука, 2001. - 535 с.
2. J. W. Choi, "Analysis of Electrical Signatures in Synchronous Generators Characterized by Bearing Faults," M. S. Thesis, Mechanical Engineering, Texas A&M University. College Station, Texas, August 2006.
3. Пат. 427262 СССР, G 01 M 13/04. Устройство для контроля состояния подшипников [Текст] / Шумилин В.И.; опубл. 05.05.74, Бюл. №17.
4. А.с. 1272142 СССР, МКИ G 01 M 13/04. Способ диагностики тел качения подшипника [Текст] / К.В. Подмастерьев; опубл. 23.11.86, Бюл. №43.
5. Подмастерьев, К.В. Разделение диагностической информации о состоянии подшипников в двухопорных узлах [Текст] / К.В. Подмастерьев, Е.В. Пахолкин // Инженерно-физические проблемы новой техники: Тез. Докл. - М. Изд-во МГТУ. - 1998. - С. 20-21.
6. Мишин, В.В. Подход к комплексному диагностированию подшипникового узла с учетом качества его сборки [Текст] / В.В. Мишин // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - 2010. - №6. - С. 132-139.
7. Вавилов, В.П. Неразрушающий контроль. Тепловой контроль. [Текст]: справочник / В.П. Вавилов, К.В. Подмастерьев, Ф.Р. Соснин, С.Ф. Корндорф. Т.И. Ногачева, Е.В. Пахолкин, Л.А. Бондарева, В.Ф. Мужич-

кий; под общ. ред. В.В. Ключева. - Электрический контроль. - В 2 кн. - 2-е изд., испр. - М.: Машиностроение, 2006. - 679 с.: ил. и цветная вкладка 24 с.

8. Гумелёв, В.Ю. Классификация автотракторных генераторов [Электронный ресурс] / В.Ю. Гумелёв // Современная техника и технологии. - 2013. - № 3. - Режим доступа: <http://technology.snauka.ru/2013/03/1677>.

9. Селихов, А.В. Разработка обобщенной математической модели подшипника качения [Текст] / А.В. Селихов, А.В. Козюра, С.Г. Пузырев, В.И. Некрасов, Р.В. Шатеев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - 2013. - № 5(301). - С. 150-158.

10. Селихов, А.В. Экспериментальное исследование электрического сопротивления (проводимости) подшипника качения как диагностического параметра [Текст] / А.В. Селихов, В.В. Мишин, М.В. Майоров, А.А. Катыхин, К.В. Шаталов, В.И. Некрасов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - 2010. - №6-2/(284). - С. 25-34.

11. Селихов, А.В. Экспериментальное исследование состояния смазочного слоя и температурного режима при различных условиях смазывания и установки подшипника качения в посадочное место [Текст] / А.В. Селихов, М.В. Майоров, В.Н. Чернышов, А.К. Подмастерьев, В.В. Мишин // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - 2011. - №-2/2(286). - С. 137-142.

12. Селихов, А.В. Результаты экспериментального исследования параметров комплексной оценки технического состояния подшипника качения [Текст] / А.В. Селихов, В.В. Мишин, В.В. Семенов, Е.И. Родькин, С.Н. Тулин // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - 2012. - № 1(291). - С. 112-121.

13. Селихов, А.В. Экспериментальное исследование работы подшипника качения при различных режимах трения на основе сигналов электрического сопротивления и виброускорения [Текст] / А.В. Селихов, М.В. Мишин, В.Н. Чернышов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - № 6-2 (296). - 2012. - С.151 - 158.

Селихов, А.В. Анализ особенностей технического диагностирования подшипниковых опор качения по характеру статистического распределения значений их электрического сопротивления [Текст] / А.В. Селихов, В.Я. Варгашкин, В.В. Мишин, С.Н. Тулин // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - № 3-2(299). - 2013. - С. 68-77.

14. Селихов, А.В. Акустический контроль подшипников качения [Текст] / М.В. Майоров, А.В. Селихов, В.Н. Чернышов, В.В. Мишин // Фундаментальные проблемы техники и технологии - Технология-2012: Сборник тезисов и аннотаций научных докладов XV международной научно-технической конференции. - Москва-Орел: Издательский дом «Спектр», - 2012. - С. 382-383.

15. Селихов, А.В. Экспериментальные исследования информативности диагностического параметра НИВ [Текст] / А.В. Селихов, С.Н. Тулин, О.В. Пилипенко, В.В. Мишин // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. - № 10. - 2014. - С. 10-13.

16. Селихов, А.В. Метод диагностирования двухопорных узлов трения автотранспорта [Текст] / А.В. Селихов // Информационные технологии и инновации на транспорте. Материалы международной научно-практической конференции. - Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК». - 2015. - С. 308-314.

**Селихов Алексей Владимирович**

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»

Адрес: Россия, 302019, г. Орел, Наугорское шоссе, 29

Научный сотрудник НОЦ «ДИАТРАНСПРИБОР»

---

A.V. SELIHOV

## **METHODS AND DEVICES FOR DIAGNOSTICS OF AUTOMOBILE ELECTRIC GENERATORS BY PARAMETERS OF LUBRICANTS-LAYER ELECTRICAL RESISTANCE**

*This article is devoted to the completion of the thesis in the field of electrically resistive method and devices of diagnosing of automotive electrical generator, solving the problem of reducing the influence of tribo-EMF in the friction zone, separating the diagnostic information in the double-seat assembly friction.*

**Keywords:** *electric generator, car, electric resistance, double-seat assembly friction.*

BIBLIOGRAPHY

1. Kuznetsov, E.S. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya avtomobiley [Tekst]: uchebnik dlya vuzov / E.S. Kuznetsov, A.P. Boldin, V.M. Vlasov i dr. - 4-e izd., pererab. i dopoln. - M.: Nauka, 2001. - 535 s.
2. J. W. Choi, "Analysis of Electrical Signatures in Synchronous Generators Characterized by Bearing Faults," M. S. Thesis, Mechanical Engineering, Texas A&M University. College Station, Texas, August 2006.
3. Pat. 427262 SSSR, G 01 M 13/04. Ustroystvo dlya kontrolya sostoyaniya podshipnikov [Tekst] / Shumi-lin V.I.; opubl. 05.05.74, Byul. №17.
4. A.s. 1272142 SSSR, MKI G 01 M 13/04. Sposob diagnostiki tel kacheniya podshipnika [Tekst] / K.V. Podmaster`ev; opubl. 23.11.86, Byul. №43.
5. Podmaster`ev, K.V. Razdelenie diagnosticheskoy informatsii o sostoyanii podshipnikov v dvukhopor-nykh uzlakh [Tekst] / K.V. Podmaster`ev, E.V. Pakholkin // Inzhenerno-fizicheskie problemy novoy tekhniki: Tez. Dokl. - M. Izd-vo MGTU. - 1998. - S. 20-21.
6. Mishin, V.V. Podkhod k kompleksnomu diagnostirovaniyu podshipnikovogo uzla s uchetoм kachestva ego sborki [Tekst] / V.V. Mishin // Fundamental`nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. - 2010. - №6. - S. 132-139.
7. Vavilov, V.P. Nerazrushayushchiy kontrol`. Teplovoy kontrol`. [Tekst]: spravochnik / V.P. Vavilov, K.V. Podmaster`ev, F.R. Sosnin, S.F. Korndorf. T.I. Nogacheva, E.V. Pakholkin, L.A. Bondareva, V.F. Muzhitskiy; pod obshch. red. V.V. Klyueva. - Elektricheskiy kontrol`. - V 2 kn. - 2-e izd., ispr. - M.: Mashinostroenie, 2006. - 679 s.: il. i tsvetnaya vkladka 24 s.
8. Gumeliov, V.YU. Klassifikatsiya avtotraktornykh generatorov [Elektronnyy resurs] / V.YU. Gumeliov // Sovremennaya tekhnika i tekhnologii. - 2013. - № 3. - Rezhim dostupa: <http://technology.snauka.ru/2013/03/1677>.
9. Selikhov, A.V. Razrabotka obobshchennoy matematicheskoy modeli podshipnika kacheniya [Tekst] / A.V. Selikhov, A.V. Kozyura, S.G. Puzyrev, V.I. Nekrasov, R.V. Shateev // Fundamental`nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. - 2013. - № 5(301). - S. 150-158.
10. Selikhov, A.V. Eksperimental`noe issledovanie elektricheskogo soprotivleniya (provodimosti) podshipnika kacheniya kak diagnosticheskogo parametra [Tekst] / A.V. Selikhov, V.V. Mishin, M.V. Mayorov, A.A. Katykhin, K.V. Shatalov, V.I. Nekrasov // Fundamental`nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. - 2010. - №6-2/(284). - S. 25-34.
11. Selikhov, A.V. Eksperimental`noe issledovanie sostoyaniya smazochnogo sloya i temperaturnogo re-zhima pri razlichnykh usloviyakh smazyvaniya i ustanovki podshipnika kacheniya v posadochnoe mesto [Tekst] / A.V. Selikhov, M.V. Mayorov, V.N. Chernyshov, A.K. Podmaster`ev, V.V. Mishin // Fundamental`nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. - 2011. - №-2/2(286). - S. 137-142.
12. Selikhov, A.V. Rezul`taty eksperimental`nogo issledovaniya parametrov kompleksnoy otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya podshipnika kacheniya [Tekst] / A.V. Selikhov, V.V. Mishin, V.V. Semenov, E.I. Rod`kin, S.N. Tulin // Fundamental`nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. - 2012. - № 1(291). - S. 112-121.
13. Selikhov, A.V. Eksperimental`noe issledovanie raboty podshipnika kacheniya pri razlichnykh re-zhimakh treniya na osnove signalov elektricheskogo soprotivleniya i vibrouskoreniya [Tekst] / A.V. Selikhov, M.V. Mishin, V.N. Chernyshov // Fundamental`nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. - № 6-2 (296). - 2012. - S.151 - 158.
14. Selikhov, A.V. Analiz osobennostey tekhnicheskogo diagnostirovaniya podshipnikovyykh opor kacheniya po kharakteru statisticheskogo raspredeleniya znacheniy ikh elektricheskogo soprotivleniya [Tekst] / A.V. Selikhov, V.YA. Vargashkin, V.V. Mishin, S.N. Tulin // Fundamental`nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. - № 3-2(299). - 2013. - S. 68-77.
15. Selikhov, A.V. Akusticheskiy kontrol` podshipnikov kacheniya [Tekst] / M.V. Mayorov, A.V. Selikhov, V.N. Chernyshov, V.V. Mishin // Fundamental`nye problemy tekhniki i tekhnologii - Tekhnologiya-2012: Sbornik tezisov i annotatsiy nauchnykh dokladov XV mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. - Moskva-Orel: Izdatel`skiy dom "Spektr", - 2012. - S. 382-383.
16. Selikhov, A.V. Eksperimental`nye issledovaniya informativnosti diagnosticheskogo parametra NIV [Tekst] / A.V. Selikhov, S.N. Tulin, O.V. Pilipenko, V.V. Mishin // Sovremennaya nauka: aktual`nye pro-blemy i puti ikh resh-eniya. - № 10. - 2014. - S. 10-13.
17. Selikhov, A.V. Metod diagnostirovaniya dvukhopornykh uzlov treniya avtotransporta [Tekst] / A.V. Selikhov // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Orel: FGBOU VPO "Gosuniversitet - UNPK". - 2015. - S. 308-314.

**Selikhov Aleksey Vladimirovich**

FGBOU VPO "State University– ESPC"

Address: Russia, 302019, g. Oryol, Naugorskoe Highway 29

Scientific researcher of Scientific and Educational Center "Diatranspribor"

УДК 62-932.2

М.А. БУРНАШОВ, А.Н. ПРЕЖБИЛОВ

## ОЧИСТКА ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ ВОДОЛЕДЯНОЙ СТРУЕЙ С ЗАРАНЕЕ ПОДГОТОВЛЕННЫМИ ЧАСТИЦАМИ

*Рассматривается способ и перспектива применения очистки поверхностей деталей автомобилей высоконапорной водоледяной струей с заранее подготовленными частицами льда.*

**Ключевые слова:** загрязнения деталей автомобилей, гидроструйная очистка, ледяная частица, водоледающая очистка.

В процессе эксплуатации автомобилей на наружных и внутренних поверхностях деталей образуются загрязнения, различающиеся составом, свойствами, прочностью сцепления с поверхностью деталей. Данные загрязнения снижают стойкость деталей к коррозии, увеличивают износ, снижают срок эксплуатации.

При проведении ремонта загрязнения снижают производительность труда, ухудшают точность контроля и дефектации деталей, снижают качество ремонта и ресурс отремонтированных деталей и машин.

Загрязнения делятся на эксплуатационные, которые возникают при эксплуатации автомобилей, и технологические, образующиеся в процессе их ремонта.

Среди множества причин образования загрязняющих покрытий можно выделить наиболее распространенные: эмульсионные и масляные пленки, попадание загрязнений из окружающей среды, термическое разложение масел, окисление поверхности металлов, литейный пригар, остатки краски, накипь и т.д.

Загрязнения на объектах ремонта по химическому составу делятся на:

- органические (масляные и жировые отложения, пленки лакокрасочных покрытий, консервационные смазки);

- неорганические (накипь, дорожная грязь, продукты коррозии);

- смешанные (нагары, лаки, консистентные смазки, производственные загрязнения).

Загрязнения агрегатов, сборочных единиц и деталей включают в себя:

- наружные отложения;

- остатки смазочных материалов;

- углеродистые отложения;

- продукты коррозии;

- накипь;

- остатки старых лакокрасочных покрытий.

Загрязнения от остатков топливно-смазочных материалов (ТСМ) и продуктов их трансформации являются наиболее распространенными. При работе автомобилей смазочные материалы значительно изменяются, что обусловлено процессами «старения» — окисления и полимеризации. Чаще всего это:

- 1) продукты неполного сгорания топлива;

- 2) продукты окисления;

- 3) продукты деструкции углеводородов;

- 4) продукты полимеризации;

- 5) продукты конденсации и коагуляции углеводородных и гетероорганических соединений;

- 6) продукты коррозии и биоповреждения металлов в среде ТСМ.

В современных условиях требования к ресурсосбережению и экологической чистоте

производственных процессов ужесточаются. В полной мере это относится и к очистке поверхностей.

Среди известных методов очистки наиболее универсальными и перспективными являются струйные способы.

В тоже время гидроабразивная очистка с использованием в качестве абразива песка и подобных материалов имеет ряд недостатков.

Среди них следующие:

- наличие абразива затрудняет очистку внутренних и труднодоступных поверхностей;
- наведение шероховатости на чисто обработанных поверхностях;
- необходимость утилизации отработанного загрязненного абразива;
- высокая стоимость абразивного материала, в том числе и его доставки.

Таким образом, для широкого внедрения гидроабразивной технологии очистки деталей машин необходима замена абразивного материала.

Водоледная очистка является не только экологически чистым методом, но и экономичным.

Частицы льда, обладая свойствами твердых частиц, при разгоне до высоких скоростей позволяют удалять многие загрязнения, не повреждая основания очищаемой поверхности. Использование при очистке водяного льда существенно упрощает регенерацию очищающей среды.

Водоледная очистка имеет ряд преимуществ по отношению к остальным способам очистки:

1. Минимальное вредное воздействие на окружающую среду;
2. Низкая стоимость очищающего материала;
3. Отсутствие необходимости транспортирования и хранения большого количества абразивного материала;
4. Возможность замкнутого, безотходного цикла;
5. Устранение абразивного воздействия на материал;
6. Абразив не забивается в щели деталей узлов;
7. Отсутствие пыли в процессе очистки;
8. Малый износ инструмента.



*Рисунок 1 – Фотография ледяной частицы*

Формирование водоледяной струи для очистки поверхности деталей машин происходит следующим образом: высоконапорная струя воды диаметром 0,15 – 0,3 мм смешивается с увлекаемым потоком ледяных частиц по принципу эжекции, в результате чего образовывалась двухфазная структура – водоледяная струя. Для данного процесса оптимальным является использование заранее подготовленных ледяных частиц размерами от 1,5 до 2 мм.

Механизм разрушения материала покрытия под действием водоледяной струи определяется многофазным характером высокоскоростного потока (вода- частицы льда). При этом струя воды, затратив часть своей энергии на разгон частиц льда, способна создать в разрушаемом материале напряжения соизмеримые с его прочностью. В то же время, частицы льда, осуществляют ударное воздействие на материал, образуя в нем микротрещины, являющиеся концентраторами напряжения, что способствует повышению эффективности очистки в целом.

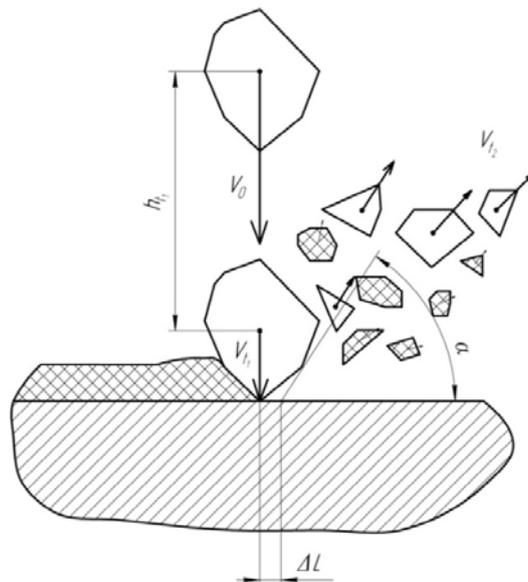


Рисунок 2 – Схема воздействия на удаляемое покрытие ледяной частицы и её разрушения

Гранулированный лед наиболее экономично получать путем дробления кускового льда, полученного в промышленных льдогенераторах.

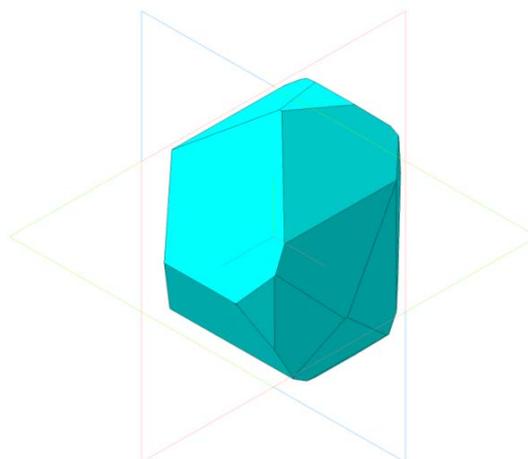


Рисунок 3 – Вид модели ледяной частицы изометрия

После механического дробления из ледяной крошки сепарируется необходимая фракция.

На основании результатов анализа литературных источников в процессе формирова-

ния водоледяной струи можно выделить следующие основные стадии:

1. Водяная струя, под высоким давлением вырываясь из струеформирующей насадки, создает в камере смешивания область низкого давления, в которую из подводящего канала увлекаются частицы льда.

2. В камере смешивания происходит увлечение частиц льда водяной струей, их перемешивание с потоком воды, а, также, интенсивный теплообмен.

3. В коллиматоре происходит разгон смеси воды и ледяных частиц.

Вся генерируемая при ударном взаимодействии энергия в замкнутой системе «частица льда – разрушаемый материал – материал детали», преобразуется в тепловой поток и работу резания. Определение доли энергии, затраченной на нагрев частицы льда, который сопровождается возникновением локальных зон обратного фазового перехода (ОФП) льда и на нагрев материала представляет особый интерес.

Загрязняющие покрытия обладают низкой способностью к теплопередаче, следовательно, определяющей механические и теплофизические свойства материала покрытий будет являться температура контактной поверхности «частица льда - материал».

Схема процесса взаимодействия частицы льда с покрытием представлена на рисунке 4.

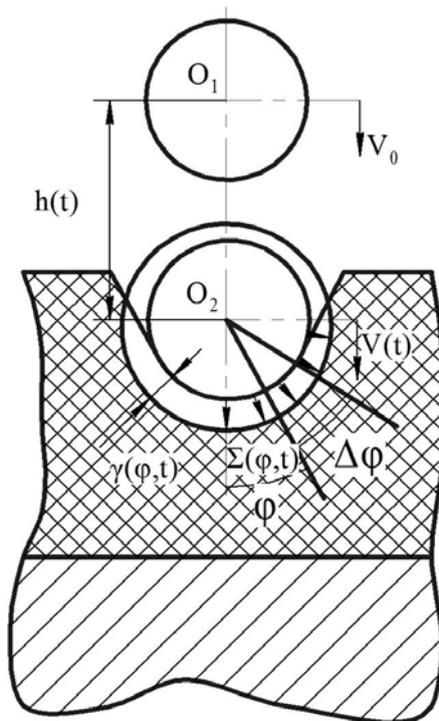


Рисунок 4 – Расчетная схема процесса взаимодействия водяной струи и частицы льда с удаляемым покрытием

Уравнение движения частицы льда в удаляемом материале запишется в следующем виде:

$$m(t) \frac{dV}{dt} = -\frac{1}{2} C_x \rho_c (T) S(h) V^2(t) - \sigma_{comp}(t) S(h) - F_{mp}(t, \varphi), \quad (1)$$

где  $m(t)$  - текущее значение массы частицы льда с учетом ОФП на контактирующей поверхности;

$V(t)$  - текущее значение скорости проникания;

$C_x$  - коэффициент лобового сопротивления частицы льда;

$S(h, \phi)$  - текущее значение проекции площади сечения частицы льда с учетом глубины проникания и наличия ОФП на элементарной площадке в пределах телесного угла  $\Delta\phi$ :

$$S(h, \phi) = \pi R^2(t, \phi) \cdot \left[ \frac{h(t)}{R(t, \phi)} H(R - h) + H(h - R) \right], \quad (2)$$

где  $h(t)$ ,  $R(t)$  - функции глубины проникания и текущего радиуса частицы льда с учетом ОФП соответственно;

$H(\dots)$  - функция Хевисайда.

Первое слагаемое правой части выражения (1) характеризует потерю кинетической энергии ледяной частицы при взаимодействии с материалом. Второе слагаемое отражает сопротивление материала разрушающему воздействию, а третье – силу трения, действующую на частицу при проникновении в удаляемый материал.

Для рассматриваемой схемы движения частицы льда в материале при наличии фазовых переходов на контактной поверхности, сила трения будет зависеть от наличия жидкой фазы:

$$F_{mp}(t, \phi) = f_V(t) \sigma_r(t, \phi) S(h, \phi) \cdot H [dA(t, \phi) - (q + C_V \Delta T_1) dm(t, \phi)] + 2\mu_1 \frac{V(t, \phi)}{\gamma(t, \phi)} S(h, \phi) \cdot H [(q + C_V \Delta T_1) dm(t, \phi) + dA(t, \phi)], \quad (3)$$

$$\sigma_x(t, \phi) = \frac{1}{2} \rho_c(t) V^2(t, \phi), \quad (4)$$

$$\sigma_r(t, \phi) = \frac{v_l}{1 - v_l} \sigma_x(t, \phi),$$

где  $(q + C_V \Delta T_1) dm(t, \phi)$  - значение энергии, необходимой для перевода твердой фазы сферического слоя массой  $dm$  в жидкое состояние;

$\mu_1$  - коэффициент динамической вязкости жидкой фазы;

$\gamma$  - размер зазора между поверхностью частицы льда и профилем каверны в преграде. Значение  $\gamma$  в пределах дискретной угловой координаты  $\Delta\phi$  определяется массой твердой фазы, ограниченной поверхностью в виде шарового слоя, «теряемой» в каждый дискретный момент времени;

$f_V(T)$  - функция скоростного коэффициента трения;

$\sigma_x(t, \phi)$  - значение осевого напряжения на поверхности контакта частицы льда с преградой, в общем случае, равное давлению скоростного напора;

$\sigma_r(t, \phi)$  - значение радиального напряжения на поверхности контакта частицы льда с преградой.

Работа сил сопротивления, определяющая интенсивность разогрева контактной зоны, представляется следующей суммой:

$$A(t, \phi) = A_1(t, \phi) + A_2(t, \phi) + A_3(t, \phi), \quad (5)$$

где  $A_1(t, \phi)$ ,  $A_2(t, \phi)$ ,  $A_3(t, \phi)$  - работа инерционной составляющей силы сопротивления, работа силы трения и работа сил сопротивления пластическому деформированию покрытия соответственно [12].

Изменение размера частицы льда при очистке в пределах угловой координаты  $\phi$  опре-

деляется по следующей зависимости:

$$d(t, \phi) = 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi\rho_l} \left( m(t) - \int_0^{\frac{\pi}{2}} m_l(\phi) d\phi \right)}, \quad (6)$$

где  $\rho_l$  - плотность частицы льда;

$m_l(\phi)$  - масса частицы льда, «потерянная»;

$$A(t, \phi) = Q(t, \phi), \quad (7)$$

где  $Q(t, \phi)$  - тепловая энергия системы контактирующих тел.

В соответствии с условием переноса тепла через граничную поверхность двух контактирующих тел при идеальном тепловом контакте [4] и законом сохранения энергии количество тепла, перешедшее в частицу льда, и соответствующее изменение её массы определяются:

$$dQ_1(t, \phi) = \frac{v_m}{v_l} dA(t, \phi),$$

$$m(t) = m(t - \tau) - \int_0^{\phi_k} \frac{Q_1(t, \phi)}{q + C_V^M \Delta T_1} d\phi, \quad (8)$$

где  $\Delta T_1$  - диапазон изменения температуры контактного слоя частицы льда, определяющего момент ОФП ( $\Delta T_1 = T_{ОФП} - T_{01}$ ;

$T_{ОФП}$  - температура ОФП;

$T_{01}$  - начальная температура частицы льда);

$m_0$  - начальная масса частицы льда.

Учитывая, что рассмотренный единичный акт взаимодействия ледяной частицы с разрушаемым материалом покрытия подобен остальным, с учетом некоторого коэффициента подобия, становится возможным вычислить процент энергии, затраченной на нагрев частицы льда, который сопровождается возникновением локальных зон обратного фазового перехода (ОФП) льда и на нагрев материала.

Представленный способ является перспективным направлением для очистки от различных загрязнений деталей автомобилей при проведении ремонта и в процессе эксплуатации. В ряде случаев данная технология позволит производить очистку деталей без полной разборки узла, а это уже серьезная экономия времени и средств.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степанов, Ю.С. Прогрессивные технологии гидроструйного резания материалов [Текст] / Ю.С. Степанов, М.А. Бурнашов, К.А. Головин. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2009. - 318 с.

2. Степанов, Ю.С. Очистка поверхностей высоконапорной водолеяной струей с заранее подготовленными частицами льда [Текст] / Ю.С. Степанов, М.А. Бурнашов, А.Н. Прежбилов, С.Д. Усмонов // Фундаментальные и прикладные проблемы модернизации современного машиностроения и металлургии. - Липецк: Изд-во ЛГТУ. - 2012. - Часть 2. - С. 7-11.

3. Прежбилов, А.Н. Исследование структуры ледяной частицы для реализации процесса водолеяной очистки поверхности деталей машин [Текст] / А.Н. Прежбилов // Фундаментальные проблемы техники и технологии. - Орел: ГУ-УНПК. - 2012. - № 3. - Часть 2. - С. 84-90.

4. Бурнашов, М.А. Модель ледяной частицы в программной среде Компас-3D [Текст] / М.А. Бурнашов, А.Н. Прежбилов // Высокие технологии в машиностроении. - Курган: Курганский гос. ун-т. - 2012. - С. 55-58.
5. Бурнашов, М.А. Исследование структуры ледяной частицы для реализации процесса водолеяной очистки поверхности деталей машин [Текст] / М.А. Бурнашов, А.Н. Прежбилов // Фундаментальные проблемы техники и технологии. - Орел: ГУ-УНПК. – 2012. - № 3. - Часть 2. - С. 84-90.
6. Бурнашов, М.А. Метод очистки поверхности водолеяной струей с заранее подготовленными частицами льда и оборудование для него [Текст] / М.А. Бурнашов, А.Н. Прежбилов // Мир транспорта и технологических машин. – Орел: Госуниверситет-УНПК. - 2013. - № 2(41). - С.66-70.
7. Степанов, Ю.С. Теоретическое обоснование развития метода очистки поверхности деталей машин высоконапорной водолеяной струей с заранее подготовленными частицами льда [Текст] / Ю.С. Степанов, М.А. Бурнашов, А.Н. Прежбилов; под ред. В.И. Гузеева и А.А. Дьяконова // Сборник научных трудов первой международной заочной научно-технической конференции. - Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ. - 2014. - С. 468-471.
8. Бурнашов, М.А. Исследование структуры ледяной частицы и построение её трехмерной модели для реализации процесса водолеяной очистки деталей машин [Текст] / М.А. Бурнашов, А.Н. Прежбилов // Научные технологии в машиностроении и авиадвигателестроении. – Рыбинск: РГАТУ имени П.А. Соловьева. - 2012. - Часть 1. - С. 272-276.
9. Бурнашов, М.А. Обзор оборудования для производства ледяных гранул, применяемых в процессе водолеяной очистки [Текст] / М.А. Бурнашов, А.Н. Прежбилов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - Орел: Госуниверситет-УНПК. - 2013. - №4 (300). - С. 56–61.
10. Козлов, Ю.С. Очистка изделий в машиностроении [Текст] / Ю.С. Козлов, О.К. Кузнецов, А.Ф. Тельнов. - М.: Машиностроение, 1982. – 261 с.
11. Бурнашов, М.А. Повышение эффективности разрезания листовых неметаллических материалов водолеяными струями высокого давления [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / М.А. Бурнашов. – Орел, 2010. - 37 с.
12. Зульков, А. Очистка поверхности струйными методами [Текст] / <http://www.ametall.ru/article2.php>.

**Бурнашов Михаил Анатольевич**

Технологический институт имени Н.Н. Поликарпова ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»  
Адрес: Россия, 302020, г. Орел, ул. Московская, д. 34  
Д-р техн. наук, профессор кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика»  
E-mail: [tmsi@ostu.ru](mailto:tmsi@ostu.ru)

**Прежбилов Александр Николаевич**

Технологический институт имени Н.Н. Поликарпова ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»  
Адрес: Россия, 302020, г. Орел, ул. Московская, д. 34  
Студент  
E-mail: [stker@rambler.ru](mailto:stker@rambler.ru)

---

M.A. BURNASHOV, A.N. PREZHBILOV

## CLEANING OF SURFACES OF DETAILS OF CARS WITH THE WATER ICE STREAM WITH IN ADVANCE PREPARED PARTICLES

*The way of the application and the prospect of cleaning the surfaces of automotive parts high-pressure jet vodoledyanoy with prepared ice particles.*

**Keywords:** *pollution of car parts, water jetting, ice particles, vodoledyanaya cleaning.*

### BIBLIOGRAPHY

1. Stepanov, YU.S. Progressivnye tekhnologii gidrostruynogo rezaniya materialov [Tekst] / Yu.S. Stepanov, M.A. Burnashov, K.A. Golovin. - Tula: Izd-vo TulGU, 2009. - 318 s.
2. Stepanov, YU.S. Ochistka poverkhnostey vysokonapornoy vodoledyanoy struey s zaranee podgotovlennymi chastitsami l'da [Tekst] / YU.S. Stepanov, M.A. Burnashov, A.N. Prezhbilov, S.D. Usmonov // Fundametal'nye

i prikladnye problemy modernizatsii sovremennogo mashinostroeniya i metallurgii. - Lipetsk: Izd-vo LGTU. - 2012. - Chast' 2. - S. 7-11.

3. Prezhbilov, A.N. Issledovanie struktury ledyanoy chastitsy dlya realizatsii protsessa vodoledyanoy ochistki poverkhnosti detaley mashin [Tekst] / A.N. Prezhbilov // Fundamental'nye problemy tekhniki i tekhnologii. - Orel: GU-UNPK. - 2012. - № 3. - Chast' 2. - S. 84-90.

4. Burnashov, M.A. Model' ledyanoy chastitsy v programmnoy srede Kompas-3D [Tekst] / M.A. Burnashov, A.N. Prezhbilov // Vysokie tekhnologii v mashinostroenii. - Kurgan: Kurganskiy gos. un-t. - 2012. - S. 55-58.

5. Burnashov, M.A. Issledovanie struktury ledyanoy chastitsy dlya realizatsii protsessa vodoledyanoy ochistki poverkhnosti detaley mashin [Tekst] / M.A. Burnashov, A.N. Prezhbilov // Fundamental'nye problemy tekhniki i tekhnologii. - Orel: GU-UNPK. - 2012. - № 3. - Chast' 2. - S. 84-90.

6. Burnashov, M.A. Metod ochistki poverkhnosti vodoledyanoy struey s zaranee podgotovlennymi chastitsami l'da i oborudovanie dlya nego [Tekst] / M.A. Burnashov, A.N. Prezhbilov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - Orel: Gosuniversitet-UNPK. - 2013. - № 2(41). - S.66-70.

7. Stepanov, YU.S. Teoreticheskoe obosnovanie razvitiya metoda ochistki poverkhnosti detaley mashin vysokonapornoy vodoledyanoy struey s zaranee podgotovlennymi chastitsami l'da [Tekst] / YU.S. Stepanov, M.A. Burnashov, A.N. Prezhbilov; pod red. V.I. Guzeeva i A.A. D'yakonova // Sbornik nauchnykh trudov pervoy mezhdunarodnoy zaochnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. - Chelyabinsk: Izdatel'skiy tsentr YUUGU. - 2014. - S. 468-471.

8. Burnashov, M.A. Issledovanie struktury ledyanoy chastitsy i postroenie eio trekhmernoy modeli dlya realizatsii protsessa vodoledyanoy ochistki detaley mashin [Tekst] / M.A. Burnashov, A.N. Prezhbilov // Nauko-emkie tekhnologii v mashinostroenii i aviadvigatelsestroenii. - Rybinsk: RGATU imeni P.A. Solov'eva. - 2012. - Chast' 1. - S. 272-276.

9. Burnashov, M.A. Obzor oborudovaniya dlya proizvodstva ledyanykh granul, primenyaemykh v protsesse vodoledyanoy ochistki [Tekst] / M.A. Burnashov, A.N. Prezhbilov // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. - Orel: Gosuniversitet-UNPK. - 2013. - №4 (300). - S. 56-61.

10. Kozlov, YU.S. Ochistka izdeliy v mashinostroenii [Tekst] / YU.S. Kozlov, O.K. Kuznetsov, A.F. Tel'nov. - M.: Mashinostroenie, 1982. - 261 s.

11. Burnashov, M.A. Povyshenie effektivnosti razrezaniya listovykh nemetallicheskikh materialov vodoledyanymi struyami vysokogo davleniya [Tekst]: avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk / M.A. Burnashov. - Orel, 2010. - 37 s.

12. Zul'kov, A. Ochistka poverkhnosti struynymi metodami [Tekst] / <http://www.ametall.ru/article2.php>

**Michael Anatolevich Burnashov**

SW Polikarpov Technological Institute FSEI HVT «State University – ESPC»

Address: Rossia, 302020, g. Orel, Street. Moscow, 34

Doctor of Technical Sciences, Professor of "Mechanical Engineering Design and Technology Computer Science"

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

**Alexander Nikolaevich Prezhbilov**

SW Polikarpov Technological Institute FSEI HVT «State University – ESPC»

Address: Rossia, 302020, g. Orel, Street. Moscow, 34

Student

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

УДК 621.43:628.892.2

Н.А. ФЕДИН, С.С. РЯБОВ

## ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОТРЕМОНТИРОВАННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И ИСТОЧНИКИ ПОСТУПЛЕНИЯ ПРОДУКТОВ ИЗНОСА В МОТОРНОЕ МАСЛО

*В статье даются показатели оценки качества отремонтированных двигателей. Рассматриваются источники поступления продуктов износа в моторное масло. Приведен химический состав двигателей СМД-62 и продукты износа в процессе изнашивания их в моторном масле. Даны параметры и качественные признаки технического состояния составных частей двигателя.*

**Ключевые слова:** новые и отремонтированные двигатели, обкатка, продукты износа, моторное масло, ресурс, качество.

В настоящее время для оценки качества ремонта в ремонтном производстве приняты следующие показатели качества: назначения, надежности, технико-экономические.

Показатели назначения или функциональные определяют при стендовых испытаниях по ГОСТ 18509–88, показатели надежности при эксплуатационных испытаниях. Технико-экономические показатели определяют в соответствии с методикой оценки экономической эффективности.

1. Показатели индивидуальной оценки качества отремонтированного двигателя на основе спектрального анализа масла в условиях ремонтного производства.

При оценке качества отремонтированных двигателей по результатам анализа моторного масла отдельными оценочными показателями могут быть:

- 1) содержание продуктов износа в моторном масле (железа, алюминия, хрома, олова, меди);
- 2) содержание воды;
- 3) температура вспышки моторного масла;
- 4) содержание примесей кремния;
- 5) щелочное число;
- 6) вязкость.

Поскольку перед ремонтным производством стоит задача довести ресурс отремонтированных двигателей до 80 % ресурса новых, за базовые приняты показатели качества нового двигателя при испытаниях в одинаковых условиях. Оценивать качество предполагается путем сопоставления единичных показателей качества отремонтированного двигателя с единичными показателями качества базового двигателя (нового). При таком сопоставлении можно выявить уровень соответствия базовому – в целом и по отдельным показателям.

При индивидуальной оценке качества отремонтированного двигателя регистрируют динамику накопления продуктов износа в моторном масле в течение 60-часовой стендовой и эксплуатационной обкатки. Критерием качества служит ресурс деталей ЦПГ и КШГ, определяемый по функции  $y(t)$  изменения концентрации продуктов износа в масле за период обкатки.

Единичный показатель (концентрацию) каждого отремонтированного двигателя можно представить в виде

$$y_{рфи} \leq z_i y_{ни}, \quad (1)$$

где  $y_{рфи}$  – фактическое значение  $i$ -го показателя (концентрации продуктов износа в масле) отремонтированного двигателя;

$z_i$  – нормативный коэффициент связи показателей нового и отремонтированного двига-

телей;

$y_{ni}$  – нормативное значение рассматриваемого показателя для нового двигателя.

Имея единичные показатели, можно найти обобщенный показатель

$$y_{op} = \frac{1}{n} \sum \frac{y_{фi}}{y_{ni}}, \quad (2)$$

или

$$y_{op} = \frac{1}{n} \sum z_{фi} \eta_i, \quad (3)$$

где  $n$  – число оцениваемых деталей сопряжения;

$z_{фi}$  – фактический коэффициент связи показателей нового и отремонтированного двигателей;

$\eta_i$  – весомость  $i$ -го показателя.

Показателем надежности является межремонтный ресурс, связанный со скоростью поступления продуктов износа в масло и концентрацией продуктов износа.

2. Показатели групповой оценки качества отремонтированных двигателей на ремонтном предприятии. Оценка качества отремонтированных двигателей на ремонтном предприятии осуществляется по показателям надёжности, таким, как средний межремонтный ресурс, связанный со скоростью поступления продуктов износа.

Как уже отмечалось, при использовании спектрального анализа масла для оценки технического состояния двигателей групповую оценку качества их ремонта на данном предприятии осуществляют в сравнении с новыми по параметрам закона распределения концентрации продуктов износа в масле после 60-часовой обкатки. Показатели качества (среднее значение концентрации, среднее квадратическое отклонение и др.) в этом случае функционально связаны с ресурсом двигателей.

Учитывая вышеизложенное, для оценки качества отремонтированных двигателей на ремонтных предприятиях можно рекомендовать следующие показатели: межремонтный ресурс, скорость поступления продуктов износа, концентрацию продуктов износа и технико-экономический минимум удельных затрат, при которых целесообразна эксплуатация отремонтированных двигателей. Кроме того, в качестве дополнительного используется показатель безотказности.

Изнашивание материалов – процесс разрушения поверхностных слоев трущихся тел, который приводит к уменьшению размеров тел (износу) в направлении, перпендикулярном поверхностям трения. В двигателе встречаются различные виды изнашивания. При изнашивании сопряженных деталей, обусловленном трением скольжения, различают механическое изнашивание материала деталей в результате механических воздействий при трении (например, абразивное изнашивание); молекулярно-механическое изнашивание в результате одновременного действия механических и молекулярных сил при трении; коррозионно-механическое изнашивание материала деталей, характеризующееся одновременным пластическим деформированием поверхностного слоя и его физико-химическими взаимодействиями со средой при трении.

В автотракторных двигателях в зависимости от условий работы деталей и качества технического обслуживания, конструкции двигателя, качества топлива и масла доля того или иного вида изнашивания колеблется в широких пределах. По данным Вамайса, на долю абразивного изнашивания поршневых колец приходится 44 %; по исследованиям М.П.Зубиетовой, на долю абразивного изнашивания цилиндров приходится от 80 до 90 %.

Процессы изнашивания, происходящие в двигателе, осложняются влиянием большого числа факторов: неустановившимися скоростными и нагрузочными режимами, значительными перепадами температур запыленностью поступающего в двигатель воздуха (особенно частицами

кремния).

Каждый из перечисленных факторов может значительно повлиять на скорость изнашивания деталей, но, поскольку периодичность и длительность их воздействия носят при эксплуатации случайный характер, контролировать и учитывать эти факторы практически невозможно.

Известно, что основными сопряжениями, лимитирующими ресурс двигателя, являются цилиндропоршневая и кривошипно-шатунная группы. На процесс изнашивания названных сопряжений отремонтированных двигателей влияют начальные зазоры. По мере совершенствования процессов и организации ремонта они будут приближаться к значениям, принятым для новых двигателей. Точность линейных и угловых размеров, заданные показатели шероховатости и волнистости поверхности, отклонения от правильной геометрической формы в пределах заданных допусков зависят от технологических возможностей заключительных операций при ремонте.

Уменьшение начального зазора сверх нормативного значения приводит к нарушению жидкостного трения в сопряжении, в результате чего возникают прямой контакт деталей нагруженного сопряжения и ускоренный их износ.

Микрогеометрия деталей определяется размерами, формой и расположением поверхностей. Искажение геометрической формы деталей, а также нарушение расположения осей и поверхностей приводят к повышенному и неравномерному изнашиванию деталей, изменению характера посадок, вызывают контактное трение, очаги задиров, неравномерное распределение напряжений.

Малоярославецким филиалом ГОСНИТИ было проведено исследование уровня качества ремонта двигателей на ряде ремонтных предприятий. При этом установлено, что основной причиной повышенных и аварийных износов сопряжений, определяющих ресурс капитально отремонтированных двигателей, являются не микро-, а макрогеометрические отклонения основных деталей двигателей и точность их взаимного расположения.

Процесс изнашивания зависит также от качества поверхностного слоя, характеризующегося структурой, микротвердостью, глубиной наклёпа, остаточными напряжениями.

Рациональное формирование трущихся поверхностей деталей двигателя должна обеспечить обкатка, в течение которой происходит приработка деталей. Приработка – это процесс перехода геометрических характеристик поверхности и физико-механических характеристик поверхностных слоев деталей от исходного состояния к эксплуатационному. Процесс этот должен быть по возможности кратковременным и сопровождаться минимальными износами деталей.

Анализ дефектов в процессе приработки двигателей показывает, что наиболее характерны из них следующие: задиры, риски, натиры, наплывы, неравномерная шероховатость, неполная приработка поверхностей, залегание поршневых колец в канавках, заклинивание сопряженных деталей. Причины неудовлетворительной приработки кроются в несоблюдении оптимальных зазоров в сопряжениях, нарушении макрогеометрии деталей под воздействием монтажных нагрузок и деформаций, неудовлетворительной очистке деталей, низком качестве применяемых при обкатке масел и т.д., т.е. в нарушении технологического процесса ремонта. Результаты приработки позволяют довольно полно судить о степени соблюдения технологии ремонта.

Исследования Б.И. Костецкого, Ю.С. Заславского, Г.В. Виноградова, А.С. Ахматова, Г.П. Шаронова, Н.З. Савченко и др. показывают, что в процессе приработки одновременно с формированием оптимальной микрогеометрии в поверхностных слоях материала деталей происходят сложные физико-механические превращения. Использование различных типов масел и присадок к ним позволяет изменить характер и интенсивность этих превращений, что даёт возможность управлять процессом приработки пар трения.

Зная закономерности изменения скорости изнашивания деталей в зависимости от времени их работы, можно определить среднее значение этой скорости и рассчитать ресурс

деталей. Скорость изнашивания зависит от нагрузки на поверхности трения, твердости трущихся деталей, шероховатости их поверхности, вязкости масла, условий эксплуатации, в которых работает двигатель, квалификации обслуживающего персонала. Различия в скоростях изнашивания деталей в процессе испытания двигателей при равнозначных эксплуатационных факторах (единая методика испытаний) и конструктивных факторах (единые технические условия на ремонт двигателей) позволяют в общем случае оценивать влияние технологического фактора на качество ремонта двигателей.

Подвижные сопряжения двигателей во время работы претерпевают три периода изнашивания (рис. 1).

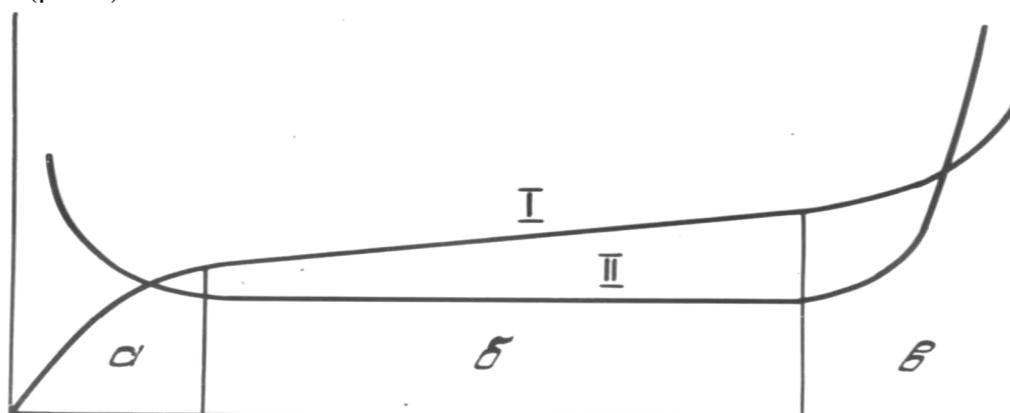


Рисунок 1 - Зависимость кривых нарастания износа (I) и изменения скорости изнашивания (II) деталей двигателя от времени их работы: а – период начального изнашивания – приработки; б – период установившегося изнашивания; в – период усиленного (аварийного) изнашивания

Начальный период (а), или период приработки, когда от исходного состояния поверхности трения переходят к установившемуся состоянию. В этот период скорость изнашивания (кривая II) уменьшается, приближаясь к некоторой постоянной величине, характерной для периода изнашивания (б). Период установившегося изнашивания (б) отличается постоянством условий трения, постоянной скоростью изнашивания (кривая II), характерной для данных условий работы; для периода усиленного изнашивания (в), вызываемого увеличением зазоров в трущихся сопряжениях с изменением геометрических форм деталей, характерен рост скорости изнашивания (кривая II).

В настоящее время окончательного представления о механизме начального изнашивания деталей машин еще не сложилось.

Исследованиями установлено, что параметры двигателей (мощность, удельный расход топлива, расход масла и др.) в период приработки улучшаются вследствие уменьшения микронеровностей и макрогеометрических отклонений, формирования оптимальных температур рабочих поверхностей.

Изменение параметров двигателя Д-50 в период приработки на режимах, имитирующих предэксплуатационную обкатку изображено на рисунках 2 и 3. На оси абсцисс (рис. 2) представлены значения функционалов

$$\Phi^{(i)}(t) = \frac{p^{(i)}(t) - p_0^{(i)}}{p_0^{(i)} - p_a^{(i)}}, \quad (4)$$

где  $p^{(i)}(t)$ ,  $p_0^{(i)}$  – текущее и начальное значения  $i$ -го параметра (в момент окончания технологической обкатки);

$p_a^{(i)}$  – базовое значение  $i$ -го параметра (в момент окончания полной приработки).

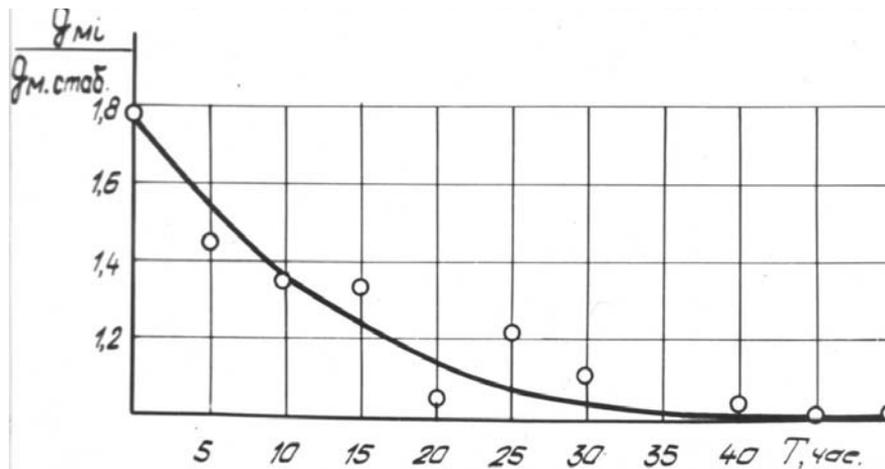


Рисунок 2 - Изменение расхода масла в период приработки двигателя Д-50

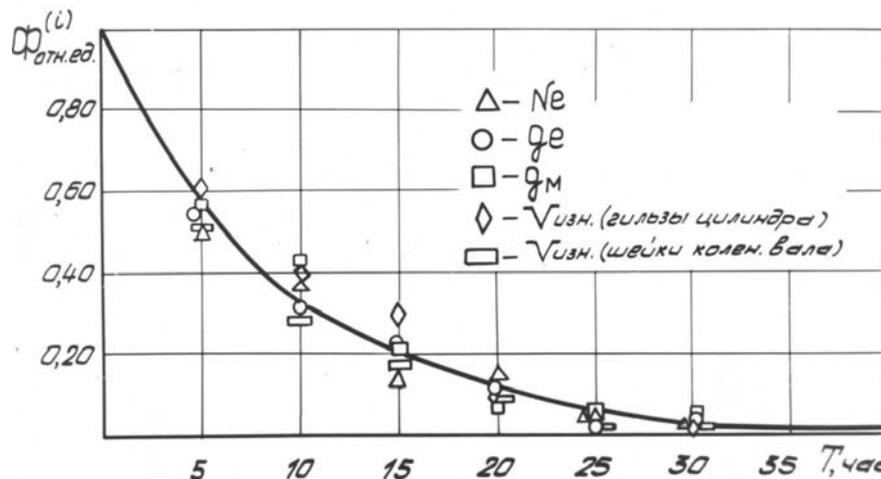


Рисунок 3 - Относительное изменение основных параметров двигателя Д-50 в начальный период приработки

Совпадение характера зависимостей  $\phi^{(i)}(t)$  для различных параметров двигателя свидетельствует о наличии определенных взаимосвязей между изменением расхода масла и рядом других параметров двигателей на различных режимах.

Продукты износа в виде частиц различных размеров смываются маслом с поверхностей трения и попадают в картер. Химический анализ состава примесей в моторном масле выявляет наличие в них тех или иных элементов, характерных для конкретных деталей.

Например, химический анализ показал, что в материале различных деталей двигателя СМД-62 содержатся различные, характерные для них, элементы: поршень – 81,3 % алюминия, втулка верхней головки шатуна – 88 % меди, шатунные вкладыши – 7 % олова, коренные вкладыши – 20 % олова, втулка маслонасоса – 89,5 % меди, подшипник распределительного вала – 88 % меди, подшипник турбокомпрессора – 80 % меди, кольца – 90,7 % железа, гильза – 92,4 % железа, коленчатый вал – 98,5 % железа, распределительный вал – 98,45 % железа, поршневой палец – 95,3 % железа, штанга толкателя – 95,3 % железа.

В продуктах износа, попавших в моторное масло, будет преобладать химический элемент, характерный для конкретной детали. По содержанию этих элементов в масле можно судить о степени износа той или иной детали. Так, износ колец, гильз, коленчатого вала, поршневых пальцев, распределительного вала, штанг толкателей будет характеризоваться содержанием железа в масле; втулок верхней головки шатуна, подшипника распределительного вала, втулки маслонасоса, подшипника турбокомпрессора – содержанием меди; поршня – содержанием алюминия; вкладышей – содержанием олова; компрессионных колец – содержанием хрома (рис. 4).

По данным исследований, общее количество железа, поступающего в масло, в среднем распределяется следующим образом: 66–85 % от износа цилиндров; 30 % – от износа поршневых колец; 7 % – от износа коленчатого вала; 3 % – от износа остальных деталей.

Низкое качество ремонта способствует повышению концентрации продуктов износа в моторном масле.

Таким образом, концентрация в моторном масле химических элементов, характерных для деталей цилиндропоршневой и кривошипно-шатунной групп, позволяет судить о скорости изнашивания этих сопряжений и качестве их ремонта, а также даёт возможность прогнозировать ресурс.



Рисунок 4 - Параметры и качественные признаки технического состояния составных частей двигателей

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев, М.А. Качество моторного масла и надежность двигателей [Текст] / М.А. Григорьев, Б.М. Бунаков, В.А. Долецкий. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 232 с.
2. Федин, Н.А. Качество отремонтированных двигателей [Текст] / Н.А. Федин // Известия вузов. Строительство – Новосибирск. - 2000. - № 1. - С. 81-84.
3. Федин, Н.А. Исследование результатов диагностирования моторного масла для оценки качество отремонтированных двигателей [Текст] / Н.А. Федин // Материалы 1 международной научно-технической конференции. – 2000. - Ч2. - Пенза: ПГАСА. - С. 65-68.
4. Федин, Н.А. Оценка качества отремонтированных двигателей [Текст]: монография / Н.А. Федин, Т.Г. Федина. – Пенза: ПГУАС, 2010. – 132 с.
5. Михлин, В.М. Прогнозирование технического состояния машин [Текст] / В.М. Михлин. - М.: Колос 1976. – 288 с.
6. Костецкий, Б.И. Трение, смазки и износа в машинах [Текст] / Б.И. Костецкий. – Киев: Техника, 1970. – 396 с.
7. Артемьев, Ю.Н. Качество ремонта и надежность машин в сельском хозяйстве [Текст] / Ю.Н. Артемьев. - М.: Колос, 1981. - 239 с.
8. Венцель, С.В. Применение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания [Текст] / С.В. Венцель. – М.: Химия, 1979. – 249 с.

9. Биргер, И.А. Техническая диагностика [Текст] / И.А. Биргер. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.
10. Величкин, И.Н. Ускоренная оценка стойкости деталей дизелей против абразивного износа [Текст] / И.Н. Величкин и др. // Тракторы и сельхозмашины. – 1981. – № 10. – С. 5-7.
11. Величкин, И. Оценка технического состояния цилиндро-поршневой группы без разборки двигателя [Текст] / И. Величкин, Н. Хоменко // Техника в сельском хозяйстве. – 1976. – № 7. – С.67-69.
12. Венцель, С.В. Применение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания [Текст] / С.В. Венцель. – М.: Химия, 1979. – 240 с.
13. Волков, С.И. Структура и анализ показателей качества ремонта автотракторных двигателей [Текст] / С.И. Волков. – М.: ЦНИИТЭИ, 1975. – 64 с.
14. Гмурман, В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике [Текст] / В.Е. Гмурман. – М.: Высш. шк., 1975. – 333 с.
15. ГОСТ 15467–79. Управление качеством. Термины и определения [Текст]. – Взамен ГОСТов 15467–70, 16431–70, 17341–71, 17102–71; Введ. 01.07.79. – 25 с.
16. Федин, Н.А. Накопление продуктов износа в моторном масле двигателей внутреннего сгорания [Текст] / Н.А. Федин, С.С. Рябов // Мир транспорта и технологических машин. – Орел: Госуниверситет – УНПК. – 2014. – С. 21-25.
17. Федин, Н.А. К вопросу об определении ресурса отремонтированных двигателей по результатам анализа моторного масла [Текст] / Н.А. Федин, С.С. Рябов // Мир транспорта и технологических машин. – Орел: Госуниверситет – УНПК. – 2015. – С. 3-12.
18. ГОСТ 16468–79. Надежность изделий машиностроения. Система сбора и обработки информации. Основные положения [Текст]. – Взамен ГОСТ 16468–70; введ. 01.01.80. – 8 с.
19. Ждановский, Н.С. Диагностика автотракторных двигателей с использованием электронных приборов [Текст] / Н.С. Ждановский, В.А. Аллилуев, В.М. Михлин. – Ленинград–Пушкин: ЛСХИ, 1973. – 127 с.
20. Федин, Н.А. Анализ математического модели процесса накопления продуктов износа в моторном масле и обоснование номенклатуры основных сопряжений двигателя, диагностируемых методом спектрального анализа масла [Текст] / Н.А. Федин, С.С. Рябов // Мир транспорта и технологических машин. – Орел: Госуниверситет – УНПК. – 2014. – С. 3-11.

**Федин Николай Алексеевич**

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»

Адрес: Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, 28

Канд. техн. наук, доцент кафедры «Начертательная геометрия и графика»

E-mail: ngig@pguas.ru

**Рябов Сергей Сергеевич**

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»

Адрес: Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, 28

Студент гр. ЭТМК-21

E-mail: sergryaboff@mail.ru

---

N.A. FEDIN, S.S. RYABOV

## THE INDICATORS OF AN ASSESSMENT OF QUALITY OF THE REPAIRED ENGINES AND SOURCES OF DETERIORATION PRODUCTS IN ENGINE OIL

*In the article indicators of an assessment of quality of the repaired engines are given. The sources of deterioration products in engine oil are considered. The chemical composition of SMD-62 engines and deterioration products is given in the process of their deterioration in engine oil. Parameters and qualitative signs of technical condition of components of the engine are given.*

**Keywords:** *new and repaired engines, running in, deterioration products, engine oil, resource, quality.*

## BIBLIOGRAPHY

1. Grigor'ev, M.A. Kachestvo motornogo masla i nadezhnost' dvigateley [Tekst] / M.A. Grigor'ev, B.M. Bunakov, V.A. Doletskiy. - M.: Izd-vo standartov, 1984. - 232 s.
2. Fedin, N.A. Kachestvo otremonirovannykh dvigateley [Tekst] / N.A. Fedin // Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo - Novosibirsk. - 2000. - № 1. - S. 81-84.
3. Fedin, N.A. Issledovanie rezul'tatov diagnostirovaniya motornogo masla dlya otsenki kachestva otremonirovannykh dvigateley [Tekst] / N.A. Fedin // Materialy 1 mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. - 2000. - CH2. - Penza: PGASA. - S. 65-68.
4. Fedin, N.A. Otsenka kachestva otremonirovannykh dvigateley [Tekst]: monografiya / N.A. Fedin, T.G. Fedina. - Penza: PGUAS, 2010. - 132 s.
5. Mikhlin, V.M. Prognozirovaniye tekhnicheskogo sostoyaniya mashin [Tekst] / V.M. Mikhlin. - M.: Kolos 1976. - 288 s.
6. Kostetskiy, B.I. Trenie, smazki i iznosa v mashinakh [Tekst] / B.I. Kostetskiy. - Kiev: Tekhnika, 1970. - 396 s.
7. Artem'ev, YU.N. Kachestvo remonta i nadezhnost' mashin v sel'skom khozyaystve [Tekst] / YU.N. Artem'ev. - M.: Kolos, 1981. - 239 s.
8. Ventsel', S.V. Primeneniye smazochnykh masel v dvigatelyakh vnutrennego sgoraniya [Tekst] / S.V. Ventsel'. - M.: Himiya, 1979. - 249 s.
9. Birger, I.A. Tekhnicheskaya diagnostika [Tekst] / I.A. Birger. - M.: Mashinostroeniye, 1978. - 240 s.
10. Velichkin, I.N. Uskorennaya otsenka stoykosti detaley dizeley protiv abrazivnogo iznosa [Tekst] / I.N. Velichkin i dr. // Traktory i sel'khoz mashiny. - 1981. - № 10. - S. 5-7.
11. Velichkin, I. Otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya tsilindro-porshnevoy gruppy bez razborki dvigatelya [Tekst] / I. Velichkin, N. Homenko // Tekhnika v sel'skom khozyaystve. - 1976. - № 7. - S.67-69.
12. Ventsel', S.V. Primeneniye smazochnykh masel v dvigatelyakh vnutrennego sgoraniya [Tekst] / S.V. Ventsel'. - M.: Himiya, 1979. - 240 s.
13. Volkov, S.I. Struktura i analiz pokazateley kachestva remonta avtotraktornykh dvigateley [Tekst] / S.I. Volkov. - M.: TSNIITEI, 1975. - 64 s.
14. Gmurman, V.E. Rukovodstvo k resheniyu zadach po teorii veroyatnostey i matematicheskoy statistike [Tekst] / V.E. Gmurman. - M.: Vyssh. shk., 1975. - 333 s.
15. GOST 15467-79. Upravleniye kachestvom. Terminy i opredeleniya [Tekst]. - Vzamen GOSTov 15467-70, 16431-70, 17341-71, 17102-71; Vved. 01.07.79. - 25 s.
16. Fedin, N.A. Nakopleniye produktov iznosa v motornom masle dvigateley vnutrennego sgoraniya [Tekst] / N.A. Fedin, S.S. Ryabov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - Orel: Gosuniversitet - UNPK. - 2014. - S. 21-25.
17. Fedin, N.A. K voprosu ob opredelenii resursa otremonirovannykh dvigateley po rezul'tatam analiza motornogo masla [Tekst] / N.A. Fedin, S.S. Ryabov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - Orel: Gosuniversitet - UNPK. - 2015. - S. 3-12.
18. GOST 16468-79. Nadezhnost' izdeliy mashinostroeniya. Sistema sbora i obrabotki informatsii. Osnovnyye polozheniya [Tekst]. - Vzamen GOST 16468-70; vved. 01.01.80. - 8 s.
19. Zhdanovskiy, N.S. Diagnostika avtotraktornykh dvigateley s ispol'zovaniem elektronnykh priborov [Tekst] / N.S. Zhdanovskiy, V.A. Alliluev, V.M. Mikhlin. - Leningrad-Pushkin: LSHI, 1973. - 127 s.
20. Fedin, N.A. Analiz matematicheskogo modeli protsessa nakopleniya produktov iznosa v motornom masle i obosnovaniye nomenklatury osnovnykh sopryazheniy dvigatelya, diagnostiruemykh metodom spektral'nogo analiza masla [Tekst] / N.A. Fedin, S.S. Ryabov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - Orel: Gosuniversitet - UNPK. - 2014. - S. 3-11.

### **Fedin Nikolay Akekseevich**

FGBOU VPO "Penza State University of Architecture and Construction"

Address: Rossiya, 440028, g. Penza city, Titova, 28

Candidate tech. science, assistant, professor of "Descriptive Geometry"

E-mail: ngig@pguas.ru

### **Ryabov Sergey Sergeevich**

FGBOU VPO "Penza State University of Architecture and Construction"

Address: Rossiya, 440028, g. Penza city, Titova, 28.

Student gr. ETMK-21

E-mail: sergryaboff@mail.ru

УДК 621.224.6

Р.М. ШАХБАНОВ, Л.А. САВИН, С.В. ГРИГОРЬЕВ

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ**

*Рассматриваются вопросы повышения КПД центробежных насосов путем решения задачи параметрического синтеза на основе многовариантного вычислительного эксперимента с использованием программных продуктов, позволяющих проводить 3D моделирование проточных каналов сложной геометрии и гидродинамического анализа CFD методами. Представлена поэтапная процедура поиска оптимальной геометрии рабочих колес. Приведены результаты расчета полей давлений и скоростей в ступени центробежного насоса, а также поверхности отклика, аппроксимирующие зависимости целевой функции от геометрических параметров.*

**Ключевые слова:** центробежный насос, программный модуль, процедура оптимизации, многовариантный вычислительный эксперимент, поля скоростей и давлений, функция отклика.

Насосные агрегаты входят в состав большинства транспортных и технологических систем. По экспертным оценкам 20-25% мирового потребления электроэнергии приходится на насосное оборудование, а в отдельных отраслях этот показатель может достигать 50% [1]. По сведениям крупных нефтедобывающих компаний энергетические затраты на систему поддержания пластового давления в скважинах составляют до 40%, а для высоковязкой тяжелой нефти этот показатель значительно выше. В связи с этим проблему повышения энергоэффективности насосов следует рассматривать не просто как приоритетную, а как стратегическую и государственную. Не случайно в странах ЕС разработана и реализуется программа Euro pumps, тесно связанная с энергосбережением [2, 3].

В транспортировке энергоносителей и различных рабочих сред широкое распространение получили центробежные насосы. При транспортировке энергоносителей и перекачке технологических жидких, многофазных и многокомпонентных сред широкое распространение в силу ряда эксплуатационных преимуществ получили центробежные насосы, которые в данном случае рассматриваются как объект исследования и проектирования [4, 5, 6]. Решение задач повышения энергетической эффективности, в частности КПД центробежных насосов, достигается за счет проведения процедуры параметрической оптимизации на этапах анализа и синтеза конструкции. Существующие и используемые методики в практике проектирования элементов динамических насосов – рабочих колес (крыльчаток), шнеков, подводящих, направляющих и отводящих аппаратах дают приемлемые результаты, но не обеспечивают определение оптимальных параметров, обеспечивающих высокие показатели энергоэффективности, ресурса, надежности [7, 8, 9]. Один из наиболее рациональных путей совершенствования проектирования достигается проведением комплексных многовариантных вычислительных экспериментов.

С появлением мощных вычислительных машин и соответствующих программных продуктов позволяющих моделировать сложную 3D геометрию проточных частей насосов с последующим гидродинамическим анализом численными методами (CFD) процесс проектирования и оптимизации конструкции центробежных насосов значительно ускоряется, не прибегая к дорогостоящим натурным испытаниям [10].

Задача повышения энергоэффективности насоса была решена на примере ступени центробежного многоступенчатого насоса ЦНС. Для выполнения гидродинамического анализа необходимо смоделировать геометрию проточной части ступени (рис. 1).

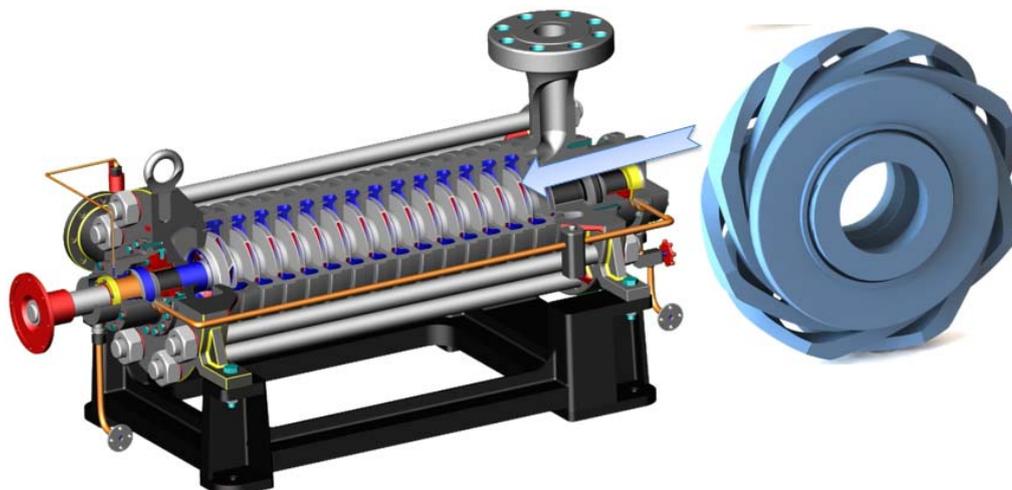


Рисунок 1 – Многоступенчатый насос ЦНС и геометрия проточной части ступени

Улучшение энергетических параметров центробежного насоса достигалось путем оптимизации геометрии его рабочего колеса. Решение поставленной задачи осуществлялось в несколько этапов, схематично изображенных на рисунке 2.

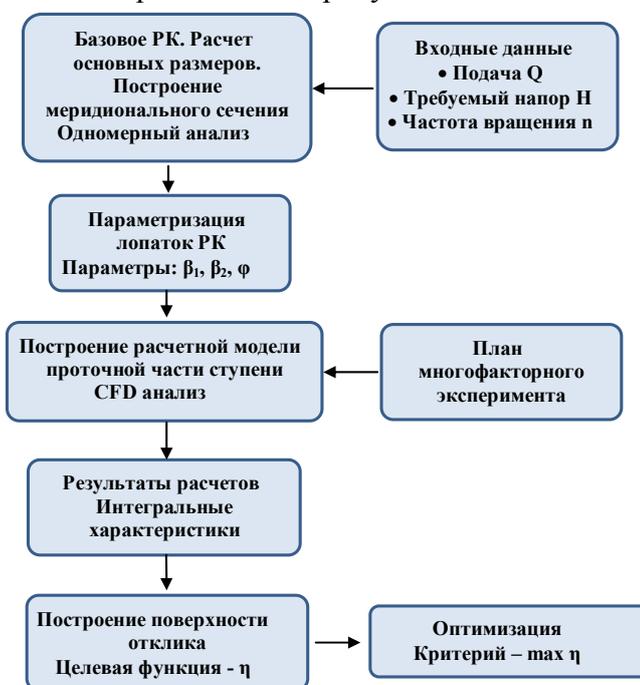


Рисунок 2 – Схема процедуры оптимизации

1. В соответствии с требуемыми значениями расхода, напора и частоты вращения центробежного насоса определяются основные размеры рабочего колеса. Выполняется построение меридионального контура рабочего колеса, который и будет определять основные параметры, такие как подачу и напор [4, 5]. На данном этапе рабочее колесо принимается с начальными настройками геометрических параметров.

2. После определения меридионального контура переходим к следующему этапу - факторному эксперименту, в котором мы проводим вариацию параметров в заданном диапазоне. Планирование эксперимента осуществляется методом центрального композиционного плана [11]. Варьируемые геометрические параметры: угол входа  $\beta_1$ , угол выхода  $\beta_2$ , угол раскрытия  $\phi$ .

3. Создаются трехмерные геометрические модели рабочих колес и проточной части насоса, на основании которых получают расчетные модели для последующего гидродинамического анализа.

4. Выполняется гидродинамический расчет течения жидкости (воды) в проточной части ступени насоса [16]. Проводится анализ результатов численного эксперимента математической модели [17, 18, 19].

Численное моделирование проводилось в программном продукте ANSYS CFX. Расчетная модель состоит из двух областей (доменов). Вращающийся – рабочее колесо и стационарный – направляющий аппарат. Сопряжение расчетных областей происходит по поверхностям интерфейсов. Граничные условия на входе задавались в виде профиля скоростей, а на выходе – полное давление. Турбулентность учтена с помощью модели k-ε [12, 13, 14]. Расчетная модель с граничными условиями показана на рисунке 3.

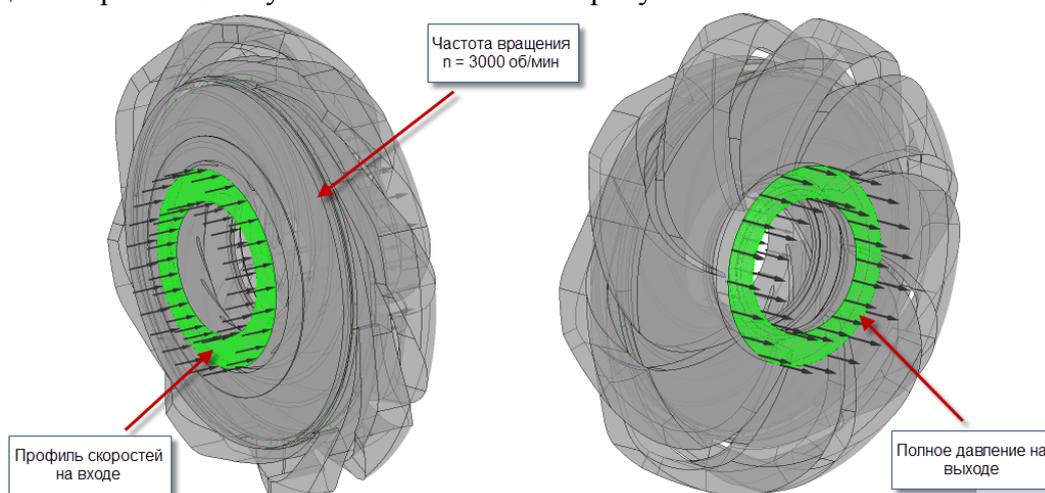


Рисунок 3 – Расчетная модель ступени насоса

В результате оптимизации геометрии рабочего колеса ступени насоса в рабочем режиме при подаче  $Q = 180 \text{ м}^3/\text{ч}$  и развиваемом напоре  $H = 123 \text{ м}$  получили максимальный гидравлический КПД равный 88,34%. Картины распределения давлений и скоростей выглядят, как показано ниже на рисунке 4. Для наглядного представления результатов расчета покажем сечения ступени насоса по плоскости XY.

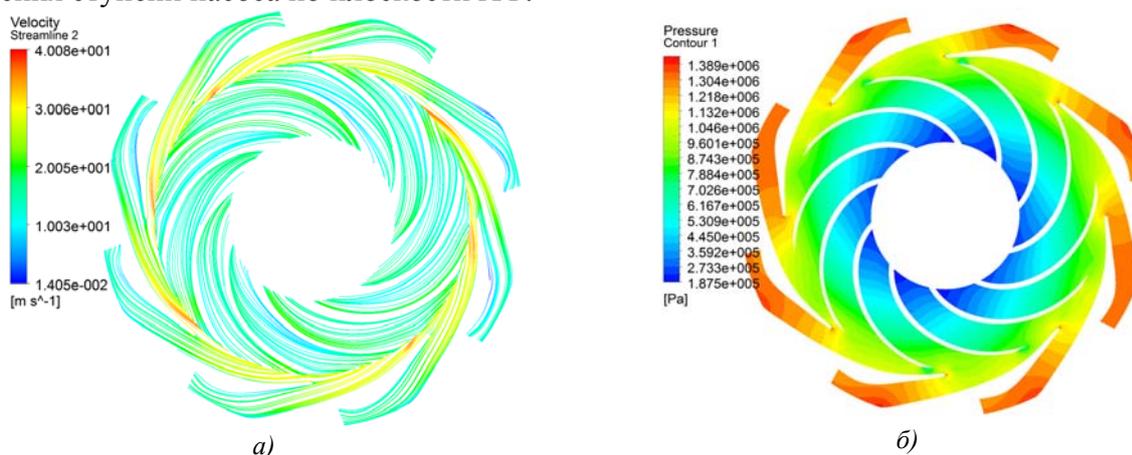


Рисунок 4 – Результаты расчета ступени насоса

а) линии тока скоростей в сечении ступени, б) поле давлений в сечении ступени

Из рисунка 4,а видно, что структура потока в проточной части ступени характеризуется безвихревым течением жидкости и отсутствием отрывов пограничного слоя в рабочем колесе и диффузорной части направляющего аппарата [15]. Это факт благоприятно сказывается

на гидравлическом КПД ступени насоса. Поле давлений в сечении насоса отображает постепенное увеличение статического давления от центра рабочего колеса к периферии ступени (рис. 4,б).

5. Результаты вычислительных экспериментов служат для построения поверхностей, аппроксимирующих реальные зависимости целевой функции и ограничений от значений проектных параметров (рис. 5,а). Такой подход позволяет сократить время процедуры оптимизации [20]. Построение поверхностей отклика может осуществляться с использованием методов аппроксимации полиномами второго порядка:

$$y_i = \alpha_0^j + \sum_{i=0}^n \alpha_i^j x_i + \sum_{i \neq k} \alpha_{i,k}^j x_i x_k + \sum_{i=k}^n \alpha_{i,k}^j x_i x_k$$

Эта поверхность имеет явный экстремум, который соответствует максимуму КПД. Для более детального рассмотрения области максимума целесообразно рассмотреть контурный график (рис. 5,б). На графике показаны линии уровня поверхности.

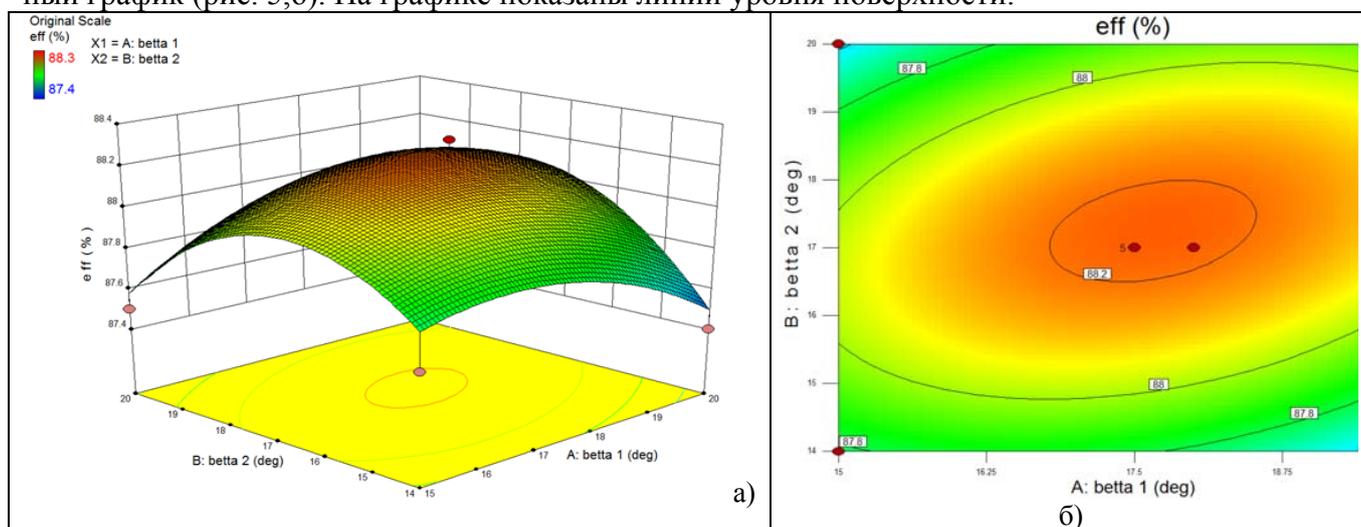


Рисунок 5 – Поверхность отклика (значение КПД ступени в зависимости от углов  $\beta_1, \beta_2$ ):  
а) трехмерное отображение поверхности отклика б) контурный график

Поверхность отклика позволяет понять корреляцию между различными параметрами модели и выполнить оптимизационный поиск. В результате создаются рабочие колеса центробежных насосов с оптимальными соотношениями геометрических параметров, обеспечивающие максимальное значение КПД при заданном режиме работы.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На примере одной из ступеней многосекционного центробежного насоса была рассмотрена базовая процедура оптимизации сложной геометрии лопастей рабочего колеса. Как результат, гидравлический КПД ступени был увеличен на 2%. Сформулированная процедура параметрической оптимизации элементов центробежных насосов с использованием вычислительных средств позволяет совершенствовать геометрию и повышать энергетические показатели центробежных насосов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pump Life Cycle Costs: A Guide to LCC Analysis for Pumping Systems.
2. Караханьян, В. РАПН сегодня [Текст] / В. Караханьян // «Насосы&оборудование». - 2005. № 2-3. – С. 6-8.
3. Караханьян, В. Есорптр – программа Еигорптр по снижению энергопотребления и защите окружающей среды [Текст] / В. Караханьян // «Насосы&оборудование». - 2005. - № 5. – С. 5-6.
4. Айзенштейн, М. Д. Центробежные насосы для нефтяной промышленности [Текст] / М.Д. Айзенштейн. – М.: Гостоптехиздат, 1957. – 358 с.

5. Михайлов, А. К. Лопастные насосы. Теория, расчет и конструирование [Текст] / А. К. Михайлов, В.В. Малюшенко. - М., «Машиностроение», 1977. – 288 с.
6. Ломакин, А. А. Центробежные и осевые насосы [Текст] / А. А. Ломакин. - 2-е изд. перераб. и доп. – М.-Л.: Машиностроение, 1966. - 364 с.
7. Грянко, Л. П. Лопастные насосы [Текст] / Л.П. Грянко, А. Н. Папир. - Л.: Машиностроение, 1975. - 432 с.
8. Шерстюк, А. Н. Насосы, вентиляторы и компрессоры [Текст]: учебное пособие для вузов. - М, «Высшая школа», 1972. – 344 с.
9. Пфлейдерер, К. Лопаточные машины для жидкостей и газов. Водяные насосы, вентиляторы, турбовоздуходувки, турбокомпрессоры [Текст] / К. Пфлейдерер. - 2-е переработанное издание. - М., 1960. – 668 с.
10. Johann Friedrich Gülich. Centrifugal Pumps / Johann Friedrich Gülich. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2008, 2010. – 964 p.
11. Boddy R., Smith G. Effective Experimentation: For Scientists and Technologists. Wiley, 2010
12. Bardina J.E., Huang P.G., Coakley T.J, Turbulence Modeling Validation, Testing and Development // NASA reports – April 1997.
13. Wilcox, David C. "Turbulence Modeling for CFD". Second edition. Anaheim: DCW Industries, 1998. pp. 174.
14. Biswas G., Eswaran V. Turbulent Flows – Fundamentals, Experiments and Modeling. Narosa Publishing House, 2002
15. Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя [Текст] / Г. Шлихтинг. - М.: Наука, 1974. - 712 с.
16. ANSYS CFX 13.0 Solver Theory Guide. Release 12.1 - 2009. – 258 с.
17. Андерсон, Д. Вычислительная гидродинамика и теплообмен [Текст] / Д. Андерсон, Дж. Таннехил, Р. Плетчер. - В 2-х т. - Т. 1. - Пер. с англ. - М.: Мир, 1990. - 384 с.
18. Lewis R.W., Nithiarasu P., Seetharamu K.N. Fundamentals of the Finite Element Method for Heat and Fluid Flow, Wiley.
19. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L. The Finite Element Method. Fluid Dynamics. Fifth edition, Butterworth-Heinemann, 2010.
20. Myers R. H., Montgomery D. C., Anderson-Cook C. M. Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments, Wiley, 3rd Edition., 2009. - 704 с.

**Шахбанов Ризван Магомедсаидович**

ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК»

Адрес: Россия, 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29

Сотрудник кафедры «Мехатроника и международный инжиниринг»

E-mail: rizione12@gmail.com

**Савин Леонид Алексеевич**

ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК»

Адрес: Россия, 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29

Д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Мехатроника и международный инжиниринг»

E-mail: savin@ostu.ru

**Григорьев Сергей Васильевич**

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»

Адрес: Россия, 394026, г. Воронеж, Московский проспект, 14

Канд. техн. наук, доцент кафедры «Нефтегазовое оборудование и транспортировка»

E-mail: gsv-4@mail.ru

---

R.M. SHAHBANOV, L.A. SAVIN, S.V. GRIGOR'EV

**IMPROVEMENT OF ENERGY CHARACTERISTICS OF  
CENTRIFUGAL PUMPS BY SOLVING  
THE PROBLEM OF PARAMETRIC OPTIMIZATION**

*The questions of increasing the efficiency of centrifugal pumps by solving the problem of parametric synthesis based on multivariate computational experiment with software products that allow to design complex geometry of the flow channels and hydrodynamic analysis of CFD methods. Presented stepwise procedure makes it possible to find the optimal geometry of the impellers. The results of calculation of pressure and velocity fields in the centrifugal pump stage, and the response surface approximating the target function depending on the geometric parameters.*

**Keywords:** centrifugal pump, software module, procedure of optimization, multivariate computational experiment, velocity and pressure fields, response function.

BIBLIOGRAPHY

1. Pump Life Cycle Costs: A Guide to LCC Analysis for Pumping Systems.
2. Karakhan`yan, V. RAPN segodnya [Tekst] / V. Karakhan`yan // "Nasosy&oborudovanie". - 2005. № 2-3. - S. 6-8.
3. Karakhan`yan, V. Ecopump - programma Europump po snizheniyu energopotrebleniya i zashchite okruzhayushchey sredy [Tekst] / V. Karakhan`yan // "Nasosy&oborudovanie". - 2005. - № 5. - S. 5-6.
4. Ayzenshteyn, M. D. Tsentrobezhnnye nasosy dlya neftyanoy promyshlennosti [Tekst] / M.D. Ayzen-shteyn. - M.: Gostoptekhizdat, 1957. - 358 s.
5. Mikhaylov, A. K. Lopastnye nasosy. Teoriya, raschet i konstruirovaniye [Tekst] / A. K. Mikhaylov, V.V. Maluyshenko. - M., "Mashinostroeniye", 1977. - 288 s.
6. Lomakin, A. A. Tsentrobezhnnye i osevye nasosy [Tekst] / A. A. Lomakin. - 2-e izd. pererab. i dop. - M.-L.: Mashinostroeniye, 1966. - 364 s.
7. Gryanko, L. P. Lopastnye nasosy [Tekst] / L.P. Gryanko, A. N. Papir. - L.: Mashinostroeniye, 1975. - 432 s.
8. Sherstyuk, A. N. Nasosy, ventilyatory i kompressory [Tekst]: uchebnoye posobie dlya vtuzov. - M, "Vysshaya shkola", 1972. - 344 s.
9. Pfl eyderer, K. Lopatochnye mashiny dlya zhidkostey i gazov. Vodyanye nasosy, ventilyatory, turbovozdukhoduvki, turbokompressory [Tekst] / K. Pfl eyderer. - 2-e pererabotannoe izdanie. - M., 1960. - 668 s.
10. Johann Friedrich G?lich. Centrifugal Pumps / Johann Friedrich G?lich. - Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2008, 2010. - 964 p.
11. Boddy R., Smith G. Effective Experimentation: For Scientists and Technologists. Wiley, 2010
12. Bardina J.E., Huang P.G., Coakley T.J, Turbulence Modeling Validation, Testing and Development // NASA reports - April 1997.
13. Wilcox, David C. "Turbulence Modeling for CFD". Second edition. Anaheim: DCW Industries, 1998. pp. 174.
14. Biswas G., Eswaran V. Turbulent Flows - Fundamentals, Experiments and Modeling. Narosa Publishing House, 2002
15. SHlikhting, G. Teoriya pogranichnogo sloya [Tekst] / G. SHCHlikhting. - M.: Nauka, 1974. - 712 s.
16. ANSYS CFX 13.0 Solver Theory Guide. Release 12.1 - 2009. - 258 c.
17. Anderson, D. Vychislitel`naya gidrodinamika i teploobmen [Tekst] / D. Anderson, Dzh. Tannekhil, R. Pletcher. - V 2-kh t. - T. 1. - Per. s angl. - M.: Mir, 1990. - 384 s.
18. Lewis R.W., Nithiarasu P., Seetharamu K.N. Fundamentals of the Finite Element Method for Heat and Fluid Flow, Wiley.
19. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L. The Finite Element Method. Fluid Dynamics. Fifth edition, Butterworth-Heinemann, 2010.
20. Myers R. H., Montgomery D. C., Anderson-Cook C. M. Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments, Wiley, 3rd Edition., 2009. - 704 s.

**Shakhbanov Rizvan Magomedsaidovich**

FGBOU VPO «State University – UNPK»  
Adress: Rossia, 302020, g. Orel, Naugorskoe shosse, 29  
Research worker of department «MIMI»  
E-mail: rizione12@gmail.com

**Savin Leonid Alekseevich**

FGBOU VPO «State University – UNPK»  
Adress: Rossia, 302020, g. Orel, Naugorskoe shosse, 29  
Ph.D, Head the department «MIMI»  
E-mail: savin@ostu.ru

**Grigoriev Sergey Vasilevich**

FGBOU VPO «Voronezh State Technical University»  
Adress: Rossia, 302020, Voronezh, Moskovsky Prospekt, 14  
Ph.D « Oil and gas equipment and transportation»  
E-mail: gsv-4@mail.ru

УДК 539.3

А.А. ПОДДУБНЫЙ, А.В. ЯРОВАЯ

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ТРЕХСЛОЙНОЙ БАЛКИ ПРИ НЕПОЛНОМ КОНТАКТЕ С УПРУГИМ ОСНОВАНИЕМ

*Рассмотрен изгиб упругой трехслойной балки под действием распределенных и сосредоточенных нагрузок при неполном контакте с упругим основанием. По длине балки выделены три участка, на каждом из которых нагрузки и жесткость упругого основания могут иметь различную величину, а могут и отсутствовать. Выведена система дифференциальных уравнений равновесия, получено ее аналитическое решение в перемещениях, выписаны граничные условия и условия сопряжения на границах участков. Получены числовые значения прогибов теоретическим и экспериментальным путем. В качестве практического примера были рассмотрены сборно-разборные дорожные покрытия (СРДП) клефанерного типа, в настоящее время находящиеся на оснащении транспортных войск, основой которых является однослойная клееная плита из брусков, облицованная с двух сторон фанерными листами. Известно, что прочностные характеристики деревянных конструкций сохраняются на уровне норм только в течение 15 лет. Изготовление сборно-разборных покрытий, находящихся на оснащении транспортных войск, осуществлялось в 70-80 годы прошлого века, а срок их службы на сегодняшний день составляет более 30 лет. В связи с этим плиты СРДП не вполне соответствуют современным требованиям.*

*Ключевые слова:* трехслойная балка, упругое основание, неполный контакт, граничные условия, сопряжения на границах участков, эксперимент.

В промышленном и гражданском строительстве, транспортном машиностроении, при строительстве и восстановлении искусственных сооружений на железных и автомобильных дорогах широко используются слоистые, в том числе трехслойные элементы конструкций состоящих из балок и панелей, контактирующих с упругим основанием. Исследования показывают, что под воздействием нагрузок по ряду причин возможно появления зазора между конструкцией и основанием, и как следствие, изменению расчетной схемы конструкции, ее напряженно-деформированного состояния, это в ряде случаев приводит к преждевременному разрушению.

При проектировании надежных и долговечных элементов конструкций требуются высокоточные расчетные методики, которые учитывают всевозможные изменения параметров. Для слоистых элементов конструкций такие методики предложили в своих работах Э. И. Старовойтов, Ю. М. Плескачевский, Д. В. Леоненко и др. Статическое деформирование трехслойных элементов конструкций исследовано в [1–5]. В монографии [6] изложены постановки и методы решения задач статики широкого класса металлополимерных систем при комплексных силовых, тепловых и радиационных воздействиях. Учтены реономные и пластические свойства материалов слоев. Приведен ряд аналитических и числовых решений для трехслойных металлополимерных стержней, пластин и оболочек. В работах [7–9] системно изложены постановки и методы решения задач статики и динамики трехслойных элементов конструкций, связанных с упругим основанием. В работе [10] рассмотрен изгиб трехслойной балки под действием локальных нагрузок с использованием разрывных функций Хевисайда и Дирака.

В данной статье рассмотрен изгиб подобной балки с учетом полного или частичного опирания на упругое основание. Решения получены отдельно для трех участков, а затем «сшиты» с использованием условий равенства перемещений и усилий на границах. Для подтверждения адекватности полученных результатов проведен собственный эксперимент.

### РАСЧЕТНАЯ СХЕМА БАЛКИ

Рассматривается прямоугольная трехслойная балка длиной  $l$  и размерами поперечного сечения  $h \times b_0$  (рис. 1). Наружные слои являются несущими, они тонкие и выполнены из достаточно прочного материала. Менее прочный толстый наполнитель разносит несущие слои на заданное расстояние по высоте балки и обеспечивает их совместную работу.

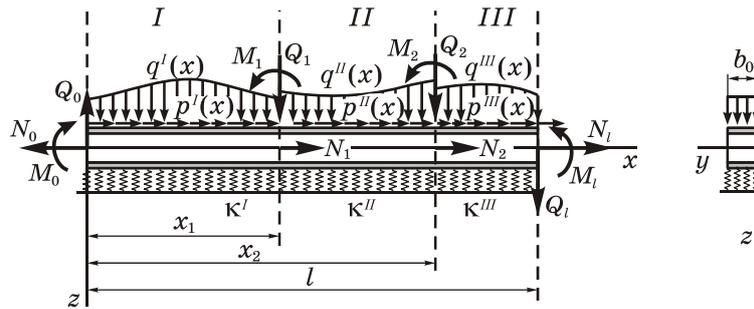


Рисунок 1 – Расчетная схема трехслойной балки, частично или полностью опирающейся на упругое основание

Система координат  $x, y, z$  связана со срединной плоскостью заполнителя. Ось  $x$  направлена вдоль балки, ось  $z$  – вниз. Несущий слой, расположенный со стороны положительного направления оси  $z$ , считается первым слоем, следующий несущий слой – вторым, а заполнитель – третьим (рис. 1). Номер слоя обозначен индексом  $k$  ( $k = 1, 2, 3$ ).

На верхний внешний слой балки действуют распределенные поверхностные нагрузки, не изменяющиеся вдоль оси  $y$ . На торцах балки (при  $x = 0$  и  $x = l$ ) действуют сосредоточенные силы и моменты  $N_0, Q_0, M_0$  и  $N_l, Q_l, M_l$ . К сечениям 1 ( $x = x_1$ ) и 2 ( $x = x_2$ ) приложены усилия  $N_1, Q_1, M_1$  и  $N_2, Q_2, M_2$ .

По длине балки выделим три участка  $I$  ( $0 \leq x \leq x_1$ ),  $II$  ( $x_1 \leq x \leq x_2$ ),  $III$  ( $x_2 \leq x \leq l$ ). Обозначим:  $p^n(x), q^n(x)$ ,  $\kappa^n$  – продольная и поперечная распределенные нагрузки на  $n$ -м участке ( $n = I, II, III$ );  $h_1^n, h_2^n, c^n$  – толщины 1-го и 2-го несущих слоев и половина толщины заполнителя на  $n$ -м участке. Таким образом, нагрузки на каждом из участков могут иметь различные величины и закон изменения, а могут и отсутствовать. Балка опирается на участки упругого основания различной жесткости, через  $\kappa^n$  обозначен коэффициент жесткости упругого основания на  $n$ -м участке. Если на одном или двух участках основание отсутствует, то необходимо принять нулевым соответствующий коэффициент жесткости.

### ОСНОВНЫЕ ГИПОТЕЗЫ

Для описания кинематики трехслойного пакета используется гипотеза «ломаной» линии: прямолинейная до деформирования нормаль при изгибе становится ломаной; в несущих слоях нормаль остается перпендикулярной к деформированной оси балки; в заполнителе за счет сдвига она поворачивается на дополнительный угол.

Между слоями предусмотрена склейка, не допускающая взаимного проскальзывания. Слои несжимаемы по толщине. Деформации малые. Материалы слоев в общем случае считаются ортотропными, проявляют упругие свойства, для них справедлив закон Гука.

### ИСКОМЫЕ ФУНКЦИИ

Постановка и решение задачи проводятся в перемещениях. В качестве искоемых величин принимаются функции  $w^n(x), u^n(x)$  – прогиб и продольное перемещение срединной плоскости заполнителя, а также  $\psi^n(x)$  – угол поворота нормали в заполнителе за счет сдвига (угол сдвига) на  $n$ -м участке.

В точках сопряжения участков должны соблюдаться условия непрерывности перемещений:

$$\begin{aligned} w^I(x_1) = w^{II}(x_1); \quad w^{II}(x_2) = w^{III}(x_2); \quad u^I(x_1) = u^{II}(x_1); \quad u^{II}(x_2) = u^{III}(x_2); \quad \psi^I(x_1) = \psi^{II}(x_1); \\ \psi^{II}(x_2) = \psi^{III}(x_2); \quad w^I_{,xx}(x_1) = w^{II}_{,xx}(x_1); \quad w^{II}_{,xx}(x_2) = w^{III}_{,xx}(x_2), \end{aligned} \quad (1)$$

где запятая в нижнем индексе обозначает операцию дифференцирования по следующей за ней координате.

Если на торцах балки предусмотрены жесткие диафрагмы, которые препятствуют повороту нормали в заполнителе, то

$$\psi'(0) = 0; \quad \psi'''(l) = 0, \quad (2)$$

что может служить граничными условиями. Если же диафрагмы на торцах не предусмотрены, то углы сдвига в заполнителе для торцевых сечений необходимо учитывать.

### МОДЕЛЬ УПРУГОГО ОСНОВАНИЯ

Для описания действия упругого основания на  $n$ -ом участке используется модель Винклера, согласно которой реакция основания  $q_R^n(x)$  пропорциональна прогибу  $w^n(x)$  и направлена в противоположную сторону  $q_R^n(x) = \kappa^n w^n(x)$ .

### ПЕРЕМЕЩЕНИЯ, ДЕФОРМАЦИИ И НАПРЯЖЕНИЯ

В направлении оси  $x$  перемещения  $u_x^{(k)n}(x, z)$  для каждого из слоев выражаются с использованием введенных гипотез через три искомые функции зависимостями:

$$\begin{aligned} u_x^{(1)n} &= u^n + c\psi^n - z w^n, & (c^n \leq z \leq c^n + h_1^n); \\ u_x^{(2)n} &= u^n - c\psi^n - z w^n, & (-c^n - h_2^n \leq z \leq -c^n); \\ u_x^{(3)n} &= u^n + z\psi^n - z w^n, & (-c^n \leq z \leq c^n), \end{aligned} \quad (3)$$

где  $z$  – координата рассматриваемого волокна.

Так как слои несжимаемы по толщине, то в направлении оси  $z$  перемещения точек балки равны прогибу срединной плоскости заполнителя:  $u_z^{(k)n} = w^n$ . В направлении оси  $y$  перемещения отсутствуют:  $u_y^{(k)n} = 0$ .

С помощью соотношений Коши и выражений для перемещений (3) в каждом слое определяются компоненты тензора деформаций:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x^{(1)n} &= u^n, & \varepsilon_x^{(2)n} &= u^n - c\psi^n, & \varepsilon_x^{(3)n}(x, z) &= u^n + z\psi^n; \\ \varepsilon_{xz}^{(1)n} &= \varepsilon_{zx}^{(1)n} = 0; & \varepsilon_{xz}^{(2)n} &= \varepsilon_{zx}^{(2)n} = 0; & \varepsilon_{xz}^{(3)n} &= \varepsilon_{zx}^{(3)n} = \frac{1}{2}\psi^n; \end{aligned} \quad (4)$$

Из компонент тензора напряжений ненулевыми являются  $\sigma_x^{(k)n}$  и  $\sigma_{xz}^{(3)n} = \sigma_{zx}^{(3)n}$  ( $k=1, 2, 3$  – номер слоя;  $n = I, II, III$  – номер участка).

### ВНУТРЕННИЕ СИЛЫ И МОМЕНТЫ

Внутренние усилия для  $n$ -го участка вводятся в виде интегралов по толщине каждого слоя:

$$\begin{aligned} N^{(1)n}(x) &= b_0 \int_{c^n}^{c^n+h_1^n} \sigma_x^{(1)n} dz; & M^{(1)n}(x) &= b_0 \int_{c^n}^{c^n+h_1^n} \sigma_x^{(1)n} z dz; \\ N^{(2)n}(x) &= b_0 \int_{-c^n-h_2^n}^{-c^n} \sigma_x^{(2)n} dz; & M^{(2)n}(x) &= b_0 \int_{-c^n-h_2^n}^{-c^n} \sigma_x^{(2)n} z dz; \\ N^{(3)n}(x) &= b_0 \int_{-c^n}^{c^n} \sigma_x^{(3)n} dz; & M^{(3)n}(x) &= b_0 \int_{-c^n}^{c^n} \sigma_x^{(3)n} z dz; & Q^{(3)n}(x) &= b_0 \int_{-c^n}^{c^n} \sigma_{xz}^{(3)n} dz, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $N^{(k)n}, M^{(k)n}$  – продольная сила и изгибающий момент в сечении с координатой  $x$  для  $k$ -го слоя;

$Q^{(3)n}$  – поперечная сила для 3-го слоя (заполнителя);

$b_0$  – ширина балки;

$\sigma_x^{(k)n}, \sigma_{xz}^{(3)n}$  – компоненты тензора напряжений для  $k$ -го слоя.

Удобно ввести полные внутренние усилия для  $n$ -го участка, просуммировав силы и моменты (5) по слоям:

$$N^n = \sum_{k=1}^3 N^{(k)n}; M^n = \sum_{k=1}^3 M^{(k)n}; Q^n = Q^{(3)n}; H^n = c^n(N^{(1)n} - N^{(2)n}) + M^{(3)n}, \quad (6)$$

где  $N^n, M^n, Q^n$  – полные продольная сила, изгибающий момент и поперечная сила;

$H^n$  – дополнительный момент, возникающий из-за сдвига в заполнителе (момент сдвига).

### УРАВНЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ В УСИЛИЯХ

К деформированной балке применяется принцип возможных перемещений Лагранжа, который выражает условие равновесия системы внутренних и внешних сил. Для этого необходимо составить выражения возможных работ внешних и внутренних сил и приравнять их. Из полученного равенства следуют дифференциальные уравнения равновесия в усилиях

$$N^n{}_{,x} + b_0 p^n = 0; H^n{}_{,x} - Q^n = 0; M^n{}_{,xx} - b_0 q_R^n + b_0 q^n = 0, \quad (7)$$

силовые граничные условия

$$N^I(0) = N_0; M^I(0) = M_0; M^I{}_{,x}(0) = Q_0; N^{III}(l) = N_l; M^{III}(l) = M_l; M^{III}{}_{,x}(l) = Q_l; \quad (8)$$

$$H^I(0) = 0; H^{III}(l) = 0 \quad (9)$$

и условия для внутренних усилий в точках сопряжения участков  $x = x_1$  и  $x = x_2$ :

$$N^I(x_1) - N^{II}(x_1) = N_1; M^I(x_1) - M^{II}(x_1) = M_1; M^I{}_{,x}(x_1) - M^{II}{}_{,x}(x_1) = Q_1;$$

$$H^I(x_1) - H^{II}(x_1) = 0; N^{II}(x_2) - N^{III}(x_2) = N_2; M^{II}(x_2) - M^{III}(x_2) = M_2;$$

$$M^{II}{}_{,x}(x_2) - M^{III}{}_{,x}(x_2) = Q_2; H^{II}(x_2) - H^{III}(x_2) = 0. \quad (10)$$

Если на левом ( $x = 0$ ) и правом ( $x = l$ ) торцах стержня имеются жесткие диафрагмы, то граничные условия (9) не справедливы. Вместо них необходимо использовать условия равенства нулю углов сдвига на торцах (2). При отсутствии сосредоточенных внешних усилий в сечениях 1 и 2 в правой части условий (10) будут нули.

### ЗАКОН ГУКА

При изгибе упругой балки относительно оси  $y$  деформации  $\epsilon_y = 0$ . Кроме этого, так как материал несжимаем, то  $\epsilon_z = 0$ . С учетом этого закон Гука имеет вид:

$$\sigma_x = A_x \epsilon_x; A_x = \frac{E_x(1 - \nu_{yz}\nu_{zy})}{1 - \nu_{xy}\nu_{yx} - \nu_{yz}\nu_{zy} - \nu_{xz}\nu_{zx} - \nu_{xy}\nu_{yz}\nu_{zx} - \nu_{xz}\nu_{zy}\nu_{yx}}, \quad (11)$$

где  $E_x$  – модуль Юнга;

$\nu_{xy}, \nu_{yx}, \nu_{xz}, \nu_{zx}, \nu_{yz}, \nu_{zy}$  – коэффициенты Пуассона.

### ВЫРАЖЕНИЕ ВНУТРЕННИХ УСИЛИЙ ЧЕРЕЗ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

Применяя соотношения (4), (5) и (11), выразим компоненты тензора напряжений в слоях через перемещения, и далее внутренние силы и моменты через функции  $w^n(x), u^n(x), \psi^n(x)$ :

$$N^n = b_0(a_1^n u^n{}_{,x} + a_6^n \psi^n{}_{,x} - a_7^n w^n{}_{,xx}), H^n = b_0(a_6^n u^n{}_{,x} + a_2^n \psi^n{}_{,x} - a_3^n w^n{}_{,xx});$$

$$Q^n = b_0 a_5^n \psi^n; M^n = b_0(a_7^n u^n{}_{,x} + a_3^n \psi^n{}_{,x} - a_4^n w^n{}_{,xx}), \quad (12)$$

где  $a_1^n, \dots, a_7^n$  – параметры, характеризующие геометрические и упругие свойства слоев на  $n$ -м участке:

$$a_1^n = A_x^{(1)} h_1^n + A_x^{(2)} h_2^n + 2A_x^{(3)} c^n; a_2^n = c^{n2} [A_x^{(1)} h_1^n + A_x^{(2)} h_2^n + \frac{2}{3} A_x^{(3)} c^n];$$

$$a_3^n = c^n [A_x^{(1)} h_1^n (c^n + \frac{1}{2} h_1^n) + A_x^{(2)} h_2^n (c^n + \frac{1}{2} h_2^n) + \frac{2}{3} A_x^{(3)} c^{n2}];$$

$$a_4^n = A_x^{(1)} h_1^n (c^{n2} + c^n h_1^n + \frac{1}{3} h_1^{n2}) + A_x^{(2)} h_2^n (c^{n2} + c^n h_2^n + \frac{1}{3} h_2^{n2}) + \frac{2}{3} A_x^{(3)} c^{n3};$$

$$a_5^n = 2G_{xz}^{(3)}c^n ; a_6^n = c^n [A_x^{(1)}h_1^n - A_x^{(2)}h_2^n] ; a_7^n = A_x^{(1)}h_1^n(c^n + \frac{1}{2}h_1^n) - A_x^{(2)}h_2^n(c^n + \frac{1}{2}h_2^n). \quad (13)$$

Подставим выражения (12) в уравнения (7). Получим систему обыкновенных дифференциальных уравнений равновесия упругого трехслойной балки в перемещениях. Для  $n$ -го участка, связанного с упругим основанием, эта система имеет вид:

$$\begin{aligned} a_1^n u''_{,xx} + a_6^n \psi''_{,xx} - a_7^n w''_{,xxx} &= -p^n, \\ a_6^n u''_{,xx} + a_2^n \psi''_{,xx} - a_3^n w''_{,xxx} - a_5^n \psi^n &= 0, \\ a_7^n u''_{,xxx} + a_3^n \psi''_{,xxx} - a_4^n w''_{,xxxx} - \kappa^n w^n &= -q^n, \end{aligned} \quad (14)$$

Если  $n$ -й участок не связан с упругим основанием, то третье уравнение системы (14) будет следующим:  $a_7^n u''_{,xxx} + a_3^n \psi''_{,xxx} - a_4^n w''_{,xxxx} = -q^n$ .

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ НА УЧАСТКАХ

Соотношения для сдвига в заполнителе  $\psi^n(x)$ , прогиба  $w^n(x)$  и продольного перемещения срединной плоскости заполнителя  $u^n(x)$  получим, решив соответствующие системы уравнений равновесия. Заметим, что аналитический вид решений зависит от типа упругого основания.

Для  $n$ -го участка, связанного с упругим основанием малой или большой жесткости

$$\begin{aligned} w^n(x) &= C_1^n \operatorname{sh}(\lambda_1^n x) + C_2^n \operatorname{ch}(\lambda_1^n x) + C_3^n \operatorname{sh}(\beta_1^n x) \sin(\beta_2^n x) + C_4^n \operatorname{sh}(\beta_1^n x) \cos(\beta_2^n x) + \\ &+ C_5^n \operatorname{ch}(\beta_1^n x) \sin(\beta_2^n x) + C_6^n \operatorname{ch}(\beta_1^n x) \cos(\beta_2^n x) + w_p^n(x); \\ \psi^n(x) &= C_1^n b_1^n \operatorname{ch}(\lambda_1^n x) + C_2^n b_1^n \operatorname{sh}(\lambda_1^n x) - C_3^n b_2^n \operatorname{sh}(\beta_1^n x) \cos(\beta_2^n x) + C_3^n b_3^n \operatorname{ch}(\beta_1^n x) \sin(\beta_2^n x) + \\ &+ C_4^n b_2^n \operatorname{sh}(\beta_1^n x) \sin(\beta_2^n x) + C_4^n b_3^n \operatorname{ch}(\beta_1^n x) \cos(\beta_2^n x) + C_5^n b_3^n \operatorname{sh}(\beta_1^n x) \sin(\beta_2^n x) - C_5^n b_2^n \operatorname{ch}(\beta_1^n x) \cos(\beta_2^n x) + \\ &+ C_6^n b_3^n \operatorname{sh}(\beta_1^n x) \cos(\beta_2^n x) + C_6^n b_2^n \operatorname{ch}(\beta_1^n x) \sin(\beta_2^n x) + C_7^n + f_1^n(x); \\ u^n(x) &= C_1^n b_4^n \operatorname{ch}(\lambda_1^n x) + C_2^n b_4^n \operatorname{sh}(\lambda_1^n x) - C_3^n b_5^n \operatorname{sh}(\beta_1^n x) \cos(\beta_2^n x) + C_3^n b_6^n \operatorname{ch}(\beta_1^n x) \sin(\beta_2^n x) + \\ &+ C_4^n b_5^n \operatorname{sh}(\beta_1^n x) \sin(\beta_2^n x) + C_4^n b_6^n \operatorname{ch}(\beta_1^n x) \cos(\beta_2^n x) + C_5^n b_6^n \operatorname{sh}(\beta_1^n x) \sin(\beta_2^n x) - C_5^n b_5^n \operatorname{ch}(\beta_1^n x) \cos(\beta_2^n x) + \\ &+ C_6^n b_6^n \operatorname{sh}(\beta_1^n x) \cos(\beta_2^n x) + C_6^n b_5^n \operatorname{ch}(\beta_1^n x) \sin(\beta_2^n x) + C_7^n \alpha_{12}^n + C_8^n x + C_9^n + f_2^n(x). \end{aligned} \quad (15)$$

Для  $n$ -го участка, на упругом основании средней жесткости

$$\begin{aligned} w^n(x) &= C_1^n \operatorname{sh}(\lambda_1^n x) + C_2^n \operatorname{ch}(\lambda_1^n x) + C_3^n \operatorname{sh}(\lambda_3^n x) + C_4^n \operatorname{ch}(\lambda_3^n x) + C_5^n \operatorname{sh}(\lambda_5^n x) + C_6^n \operatorname{ch}(\lambda_5^n x) + w_p^n; \\ \psi^n(x) &= C_1^n b_1^n \operatorname{ch}(\lambda_1^n x) + C_2^n b_1^n \operatorname{sh}(\lambda_1^n x) + C_3^n b_7^n \operatorname{ch}(\lambda_3^n x) + C_4^n b_7^n \operatorname{sh}(\lambda_3^n x) + \\ &+ C_5^n b_8^n \operatorname{ch}(\lambda_5^n x) + C_6^n b_8^n \operatorname{sh}(\lambda_5^n x) + C_7^n + f_1^n(x); \\ u^n(x) &= C_1^n b_4^n \operatorname{ch}(\lambda_1^n x) + C_2^n b_4^n \operatorname{sh}(\lambda_1^n x) + C_3^n b_9^n \operatorname{ch}(\lambda_3^n x) + C_4^n b_9^n \operatorname{sh}(\lambda_3^n x) + \\ &+ C_5^n b_{10}^n \operatorname{ch}(\lambda_5^n x) + C_6^n b_{10}^n \operatorname{sh}(\lambda_5^n x) + C_7^n \alpha_{12}^n + C_8^n x + C_9^n + f_2^n(x). \end{aligned} \quad (16)$$

Если  $n$ -й участок не связан с упругим основанием, то

$$\begin{aligned} \psi^n(x) &= C_1^n b_{11}^n + C_2^n \operatorname{sh}(\beta_3^n x) + C_3^n \operatorname{ch}(\beta_3^n x) + g_1^n(x); \\ w^n(x) &= C_1^n (\alpha_{17}^n b_{11}^n x + \alpha_{18}^n x^3 / 6) + C_2^n b_{14}^n \operatorname{ch}(\beta_3^n x) + C_3^n b_{14}^n \operatorname{sh}(\beta_3^n x) + C_4^n x^2 / 2 + C_5^n x + C_6^n + g_2^n(x); \\ u^n(x) &= C_1^n (b_{15}^n + b_{16}^n x^2) + C_2^n b_{17}^n \operatorname{sh}(\beta_3^n x) + C_3^n b_{17}^n \operatorname{ch}(\beta_3^n x) + C_4^n \alpha_{13}^n x + C_5^n \alpha_{13}^n + C_7^n x + C_8^n + g_3^n(x). \end{aligned} \quad (17)$$

В выражениях (15)–(17)  $C_1^n, \dots, C_9^n$  – константы интегрирования,  $w_p^n(x)$  – частное решение, зависящее от вида нагрузки, коэффициенты  $b_i^n, \alpha_i^n, \beta_i^n$  выражаются через параметры  $a_i^n$  (13), а функции определяются выражениями:

$$f_1^n(x) = \alpha_8^n w_{p,xxx}^n + \alpha_9^n \int w_p^n dx + \alpha_{10}^n \int q^n dx + \alpha_{11}^n p^n ;$$

$$f_2^n(x) = \alpha_8^n \alpha_{12}^n w_{p,xxx}^n + \alpha_9^n \alpha_{12}^n \int w_p^n dx + \alpha_{13}^n w_{p,x}^n + \alpha_{10}^n \alpha_{12}^n \int q^n dx + \alpha_{11}^n \alpha_{12}^n p^n + \alpha_{14}^n \iint p^n dx dx ;$$

$$g_1^n(x) = b_{12}^n \operatorname{sh}(\beta_3^n x) \int \operatorname{ch}(\beta_3^n x) \left( \int q^n dx \right) dx - b_{12}^n \operatorname{ch}(\beta_3^n x) \int \operatorname{sh}(\beta_3^n x) \left( \int q^n dx \right) dx +$$

$$+ b_{13}^n \operatorname{sh}(\beta_3^n x) \int \operatorname{ch}(\beta_3^n x) p dx - b_{13}^n \operatorname{ch}(\beta_3^n x) \int \operatorname{sh}(\beta_3^n x) p dx ;$$

$$g_2^n(x) = \alpha_{17}^n \int g_1^n dx + \alpha_{18}^n \iiint q^n dx dx dx + \alpha_{19}^n \iiint p^n dx dx dx ;$$

$$g_3^n(x) = b_{18}^n g_1^n(x) + b_{19}^n g_2^n(x) + \alpha_{13}^n \alpha_{18}^n \iiint q^n dx dx dx + b_{20}^n \iint p^n dx dx .$$

Для определения констант интегрирования необходимо учесть граничные условия и условия сопряжения участков друг с другом.

### ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ

На левом и правом торцах балки должны выполняться условия для внутренних усилий (8), (9). Выразив усилия через перемещения, согласно (14), получим:

– на левом торце ( $x = 0$ ):

$$\left( a_1^I u^I_{,x} + a_6^I \psi^I_{,x} - a_7^I w^I_{,xx} \right)_{x=0} = N_0 / b_0 ; \quad \left( a_7^I u^I_{,x} + a_3^I \psi^I_{,x} - a_4^I w^I_{,xx} \right)_{x=0} = M_0 / b_0 ;$$

$$\left( a_7^I u^I_{,xx} + a_3^I \psi^I_{,xx} - a_4^I w^I_{,xxx} \right)_{x=0} = Q_0 / b_0 ; \quad \left( a_6^I u^I_{,x} + a_2^I \psi^I_{,x} - a_3^I w^I_{,xx} \right)_{x=0} = 0 ; \quad (18)$$

– на правом торце ( $x = l$ ):

$$\left( a_1^{III} u^{III}_{,x} + a_6^{III} \psi^{III}_{,x} - a_7^{III} w^{III}_{,xx} \right)_{x=l} = N_l / b_0 ; \quad \left( a_7^{III} u^{III}_{,x} + a_3^{III} \psi^{III}_{,x} - a_4^{III} w^{III}_{,xx} \right)_{x=l} = M_l / b_0 ;$$

$$\left( a_7^{III} u^{III}_{,xx} + a_3^{III} \psi^{III}_{,xx} - a_4^{III} w^{III}_{,xxx} \right)_{x=l} = Q_l / b_0 ; \quad \left( a_6^{III} u^{III}_{,x} + a_2^{III} \psi^{III}_{,x} - a_3^{III} w^{III}_{,xx} \right)_{x=l} = 0 . \quad (19)$$

При наличии жестких диафрагм на торцах последние условия в соотношениях (18), (19) не справедливы. Вместо них необходимо использовать условия равенства нулю углов сдвига (2). Если балка, кроме опирания на упругое основание, жестко или шарнирно закреплена на торцах, вместо граничных условий в усилиях (18), (19) удобнее условия в перемещениях.

Рассмотрим конкретную балку с жесткими диафрагмами на торцах, свободно лежащую на упругом основании, причем на среднем участке основание отсутствует (рис. 2). Для нее граничные условия записываются так:



Рисунок 2 – Нагружение трехслойной балки, опертая двумя крайними участками, равномерно распределенной нагрузкой по всей длине

$$\begin{aligned} (a_1^I u^I{}_{,x} + a_6^I \psi^I{}_{,x} - a_7^I w^I{}_{,xx})|_{x=0} &= 0; & (a_7^I u^I{}_{,x} + a_3^I \psi^I{}_{,x} - a_4^I w^I{}_{,xx})|_{x=0} &= 0; \\ (a_7^I u^I{}_{,xx} + a_3^I \psi^I{}_{,xx} - a_4^I w^I{}_{,xxx})|_{x=0} &= 0; & \psi^I(0) &= 0; \\ (a_1^III u^III{}_{,x} + a_6^III \psi^III{}_{,x} - a_7^III w^III{}_{,xx})|_{x=l} &= 0; & (a_7^III u^III{}_{,x} + a_3^III \psi^III{}_{,x} - a_4^III w^III{}_{,xx})|_{x=l} &= 0; \\ (a_7^III u^III{}_{,xx} + a_3^III \psi^III{}_{,xx} - a_4^III w^III{}_{,xxx})|_{x=l} &= 0; & \psi^III(l) &= 0. \end{aligned}$$

### УСЛОВИЯ СОПРЯЖЕНИЯ НА ГРАНИЦАХ УЧАСТКОВ

На границах первого и второго ( $x = x_1$ ) и второго и третьего ( $x = x_2$ ) участков должны выполняться условия равенства перемещений и внутренних усилий с учетом приложенных сосредоточенных внешних сил и моментов.

Принимая во внимание выражения (10), получим следующие условия сопряжения в перемещениях на границе участков *I* и *II* ( $x = x_1$ ):

$$\begin{aligned} w^I(x_1) &= w^{II}(x_1); & u^I(x_1) &= u^{II}(x_1); & \psi^I(x_1) &= \psi^{II}(x_1); & w^I{}_{,x}(x_1) &= w^{II}{}_{,x}(x_1); \\ (a_1^I u^I{}_{,x} + a_6^I \psi^I{}_{,x} - a_7^I w^I{}_{,xx} - a_1^{II} u^{II}{}_{,x} - a_6^{II} \psi^{II}{}_{,x} + a_7^{II} w^{II}{}_{,xx})|_{x=x_1} &= N_1 / b_0; \\ (a_7^I u^I{}_{,x} + a_3^I \psi^I{}_{,x} - a_4^I w^I{}_{,xx} - a_7^{II} u^{II}{}_{,x} - a_3^{II} \psi^{II}{}_{,x} + a_4^{II} w^{II}{}_{,xx})|_{x=x_1} &= M_1 / b_0; \\ (a_7^I u^I{}_{,xx} + a_3^I \psi^I{}_{,xx} - a_4^I w^I{}_{,xxx} - a_7^{II} u^{II}{}_{,xx} - a_3^{II} \psi^{II}{}_{,xx} + a_4^{II} w^{II}{}_{,xxx})|_{x=x_1} &= Q_1 / b_0; \\ (a_6^I u^I{}_{,x} + a_2^I \psi^I{}_{,x} - a_3^I w^I{}_{,xx} - a_6^{II} u^{II}{}_{,x} - a_2^{II} \psi^{II}{}_{,x} + a_3^{II} w^{II}{}_{,xx})|_{x=x_1} &= 0. \end{aligned} \quad (20)$$

На границе участков *II* и *III* ( $x = x_2$ ) следует использовать условия, аналогичные (20), заменив индекс *I* на *II*, *II* на *III*, а координату  $x_1$  на  $x_2$ .

Граничные условия на торцах и условия сопряжения на границах участков позволяют составить систему 24-х линейных алгебраических уравнений для определения констант интегрирования.

### ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Эксперимент был проведен в лаборатории при кафедре «Строительная механика» УО «БелГУТ». Испытывалась трехслойная балка прямоугольного поперечного сечения с жесткими диафрагмами на торцах, опирающаяся на упругое основание двумя крайними участками (рис. 2). Ранее были теоретически и экспериментально получены значения прогибов этой балки, установленной на шарнирные опоры и не связанной с упругим основанием [4].

Несущие слои выполнены из семислойной березовой фанеры с модулями упругости  $E_1 = 6000$  МПа,  $G_1 = 750$  МПа, наполнитель – из пенополистирола, для которого  $E_2 = 15$  МПа,  $G_2 = 5,14$  МПа. Геометрические размеры балки следующие: длина  $l = 660$  мм, ширина  $b_0 = 60$  мм, высота сечения  $h = 66$  мм, толщины слоев  $h_1 = h_2 = 8$  мм,  $h_3 = 50$  мм. Распределенная по всей длине нагрузка прикладывалась к балке с помощью 12 грузов по 5 кг, локальная распределенная нагрузка на двух крайних участках – с помощью 8 грузов по 5 кг. Прогибы балки определялись при помощи индикаторов часового типа ИЧ-10. Жесткость упругого основания  $k = 213$  МН/м<sup>3</sup> была получена экспериментально.

### РЕЗУЛЬТАТЫ

При численной реализации решений интенсивность распределенной нагрузки, модули упругости материалов и толщины слоев в трехслойном пакете фанера–пенополистирол–фанера принимались такими же, что и в проведенном эксперименте. Теоретически и экспериментально были определены прогибы балки при полном и неполном контакте с упругим основанием под действием нагрузки, распределенной по всей длине или приложенной локально. Для балки, опирающейся на упругое основание двумя крайними участками и нагру-

женной на этих участках локальной распределенной нагрузкой (рис. 2), наибольший прогиб  $w_{max}$  составил 0,736 мм по данным расчета и 0,81 мм по результатам эксперимента.

### ВЫВОДЫ

Числовые значения прогибов, полученных теоретически, достаточно хорошо согласуются с данными проведенного испытания, что подтверждает точность и достоверность предложенной методики расчета трехслойной балки при ее неполном контакте с упругим основанием. Однако некоторые расхождения результатов показывают на необходимость проведения дальнейших теоретических и экспериментальных исследований, направленных на уточнение расчетных зависимостей для перемещений и напряжений в трехслойных конструкциях, так как во многих случаях они являются элементами сложных и ответственных сооружений. Авторами была составлена математическая модель плит СРДП, просчитаны максимальные нагрузки, и условия опирания на упругое основания. По результатам проектирования предложена новая конструкция сборно-разборного дорожного настила (СРДН) из трехслойных плит, был получен патент [11]. Наружные листы плит выполнены из строительного стеклопластика, наполнитель – из достаточно легкого полимерного материала, который армирован ребрами для повышения местной устойчивости. К верхнему несущему листу плиты приклеены ребра противоскольжения.

По сравнению с конструкциями из древесины новая плита менее подвержена вредному воздействию окружающей среды, не требует дополнительного обслуживания (зачистки, пропитки, покраски). Новая плита может быть использована для устройства проезжей части колеяного или сплошного типа, ремонтных площадок, в качестве скоростной подготовки автомобильных дорог, для преодоления переувлажненной и заболоченной местности и участков сыпучих песков, для перекрытия нешироких канав, траншей и воронок, устройства автомобильного настила на железнодорожных мостах, организации временных вертолетных площадок, покрытий для мобильных погрузо-выгрузочных рампы и т.д.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Старовойтов, Э. И. Вязкоупругопластические слоистые пластины и оболочки [Текст] / Э. И. Старовойтов. – Гомель: БелГУТ, 2002. – 344 с.
2. Старовойтов, Э. И. Локальные и импульсные нагружения трехслойных элементов конструкций [Текст] / Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая, Д. В. Леоненко. – Гомель: БелГУТ, 2003. – 367 с.
3. Старовойтов, Э. И. Напряженно-деформированное состояние прямоугольной трехслойной пластины при цилиндрическом изгибе на упругом основании [Текст] / Э. И. Старовойтов, Е. П. Доровская, С. А. Старовойтов // Вестник гражданских инженеров. – 2007. – № 4 (13). – С. 17–25.
4. Андреев, А. Н. Многослойные анизотропные оболочки и пластины: Изгиб, устойчивость, колебания [Текст] / А. Н. Андреев, Ю. В. Немировский. – Новосибирск: Наука, 2001. – 288 с.
5. Яровая, А. В. Теоретическое и экспериментальное исследование прогибов упругой шарнирно опертой трехслойной балки [Текст] / А. В. Яровая, А. А. Поддубный // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. - 2012. - № 2(25). – С. 97-102.
6. Плескачевский, Ю. М. Деформирование металлополимерных систем [Текст] / Ю. М. Плескачевский, Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая. – Минск: Бел. наука, 2004. – 386 с.
7. Старовойтов, Э. И. Деформирование трехслойных элементов конструкций на упругом основании [Текст] / Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая, Д. В. Леоненко. – М: Физматлит, 2006. – 379 с.
8. Старовойтов, Э. И. Изгиб трехслойного стержня со сжимаемым наполнителем на упругом основании [Текст] / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко, А. В. Яровая // Материалы. Технологии. Инструменты. – 2007. – Т. 12. – № 1. – С.19–22.
9. Старовойтов, Э. И. Упругопластический изгиб трехслойного стержня на упругом основании [Текст] / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко, А. В. Яровая // Прикладная механика. – 2007. – 43. - № 4. – С. 110–120.
10. Старовойтов, Э. И. Упругопластическое деформирование трехслойного стержня на упругом основании [Текст] / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко, А. В. Яровая // Проблемы нелинейного анализа в инженерных системах. – 2007. – № 2 (28). - Т.13. – С. 109–122.
11. Пат. 19687 Республика Беларусь, МПК: Е 01С 9/08 (2006.01). Сборно-разборный дорожный настил [Текст] / Яровая А. В., Поддубный А. А.; заявитель УО «Белорусский государственный университет транспорта».

**Поддубный Алексей Алексеевич**

Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта»

Адрес: 246653, г. Гомель, ул. Кирова, д. 34

Старший преподаватель кафедры «Строительная механика»

E-mail: aleksey-podd@yandex.ru

**Яровая Анна Владимировна**

Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта»

Адрес: 246653, г. Гомель, ул. Кирова, д. 34

Д-р физ.-мат. наук, доцент кафедры «Строительная механика»

E-mail: a-xalio@yandex.ru

---

A.A. PODDUBNY, A.V. YAROVAYA

## THEORETICAL AND EXPERIMENTAL DEFINITION OF MOVEMENTS OF THE THREE-LAYER BEAM AT INCOMPLETE CONTACT WITH THE ELASTIC FOUNDATION

*Bending of elastic sandwich beams under distributed and lumped loads of incomplete contact with the elastic base. The length beams allocated three sections each of which load and stiffness of the elastic base may have a different value and may be absent. A system of differential equations of equilibrium, obtained an analytic solution in terms of displacements, written boundary conditions and the matching conditions on the boundary. Obtained numerical values of deflections theoretical and experimental way.*

**Keywords:** *three-layer beam, the elastic base part contact, boundary conditions, coupling at the boundaries of plots, an experiment.*

### BIBLIOGRAPHY

1. Starovoytov, E. I. Vyazkouprugoplasticheskie sloistye plastiny i obolochki [Tekst] / E. I. Starovoytov. - Gomel': BelGUT, 2002. - 344 s.
2. Starovoytov, E. I. Lokal'nye i impul'snye nagruzheniya trekhslonnykh elementov konstruksiy [Tekst] / E. I. Starovoytov, A. V. Yarovaya, D. V. Leonenko. - Gomel': BelGUT, 2003. - 367 s.
3. Starovoytov, E. I. Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie pryamougol'noy trekhslonnoy plastiny pri tsilindricheskom izgibe na uprugom osnovanii [Tekst] / E. I. Starovoytov, E. P. Dorovskaya, S. A. Starovoytov // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. - 2007. - № 4 (13). - S. 17-25.
4. Andreev, A. N. Mnogosloynnye anizotropnye obolochki i plastiny: Izgib, ustoychivost', kolebaniya [Tekst] / A. N. Andreev, YU. V. Nemirowskiy. - Novosibirsk: Nauka, 2001. - 288 s.
5. Yarovaya, A. V. Teoreticheskoe i eksperimental'noe issledovanie progibov uprugoy sharnirno oper-toy trekhslonnoy balki [Tekst] / A. V. Yarovaya, A. A. Poddubnyy // Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo uni-versiteta transporta: Nauka i transport. - 2012. - № 2(25). - S. 97-102.
6. Pleskachevskiy, YU. M. Deformirovanie metallopolimernykh sistem [Tekst] / YU.M. Pleskachevskiy, E. I. Starovoytov, A. V. Yarovaya. - Minsk: Bel. navuka, 2004. - 386 s.
7. Starovoytov, E. I. Deformirovanie trekhslonnykh elementov konstruksiy na uprugom osnovanii [Tekst] / E. I. Starovoytov, A. V. Yarovaya, D. V. Leonenko. - M: Fizmatlit, 2006. - 379 s.
8. Starovoytov, E. I. Izgib trekhslonogo sterzhnya so szhimaemym zapolnitelem na uprugom osnovanii [Tekst] / E. I. Starovoytov, D. V. Leonenko, A. V. Yarovaya // Materialy. Tekhnologii. Instrumenty. - 2007. - T. 12. - № 1. - S.19-22.
9. Starovoytov, E. I. Uprugoplasticheskiy izgib trekhslonogo sterzhnya na uprugom osnovanii [Tekst] / E. I. Starovoytov, D. V. Leonenko, A. V. Yarovaya // Prikladnaya mekhanika. - 2007. - 43. - № 4. - S. 110-120.
10. Starovoytov, E. I. Uprugoplasticheskoe deformirovanie trekhslonogo sterzhnya na uprugom osno-vanii [Tekst] / E. I. Starovoytov, D. V. Leonenko, A. V. Yarovaya // Problemy nelineynogo analiza v inzhener-nykh siste-makh. - 2007. - № 2 (28). - T.13. - S. 109-122.
11. Pat. 19687 Respublika Belarus', MPK: E 01C 9/08 (2006.01). Sborno-razbornyy dorozhnyy nastil [Tekst] / Yarovaya A. V., Poddubnyy A. A.; zayavitel' UO "Belorusskiy gosudarstvennyy universitet transporta".

**Poddubny Alexey Alexeyevich**

Institution of education «Belarusian state University of transport»

Address: 246653, Gomel, st. Kirov Str. 34

Senior Lecturer of the Department «Structural Mechanics»

E-mail: aleksey-podd@yandex.ru

**Yarovaya Anna Vladimirovna**

Institution of education «Belarusian state University of transport»

Address: 246653, Gomel, st. Kirov Str. 34

Dr. Sci. Sciences, Associate Professor of the Department «Structural Mechanics»

E-mail: a-xalio@yandex.ru

УДК 656.11 (075.8)

И.Е. ИЛЬИНА, В.И. БУРКИНА

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОГО ПРОИСШЕСТВИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОГРАНИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ**

*Рассмотрено влияние значений различных параметров при расследовании и экспертизе дорожно-транспортных происшествий. Проведена экспертиза дорожно-транспортного происшествия связанного с наездом на пешехода при различных значениях коэффициента сцепления шин автомобиля с дорогой. Определено, что даже при незначительном изменении одного из параметров расчета, при прочих неизменных данных выводы эксперта могут иметь совершенно противоположный характер.*

**Ключевые слова:** дорожно-транспортное происшествие; наезд на пешехода; экспертиза ДТП.

В РФ за 2014 год произошло 199720 дорожно-транспортных происшествий, что на 2,1% меньше чем в 2013 году. При этом в ДТП погибло 26963 человека (-0,2%) и получили ранения 251785 человек (-2,6%). Наезд на пешехода происходит в 28,5% случаев ДТП. Это второй по распространенности вид ДТП в России. [1] В 2014 году снизилось количество погибших пешеходов более чем на 6%. Чаще всего жертвами становятся пешеходы в возрасте от 16 до 40 лет и от 60 и старше [2,3].

Для производства экспертизы наезда в распоряжении эксперта должны быть предоставлены материалы в объеме, достаточном для полного и объективного исследования ДТП. [4,5,6].

При исследовании эксперту приходится выбирать численные значения целого ряда параметров и коэффициентов из определенного диапазона. Чаще всего, эксперт из данного диапазона выбирает среднее значение, используя именно его в расчетах. Очевидно, наиболее целесообразно делать расчеты для разных сочетаний параметров, а результаты расчета представлять для наглядности в виде таблицы или графика. По ним могут быть сделаны наиболее правильные и точные выводы для соответствующих сочетаний параметров. Таким образом, эксперт может указать на наиболее вероятный вывод с технической точки зрения по его мнению. В данной статье представлены расчеты дорожно-транспортного происшествия с использованием различного сочетания параметров. [7,8,9, 10].

Для подтверждения значимости проведения экспертами расчетов при выборе всех сочетаний параметров и коэффициентов рассмотрим пример экспертизы дорожно-транспортного происшествия, связанного с наездом транспортного средства ВАЗ 2107 на пешехода.

В исследовании данного ДТП в качестве изменяемого значения используется коэффициент сцепления шин с дорогой при прочих равных условиях. В нормативных источниках для мокрого асфальтобетонного покрытия, он принимает значение в пределах 0,35–0,45. Так как, в данном случае, целесообразно произвести расчеты при всех значениях коэффициента сцепления. Время нарастания замедления изменяется в зависимости от значения коэффициента сцепления шин с дорогой и степени загрузки автомобиля.

Данное ДТП произошло в светлое время суток, при переходе пешеходом проезжей части справа налево под прямым углом к оси дороги. Определим, располагал ли водитель автомобиля марки «ВАЗ-2107» технической возможностью предотвратить наезд на пешехода.

Исходные данные

В качестве примера было рассмотрено дорожно-транспортное происшествие – наезд на пешехода.

1. ДТП (наезд на пешехода) произошло в светлое время суток, в населенном пункте, без использования торможения водителем. Удар был нанесен передней частью автомобиля ВАЗ 2107 вне пешеходного перехода. Видимость в направлении движения не ограничена.

2. Техническое состояние автомобиля ВАЗ 2107 исправное (рулевое управление и тормозная система).

3. Загрузка автомобиля ВАЗ 2107: водитель.

4. Тип и состояние проезжей части: мокрое асфальтобетонное покрытие горизонтального профиля.

5. Скорость движения автомобиля ВАЗ 2107 составляет 46 км/ч (из постановления).

6. Направление движения пешехода относительно движения автомобиля: справа налево под прямым углом к оси дороги.

7. Время движения пешехода  $t_n = 2,8$  с (4,8 метра за 6,12 км/ч из постановления).

Схема данного дорожно – транспортного происшествия представлена на рисунке 1.

Исходные данные приняты по постановлению следователя о назначении экспертизы и схемы ДТП.

Для определения технической возможности предотвращения ДТП необходимо произвести расчеты по определению остановочного пути транспортного средства ( $S_0$ ) и удаления ( $S_{уд}$ ) его от места наезда в момент возникновения опасной обстановки, и сравнить полученные значения между собой.



Рисунок 1 Схема дорожно-транспортного происшествия

## ИССЛЕДОВАНИЕ

Удаление автомобиля ВАЗ 2107 от места наезда в момент возникновения опасной обстановки определяется по формуле (1) (при равномерном движении автомобиля):

$$S_{y\partial} = t_{II} \cdot V_a, \quad (1)$$

где  $V_a$  – скорость движения автомобиля ВАЗ 2107,  $V_a = 45$  км/ч;

$t_{II}$  – время движения пешехода, принимаем равным 2,8 с.

$$S_{y\partial} = 2,8 \cdot 12,77 = 35,75 \text{ м.}$$

Таким образом, удаление автомобиля ВАЗ 2107 от места наезда в момент возникновения опасности составляет 35,75 м.

- Остановочный путь автомобиля ВАЗ 2107 в условиях ДТП при скорости движения 45 км/ч определяется по формуле (2):

$$S_o = (t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3) \cdot \frac{V_a}{3,6} + \frac{V_a^2}{26 \cdot j}, \quad (2)$$

где  $t_1$  – время реакции водителя, принимаем равным 0,8 с;

$t_2$  – время запаздывания срабатывания тормозного привода автомобиля ВАЗ 2107, принимаем равным 0,1 с;

$t_3$  – время нарастания замедления, принимается в зависимости от коэффициента сцепления и степени загрузки автомобиля, с;

$j$  – установившееся замедление автомобиля ВАЗ 2107, м/с<sup>2</sup>;

$V_a$  – скорость движения автомобиля ВАЗ 2107,  $V_a = 45$  км/ч.

Для определения остановочного пути транспортного средства необходимо произвести расчет установившегося замедления автомобиля при различных значениях коэффициента сцепления шин автомобиля с дорогой.

- Установившееся замедление автомобиля ВАЗ 2107 определяется по формуле (3):

$$j = \frac{g \cdot \varphi_x}{K_э}, \quad (3)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения, принимается 9,81 м/с<sup>2</sup>;

$K_э$  – коэффициент эффективности торможения автомобиля ВАЗ 2107, принимается равным 1,1;

$\varphi_x$  – коэффициент сцепления шин автомобиля ВАЗ 2107 с автомобильной дорогой.

В данном исследовании в качестве изменяемого значения использовался коэффициент сцепления шин с дорогой при прочих равных условиях. В нормативных источниках для мокрого асфальтобетонного покрытия он принимает значение в пределах 0,35 – 0,45. Время нарастания замедления изменяется в зависимости от значения коэффициента сцепления шин с дорогой и степени загрузки автомобиля.

Подставляем значения указанного значения коэффициента сцепления в формулу 3, и результаты расчетов сведем в таблицу 1.

Таблица 1 - Определение замедления автомобиля ВАЗ 2107

№ варианта	Ускорение свободного падения $g$ , м/с <sup>2</sup>	Коэффициент сцепления шин с дорогой, $\varphi_x$	Коэффициент эффективности торможения, $K_э$	Замедление автомобиля, $j$ , м/с <sup>2</sup>
1	9,81	0,35	1,1	3,122
2	9,81	0,4	1,1	3,567
3	9,81	0,45	1,1	4,013

После определения замедления автомобиля переходим к определению остановочного пути автомобиля ВАЗ 2107 с помощью формулы (2), используя полученные значения замедления и коэффициента сцепления. Результаты расчетов сведем в таблицу 2.

Таблица 2 - Определение остановочного пути автомобиля ВАЗ 2107

№ варианта	Коэффициент сцепления шин с дорогой, $\varphi_x$	Время нарастания замедления, $t_3$ , с	Скорость движения автомобиля, $V_a$ , км/ч (м/с)	Замедление автомобиля, $j$ , м/с <sup>2</sup>	Остановочный путь автомобиля, $S_o$ , м
1	0,35	0,175	46 (12,77)	3,122	38,69
2	0,4	0,2	46 (12,77)	3,567	35,59
3	0,45	0,225	46 (12,77)	4,013	33,22

В результате проведенного исследования получены данные остановочного пути транспортного средства  $S_o$  и удаления  $S_{yd}$  его от места наезда в момент возникновения опасной обстановки, с помощью сопоставления которых можно определить наличие у водителя автомобиля ВАЗ 2107 технической возможности предотвратить ДТП (табл. 3).

Таблица 3 - Определение технической возможности предотвратить дорожно-транспортное происшествие

№ варианта	Коэффициент сцепления шин с дорогой, $\varphi_x$	Скорость движения автомобиля, $V_a$ , км/ч (м/с)	Удаление автомобиля от места наезда, $S_{yd}$ , м	Остановочный путь автомобиля, $S_o$ , м	Техническая возможность
1	0,35	46 (12,77)	35,75	38,69	Не располагал
2	0,4	46 (12,77)	35,75	35,59	Располагал
3	0,45	46 (12,77)	35,75	33,22	Располагал

Судя по таблице, можно сказать, что даже при незначительном изменении одного из параметров расчета, при прочих неизменных данных выводы эксперта могут иметь совершенно противоположный характер. А именно, при использовании в расчетах пограничных значений коэффициента сцепления шин с дорогой для мокрого асфальтобетонного покрытия (0,35-0,45) изменяются выводы эксперта о наличии у водителя технической возможности предотвратить ДТП. Так, при значении  $\varphi_x=0,35$  водитель автомобиль ВАЗ 2107 не располагал технической возможностью предотвратить ДТП, а при  $\varphi_x=0,45$  возможность избежать ДТП у него была.

Оценим величину ошибки, которую допускают эксперты при использовании в расчетах средних значений величин, параметров и коэффициентов. Для этого определим расхождения в расчетах, которые были получены экспертом и расчетах, полученных нами при использовании всех пограничных значений [11]. В качестве изменяемого параметра использовалось значение коэффициента сцепления шин с дорогой.

Для определения ошибки остановочного пути изначально необходимо определить его среднеарифметическое отклонение, используя формулу (4):

$$\mu(x) = (x_1 + x_2 + x_3 + x_4) / 4. \quad (4)$$

Затем необходимо определить дисперсию случайной величины по формуле (5):

$$D = (((x_1 - \mu(x))^2 + ((x_2 - \mu(x))^2 + ((x_3 - \mu(x))^2 + ((x_4 - \mu(x))^2) / (n - 1). \quad (5)$$

После определения дисперсии переходим к определению величины среднеквадратического отклонения по формуле (6):

$$\sigma = \sqrt{D}. \quad (6)$$

Определение коэффициента вариации (ошибки остановочного пути), используя формулу (7):

$$V = \frac{\sigma}{\mu(x)} \cdot 100\%. \quad (7)$$

Таким образом, в результате проведенных расчетов определили, что величина ошибки эксперта при определении остановочного пути транспортного средства ВАЗ 2107 составляет 22,5%. Такая величина ошибки является значительной.

Следовательно, подтверждена целесообразность выполнения расчетов для всех возможных пограничных значений параметров и коэффициентов при проведении автотранспортной экспертизы аварии. Благодаря этому можно получить наиболее точные выводы по экспертизе о наличии у водителя автомобиля технической возможности предотвратить дорожно-транспортное происшествие.

Снизить уровень аварийности на автомобильном транспорте может использование автотренажеров при подготовке водителей, при периодической проверке навыков управления транспортным средством среди водителей различных транспортных предприятий. [12,13,14, 15, 16] Практические занятия на автотренажере позволяют отработать типичные аварийно-опасные ситуации на дороге и повысить безопасность дорожного движения. [17, 18, 19, 20, 21].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильина, И.Е. Анализ аварийности и причины нарушения водителями правил дорожного движения по пензенской области [Текст] / И.Е. Ильина, В.В. Лянденбургский, С.А. Пылайкин, С.А. Евстратова // Наука. Инновации. Образование. - 2013. - № 1. - С. 1.
2. Морозов, И.С. Повышение безопасности передвижения детей по проезжей части путем использования светоотражающих элементов [Текст] / И.С. Морозов, А.В. Лянденбургская, И.Е. Ильина, В.В. Лянденбургский // Юный ученый. - 2015. - № 2 (2). - С. 149-151.
3. Исхаков, М.М. Некоторые аспекты обеспечения безопасности школьников на дороге [Текст] / М.М. Исхаков, В.И. Рассоха, И.Е. Ильина, А.В. Вашкевич // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры. – Оренбург. - 2015. - С. 221-225.
4. Ильина, И.Е. Процессуальное оформление дорожно-транспортных происшествий [Текст]: учебное пособие для студентов / И. Е. Ильина, М. М. Исхаков, В. И. Рассоха, И. Х. Хасанов. - Пенза, 2011.
5. Исхаков, М.М. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий: методические указания к курсовому проектированию [Текст] / М.М. Исхаков, В.И. Рассоха, И.Е. Ильина. - Оренбург, 2010.
6. Домке, Э.Р. Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий [Текст]: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Э.Р. Домке. - 2-е изд., стер. - М.: Издательский центр «Академия», 2012. - 288 с.
7. Калинин, Е.И. Статистическая оценка пределов изменения пути торможения автомобиля [Текст] / Е. И. Калинин, Ю. Б. Суворов, В. Н. Аверьянов. – Исследование коэффициента сцепления шин автомобиля с дорогой.
8. Определение и применение в экспертной практике параметров торможения автотранспортных средств [Текст]: метод. рекомендации. - М.: ВНИИСЭ, 1983. - 31 с.
9. Тартаковский, Д. Ф. Неопределенность исходных данных при автотехнической экспертизе [Текст] / Д.Ф. Тартаковский. - Санкт-Петербург, 2009. - 6 с.
10. Ильина, И.Е. Анализ возможности предотвращения дорожно-транспортного происшествия при аквапланировании автомобиля [Текст] / И.Е. Ильина, М.М. Исхаков, М.М. Аленин // Мир транспорта и технологических машин. - 2011. - № 4. - С. 56-61.
11. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст]: учебн. пособие / В.Е. Гмурман. - 12-е изд., перераб. - М.: Высшее образование, Юрайт–издат. - 2009. - 479 с.
12. Ильина, И.Е. Применение экспертных методов при оценке факторов влияющих на безопасность дорожного движения [Текст] / И.Е. Ильина // Прогрессивные технологии в транспортных системах. - 2013. - С. 163-169.
13. Ильина, И.Е. Повышение безопасности дорожного движения за счет использования тренажеров в процессе обучения водителей категории «В» [Текст] / И.Е. Ильина, Ю.В. Родионов, С.А. Пылайкин // Транспорт. Экономика. Социальная сфера. (Актуальные проблемы и их решения). - Пенза. - 2014. - С. 51-54.
14. Лянденбургский, В.В. Тренажер для обучения курсантов вождению автомобиля и контроля корректирующих действий инструктора [Текст] / В.В. Лянденбургский, Г.И. Шаронов, И.Е. Ильина, Ю.Д. Бреева // Интернет-журнал Науковедение. - 2014. - № 4. - С. 1.
15. Ильина, И.Е. Методика экспериментальных исследований надежности кандидатов в водители [Текст] / И.Е. Ильина, В.В. Лянденбургский, С.А. Пылайкин, С.А. Евстратова // Наука. Инновации. Образование. - 2014. - № 2. - С. 1.

16. Лянденбургский, В.В. Количественно-временной анализ «нарушений» на автотренажере [Текст] / В.В. Лянденбургский, Ю.В. Родионов, И.Е. Ильина, С.А. Пылайкин // Прогрессивные технологии в транспортных системах. - 2015. - С. 137-141.

17. Лянденбургский, В.В. Алгоритм отработки навыков управления автомобилем на автотренажере [Текст] / В.В. Лянденбургский, И.Е. Ильина, С.А. Пылайкин, С.А. Евстратова // Молодой ученый. - 2015. - №4(84). - С. 212-214.

18. Ильина, И.Е. Проблемы подготовки водителей категории «В» и пути их решения [Текст] / И.Е. Ильина, А.А. Юмаева, Н.Р. Бахтеев, О.М. Серова // Мир транспорта и технологических машин. - 2012. - № 2. - С. 117-122.

19. Ильина, И.Е. Обучение вождению лиц с ограниченными возможностями [Текст] / И.Е. Ильина, В.В. Лянденбургский, С.А. Пылайкин, О.С. Серова // Науковедение. - 2013. - № 6 (19). - С. 181.

20. Ильина, И.Е. Применение тренажеров для повышения квалификации инструкторов вождения [Текст] / И.Е. Ильина, В.В. Лянденбургский, С.А. Пылайкин, С.А. Евстратова // Науковедение. - 2014. - № 1 (20). - С. 96.

21. Ильина, И.Е. Формирование навыков управления автомобилем на автотренажере [Текст] / И.Е. Ильина, В.В. Лянденбургский, С.А. Пылайкин, Е.А. Кротова // Науковедение. - 2014. - № 5. - С. 149.

**Ильина Ирина Евгеньевна**

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»

Адрес: Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, 28

Канд. техн. наук, доцент кафедры «Организация и безопасность движения»

E-mail: iie.1978@yandex.ru

**Буркина Валентина Ивановна**

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»

Адрес: Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, 28

Студент ТТП-41

E-mail: iie.1978@yandex.ru

---

I.E. IL'INA, V.I.BURKINA

**STUDY ON THE POSSIBILITY OF PREVENTION OF ROAD ACCIDENTS  
WHEN USING EDGE VALUES**

*The influence of different values of the parameters in the investigation and examination of road accidents. Examination of road traffic accidents associated with collisions with pedestrians at different values of the coefficient of friction of the tyres with the road. Determined that even with a slight change of one of the calculation parameters, other things being unchanged data the findings of an expert can have the opposite nature.*

**Keywords:** traffic accident; pedestrian accident; examination of the accident.

**BIBLIOGRAPHY**

1. Il'ina, I.E. Analiz avariynosti i prichiny narusheniya voditelyami pravil dorozhnogo dvizheniya po penzenskoy oblasti [Tekst] / I.E. Il'ina, V.V. Lyandenburskiy, S.A. Pylaykin, S.A. Evstratova // Nauka. Innovatsii. Obrazovanie. - 2013. - № 1. - S. 1.

2. Morozov, I.S. Povyshenie bezopasnosti peredvizheniya detey po proezzhey chasti putem ispol'zovaniya svetootrazhayushchikh elementov [Tekst] / I.S. Morozov, A.V. Lyandenburskaya, I.E. Il'ina, V.V. Lyandenburskiy // YUuny uchenyy. - 2015. - № 2 (2). - S. 149-151.

3. Iskhakov, M.M. Nekotorye aspekty obespecheniya bezopasnosti shkol'nikov na doroge [Tekst] / M.M. Iskhakov, V.I. Rassokha, I.E. Il'ina, A.V. Vashkevich // Universitetskiy kompleks kak regional'nyy tsentr obrazovaniya, nauki i kul'tury. - Orenburg. - 2015. - S. 221-225.

4. Il'ina, I.E. Protsessual'noe oformlenie dorozhno-transportnykh proisshestviy [Tekst]: uchebnoe posobie dlya studentov / I. E. Il'ina, M. M. Iskhakov, V. I. Rassokha, I. H. Hasanov. - Penza, 2011.

5. Iskhakov, M.M. Ekspertiza dorozhno-transportnykh proisshestviy: metodicheskie ukazaniya k kursovomu proektirovaniyu [Tekst] / M.M. Iskhakov, V.I. Rassokha, I.E. Il'ina. - Orenburg, 2010.

6. Domke, E.R. *Rassledovanie i ekspertiza dorozhno-transportnykh proisshestviy* [Tekst]: uchebnik dlya stud. vyssh. ucheb. zavedeniy / E.R.Domke. - 2-e izd., ster. - M.: Izdatel'skiy tsentr "Akademiya", 2012. - 288 s.
7. Kalinin, E.I. *Statisticheskaya otsenka predelov izmeneniya puti tormozheniya avtomobilya* [Tekst] / E. I. Kalinin, YU. B. Suvorov, V. N. Aver'yanov. - Issledovanie koeffitsienta stsepleniya shin avtomobilya s dorogoy.
8. *Opreделение i primeneniye v ekspertnoy praktike parametrov tormozheniya avtotransportnykh sredstv* [Tekst]: metod.rekomendatsii. - M.: VNIISE, 1983. - 31 s.
9. Tartakovskiy, D. F. *Neopredelennost' iskhodnykh dannykh pri avtotekhnicheskoy ekspertize* [Tekst] / D.F. Tartakovskiy. - Sankt-Peterburg, 2009. - 6 s.
10. Il'ina, I.E. *Analiz vozmozhnosti predotvrashcheniya dorozhno-transportnogo proisshestviya pri akvaplanirovaniy avtomobilya* [Tekst] / I.E. Il'ina, M.M. Iskhakov, M.M. Alenin // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin.* - 2011. - № 4. - S. 56-61.
11. Gmurman, V.E. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika* [Tekst]: uchebn. posobie / V.E. Gmurman. - 12-e izd., pererab. - M.: Vysshee obrazovanie, YUrayt-izdat. - 2009. - 479 s.
12. Il'ina, I.E. *Primeneniye ekspertnykh metodov pri otsenke faktorov vliyayushchikh na bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya* [Tekst] / I.E. Il'ina // *Progressivnyye tekhnologii v transportnykh sistemakh.* - 2013. - S. 163-169.
13. Il'ina, I.E. *Povysheniye bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya za schet ispol'zovaniya trenazherov v protsesse obucheniya voditeley kategorii "V"* [Tekst] / I.E. Il'ina, YU.V. Rodionov, S.A. Pylaykin // *Transport. Ekonomika. Sotsial'naya sfera. (Aktual'nye problemy i ikh resheniya).* - Penza. - 2014. - S. 51-54.
14. Lyandenburskiy, V.V. *Trenazher dlya obucheniya kursantov vozhdeniyu avtomobilya i kontrolya korrek-tiruyushchikh deystviy instruktora* [Tekst] / V.V. Lyandenburskiy, G.I. Sharonov, I.E. Il'ina, YU.D. Breeva // *Internet-zhurnal Naukovedenie.* - 2014. - № 4. - S. 1.
15. Il'ina, I.E. *Metodika eksperimental'nykh issledovaniy nadezhnosti kandidatov v voditeli* [Tekst] / I.E. Il'ina, V.V. Lyandenburskiy, S.A. Pylaykin, S.A. Evstratova // *Nauka. Innovatsii. Obrazovanie.* - 2014. - № 2. - S. 1.
16. Lyandenburskiy, V.V. *Kolichestvenno-vremennoy analiz "narusheniy" na avtotrenazhere* [Tekst] / V.V. Lyandenburskiy, YU.V. Rodionov, I.E. Il'ina., S.A. Pylaykin // *Progressivnyye tekhnologii v transportnykh sistemakh.* - 2015. - S. 137-141.
17. Lyandenburskiy, V.V. *Algoritm otrabotki navykov upravleniya avtomobilem na avtotrenazhere* [Tekst] / V.V. Lyandenburskiy, I.E. Il'ina, S.A. Pylaykin, S.A. Evstratova // *Molodoy uchenyy.* - 2015. - №4(84). - S. 212-214.
18. Il'ina, I.E. *Problemy podgotovki voditeley kategorii "V" i puti ikh resheniya* [Tekst] / I.E. Il'ina, A.A. YUmaeva, N.R. Bakhteev, O.M. Serova // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin.* - 2012. - № 2. - S. 117-122.
19. Il'ina, I.E. *Obucheniye vozhdeniyu lits s ogranichennymi vozmozhnostyami* [Tekst] / I.E. Il'ina, V.V. Lyandenburskiy, S.A. Pylaykin, O.S. Serova // *Naukovedenie.* - 2013. - № 6 (19). - S. 181.
20. Il'ina, I.E. *Primeneniye trenazherov dlya povysheniya kvalifikatsii instruktorov vozhdeniya* [Tekst] / I.E. Il'ina, V.V. Lyandenburskiy, S.A. Pylaykin, S.A. Evstratova // *Naukovodelenie.* - 2014. - № 1 (20). - S. 96.
21. Il'ina, I.E. *Formirovaniye navykov upravleniya avtomobilem na avtotrenazhere* [Tekst] / I.E. Il'ina, V.V. Lyandenburskiy, S.A. Pylaykin, E.A. Krotova // *Naukovedenie.* - 2014. - № 5. - S. 149.

**Ирина Ирина Евгеньевна**

FGBOU VPO «Penza State University of Architecture and Construction»

Address: Russia, 440028, Penza, ul. Titov, 28

Kand. tehn. Sciences, Associate Professor of «Organization and traffic safety»

E-mail: iie.1978@yandex.ru

**Burkina Valentina Ivanovna**

FGBOU VPO «Penza State University of Architecture and Construction»

Address: Russia, 440028, Penza, ul. Titov, 28

Student TTP-41

E-mail: iie.1978@yandex.ru

УДК 656.132:656.015

А.В. ЛИПЕНКОВ, Н.А. КУЗЬМИН

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРЬ ВРЕМЕНИ ОТ ВЗАИМНЫХ ПОМЕХ МЕЖДУ АВТОБУСАМИ НА ОСТАНОВОЧНЫХ ПУНКТАХ

*В статье приводятся результаты исследования потерь времени от взаимных помех между автобусами на остановочных пунктах городского пассажирского транспорта. Установлено, что на формирование потерь времени оказывает режим функционирования остановочного пункта. Предложено рассматривать два режима: без маневрирования автобусов и с маневрированием. Установлены факторы, влияющие на потери времени для каждого из режимов и закономерности их изменения. Определены условия, при которых остановочный пункт будет работать в том или ином режиме. Полученные результаты предлагаются использовать для уточнения действующих методик расчета пропускной способности остановочных пунктов.*

**Ключевые слова:** остановочный пункт, пропускная способность, городской пассажирский транспорт, метод Монте-Карло, имитационное моделирование.

В связи с ростом уровня автомобилизации в городах России и, как следствие, увеличением плотности и сложности транспортных потоков, особую актуальность приобретают вопросы повышения пропускной способности (ПС) объектов транспортной инфраструктуры. Одним из важнейших элементов транспортной инфраструктуры любого города являются остановочные пункты (ОП), оказывающие существенное влияние на ПС дорог и безопасность дорожного движения. Недостаточная ПС последних является одной из причин задержек движения и образования транспортных заторов [1, 2].

Одним из основных способов повышения ПС ОП является увеличение его длины или другими словами числа мест для одновременного обслуживания автобусов. Однако это работает до определенного предела, так как ПС ОП растет непропорционально увеличению числа мест. Это связано с всевозможными помехами, возникающими между одновременно находящимися на ОП автобусами. Обычно при линейной схеме функционирования ОП (на крайней правой полосе или в специальном кармане) не рекомендуется использовать более 3-4 мест [3-6]. Дальнейшее увеличение ПС ОП достигается путем разнесения ОП на два и более по маршрутам, направлениям, видам транспорта и т.д.

ПС ОП (ед/ч) без учета влияния светофорного регулирования и в условиях работы одномарочного (однотипного) подвижного состава может быть рассчитана по формуле:

$$ПС_{оп} = \frac{3600}{\sum t_3} k_H N_M, \quad (1)$$

где  $\sum t_3$  – суммарные задержки автобуса на ОП (поступление, открытие и закрытие дверей, обслуживание, убытие), с;

$N_M$  – число мест обслуживания;

$k_H$  – коэффициент неэффективности использования соответствующего числа мест обслуживания.

Факт непропорционального увеличения ПС с ростом числа мест обслуживания учитывается в (1), а также в других действующих моделях коэффициентом  $k_H$ . Значения данного коэффициента приводятся в ряде работ. Например, Ефремов И.С. предлагает для ОП имеющих два места обслуживания значение 0,8, а для трех мест – 0,7 [7]. В американском руководстве HCM2000 [8] приводятся данные о коэффициенте  $k_H$  в виде произведения его на число мест обслуживания (табл. 1):

Таблица 1 – Эффективное число мест на ОП [8]

Число мест на ОП	На крайней правой полосе		В специальном кармане		Среднее число мест
	Эффективность, %	Общее число мест	Эффективность, %	Общее число мест	
1	100	1,00	100	1,00	1,00
2	85	1,85	85	1,85	1,85
3	60	2,45	75	2,60	2,52
4	20	2,65	65	3,25	2,9
5	5	2,7	50	3,75	3,22

Как можно видеть из таблицы 1, значения рассматриваемого коэффициента являются табличными, независимыми от каких либо факторов и особенностей функционирования ОП. Возникает вопрос, какие факторы влияют на данные коэффициенты и какова степень этого влияния? Применимы ли данные коэффициенты ко всем ОП?

В рамках комплексного исследования ОП в Нижнем Новгороде [9] была проанализирована технология работы автобусов на ОП и выделено три основных направления, по которым происходит снижение эффективности функционирования ОП с ростом числа мест:

1. Потери времени от взаимных помех между одновременно находящимися на ОП автобусами.

2. Неэффективное использование мест обслуживания: остановка автобуса сразу при въезде (потеря мест в начале ОП), рассредоточение внутри ОП, игнорирование свободного места из-за необходимости совершать маневр путем обгона впереди стоящего автобуса, смещение остановочного павильона для пассажиров относительно начала ОП [10].

3. Дополнительный простой автобусов на ОП из-за увеличения фронта посадки-высадки.

Как показало исследование, в наибольшей степени эффективность функционирования ОП снижают первые две составляющие. Таким образом, абстрагируясь от третьей из них, представим коэффициент  $k_H$  в виде двух составляющих, а формулу (1) в виде:

$$PC_{оп} = \frac{3600}{\sum t_3} (k_{нт} \cdot k_{нм}) N_M = \frac{3600}{\sum t_3 + t_{конф}} k_{нм} N_M, \quad (2)$$

где  $k_{нт}$  – коэффициент снижения ПС за счет потерь времени из-за взаимных помех между автобусами;

$k_{нм}$  – коэффициент снижения ПС за счет потери мест обслуживания, вызванного «человеческим фактором» и другими причинами (табл. 4);

$t_{конф}$  – потери времени от взаимных помех между автобусами, приходящиеся на одно место обслуживания (конфликтное время), с.

Если вторая ( $k_{нм}$ ) составляющая является в большей степени следствием «человеческого фактора» [11,12] и может быть получена только путем натурального эксперимента, то первая составляющая ( $t_{конф}$ ) явно зависит от каких-то факторов и представляет большой интерес для изучения.

Рассмотрим ОП, имеющий одно место обслуживания. Как только оно освобождается, на него сразу же поступает следующий автобус. Понятно, что в случае одного места коэффициент  $k_H$  будет равен 1 ( $k_{H1} = 1$ ), так как при одном месте помехи от других автобусов отсутствуют. Увеличим число мест до двух. Теперь на ОП будут возникать ситуации, когда один из автобусов уже закончил обслуживание и ждет освобождения места впереди стоящим для того, чтобы покинуть ОП. Или наоборот, пришедший первым автобус уже покинул ОП и одно из мест простаивает, так как второй еще обслуживает пассажиров, блокируя доступ к свободному месту. С другой стороны, при окончании обслуживания водитель может не до-

ждать освобождения места впереди стоящим автобусом, а начать совершать маневр по его обгону. В этом случае не будет затрачено время на ожидание, но возникнут дополнительные задержки, связанные с маневрированием. При этом не исключено, что маневрирующий автобус создаст дополнительную помеху тому автобусу, который он обгоняет, увеличив тем самым и его время нахождения на ОП.

Как мы видим, наличие уже двух автобусов на ОП приводит к образованию взаимных помех и как следствие потерям времени для каждого из мест обслуживания. В случае использования трех и более мест обслуживания ситуация будет только усугубляться. Также стоит отметить, что потери времени имеют принципиально разную структуру при наличии или отсутствии маневров по обгону автобусами друг друга. Учитывая это, рассмотрим два режима функционирования ОП: с маневрированием [13] и без маневрирования.

Для ОП без маневрирования будем считать, что все автобусы движутся друг за другом без обгона. В случае если последнее место обслуживания (ближайшее к въезду) занято, доступ на ОП заблокирован. Таким образом, в случае высокой интенсивности движения автобусов, близкой к пределу ПС, поступление на ОП будет носить групповой характер (автобусы поступают на ОП группой, равной числу мест). Потери времени каждого из мест обслуживания за цикл при этом будут зависеть от того автобуса, чье время обслуживания максимально. Схема ОП без маневрирования представлена на рисунке 1:

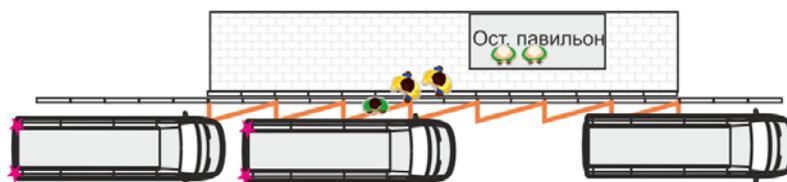


Рисунок 1 – ОП без маневрирования

Для ОП с маневрированием будем считать, что автобус при наличии места на ОП сразу начинает движение в его сторону, не дожидаясь полного освобождения ОП впереди стоящими. В случае, если ближайшее к въезду место занято, осуществляется маневр по обгону. Как только обслуживание пассажиров заканчивается, начинается еще один маневр по обгону впереди стоящего автобуса с целью освобождения ОП. Если перед автобусом в этот момент нет других транспортных средств, то маневр не осуществляется, и автобус просто покидает ОП по крайней правой полосе движения. Схемы ОП с маневрированием представлены на рисунке 2:

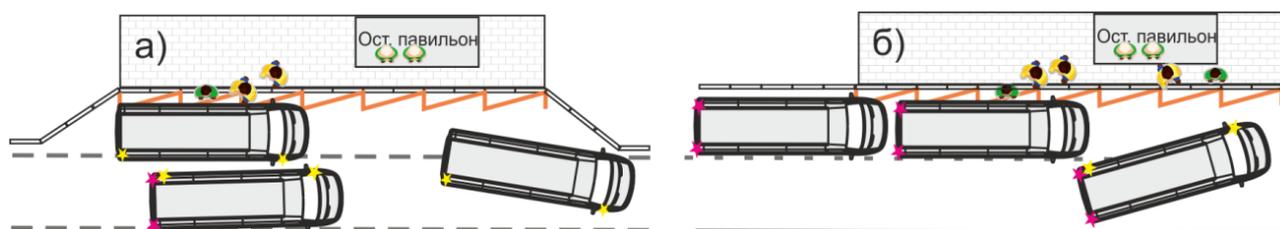


Рисунок 2 – ОП с маневрированием:

а) в специальном кармане, б) на крайней правой полосе движения

Рассмотрим ОП без маневрирования. Так как наша главная цель заключается в определении ПС ОП, которая может быть достигнута только при предельно высокой интенсивности движения автобусов, все дальнейшие результаты получены для ситуации, когда перед ОП имеется очередь. При снижении загрузки ОП потери времени будут меньше. Как было сказано выше, на ОП без маневрирования при предельной загрузке будет наблюдаться групповое поступление автобусов. Время обслуживания группы будет определяться максимальным из всех времен обслуживания автобусов, составляющих группу.

Это время можно найти, если сформулировать задачу следующим образом: имеются две выборки нормально распределенных случайных величин  $X$  и  $Y$ . Математическое ожидание обеих равно  $M$ , дисперсия равна  $D$ . Из каждой выборки извлекается по одному значению, максимальное из них образует значение новой случайной величины  $Z$ . Требуется найти математическое ожидание случайной величины  $Z$ .

Ввиду трудоемкости решения этой задачи приводим сразу её решение:

$$M(Z) = M + \sigma \frac{1}{\sqrt{\pi}}, \quad (3)$$

где  $\sigma$  – среднее квадратичное отклонение (СКО) случайных величин  $X$  и  $Y$ , с.

Согласно (3), потери времени  $t_{\text{конф}}$  в формуле (2) составят:

$$t_{\text{конф}} = \sigma \frac{1}{\sqrt{\pi}}. \quad (4)$$

Как видно из (4), потери времени в случае ОП без маневрирования будут зависеть только от СКО времени обслуживания. Чем больше разброс значений времени обслуживания автобусов, тем больше потери времени и ниже ПС ОП. Однако выражение (4) получено для двух мест обслуживания, при одновременном поступлении автобусов на ОП и нормальном распределении времени обслуживания. На практике же, автобусы начинают обслуживание не одновременно, а с некоторой задержкой. Как правило, впереди идущий автобус открывает двери раньше, чем следующий за ним. Обозначим эту разницу –  $\Delta t$ . Так же известно, что время обслуживания подчинено не нормальному закону, а Гамма-распределению [14]. Ввиду трудоемкости и подчас невозможности получения аналитического решения для реальных ОП и большего числа мест было решено применить метод статических испытаний Монте-Карло. Интерфейс метода реализован в профессиональном инструменте имитационного моделирования Anylogic [15]. На рисунке 3 представлены результаты моделирования для двух мест обслуживания (при среднем времени обслуживания равном 20 с):

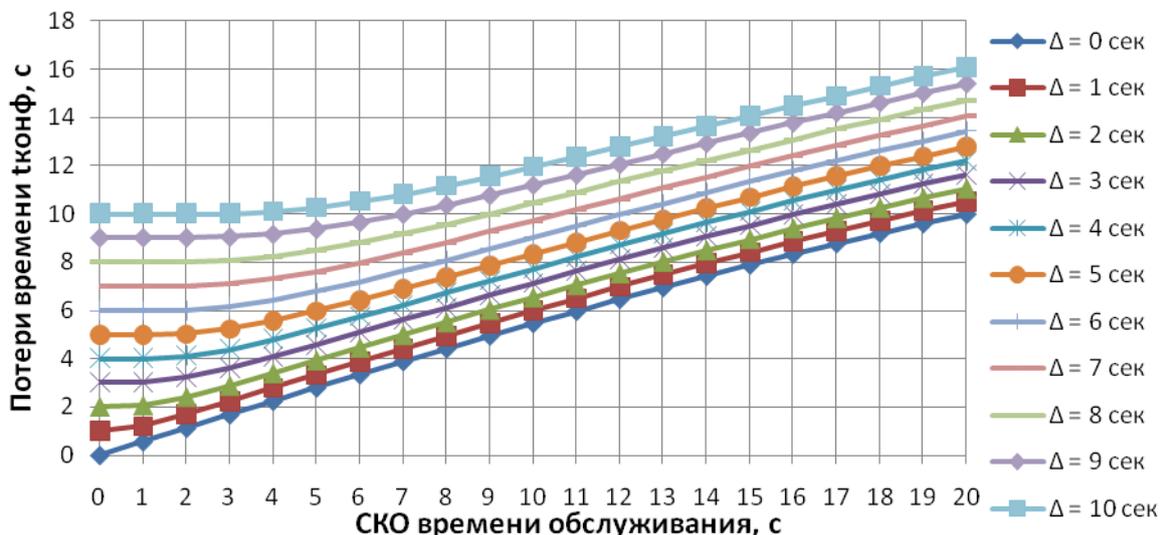


Рисунок 3 – Потери времени  $t_{\text{конф}}$  (к) для двух мест, в зависимости от СКО времени обслуживания (с) и смещения моментов начала обслуживания (с)

Анализируя график на рисунке 3, можно видеть, что кривая  $t_{\text{конф}} = f(\sigma)$  имеет почти горизонтальную часть в области низких значений СКО. Далее она практически линейно начинает возрастать. Это объясняется тем, что низкие значения СКО не существенно влияют

на потери времени, так как прибывший первым автобус с большей вероятностью покинет ОП так же первым из-за разницы в моментах начала обслуживания  $\Delta t$ . С ростом СКО потери начинают практически линейно возрастать, что подтверждается выражением (4). О том, какие значения принимает СКО на реальных ОП можно посмотреть в работе [14].

Согласно данным натурных экспериментов, проведенных в рамках комплексного исследования [9] величина  $\Delta t$  в среднем составляет 4 с. На основании полученных данных моделирования и натурального эксперимента были получены регрессионные модели зависимости  $t_{\text{конф}} = f(\sigma)$  для всех мест обслуживания (табл. 2).

Теперь рассмотрим ОП с маневрированием. В этом случае на потери времени будет влиять, во-первых, число мест обслуживания. Чем больше автобусов могут одновременно находиться на ОП, тем больше вероятность, что беспрепятственному поступлению и убытию автобуса с ОП помешают другие автобусы и, следовательно, возрастет время  $t_{\text{конф}}$ . Также потери времени будут зависеть и от среднего времени обслуживания. Чем меньше среднее время обслуживания автобуса на ОП, тем больше сменяемость автобусов и, как следствие, больше конфликтов и больше суммарные потери времени. Еще одним фактором, способным повлиять на дополнительные задержки, является время, затрачиваемое транспортным средством на убытие с ОП. Чем больше это время, тем больше вероятность, что маневрирующее транспортное средство создаст помеху для другого автобуса.

Таблица 2 – Регрессионные модели для ОП без маневрирования

Число мест	Регрессионная модель	Коэфф-т детерминации
2	$\begin{cases} t_{\text{конф}} = 0,4686\sigma + 2,9828 & 3 \leq \sigma \leq M, \\ t_{\text{конф}} = \Delta t & \sigma < 3 \end{cases}$	0,99912
3	$\begin{cases} t_{\text{конф}} = 0,7661\sigma + 5,7457 & 3 \leq \sigma \leq M, \\ t_{\text{конф}} = 2\Delta t & \sigma < 3 \end{cases}$	0,99905
4	$\begin{cases} t_{\text{конф}} = 0,9678\sigma + 8,7194 & 3 \leq \sigma \leq M, \\ t_{\text{конф}} = 3\Delta t & \sigma < 3 \end{cases}$	0,99680
5	$\begin{cases} t_{\text{конф}} = 1,1107\sigma + 11,9109 & 3 \leq \sigma \leq M, \\ t_{\text{конф}} = 4\Delta t & \sigma < 3 \end{cases}$	0,99380

В отличие от ОП без маневрирования, где мы смогли применить математический аппарат для описания процессов функционирования, на рассматриваемых ОП использование чисто математического подхода крайне затруднительно. Это связано с более сложной схемой функционирования, когда важную роль начинает играть физическое взаимодействие автобусов, создающих взаимные помехи друг другу. То есть имеем ситуацию, в которой важнейшим фактором, влияющим на ПС, является задержка автобуса на ОП из-за помех со стороны других автобусов во время маневрирования. Учесть и проанализировать эту задержку позволяет подход, основанный на использовании имитационного моделирования.

Однако перед тем как произвести имитационные эксперименты, необходимо было определить время, затрачиваемое автобусом на убытие с ОП. После анализа литературы была принята модель, полученная Зедгенизовым А.В. [16], согласно которой время убытия автобуса зависит от интенсивности движения транспортного потока на соседней полосе, класса транспортного средства и факта совершения или несовершения маневра по обгону впереди стоящего автобуса:

$$t_{\text{уб}} = 0,003 \cdot N + 0,056 \cdot Q + 6,53 \cdot i, \text{ с}, \quad (5)$$

где  $N$  – интенсивность общего потока на крайней правой полосе, ед/ч;

$Q$  – номинальная вместимость ТС, пасс;

$i$  – фактор, учитывающий факт совершения маневра.

Если автобус занимает ближайшее к выезду месту (первое место обслуживания), то величина  $i$  принимается равной нулю, в противном случае –  $i = 1$  (рис. 4):

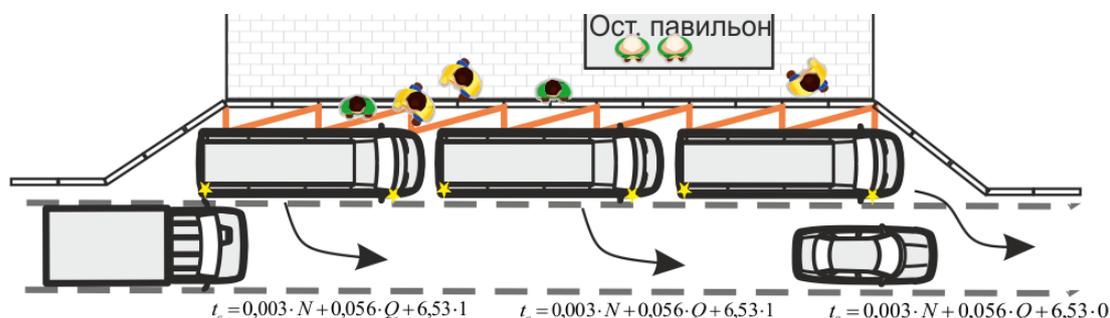


Рисунок 4 – Формирование времени убытия автобуса в модели с маневрированием

Таким образом, затраты времени на убытие автобуса с ОП в перерасчете на одно место обслуживания могут быть вычислены как:

$$t_{yб} = 0,003 \cdot N + 0,056 \cdot Q + 6,53 \left( \frac{N_M - 1}{N_M} \right), \quad (6)$$

После определения времени убытия автобуса с ОП была проведена серия имитационных экспериментов. При этом была использована уже имеющаяся модель ОП, разработанная также в Anylogic и подробно рассмотренная в работе [17]. Данная модель ранее уже была успешно использована авторами при исследовании ПС ОП в условиях работы разноклассового подвижного состава [18]. После сбора данных и проведения регрессионного анализа получены следующие результаты (табл. 3):

Таблица 3 – Результаты анализа потерь времени  $t_{конф}$  (ОП с маневрированием)

Число мест	Регрессионная модель	Коэфф-т детерминации $R^2$
2	$t_{конф} = 3,98 - 0,085t_{п-в} + 0,804 \cdot 10^{-3}I + 0,014Q,$ $t_{конф} = 3,1636 - 0,085t_{п-в} + 0,2525t_{yб}$	0,969
3	$t_{конф} = 8,91 - 0,17t_{п-в} + 1,375 \cdot 10^{-3}I + 0,024Q,$ $t_{конф} = 7,025 - 0,17t_{п-в} + 0,435t_{yб}$	0,975
4	$t_{конф} = 13,22 - 0,232t_{п-в} + 1,9 \cdot 10^{-3}I + 0,0327Q,$ $t_{конф} = 10,308 - 0,232t_{п-в} + 0,6t_{yб}$	0,976
5	$t_{конф} = 15,91 - 0,255t_{п-в} + 2,28 \cdot 10^{-3}I + 0,0434Q,$ $t_{конф} = 11,877 - 0,255t_{п-в} + 0,77t_{yб}$	0,941

где  $t_{п-в}$  – время обслуживания пассажиров, включая открытие и закрытие дверей).

Полученные поверхности  $t_{конф} = f(t_{п-в}, t_{yб})$  представлены на рисунке 5:

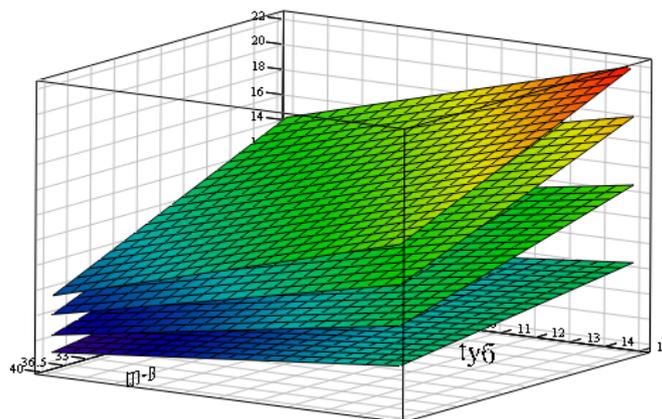


Рисунок 5 – Поверхности  $t_{\text{конф}} = f(t_{\text{п-в}}, t_{\text{уб}})$  (число мест растет снизу вверх)

Таким образом, получены зависимости потерь времени мест обслуживания для ОП с маневрированием и без него. Посмотрим, как соотносятся эти потери времени при прочих равных условиях. На рисунке 6,а и 6,б представлены графики двух поверхностей  $t_{\text{конф}} = f(t_{\text{уб}}, \sigma)$  при значении среднего времени посадки-высадки 15 и 30 с соответственно и трех мест обслуживания. График с большим наклоном соответствует ОП без маневрирования.

Из рисунков видно, что при малых значениях СКО времени обслуживания потери времени на ОП без маневрирования меньше. С ростом СКО потери времени растут и становятся больше, чем на ОП с маневрированием. Причем чем больше среднее время обслуживания, тем скорее начинают превалировать потери времени на ОП без маневрирования (рис. 6,б).

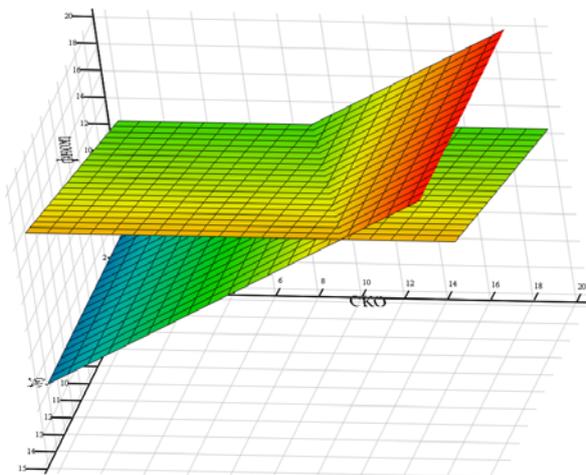


Рисунок 6,а – Графики зависимости  $t_{\text{конф}}(t_{\text{уб}}, \sigma)$  при  $t_{\text{н-в}} = 15$  с и трех местах

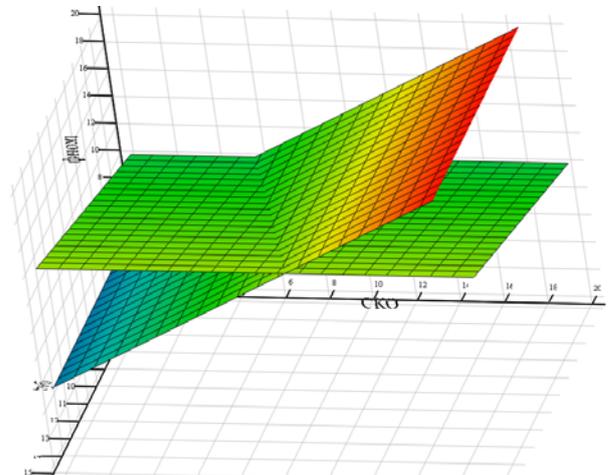


Рисунок 6,б – Графики зависимости  $t_{\text{конф}}(t_{\text{уб}}, \sigma)$  при  $t_{\text{н-в}} = 30$  с и трех местах

Однако это не означает, что ОП с маневрированием обладает большей ПС, т.к. помимо потерь времени от взаимных помех  $t_{\text{конф}}$  при маневрировании возникают дополнительные задержки, связанные с необходимостью совершения маневра для обгона впереди стоящего транспортного средства при поступлении на ОП, а потом для убытия с него. Сравним в целом структуру задержек у двух рассматриваемых нами типов функционирования ОП при наличии и отсутствии заездного кармана. Всего имеем 4 ОП:

1. ОП без кармана и маневрирования. Суммарные задержки (с):

$$\sum t_3 + t_{\text{конф}} = t_{\text{доп}} + (t_{\text{од}} + t_{\text{обсл}} + t_{\text{ПвО}} + t_{\text{зд}}) + t_{\text{конф}}, \quad (7)$$

где  $t_{\text{доп}}$  – время на поступление автобусов на ОП (табл. 4), с;

$t_{\text{од}} (t_{\text{зд}})$  – время открытия (закрытия) дверей (1 с по экспериментальным данным), с;

$t_{\text{обсл}}$  – время обслуживания пассажиров, с;

$t_{\text{ПВО}}$  – время простоя в ожидании дополнительных пассажиров [19], с.

Для ОП без маневрирования  $t_{\text{доп}}$  представляет собой время между окончанием обслуживания автобуса находящегося на крайнем месте (ближе к въезду) и началом обслуживания автобуса из очереди на первом месте (ближе к выезду).

1. ОП с карманом и без маневрирования. В этом случае появляются дополнительные задержки, связанные с необходимостью смены полосы движения и вливания в общий поток движения. Общие задержки (с):

$$\sum t_3 + t_{\text{конф}} = t_{\text{доп}} + (t_{\text{од}} + t_{\text{обсл}} + t_{\text{ПВО}} + t_{\text{зд}}) + t_{\text{уб}} + t_{\text{конф}}, \quad (8)$$

Видно, что добавилась задержка  $t_{\text{уб}}$ , которая при отсутствии маневров может быть вычислена по формуле (6) без последнего слагаемого.

2. ОП с карманом и с маневрированием. Наличие заездного кармана, как было отмечено выше, добавляет задержку  $t_{\text{уб}}$ . Однако сейчас она станет больше по своему значению, т.к. учтет необходимость маневра по обгону впереди стоящих транспортных средств и будет рассчитываться по формуле (6). Также несколько изменится составляющая  $t_{\text{доп}}$ , которая будет иметь несколько иной смысл в отличие от ОП без маневрирования. В данном случае  $t_{\text{доп}}$  – это время простоя места между окончанием обслуживания предыдущего автобуса и началом обслуживания следующего. Оно будет складываться из времени движения в границах ОП и времени на смену полосы движения. Ввиду того, что для подъезда к каждому месту обслуживания требуется несколько разное время,  $t_{\text{доп}}$  необходимо находить как среднее для всех мест обслуживания. В остальном составляющие общей задержки автобуса останутся такие же, как в (8).

3. ОП без кармана и с маневрированием (рис. 7). Отсутствие заездного кармана приводит к необходимости совершать обгон впереди стоящего автобуса дважды, сначала для поступления на ОП, затем для убытия. В итоге на таком ОП задержка  $t_{\text{уб}}$  удваивается, а  $t_{\text{доп}}$  рассчитывается как в пункте 3.

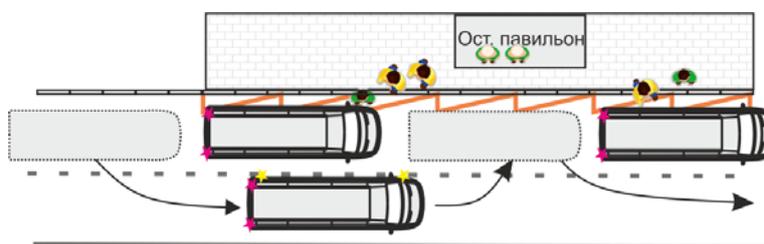


Рисунок 7 – Схема маневрирования для ОП, размещенного на крайней правой полосе

Таблица 4 – Время  $t_{\text{доп}}$  и коэффициент  $k_{\text{нм}}$

Число мест на ОП	$t_{\text{доп}}, \text{с}$		$k_{\text{нм}}$	
	Без маневрирования	С маневрированием	Без кармана	С карманом
1	6,0	6,0	1	1
2	9,0	8,0	0,970	0,975
3	12,5	9,5	0,927	0,937
4	16,5	11	0,870	0,885
5	21,0	13	0,798	0,816

Осталось ответить на вопрос: как связаны абстрактные ОП с маневрированием и без маневрирования с реальными? И как использовать полученные результаты?

В ходе наблюдений за процессом функционирования ОП было отмечено, что с ростом степени его загруженности и как следствие истощением запаса ПС наблюдаются изменения характеристик процесса функционирования ОП. Например, при очень высокой загрузке ОП водители транспортных средств пытаются максимально быстро освободить последний, в том числе путем всевозможных нарушений [9], пытаясь подстроиться под предельную интенсивность движения. Таким образом, можно выдвинуть предположение, что ПС ОП не постоянная величина, а некая функция от интенсивности движения транспорта и возможно других факторов. Отсюда можно сделать еще одно предположение: при приближении предела ПС, ОП будет функционировать в том режиме, который позволит транспортным средствам быстрее покинуть последний. Так как время обслуживания пассажиров в том и другом случае одинаково, определяющей будет сумма задержек  $t_{\text{доп}} + t_{\text{уб}} + t_{\text{конф}}$ . Если, например, для режима без маневрирования эта сумма меньше, чем с маневрированием, то ОП будет функционировать именно в первом режиме.

Наблюдение за процессом функционирования наиболее загруженных ОП Нижнего Новгорода подтвердили выдвинутое предположение. Например, на ОП «Тоннель Московский Вокзал» среднее время нахождения транспортных средств на ОП может достигать 2 мин. и более из-за «простоя в ожидании» [19]. Поэтому на данном ОП практически ни один автобус не ждет окончания обслуживания впереди стоящего, а сразу совершает маневр по обгону. Сам же ОП работает в режиме с маневрированием. Во многих других ситуациях, когда на каком либо ОП с небольшим пассажиропотоком наблюдается очередь, водители не торопятся совершать обгоны, ожидая, пока впереди стоящий автобус закончит обслуживание, так как в этом случае потери времени будут меньше. ОП в этом случае функционирует без маневрирования.

Таким образом, режим функционирования ОП предлагается определять по минимуму суммы задержек  $t_{\text{доп}} + t_{\text{уб}} + t_{\text{конф}}$ .

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что учет рассмотренных в статье факторов позволяет более точно рассчитать ПС ОП, что в конечном итоге позволит повысить качество транспортного обслуживания, ПС улично-дорожной сети, повысить безопасность дорожного движения. Например, для ОП без маневрирования изменение СКО времени обслуживания с 10 с до 20 с (при среднем времени обслуживания равном 20 с) снижает ПС ОП на 37 автобусов в час или на 17%. Однако, учет рассмотренных факторов имеет и минусы, связанные с необходимостью сбора дополнительных данных путем натурного эксперимента.

Продолжением исследований в данном направлении должна стать инженерная методика расчета ПС ОП, учитывающая основные факторы [20], и программный комплекс на её базе. Работа в этом направлении уже ведется, а результаты будут рассмотрены в ближайших работах авторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новиков, А. Н. Анализ степени загрузки маршрутной транспортной сети города Орла [Текст] / А.Н. Новиков и др. // Мир транспорта и технологических машин. - 2012. - № 4(39). - С. 69-74.
2. Голенков, В. А. Комплексное обследование улично-дорожной сети города Орла (на примере Наугорского шоссе) [Текст] / В.А. Голенков и др. // Мир транспорта и технологических машин. - 2014. - №1(44). - С. 90-98.
3. Зедгенизов, А.В. Повышение эффективности дорожного движения на остановочных пунктах городского пассажирского транспорта [Текст]: дис.... канд. техн. наук: 05.22.10 / А.В. Зедгенизов. - Иркутск, 2008.
4. Михайлов, А.Ю. Остановочные пункты городского пассажирского транспорта [Текст] / А.Ю. Михайлов и др. - М., 2009. - 120 с.
5. Варелопуло, Г.А. Организация движения и перевозок на городском пассажирском транспорте [Текст] / Г.А. Варелопуло. - М.: Транспорт, 1990. - 208 с.
6. Гужков, В.А. Пассажирские автомобильные перевозки [Текст]: учебник для вузов / В. А. Гудков и др.; под ред. Гудкова В.А. - М.: Горячая линия-Телеком, 2004. - 448 с.
7. Ефремов, И. С. Теория городских пассажирских перевозок: учеб. пособие для вузов [Текст] / И. С. Ефремов, В.М. Кобозев, В.А. Юдин. - М.: Высш. Школа, 1980. - 535 с.
8. Highway Capacity Manual. TRB, National Research Council, Washington, DC (2000).
9. Липенков, А.В. О результатах комплексного исследования остановочных пунктов городского пассажирского транспорта в г. Нижнем Новгороде [Текст] / А.В. Липенков // Мир транспорта и технологических машин. - 2012. - №4. - С. 93-102.
10. Липенков, А.В. О влиянии месторасположения павильона для пассажиров на пропускную способность остановочного пункта городского пассажирского транспорта [Текст] / А.В. Липенков // Вестник гражданских инженеров». - 2013. - №5. - С. 177-183.
11. Рассоха, В.И. «Человеческий фактор» в организации работы маршрутных транспортных средств на остановочных пунктах [Текст] / М.М. Исхаков, В.И. Рассоха // Вестник Оренбургского государственного университета. - 2008. - № 1. - С. 144-149.
12. Исхаков, М.М. Выбор участка на остановочном пункте для обслуживания пассажиров маршрутных транспортных средств [Текст] / М.М. Исхаков // Вестник Оренбургского государственного университета. - 2011. - №10. - С.59-63.
13. Кузьмин, Н.А. Математическая модель пропускной способности остановочного пункта в случае отсутствия маневров по обгону автобусами друг друга [Текст] / А.В. Липенков, Н.А. Кузьмин, Л.Н. Ерофеева // Вестник Оренбургского университета. - 2015. - №4 (179). - С. 87-94.
14. Елисеев, М.Е. О подходах к моделированию времени простоя автобусов на остановочных пунктах городского пассажирского транспорта [Текст] / А.В. Липенков, О.А. Маслова, М.Е. Елисеев // Мир транспорта и технологических машин. - 2012. - №3. - С. 84-93.
15. Официальный сайт Anylogic [www.anylogic.ru](http://www.anylogic.ru) [Электронный ресурс].
16. Зедгенизов, А.В. Оценка времени освобождения остановочного пункта городского пассажирского транспорта [Текст] / А.В. Зедгенизов // Вестник Иркутского государственного технического университета. - 2007. - №4(32). - С. 145-151.
17. Липенков, А.В. Имитационная модель остановочного пункта городского пассажирского транспорта [Текст] / А.В. Липенков // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. - 2013. - №4. - С. 50-55.
18. Липенков, А.В. Определение пропускной способности остановочного пункта городского пассажирского транспорта при непостоянном числе мест обслуживания [Текст] / А.В. Липенков, М.Е. Елисеев // Известия Волгоградского государственного технического университета. - 2014. - № 3(130). - С. 79-81.
19. Липенков, А.В. Исследование простоев маршрутных транспортных средств в ожидании дополнительных пассажиров на остановочных пунктах [Текст] / А.В. Липенков // Вестник Иркутского государственного технического университета. - 2014. - №2 (85). - С. 160-166.
20. Липенков, А.В. Факторы, влияющие на пропускную способность остановочного пункта городского пассажирского транспорта [Текст] / А.В. Липенков; под ред. В.И. Рассоха // Прогрессивные технологии в транспортных системах. - Оренбург: ОГУ. - 2015 г. - С. 129-136.

**Липенков Александр Владимирович**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Адрес: Россия, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24

Старший преподаватель кафедры «Автомобильный транспорт»

E-mail: [\\_alex1\\_@mail.ru](mailto:_alex1_@mail.ru)

**Кузьмин Николай Александрович**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Адрес: Россия, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24

Д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Автомобильный транспорт»

E-mail: kafAT@gmail.com

---

A. V. LIPENKOV, N.A. KUZ'MIN

## THE STUDY OF LOSS OF TIME AT THE BUS STOPS AS A REASON OF MUTUAL HINDRANCE BETWEEN BUSES

*The article presents the results of the study of loss of time at the bus stops as a reason of mutual hindrance between city passengers' buses. It was found that the loss of time depends on bus stop's mode of operation. It is proposed to consider two modes: with and without buses maneuvering at a bus stop. The factors influencing the loss of time for each modes and regularity of their changing were established. The conditions under which the bus stop will operate in a particular mode were determined. The results of this study could be used for improvement of existing methodology of calculating the capacity of city transport bus stops.*

**Keywords:** bus stop, capacity, urban passenger transport, Monte-Carlo method, simulation modeling.

### BIBLIOGRAPHY

1. Novikov, A. N. Analiz stepeni zagruzki marshrutnoy transportnoy seti goroda Orla [Tekst] / A.N. Novikov i dr. // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2012. - № 4(39). - S. 69-74.
2. Golenkov, V. A. Kompleksnoe obsledovanie ulichno-dorozhnoy seti goroda Orla (na primere Naugorskogo shosse) [Tekst] / V.A. Golenkov i dr. // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2014. - №1(44). - S. 90-98.
3. Zedgenizov, A.V. Povyshenie effektivnosti dorozhnogo dvizheniya na ostanovochnykh punktakh gorodskogo passazhirskogo transporta [Tekst]: dis.... kand. tekhn. nauk: 05.22.10 / A.V. Zedgenizov. - Irkutsk, 2008.
4. Mikhaylov, A.YU. Ostanovochnye punkty gorodskogo passazhirskogo transporta [Tekst] / A.YU. Mikhaylov i dr. - M., 2009. - 120 s.
5. Varelopulo, G.A. Organizatsiya dvizheniya i perevozok na gorodskom passazhirskom transporte [Tekst] / G.A. Varelopulo. - M.: Transport, 1990. - 208 s.
6. Guzhkov, V.A. Passazhirskie avtomobil'nye perevozki [Tekst]: uchebnik dlya vuzov / V. A. Gudkov i dr.; pod red. Gudkova V.A. - M.: Goryachaya liniya-Telekom, 2004. - 448 s.
7. Efremov, I. S. Teoriya gorodskikh passazhirskikh perevozok: ucheb. posobie dlya vuzov [Tekst] / I. S. Efremov, V.M. Kobozev, V.A. YUdin. - M.: Vyssh. SHkola, 1980. - 535 s.
8. Highway Capacity Manual. TRB, National Research Council, Washington, DC (2000).
9. Lipenkov, A.V. O rezul'tatakh kompleksnogo issledovaniya ostanovochnykh punktov gorodskogo passazhirskogo transporta v g. Nizhnem Novgorode [Tekst] / A.V. Lipenkov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2012. - №4. - S. 93-102.
10. Lipenkov, A.V. O vliyani mestoraspolozheniya pavil'ona dlya passazhirov na propusknyuyu sposobnost' ostanovochnogo punkta gorodskogo passazhirskogo transporta [Tekst] / A.V. Lipenkov // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov". - 2013. - №5. - S. 177-183.
11. Rassokha, V.I. "Chelovecheskiy faktor" v organizatsii raboty marshrutnykh transportnykh sredstv na ostanovochnykh punktakh [Tekst] / M.M. Iskhakov, V.I. Rassokha // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. - 2008. - № 1. - S. 144-149.
12. Iskhakov, M.M. Vybor uchastka na ostanovochnom punkte dlya obsluzhivaniya passazhirov marshrutnykh transportnykh sredstv [Tekst] / M.M. Iskhakov // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. - 2011. - №10. - S.59-63.
13. Kuz'min, N.A. Matematicheskaya model' propusknoy sposobnosti ostanovochnogo punkta v sluchae otsutstviya manevrov po obgonu avtobusami drug druga [Tekst] / A.V. Lipenkov, N.A. Kuz'min, L.N. Erofeeva // Vestnik Orenburgskogo universiteta. - 2015. - №4 (179). - S. 87-94.
14. Eliseev, M.E. O podkhodakh k modelirovaniyu vremeni prostoya avtobusov na ostanovochnykh punktakh gorodskogo passazhirskogo transporta [Tekst] / A.V. Lipenkov, O.A. Maslova, M.E. Eliseev // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin

logicheskikh mashin. - 2012. - №3. - S. 84-93.

15. Ofitsial`nyy sayt Anylogic [www.anylogic.ru](http://www.anylogic.ru) [Elektronnyy resurs].

16. Zedgenizov, A.V. Otsenka vremeni osvobozhdeniya ostanovochного пункта городского passazhirского транспорта [Tekst] / A.V. Zedgenizov // Vestnik Irkutского gosudarstvenного tekhnicheskogo universiteta. -2007. - №4(32). - S. 145-151.

17. Lipenkov, A.V. Imitatsionnaya model` ostanovochного пункта городского passazhirского транспорта [Tekst] / A.V. Lipenkov // Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva. - 2013. - №4. - S. 50-55.

18. Lipenkov, A.V. Opredelenie propusknoy sposobnosti ostanovochного пункта городского passazhirского транспорта pri nepostoyannom chisle mest obsluzhivaniya [Tekst] / A.V. Lipenkov, M.E. Eliseev // Izvestiya Volgogradского gosudarstvenного tekhnicheskogo universiteta. - 2014. - № 3(130). - S. 79-81.

19. Lipenkov, A.V. Issledovanie prostoev marshrutnykh transportnykh sredstv v ozhidanii dopolnitel`nykh passazhirov na ostanovochnykh punktakh [Tekst] / A.V. Lipenkov // Vestnik Irkutского gosudarstvenного tekhnicheskogo universiteta. - 2014. - №2 (85). - S. 160-166.

20. Lipenkov, A.V. Faktory, vliyayushchie na propusknyuyu sposobnost` ostanovochного пункта городского passazhirского транспорта [Tekst] / A.V. Lipenkov; pod red. V.I. Rassokha // Progressivnye tekhnologii v transportnykh sistemakh. - Orenburg: OGU. - 2015 g. - S. 129-136.

**Lipenkov Alexander Vladimirovich**

Nizhny Novgorod State Technical University. RE Alekseeva

Adress: Russia, g. Nizhny Novgorod Str. Minin, 24

Senior lecturer in "Road Transport"

E-mail: [\\_alex1@mail.ru](mailto:_alex1@mail.ru)

**Kuzmin Nikolai Aleksandrovich**

Nizhny Novgorod State Technical University. RE Alekseeva

Adress: Russia, g. Nizhny Novgorod Str. Minin, 24

Dr. Sc. Sciences, Professor, Head. the chair "Motor transport"

E-mail: [kafAT@gmail.com](mailto:kafAT@gmail.com)

**Продолжается подписка на журнал  
«Мир транспорта и  
технологических машин»**

*Подписной индекс журнала:*

*16376 («Пресса России»)*

*Подписка через редакцию:*

*(с любого месяца)*

*Информация о подписке на нашем сайте*

*[www.gu-unpk.ru](http://www.gu-unpk.ru)*

*Тел. +7 (4862) 43-48-90*

УДК 338.364

Ю.Н. БАРАНОВ, Н.А. ЗАГОРОДНИХ, А.П. ТРЯСЦИН, А.С. БОДРОВ

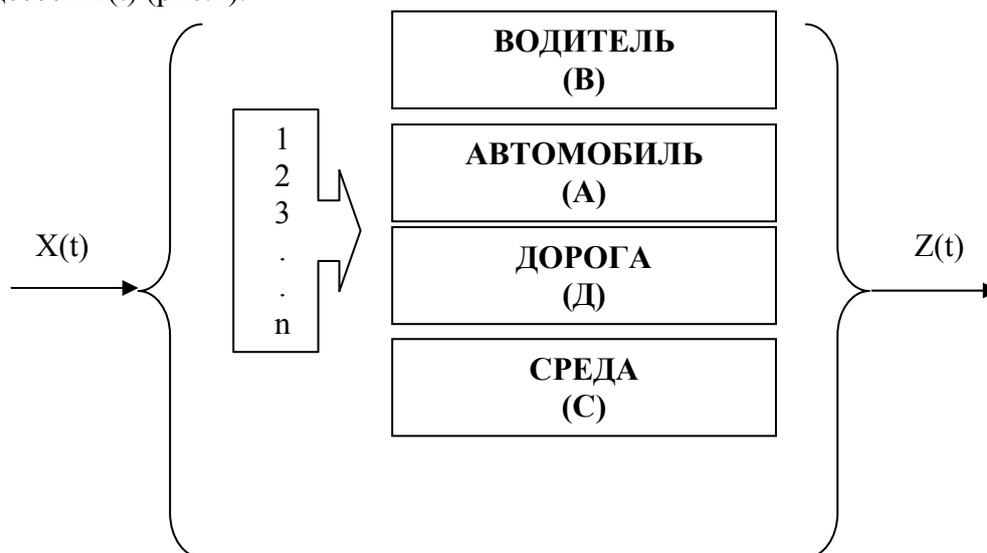
## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОСТРОЕНИЯ АЛГОРИТМА НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНОГО ПОДХОДА ПРИ СОЗДАНИИ ТРАНСПОРТНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

*Предложена математическая модель системы «Водитель-Автомобиль-Дорога-Среда» в виде многомерного случайного процесса с большим числом компонент на основе агрегатного (структурного) подхода которая является базисным алгоритмом построения транспортных интеллектуальных систем.*

**Ключевые слова:** система, элемент, водитель, автомобиль, дорога, среда, случайный процесс, сигнал.

Современные сложные системы, в данном случае «Водитель-Автомобиль-Дорога-Среда» (ВАДС), характеризуются наличием большого числа функционально различных элементов, действующих по различным физическим принципам [1-3]. Ставя перед собой задачу анализа редких событий типа отказов (заторов, затруднений, пробок на улично-дорожной сети), не следует ограничиваться при построении математической модели системы детерминистическим подходом, который во многих ситуациях нечувствителен к этим событиям [4-7]. Необходимо выявлять все мыслимые случайности, оказывающие влияние на действие системы, т. е. описывать каждый элемент системы на принятом уровне детализации некоторым случайным процессом. Математическая модель всей системы получается в виде многомерного случайного процесса с большим числом компонент [6, 8-10]. Рациональным путем построения математической модели биотехнической системы ВАДС является агрегатный (структурный) подход [11].

Поведение элемента (водитель, автомобиль, дорога, среда) описывается случайным процессом  $z(t)$  (рис. 1).



**Рисунок 1- Структурная схема системы «ВАДС»: 1,2, 3.. n - номера входных параметров;  $X(t)$  – функция входного параметра;  $Z(t)$  – функция выходного параметра (состояние здоровья, уровень риска возникновения ДТП, вероятность случая ДТП)**

Значение  $z(t)$  в момент  $t$  называется (внутренним) состоянием элемента в момент  $t$ . Предполагается, что элементы могут служить математической моделью действия биотехнической системы в целом, так и ее подсистем. Для возможности эффективного состыковывания элементов или подсистем, описывающих элементы, нужны те или иные ограничения

законов, по которым одни элементы влияют на другие. Перспективным вариантом таких ограничений является схема с дискретной передачей сигналов: элемент функционирует независимо от остальных элементов до тех пор, пока на его вход не поступит сигнал от какого-либо другого элемента. Данная схема позволит построить модель сложной биотехнической системы ВАДС [3, 12-16].

Возможность реального применения схемы с дискретной передачей сигналов основывается на том, что биотехническая система предназначена для выполнения операций, состоящих из цепочек элементарных операций, поручаемых элементу или группам элементов («каналам») системы. При создании биотехнической системы необходимо стараться защитить канал от влияния посторонних воздействий при выполнении возложенной на него функции. В идеальном случае связь данного канала с другими частями системы происходит лишь в моменты получения задания, что соответствует входному сигналу, и выдачи готового результата (выходной сигнал). Сигналы передаются также при необходимости корректировки задания, ввода дополнительной информации, перенацеливания канала на выполнение другого задания, но в общем также в дискретные моменты времени [17-19].

Представим теперь действие биотехнической системы в условиях отказов элементов (нарушении ПДД водителем, отказ автомобиля, светофора, состояние дорожного покрытия, неблагоприятные погодные условия, ДТП и т.д.). Могут создаваться условия, при которых выполнение данной операции данным каналом невозможно. Если причина — отказ элемента, входящего в состав самого канала, это можно учесть соответствующим изменением внутреннего состояния элемента, описывающего канал; если же причина — отказ других элементов системы, то в математической модели следует предусмотреть передачу от соответствующих элементов сигнала, по которому выполнение данных каналом операции прекращается (или, скажем, изменяется темп выполнения операции, в частности изменение направления движения или снижение скорости движения автомобиля) [20].

Согласно общепринятому определению случайной величиной  $\xi$  со значениями в пространстве  $Z$  с  $\sigma$ -алгеброй измеримых множеств,  $\zeta$  называется функция  $\xi=f(\omega)$  элементарного события  $\omega$  точки пространства  $\Omega$  с вероятностной мерой  $P=\{P(A)\}$ , определенной на всех множествах  $A$  из основной  $\sigma$ -алгебры  $A$  - подмножеств множества  $\Omega$ , при выполнении следующего условия: прообраз любого множества  $B \in \zeta$  принадлежит  $A$ . Случайным процессом  $\xi(t)$  со значениями в  $Z$  при параметрическом множестве (множестве «моментов времени»)  $\{t\}$  называется семейство случайных величин  $\{\xi(t), t \in \{t\}\}$  со значениями в  $Z$ . Положив  $\xi(t)=\xi(t, \omega)$ , мы видим, что траектория (реализация, выборочная функция) случайного процесса полностью определяется заданием  $\omega$ . Можно сказать, что  $\omega$  как бы вбирает в себя все случайности, влияющие на траекторию процесса. Если, скажем, процесс  $\xi(t)$  определен при  $t=0, 1, 2, \dots, Z$  — действительная прямая,  $\xi(0)=0, \xi(t+1)=\xi(t)+\omega_t$  где,  $\omega_1 \omega_2 \dots$  — независимые случайные величины со значениями из интервала  $(0, 1)$ , то это можно отождествить с бесконечной последовательностью  $(\omega_1 \omega_2 \dots)$  или с числом  $\omega_1/2 + \omega_2/2^2 + \dots$  интервала  $(0, 1)$ .

Построить реализацию случайного процесса — значит по заданному источнику случайности (например, датчику случайных чисел) построить алгоритм, который любому выходу источника ставит в соответствие функцию  $\xi(t), t \in \{t\}$ . Тогда под  $\omega$  следует понимать все, что мы взяли со входа источника случайности, скажем, фиксированное число случайных чисел или случайные числа  $\omega_1 \dots \dots, \omega$ , где  $v$  — первый момент какого-либо события, определяемого первыми  $v$  случайными числами (например, первый момент, когда  $\omega_1^2 + \dots + \omega_v^2 \geq N$ ). Таким образом, общее определение случайного процесса как функции двух переменных  $t$  и  $\omega$  при более глубоком рассмотрении вполне соответствует целям построения моделей реальных явлений.

Понятие обрывающегося случайного процесса отражает конечность во времени ре-

альных операций в системах [6, 20]. Обрывающимся случайным процессом называется пара  $(\xi(t), \tau) = (\xi(t, \omega), \tau(\omega))$ , где  $\tau$  — неотрицательная случайная величина;  $\xi(t, \omega)$ ,  $0 \leq t < \tau(\omega)$ , — семейство случайных величин. Если для данного  $t$   $\tau(\omega) > t$ , то при этом условии  $\xi(t)$  определяется как случайная величина  $\xi(t, \omega)$ . Можно представить себе обрывающийся случайный процесс как импульс, возникающий в момент  $t=0$  и обладающий случайной продолжительностью  $\tau$ .

Пример обрывающегося случайного процесса — процесс Пуассона с параметром  $\lambda$  с обрывом в момент достижения уровня  $n \geq 1$ . В качестве точки  $\omega$  можно взять совокупность  $n$  экспоненциально распределенных с параметром  $\lambda$  случайных величин  $\omega_1, \dots, \omega_n$ , где  $\omega_1$  — момент первого скачка;  $\omega_i$ ,  $i \geq 2$ , — время между  $(i-1)$ -м и  $i$ -м скачком траектории процесса Пуассона. Таким образом, в данном случае можно явно выразить  $\xi(t, \omega)$  и  $\tau(\omega)$  через  $\omega$ : если  $E(x) = 1$  при  $x > 0$ ,  $E(x) = 0$  при  $x \leq 0$ , то в обозначении  $s_i = \omega_1 + \dots + \omega_i$

$$\tau(\omega) = \omega_1 + \dots + \omega_n; \quad \xi(t, \omega) = \sum_{i=1}^n E(t - s_i), \quad 0 \leq t < \tau(\omega).$$

Понятие обрывающегося процесса естественным образом распространяется и на случай определения его в полуинтервале  $[t_0, t_0 + \tau)$ . Обрывающийся случайный процесс можно было бы принять в качестве достаточно общей модели действия элемента сложной системы ВАДС при условии его автономности (независимости от других элементов). Чтобы учесть возможность взаимных влияний, следует ввести два дополнительных элемента: выходные сигналы, посылаемые элементом системы, и изменение его состояния под влиянием входных сигналов. Наиболее просто ввести выходные сигналы. Предположим, что траектория обрывающегося случайного процесса  $\xi(t)$  с вероятностью 1 непрерывна справа в полуинтервале  $[0, \tau)$  в некоторой топологии пространства  $Z$ . Зададим множество  $Y$  возможных выходных сигналов  $y$ . Каждому  $y \in Y$  поставим в соответствие замкнутое множество  $Z_y \subset Z$ , причем допустим, что  $Z_y$  не пересекаются при разных  $y \in Y$ . Сигналы посылаются по следующему правилу. Если  $t = \min \{s : \xi(s) \in Z_y\}$ , то в момент  $t$  посылается выходной сигнал  $y$ . Иначе, сигнал  $y$  посылается в момент первого попадания  $\xi(t)$  в множество состояний  $Z_y$ .

Реакцию элемента на входные сигналы задавали следующим образом. Упорядочивая во времени моменты  $t_1 < t_2 < \dots$  поступления на вход элемента сигналов и положив для определенности  $t_0 = 0 < t_1$ , для любого  $n \geq 0$  в момент  $t_n$  определяется условная траектория случайного процесса  $z(t)$ , описывающего поведение данного элемента в полуинтервале  $[t_n, t_n + \tau_n)$ . Эта траектория реализуется до момента поступления следующего входного сигнала, точнее, до момента  $\min \{t_{n+1}, t_n + \tau_n\}$ . Если  $t_{n+1} < t_n + \tau_n$ , то в момент  $t_{n+1}$  условная траектория отменяется и строится новая условная траектория, зависящая от поступившего сигнала и от предыдущего поведения агрегата.

Пусть  $X = \{x\}$  — множество возможных значений входного сигнала, поступающего на вход данного агрегата. Если для некоторого  $n \geq 1$   $t_{n-1} + \tau_n$ , то это состояние считается моментом прекращения функционирования агрегата. Если  $t_n < t_{n-1} + \tau_{n-1}$ , то с момента  $t_n$  определяется условная траектория процесса  $z(t)$ . Именно, пусть  $(\xi(t), \tau) = (\xi(t, \omega, x, z(s)), \tau(\omega, x, z, s))$  — семейство обрывающихся случайных процессов, зависящих от  $x$ ,  $z(s)$  как от параметров, и  $(\xi_0(t), \tau_0)$  — еще один обрывающийся случайный процесс;  $\omega_0, \omega_1, \omega_2, \dots$  — последовательность независимых элементов пространства  $\Omega$ . Вначале определяется условная траектория состояния агрегата  $z(t)$  в полуинтервале  $[0, \tau_0)$  следующим образом:

$$z(t) = \xi_0(t, \omega_0), \quad 0 \leq t < \tau_0 = \tau_0(\omega_0). \quad (1)$$

Если  $t_1 \geq \tau_0$ , то траектория по формуле (1) подтверждается и в момент  $\tau_0$  функционирование элемента прекращается. В противном случае при поступлении в момент  $t_1$  сигнала  $x_1$  полагаем

$$Z(t) = \xi_0(t), \quad 0 \leq t < t_1; \quad Z(t) = \xi_0(t - t_1, \omega_1, x_1, z(t_1)), \quad t_1 \leq t < t_1 + \tau(\omega_1, x_1, z(t_1)). \quad (2)$$

Отрезок траектории  $z(t)$ , заданный формулой (2), при  $0 \leq t < t_1$  — подтвержденный, при

$t_1 \leq t < t_2$  условный, т. е. (2) выполняются на самом деле при  $0 \leq t < \min\{t_2, t, \tau(\omega_1, x_1, z(t_1))\}$ .

Пусть вообще траектория внутреннего состояния элемента определена как функция  $z(t)$  в полуинтервале  $[0, t_n + \tau_n)$ . Тогда в полуинтервале  $[0, t_n)$  эта траектория подтверждена. Если  $t_{n+1} \geq t_n + \tau_n$ , она подтверждается и во всем полуинтервале  $[0, t_n + \tau_n)$ , причем в момент  $t_n + \tau_n$  функционирование агрегата прекращается. Если же  $t_{n+1} < t_n + \tau_n$ , то построенная ранее траектория подтверждается в полуинтервале  $[0, t_{n+1})$  и определяется условная (т. е. подтверждаемая впоследствии до момента поступления следующего сигнала) траектория  $z(t)$  в полуинтервале  $[t_{n+1}, t_n + \tau_{n+1})$ , где

$$\begin{aligned} \tau_{n+1} &= \tau(\omega_{n+1}, z(t_{n+1})), \\ z(t) &= \xi(t - t_{n+1}, \omega_{n+1}, x_{n+1}, z(t_{n+1})), \\ t_{n+1} &\leq t < t_{n+1} + \tau_{n+1}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $x_{n+1}$  - сигнал, поступающий на вход агрегата в момент  $t_{n+1}$ .

Таким образом, для задания элемента достаточно следующих объектов:

- множества внутренних состояний  $Z$ ;
- множества возможных входных сигналов  $X$ ;
- множества возможных выходных сигналов  $Y$ ;
- для каждого  $u \in Y$  множества  $Z_u \subset Z$ , при попадании, в которое внутреннего состояния посылается выходной сигнал  $Y$ ;
- обрывающегося случайного процесса  $(\xi_0(t), \tau_0)$ , задающего траекторию внутреннего состояния  $z(t)$  элемента до первого входного сигнала;
- обрывающегося случайного процесса  $(\xi(t, \omega, x, z(s)), \tau(\omega, x, z(s)))$ , задающего траекторию  $z(t)$  с момента  $s$  поступления  $n$ -го входного сигнала  $x$  до поступления  $(n+1)$ -го сигнала при условии, что траектория  $z_s$  процесса  $z(t)$  при  $t \leq s$  задана.

Предположим, что интегралы в вероятностных пространствах, используемые при нахождении распределений этих функционалов, существуют. Так же не будет особо оговариваться условие конечности с вероятностью 1 числа сигналов (как входных, так и выходных) в любом интервале  $(0, t^* - \epsilon)$ , где  $\epsilon > 0$ ,  $t^*$  — момент прекращения функционирования агрегата [при  $t^* = \infty$  в интервале  $(0, T)$ ].

Приведем пример, иллюстрирующий данное определение элемента. Водитель транспортного средства, подъезжая к перекрестку, может направить свое транспортное средство по разным направлениям, в зависимости от установленных направлений движения, т.е. проводить технологические операции 1-го, 2-го, ...,  $m$ -го вида. Относительная важность различных операций меняется в зависимости от обстановки и указывается управляющим сигналом, т.е. установленным маршрутом движения. Действие водителя описывается случайным процессом:

$$z(t) = (v_0(t), v_1(t), \dots, v_m(t), v_{m+1}(t), \xi(t)), \quad (4)$$

где  $v_0(t)$  — параметр, характеризующий систему приоритетов, действующую в текущий момент времени;

$v_i(t)$ ,  $1 \leq i \leq m$ , — число задач  $i$ -го вида, находящихся в состоянии ожидания в момент  $t$ ;

$v_{m+1}(t)$  — вид работы, проводящейся в момент  $t$ ;

$\xi(t)$  — время, оставшееся до окончания выполнения данной работы.

Окончание выполнения работы индицируется выходным сигналом  $u=i$ , где  $i$  - тип выполняемой работы. Посылка сигнала  $u$  происходит в момент, когда  $z(t)$  попадает в множество состояний  $Z_u = \{v_{m+1}(t)=u, \xi_i(t)=0\}$ . Входные сигналы бывают двух типов: неуправляющие и управляющие. Неуправляющий сигнал  $x$  со значениями  $1, \dots, m$  означает поступление новой работы  $x$ -го вида (затруднение движения по установленному маршруту, пробка и прочее). Управляющий сигнал изменяет порядок приоритетного выполнения вида работы, т.е. водитель анализируя возникшее затруднение на проезжей части ищет путь объезда.

На данном примере видно, что поведение процесса  $z(t)$ , а вместе с ним и выходные

сигналы агрегата, определяются условно в момент поступления входного сигнала, а в момент следующего сигнала запланированное поведение заменяется новым.

Предложенный подход является базисным алгоритмом построения транспортных интеллектуальных систем для улично-дорожной сети, позволяющий повысить информативность водителя о загрузке улично-дорожной сети для оптимизации маршрута движения в конкретный момент времени.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биотехнические системы: Теория и проектирование [Текст] / Под. ред. В.М. Ахутина. - Л.: Изд-во ЛГУ, 1981. - 220 с.
2. Вентцель, Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология [Текст] / Е.С. Вентцель. - М.: Высшая школа, 2001. - 208 с.
3. Баранов, Ю.Н. Основы обеспечения безопасности в системе «человек - машина - среда» [Текст] / Ю.Н. Баранов, А.А. Катунин, Р.В. Шкрабак, Ю.Н. Брагинец // Вестник НЦБЖД. - 2014. - № 1 (19). - С. 73-76.
4. Баранов, Ю.Н. Факторы, определяющие опасное действие водителя при управлении транспортным средством [Текст] / Ю.Н. Баранов, Д.О. Кожин, Д.Е. Алёкминский, В.В. Евграшин // Сборник научных трудов Sworld. - 2014. - Т. 2. - № 4. - С. 3-7.
5. Баранов, Ю.Н. Исследование системы «Ч-М» при формировании производственных опасностей [Текст] / Ю.Н. Баранов, Р.В. Шкрабак, Ю.Н. Брагинец, П.А. Пантюхин // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. - № 26. - 2012. - С. 438-440.
6. Баранов, Ю. Н. Логико-графический анализ возникновения опасностей столкновения транспортных средств при визуальном отражении процесса их торможения [Текст] / Ю.Н. Баранов, А.Н. Загородних // Вестник Орловского государственного аграрного университета. - 2011. - Т. 29. - № 2. - С. 70-73.
7. Трясцин, А.П. Формирование комплексной технологической безопасности автотранспортных систем [Текст] / А. П. Трясцин // Мир транспорта и технологических машин. - 2013. - № 3 (42). - С. 89-94.
8. Затворницкий, А. П. Алгоритм поиска оптимального пути в дорожной сети, в условиях неопределенности [Текст] / В. Е. Межов, А. П. Затворницкий, О. Н. Черкасов // Транспортное дело России. - 2006. - Т. 7. - С. 32.
9. Белокуров, В. П. Выбор решений на итерациях поиска в численных векторных схемах при моделировании транспортных систем [Текст] / В.П. Белокуров // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - 2012. - №76. - С. 574-583.
10. Новиков, А.Н. Совершенствование дорожной сети для повышения их пропускной способности с использованием средств транспортной телематики [Текст] / А.Н. Новиков, В.А., Голенков, Ю.Н. Баранов, А.А. Катунин, А.С.Бодров // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. - 2014. - № 6. - С. 128-139.
11. Баранов, Ю.Н. Расчет вероятностных показателей безопасности дорожного движения методом моделей марковских процессов [Текст] / Ю.Н. Баранов, Е.Н. Христофоров, Н.Е. Сакович, А.М. Никитин // Мир транспорта и технологических машин. - 2014. - № 4 (47). - С. 115-124.
12. Новиков, А.Н. Модернизация улично-дорожной сети города Орла (на примере Наугорского шоссе) [Текст] / А.Н. Новиков, Ю.Н. Баранов, А.А. Катунин, Д.Д. Матназаров // Мир транспорта и технологических машин. - 2014. - № 2 (45). - С. 86-96.
13. Баранов, Ю.Н. Оптимизация дорожного движения на примере улично-дорожной сети города Орла [Текст] / Ю.Н. Баранов, Д.О. Кожин, Д.Е. Алёкминский, В.В. Евграшин // Вестник НЦБЖД. - 2014. - № 3 (21). - С. 8-14.
14. Баранов, Ю.Н. Количественная оценка надежности человека в системах человек - машина [Текст] / Ю.Н. Баранов, А.И. Пантюхин, А.Л. Кузнецов // Вестник Орловского государственного аграрного университета. - 2010. - Т. 27. - № 6. - С. 139-140.
15. Баранов, Ю.Н. Методический подход по прогнозированию опасности и риска травмирования работников АПК [Текст] / Ю.Н. Баранов, А.И. Пантюхин // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. - 2009. - № 8. - С. 145.
16. Новиков, А.Н. Оптимизация локальных мероприятий по организации движения в городе орле с применением методов имитационного компьютерного моделирования [Текст] / А.Н. Новиков, Матназаров Д.Д., В.А. Голенков, А.А. Катунин // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. - 2014. - № 1. - С. 382-387.
17. 18. Pavel, P. Transportation as a science [Текст] / P. Pavel, A.N. Novikov, A.A. Katunin // Мир транспорта и технологических машин. - 2014. - № 3 (46). - С. 96-109.
18. Пржибыл, П. Телематика на транспорте [Текст] / П. Пржибыл, М. Свитек; под редакцией профессора В. В. Сильянова. - Перевод с чешского О. Бузекаи, В. Бузковой. - М.: МАДИ (ГТУ), 2003. - 540 с.
19. Катунин, А.А. Дистанционный контроль параметров технических систем автомобилей в составе

ИТС [Текст] / А.А. Катунин, М.В. Пешехонов // Автомобиль и электроника.-Современные технологии. - 2013. - №2(5). - С.114-118.

20. Баранов, Ю.Н. Точностные, временные и надежностные характеристики анализа биотехнической системы «человек-машина-животное-среда» [Текст] / Ю.Н. Баранов, В.С. Шкрабак, Ю.Н. Брагинец // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. - 2009. - № 11. - С. 196-201.

**Баранов Юрий Николаевич**

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК»

Адрес: Россия, 302030, г. Орел, ул. Московская, 77

Д-р техн. наук, профессор кафедры «Сервис и ремонт машин»

E-mail: bar20062@yandex.ru

**Загородних Николай Анатольевич**

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК»

Адрес: Россия, 302020, Наугорское шоссе, 29

Канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры «Информационные системы»

E-mail: nick2112@mail.ru

**Трящин Антон Павлович**

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК»

Адрес: Россия, 302030, г. Орел, ул. Московская, 77

Канд. техн. наук, доцент кафедры «Сервис и ремонт машин»

E-mail: srmostu@mail.ru

**Бодров Андрей Сергеевич**

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК»

Адрес: Россия, 302030, г. Орел, ул. Московская, 77

Канд. техн. наук, доцент кафедры «Сервис и ремонт машин»

E-mail: bodrov57@gmail.com

JU.N. BARANOV, N.A. ZAGORODNIH, A.P. TRYASTSIN, A.S. BODROV

**MATHEMATICAL MODELS OF ALGORITHMS ON  
BASED ON STRUCTURAL APPROACH TO CREATE  
TRANSPORT INTELLIGENT SYSTEMS**

*A mathematical model of the system "Driver-Vehicle-Road-Environment" in the form of a multidimensional random process with a large number of components are based on an aggregate (structural) approach which is a basic algorithm for constructing intelligent transport systems.*

**Keywords:** system, element, driver, vehicle, road, environment, random process, signal.

**BIBLIOGRAPHY**

1. Biotehnicheskie sistemy: Teoriya i proektirovanie [Tekst] / Pod. red. V.M. Akhutina. - L.: Izd-vo LGU, 1981. - 220 s.
2. Venttsel', E.S. Issledovanie operatsiy. Zadachi, printsipy, metodologiya [Tekst] / E.S. Venttsel'. - M.: Vysshaya shkola, 2001. - 208 s.
3. Baranov, YU.N. Osnovy obespecheniya bezopasnosti v sisteme "chelovek - mashina - sreda" [Tekst] / YU.N. Baranov, A.A. Katunin, R.V. SHkrabak, YU.N. Braginets // Vestnik NTSBZHD. - 2014. - № 1 (19). - S. 73-76.
4. Baranov, YU.N. Faktory, opredelyayushchie opasnoe deystvie voditelya pri upravlenii transportnym sredstvom [Tekst] / YU.N. Baranov, D.O. Kozhin, D.E. Aliokminskiy, V.V. Evgrashin // Sbornik nauchnykh trudov Sworld. - 2014. - T. 2. - № 4. - S. 3-7.
5. Baranov, YU.N. Issledovanie sistemy "CH-M" pri formirovanii proizvodstvennykh opasnostey [Tekst] / YU.N. Baranov, R.V. SHkrabak, YU.N. Braginets, P.A. Pantyukhin // Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. - № 26. - 2012. - S. 438-440.
6. Baranov, YU. N. Logiko-graficheskiy analiz vozniknoveniya opasnostey stolknoveniya transportnykh sredstv pri vizual'nom otrazhenii protsessa ikh tormozheniya [Tekst] / YU.N. Baranov, A.N. Zagorodnikh // Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. - 2011. - T. 29. - № 2. - S. 70-73.
7. Tryastsin, A.P. Formirovanie kompleksnoy tekhnologicheskoy bezopasnosti avtotransportnykh sistem [Tekst] / A. P. Tryastsin // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2013. - № 3 (42). - S. 89-94.
8. Zatvornitskiy, A. P. Algoritm poiska optimal'nogo puti v dorozhnoy seti, v usloviyakh neopredelennosti

[Tekst] / V. E. Mezhev, A. P. Zatvornitskiy, O. N. Cherkasov // Transportnoe delo Rossii. - 2006. - T. 7. - S. 32.

9. Belokurov, V. P. Vybora resheniy na iteratsiyakh poiska v chislennykh vektornykh skhemakh pri modelirovaniy transportnykh sistem [Tekst] / V.P. Belokurov // Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. - 2012. - №76. - S. 574-583.

10. Novikov, A.N. Sovershenstvovanie dorozhnoy seti dlya povysheniya ikh propusknoy sposobnosti s ispol'zovaniem sredstv transportnoy telematiki [Tekst] / A.N. Novikov, V.A., Golenkov, YU.N. Baranov, A.A. Katunin, A.S.Bodrov // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. - 2014. - № 6. - S. 128-139.

11. Baranov, YU.N. Raschet veroyatnostnykh pokazateley bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya metodom modeley markovskikh protsessov [Tekst] / YU.N. Baranov, E.N. Hristoforov, N.E. Sakovich, A.M. Nikitin // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2014. - № 4 (47). - S. 115-124.

12. Novikov, A.N. Modernizatsiya ulichno-dorozhnoy seti goroda Orla (na primere Naugorskogo shosse) [Tekst] / A.N. Novikov, YU.N. Baranov, A.A. Katunin, D.D. Matnazarov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2014. - № 2 (45). - S. 86-96.

13. Baranov, YU.N. Optimizatsiya dorozhnogo dvizheniya na primere ulichno-dorozhnoy seti goroda Orla [Tekst] / YU.N. Baranov, D.O. Kozhin, D.E. Aliokminskiy, V.V. Evgrashin // Vestnik NTSBZHD. - 2014. - № 3 (21). - S. 8-14.

14. Baranov, YU.N. Kolichestvennaya otsenka nadezhnosti cheloveka v sistemakh chelovek - mashina [Tekst] / YU.N. Baranov, A.I. Pantyukhin, A.L. Kuznetsov // Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. - 2010. - T. 27. - № 6. - S. 139-140.

15. Baranov, YU.N. Metodicheskii podkhod po prognozirovaniyu opasnosti i riska travmirovaniya ra-botnikov APK [Tekst] / YU.N. Baranov, A.I. Pantyukhin // Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. - 2009. - № 8. - S. 145.

16. Novikov, A.N. Optimizatsiya lokal'nykh meropriyatiy po organizatsii dvizheniya v gorode orle s primeneniem metodov imitatsionnogo komp'yuternogo modelirovaniya [Tekst] / A.N. Novikov, Matnazarov D.D., V.A. Golenkov, A.A. Katunin // Alternativnye istochniki energii v transportno-tekhnologicheskoy komplekse: problemy i perspektivy ratsional'nogo ispol'zovaniya. - 2014. - № 1. - S. 382-387.

17. Pavel, P. Transportation as a science [Tekst] / P. Pavel, A.N. Novikov, A.A. Katunin // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2014. - № 3 (46). - S. 96-109.

18. Przhibyl, P. Telematika na transporte [Tekst] / P. Przhibyl, M. Svitek; pod redaktsiey professo-ra V. V. Sil'yanova. - Perevod s cheshskogo O. Buzekai, V. Buzkovoy. -M.: MADI (GTU), 2003. - 540 s.

19. Katunin, A.A. Distantionnyy kontrol' parametrov tekhnicheskikh sistem avtomobiley v sostave ITS [Tekst] / A.A. Katunin, M.V. Peshekhonov // Avtomobil' i elektronika.-Sovremennyye tekhnologii. - 2013. -№2(5). - S.114-118.

20. Baranov, YU.N. Tochnostnye, vremennyye i nadezhnostnye kharakteristiki analiza biotekhnicheskoy sistemy "chelovek-mashina-zhivotnoe-sreda" [Tekst] / YU.N. Baranov, V.S. SHkrabak, YU.N. Braginets // Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. - 2009. - № 11. - S. 196-201.

**Baranov Yuri Nikolaevich**

FGBOU VPO "State University-UNPK"

Address: Russia, 302030, Orel, ul. Moscow, 77

Dr. Sc., professor of "Service and repair machinery"

E-mail: bar20062@yandex.ru

**Zagorodnikh Nicholay Anatol'evich**

FGBOU VPO "State University-UNPK"

Address: Russia, 302020, Naugorskoe Highway 29

Kand. tehn. Science, senior lecturer in "Information Systems"

E-mail: nick2112@mail.ru

**Tryastsin Anton Pavlovich**

FGBOU VPO "State University-UNPK"

Address: Russia, 302030, Orel, ul. Moscow, 77

Kand. tehn. professor of "Service and repair of machinery"

E-mail: srmostu@mail.ru

**Bodrov Andrew Sergeevich**

FGBOU VPO "State University-UNPK"

Address: Russia, 302030, Orel, ul. Moscow, 77

Kand. tehn. professor of "Service and repair of machinery"

E-mail: bodrov57@gmail.com

УДК 656.072

И.В. МАКАРОВА, Р.Г. ХАБИБУЛЛИН, К.А. ШУБЕНКОВА

## ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТНОЙ СЕТИ ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА С ПОМОЩЬЮ ТРАНСПОРТНОЙ МОДЕЛИ ГОРОДА

*В статье проанализированы существующие методы оптимизации маршрутной сети городского пассажирского транспорта (ГПТ) и предложен метод оптимизации по времени доставки пассажиров и суммарному количеству транспортных средств, используемых на маршруте. Для оценки эффективности полученного решения предложен комбинированный показатель. В качестве инструмента оптимизации использована транспортная модель города, построенная с помощью программного комплекса PTV VISUM. Адекватность предлагаемой модели подтверждена высоким коэффициентом корреляции между данными о нагрузках на транспортную сеть, полученными в ходе натурных обследований, и модельными значениями.*

*Эксперимент на модели позволил выявить проблемные участки улично-дорожной сети, найти оптимальные варианты по снижению транспортной нагрузки при сохранении мобильности населения и повышении качества его транспортного обслуживания.*

**Ключевые слова:** городской пассажирский транспорт, маршрутная сеть, транспортная модель, модель спроса, нагрузка на транспортную сеть.

### ВВЕДЕНИЕ

Позитивные изменения в облике мирового транспорта в 21 веке сопровождаются рядом негативных последствий, к числу которых относятся рост энергопотребления и отрицательного влияния на окружающую среду, постоянно растущие задержки людей и грузов на всех видах транспорта, которые связаны не столько с объективным недостатком мощностей транспортной инфраструктуры, сколько с низким уровнем организации и управления транспортными потоками. Масштабы и значимость этих проблем оцениваются как стратегические вызовы национального и даже континентального масштаба. В докладе ЮНЕП [1] указывается, что для сокращения транспортных выбросов парниковых газов требуется повысить эффективность использования энергии и отказаться от энергозатратных транспортных средств как на пассажирском, так и на грузовом транспорте. Для достижения экономических целей и целей устойчивого развития транспорта наряду с комплексным планированием его развития и регулированием нагрузки энергосистемы, необходимо переходить на виды горючего с низким содержанием углерода и осуществлять более широкую электрификацию транспорта.

Составной частью мер по обеспечению устойчивости транспорта может также быть планирование городских и пригородных центров в соответствии с конструкторскими разработками, предусматривающими смешанный парк автотранспорта и его разумный рост. Такие принципы городского развития помогут снизить зависимость от личного автотранспорта и обеспечить широкое использование систем общественного и безмоторного транспорта для поездок на короткие расстояния и для регулярных поездок на работу в город из пригорода.

В ходе дебатов по вопросам устойчивого развития участниками Конференции Организации Объединенных Наций по устойчивому развитию (Конференция "Rio+20" [2]) отмечалось, что транспорт и мобильность имеют крайне важное значение для устойчивого развития в качестве одного из факторов повышения уровня социальной справедливости, улучшения здоровья людей, обеспечения устойчивости городов, налаживания связей между городскими и сельскими районами и повышения производительности в сельских районах. Была отмечена необходимость содействия применению комплексного подхода к выработке на националь-

ном, региональном и местном уровнях политики в отношении транспортных услуг и систем в целях поощрения устойчивого развития.

В документах ОПТОСОЗ отмечается, что внушают оптимизм позитивные примеры принятых мер по улучшению качества городской окружающей среды и поддержки процесса перераспределения способов передвижения за счет увеличения доли пешеходного и велосипедного движения в сочетании с использованием городского транспорта [3].

Безопасные системы общественного транспорта все больше рассматриваются как важное средство безопасного повышения мобильности населения, особенно в городских районах, страдающих от растущих транспортных заторов. Во многих городах с высокими доходами особо акцентируется политика сокращения использования личного автомобильного транспорта с помощью инвестиций в развитие сетей общественного транспорта. Инвестиции в безопасный общественный транспорт рассматриваются также как механизм, стимулирующий рост физической активности и, следовательно, способствующий укреплению здоровья населения.

Более 100 стран приняли на национальном или субнациональном уровнях меры политики, предусматривающие инвестиции в общественный транспорт. В большинстве стран с высоким уровнем доходов общественный транспорт регулируется надлежащим образом и в силу этого существенно более безопасен, чем частный автотранспорт. Однако во многих странах с низким и средним уровнями дохода, чья экономика стремительно развивается, рост не регулируется, что ведет к повышению дорожно-транспортного травматизма среди его пользователей. Правительствам этих стран следует обеспечить безопасность, доступность и ценовую приемлемость систем общественного транспорта.

### **СУЩЕСТВУЮЩИЙ ОПЫТ В ОБЛАСТИ УПРАВЛЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННЫМ ТРАНСПОРТОМ ГОРОДА**

Одной из важнейших задач, которая должна быть решена в сфере управления городскими автобусными перевозками, является проблема соответствия возможностей маршрутной сети потребностям населения. Для решения задачи транспортной маршрутизации (Vehicle Routing Problem – VRP) применяются эвристические методы, которые, однако, не гарантируют нахождение оптимального решения. Учитывая этот недостаток, рядом авторов (Liang Sun [4], Huang Z.D. [5], Yavuz Y. и Ulusoy [6], Данг Х.Л. [7], Чжо Мьо Хан [8]) были предложены методы, позволяющие объединить гибкость эвристики и строгость моделей линейного программирования для решения каждого класса задач маршрутизации.

Поскольку маршрутная сеть общественного транспорта города представляет собой сложную систему, а ее оптимизация – сложная многопараметрическая задача, то научно-обоснованное решение при ее разработке и корректировке требует, наряду с натурными исследованиями и экспериментами, моделирования процессов с помощью математического аппарата. В работах ряда авторов [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16] для оптимизации маршрутных схем движения автобусного транспорта были предложены математические модели, целевой функцией в которых являлась одна из следующих характеристик:

- минимальное суммарное время, затрачиваемое пассажирами на весь процесс перемещения;
- минимальное время ожидания на остановочном пункте;
- минимум суммарных затрат на передвижение транспортных средств по маршрутам в единицу времени;
- максимальная прибыль транспортной компании с учетом затрат на эксплуатацию транспортных средств (ТС).

Однако, следует иметь в виду, что получение аналитического решения с помощью математических моделей, применяемых для описания многопараметрических процессов в многофункциональных системах может потребовать значительных ресурсов. При решении такого класса задач более рационально использование имитационных моделей транспортных си-

стем, поскольку они могут применяться многократно для определения оптимального состояния исследуемых систем при разных значениях параметров [17].

Несмотря на обширный как зарубежный, так и российский опыт решения задач оптимизации маршрутной сети ГПТ, на сегодняшний день отсутствует комплексный подход, при котором в одной модели учитывались бы не только данные о спросе населения на перевозки, но также и информация об интенсивности движения ТС на участках улично-дорожной сети (УДС).

### МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННЫМ ТРАНСПОРТОМ

В технических системах под управлением понимается процесс воздействия на объект, в результате которого этот объект переводится в состояние, желательное субъекту [18]. Объектом управления проектируемой системы являются автобусные маршруты ГПТ, а субъектом – муниципальный орган управления городским пассажирским транспортом.

Субъект должен так организовать движение городского автобусного транспорта, чтобы удовлетворить потребности населения в перемещении за минимальное время и снизить транспортную нагрузку на проблемные участки УДС. Таким образом, целевой функционал модели представляет собой сумму двух функций:

$$Z = Z_1 + Z_2 \rightarrow \min ,$$

где  $Z_1 = f(X_i^1)$  – суммарное количество ТС, используемых на маршруте;

$$Z_2 = f_1(F, l_i^{\text{марш}}, X_i^2, X_i^3) + f_2(Q_{(i,j)}^{\text{вх}}, l_i^{\text{марш}}, X_i^1, X_i^2) + f_3(Q_{(i,j)}^{\text{вх}}, Q_{(i,j)}^{\text{вых}}, \bar{t}_o, X_i^2, X_i^3) + f_4(N_2, Q_{(i,j)}^{\text{вх}}, Q_{(i,j)}^{\text{вых}}, L_j^{\text{ост}}, l_{X_i^2}^n, \bar{t}_o, X_i^2, X_i^3) + f_5(\bar{l}_e, X_i^2) - \text{среднее время доставки пассажиров;}$$

$f_1$  – среднее время подхода пассажира к остановочному пункту;

$f_2$  – среднее время ожидания пассажиром автобуса;

$f_3$  – среднее время посадки-высадки пассажиров;

$f_4$  – среднее время задержки ТС на остановочном пункте (ввиду превышения вместимости остановочного пункта числом одновременно прибывших ТС);

$f_5$  – среднее время передвижения пассажира на автобусе;

$X_i^1, X_i^2, X_i^3$  – изменяемые параметры  $i$ -го маршрута, влияющие на систему,  $i = 1, 2, \dots, I$ ;

$X_i^1$  – количество ТС на  $i$ -м маршруте;

$X_i^3$  – количество остановочных пунктов на  $i$ -м маршруте;

$X_i^2$  описывает, какое количество каждого типа ТС используется на  $i$ -м маршруте.

Среднее время подхода пассажира к остановочному пункту определяется по формуле:

$$f_1(F, l_i^{\text{марш}}, X_i^2, X_i^3) = \frac{K_{н.н.} \cdot \left( 1 + \frac{v_{пеш}}{v_{X_i^2}^{\text{сообщ}}} \right)}{v_{пеш}} \cdot \frac{1}{3} F + \frac{l_i^{\text{марш}}}{4 \cdot X_i^3},$$

где  $K_{н.н.}$  – коэффициент непрямолинейности подхода;  $K_{н.н.} = 1, 2$  [19];

$v_{пеш}$  – скорость передвижения пешком;

$v_{X_i^2}^{\text{сообщ}}$  – скорость сообщения как функция, зависящая от типа ТС;

$F$  – плотность маршрутной сети;

$l_i^{\text{марш}}$  – длина  $i$ -го маршрута.

Среднее время ожидания пассажиром автобуса согласно теории пассажирских перевозок [20, 21] предполагается вычислять как половину сетевого интервала движения  $t_{и}$ :

$$f_2(Q_{(i,j)}^{ex}, l_i^{марш}, X_i^1, X_i^2) = 0,5 \cdot \frac{l_{марш}}{v_{X_i^2}^{сообщ} \cdot X_i^1} \cdot (1 + \frac{Q_{(i,j)}^{ex}}{q_{X_i^2}}),$$

где  $Q_{(i,j)}^{ex}$  – количество входящих пассажиров в ТС  $i$ -го маршрута на  $j$ -м остановочном пункте;  
 $q_{X_i^2}$  – вместимость ТС, как функция, зависящая от типа ТС.

Среднее время на посадку-высадку пассажиров предлагается рассчитывать по формуле:

$$f_3(Q_{(i,j)}^{ex}, Q_{(i,j)}^{вых}, \bar{t}_o, X_i^2, X_i^3) = \sum_{j=1}^{X_i^3} \frac{(Q_{(i,j)}^{ex} + Q_{(i,j)}^{вых}) \cdot \bar{t}_o}{n_{X_i^2}^{ог}},$$

где  $Q_{(i,j)}^{вых}$  – количество выходящих пассажиров из ТС  $i$ -го маршрута на  $j$ -м остановочном пункте;

$j = 1, 2, \dots, X_i^3$  – остановочные пункты на  $i$ -м маршруте;

$n_{X_i^2}^{ог}$  – число дверей ТС, как функция, зависящая от типа ТС;

$\bar{t}_o$  – среднее время, затрачиваемое одним входящим и выходящим пассажиром.

Среднее время задержки ТС на остановочном пункте в ожидании посадки/высадки зависит от количества и длины ТС, уже находящихся на данном остановочном пункте к моменту подхода очередного ТС:

$$f_4(N_2, Q_{(i,j)}^{ex}, Q_{(i,j)}^{вых}, L_j^{ocm}, l_{X_i^2}^n, \bar{t}_o, X_i^2, X_i^3) = (N_2 - \frac{L_j^{ocm}}{\sum l_{X_i^2}^n}) \cdot \sum_{j=1}^{X_i^3} \frac{(Q_{(i,j)}^{ex} + Q_{(i,j)}^{вых}) \cdot \bar{t}_o}{n_{X_i^2}^{ог}},$$

где  $N_2$  – общее количество ТС на остановочном пункте в данный момент времени;

$L_j^{ocm}$  – длина  $j$ -го остановочного пункта;

$l_{X_i^2}^n$  – длина  $n$ -го ТС, как функция, зависящая от типа ТС.

Среднее время передвижения пассажира на автобусе зависит от среднего расстояния перемещений пассажиров и скорости сообщения используемого ТС:

$$f_5(\bar{l}_e, X_i^2) = \frac{\bar{l}_e}{v_{X_i^2}^{сообщ}},$$

где  $\bar{l}_e$  – среднее расстояние перемещений пассажиров.

На решение накладываются следующие ограничения:

1. Транспортная потребность населения должна быть полностью удовлетворена:

$$\sum_{n=1}^{X_i^2} Q_{(n, X_i^2)} \cdot X_{(n, X_i^2)}^1 \geq Q_i,$$

где  $n = 1, 2, \dots, X_i^2$  – типы ТС на  $i$ -м маршруте;

$X_{(n, X_i^2)}^1$  – количество ТС типа  $n$  на  $i$ -м маршруте;

$Q_i$  – пассажиропоток на  $i$ -м маршруте;

$Q_{(n, X_i^2)}$  – количество пассажиров, перевезенных  $n$ -м типом ТС на  $i$ -м маршруте, вычисляемое по формуле:

$$Q_{(n, X_i^2)} = \frac{q_{X_i^2} \cdot l_i^{марш}}{24 \cdot v_{X_i^2}^{сообщ}}.$$

2. Ограничение на пропускную способность участков УДС:

$$\sum_{n=1}^{X_i^2} D_{(n, X_i^2)} \cdot X_{(n, X_i^2)}^1 \leq D_i,$$

где  $D_i$  – суммарный резерв пропускной способности участков УДС, по которым проходит  $i$ -й маршрут;

$D_{(n, X_i^2)}$  – коэффициент использования пропускной способности  $n$ -м типом ТС на  $i$ -м маршруте, вычисляемый по формуле:

$$D_{(n, X_i^2)} = \frac{K_{X_i^2} \cdot l_i^{\text{марш}}}{24 \cdot v_{X_i^2}^{\text{сообщ}}},$$

где  $K_{X_i^2}$  – коэффициент приведения пропускной способности, используемой при движении ТС каждого типа, к величине пропускной способности, используемой при движении одного легкового автомобиля.

3. Время ожидания пассажирами автобуса  $i$ -го маршрута не должно превышать максимально допустимого значения интервала движения подвижного состава (ПС) на маршрутах  $t_u^{\text{max}}$ :

$$f_2(Q_{(i,j)}^{\text{ex}}, l_i^{\text{марш}}, X_i^1, X_i^2) \leq t_u^{\text{max}}.$$

4. Поскольку время подхода пассажира к остановочному пункту зависит от нормативного значения расстояния пешего похода от наиболее удаленной точки транспортного района до остановочного пункта и не должно превышать  $l_{\text{подхода}}^{\text{норм}}$ :

$$f_1(F, l_{\text{марш}}, X_i^2, X_i^3) \leq l_{\text{подхода}}^{\text{норм}}.$$

Таким образом, система управления общественным транспортом города является классическим примером класса больших систем и в связи со сложностью представления ее поведения в границах математических моделей требует интеллектуализации процесса принятия управленческих решений. В этом случае имитационное моделирование становится эффективным инструментом для решения поставленной задачи.

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ МАРШРУТНОЙ СЕТИ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА

Для создания имитационной модели маршрутной сети общественного транспорта требуется следующая информация:

- 1) карта города с улично-дорожной сетью и точками формирования и притяжения пассажиропотоков;
- 2) параметры существующих маршрутов ГПТ и остановочных пунктов;
- 3) видовая и количественная структура парка ТС, обслуживающих каждый маршрут;
- 4) технико-экономические характеристики каждого типа ТС (пассажировместимость, скорость движения и т.д.);
- 5) матрицы корреспонденций пассажиропотоков с учетом предпочтений способа передвижения: общественный транспорт (ОТ) или индивидуальный транспорт (ИТ);
- 6) средняя скорость движения транспортного потока на участках УДС;
- 7) количество полос и пропускная способность участков УДС;
- 8) интенсивность движения на участках УДС;
- 9) максимально допустимый интервал движения ПС  $t_u^{\text{max}}$ ;
- 10) коэффициент неравномерности подхода пассажиров к остановке.

Поскольку получение ряда исходных данных, например, таких как матрицы корреспонденций пассажиропотоков и плотность транспортных потоков на участках УДС, требует полномасштабных натурных обследований и сопряжено со значительными денежными, люд-

скими и временными ресурсами, возможно проведение выборочных наблюдений. В работе Лобанова Е.М. [22] обоснованы условия применимости метода выборочных обследований: адекватное определение доли генеральной совокупности, закономерности которой могут быть распространены на всю совокупность, возможность определения часовой нагрузки на УДС по данным 3-5 и 10-минутных наблюдений. Автор указывает, что плотность транспортного потока можно определить аналитическим путем на основании данных о транспортной потребности населения. Для этого необходимо решить задачи:

- выбора пассажиром способа передвижения (ОТ или ИТ) на основании определения минимальных временных или денежных затрат;
- равновесного распределения транспортных потоков по участкам УДС.

Для определения матриц корреспонденций пассажиропотоков применяют аналитические методы: гравитационный метод энтропийного моделирования [6]; сочетание выборочных натурных обследований и данных, полученных с крупных градообразующих предприятий [8]; определение трудовых транспортных корреспонденций на основании почтовых индексов работников предприятий [23]; элементы теории нечетких множеств и теории вероятностей [24] и т.д. На сегодняшний день «классической» считается четырехступенчатая модель расчета транспортного спроса, позволяющая рассчитывать матрицы корреспонденций на основе параметров каждого транспортного района:

- 1) общая численность населения;
- 2) численность трудоспособного населения;
- 3) численность учащихся;
- 4) количество рабочих мест;
- 5) количество людей, занятых в сфере услуг.

Поскольку четырехступенчатая модель расчета транспортного спроса позволяет решать такие задачи, как восстановление и уточнение матриц корреспонденций в условиях неполных исходных данных, при построении имитационной модели определения транспортной потребности населения использовался данный метод.

### **ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА PTV VISUM ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ МОДЕЛИ Г. НАБЕРЕЖНЫЕ ЧЕЛНЫ**

В основу планировочной организации города Набережные Челны была положена линейная структура открытого типа с «классическим» функциональным зонированием, с параллельным расположением промышленной и селитебной зон, пригородной зоны отдыха. Транспортно-планировочный каркас города составляют продольные магистрали, связывающие жилые районы города, что дает основание отнести планировочную схему его улично-дорожной сети к прямоугольной [25].

К достоинствам этой структуры относятся отсутствие четко выраженного центрального ядра и возможность равномерного распределения транспортных потоков по всей территории города. Недостатки этой схемы – большое число сильно загруженных пересечений, которые затрудняют организацию движения и увеличивают перепробеги ГПТ [21].

Ввиду того, что город активно развивается, существенной проблемой общественного транспорта является несоответствие скорости корректировки маршрутной сети изменениям городской инфраструктуры. Так, в последние годы в городе появились новые жилые массивы, торговые комплексы и прочие точки притяжения пассажиропотоков, в то время как маршрутная сеть не претерпевала существенных изменений с 2004 года, когда в последний раз проводились полномасштабные исследования пассажиропотоков.

Для получения научно-обоснованного решения по корректировке маршрутной сети автобусного транспорта города была построена транспортная модель города в программной среде PTV VISUM. Для этого:

1. На карту города были нанесены узловые точки, которые соединялись между собой отрезками соответствующего типа.

2. Город был разделен на 75 транспортных районов с указанием точек притяжения пассажиропотоков и ввода данных об общих объемах прибытия и отправления из каждого района города.

3. Была построена существующая маршрутная сеть автобусного городского транспорта, введены остановочные пункты.

4. Была сформирована матрица затрат, связанных с перемещениями между районами в зависимости от выбранного способа передвижения.

5. Была построена матрица корреспонденций на основании 4-х ступенчатой модели спроса: определение групп пассажиров, причин перемещений (поездка на работу, домой, к местам отдыха, на учебу и т.д.), слоев спроса и выбор способа передвижения при соблюдении условия минимизации среднего времени доставки пассажиров (рис. 1).

База Группы Пары действий Слои спроса Матрицы выбора режима						
	Код	Имя	Группы	Пара действий	Матрица корреспонденции (результат распределения)	СегСпр
1	AP01_G04		G01,G02,G03	AP01 Дом - отдых	5 AP01_G04	
2	AP02_G04		G01,G02,G03	AP02 Дом - работа	8 AP02_G04	
3	AP03_G04		G01,G02,G03	AP03 Дом - учеба	11 AP03_G04	

Рисунок 1 – Моделирование спроса

6. Была построена модель для перераспределения движения транспорта. На рисунке 2 представлено распределение подвижного состава ГПТ по участкам УДС (цифры над каждым участком обозначают количество автобусов, проходящих по этим участкам в часы-пик).



Рисунок 2 – Нагрузка УДС города при существующей маршрутной сети

Для проверки соответствия модели реальной ситуации на дорогах города была выполнена ее валидация: проведены выборочные натурные исследования транспортных потоков в будние дни в часы-пик. Замеры проводились с использованием видеонаблюдения, затем, при обработке видеоматериалов исследований были получены данные, представленные на рисунке 3. Коэффициент корреляции данных наблюдений ( $X_n$ ) и значений, полученных из макромоделей ( $X_m$ ), определялся с помощью статистического пакета MINITAB (рис. 4). Поскольку полученный коэффициент корреляции Пирсона равен 0,916, а значение P-Value=0,01 меньше выбранного уровня значимости  $\alpha$  (по умолчанию  $\alpha=0.05$ ), это свидетельствует о достоверности гипотезы о корреляции между данными величинами.

Таким образом, построенная транспортная модель является адекватной, следовательно, может быть использована для выработки рекомендаций по совершенствованию автобусной

маршрутной сети с целью минимизации времени доставки пассажиров и суммарного количества ТС, используемых на маршруте.

Название участка	Направление движения	Интенсивность движения транспорта		
		Ford, Fiat и пр.	НефАЗ, ПАЗ, Богдан и пр.	Общее число автобусов
Центральная	→	641	539	1180
	←	644	548	1192
мкрн Бумажников	→	808	609	1417
	←	801	608	1409
ГЭС-НГ	→	801	635	1436
	←	798	630	1428
Челныгорстрой	→	686	593	1279
	←	701	554	1255
Медгородок	→	725	551	1276
	←	751	548	1299
7 комплекс	→	663	508	1171
	←	608	519	1127

Рисунок 3 – Результаты выборочных натурных наблюдений

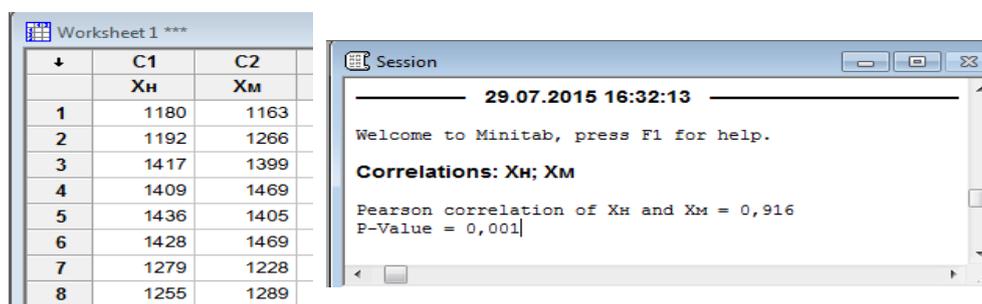


Рисунок 4 – Определение коэффициента корреляции

## ВЫРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МАРШРУТНОЙ СЕТИ Г. НАБЕРЕЖНЫЕ ЧЕЛНЫ

Построенная модель позволяет выявить так называемые «узкие места», нуждающиеся в оптимизации.

Одним из наиболее перегруженных участков УДС города является место слияния четырех параллельных проспектов и, соответственно, практически всех городских маршрутов. Для разработки новой маршрутной сети городского общественного автотранспорта использовались теоретические положения об организации пассажирских перевозок и данные макромоделирования. Особенности планировки города не позволяют полностью избежать наложений маршрутов городского пассажирского транспорта. Однако, можно значительно уменьшить количество маршрутов, проходящих по одному и тому же участку УДС, при этом сохранив возможность удовлетворения мобильности населения города. Кроме того, с помощью модели были спроектированы поперечные маршруты, соединяющие между собой параллельные проспекты.

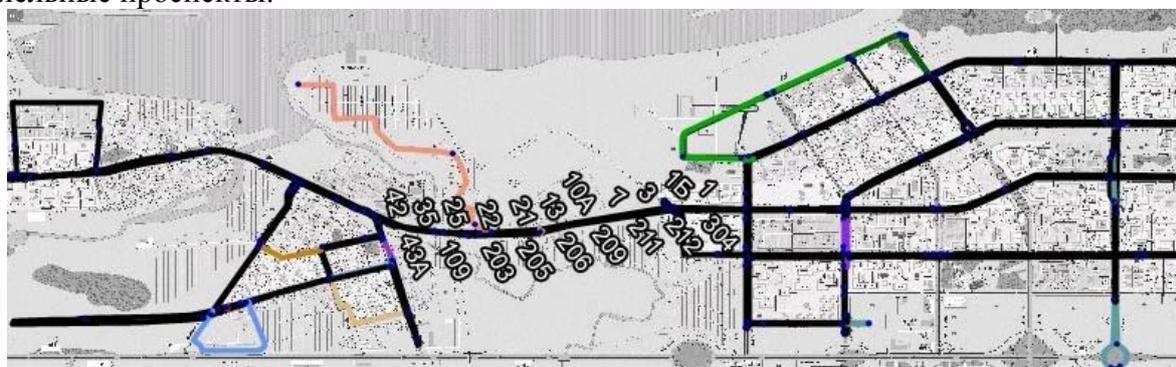


Рисунок 5 – Схема существующей маршрутной сети

На рисунке 5 представлен фрагмент существующей маршрутной сети города с указанием номеров маршрутов, проходящих по проблемному участку, а на рисунке 6 – модерни-

зированная автобусная маршрутная сеть. Процедура перераспределения транспортного движения в городе, проведенная после изменения маршрутной схемы (рис. 7), показывает, что существующая на сегодняшний день нагрузка на рассматриваемом участке (1469 ТС) может быть снижена до 1212 ТС.

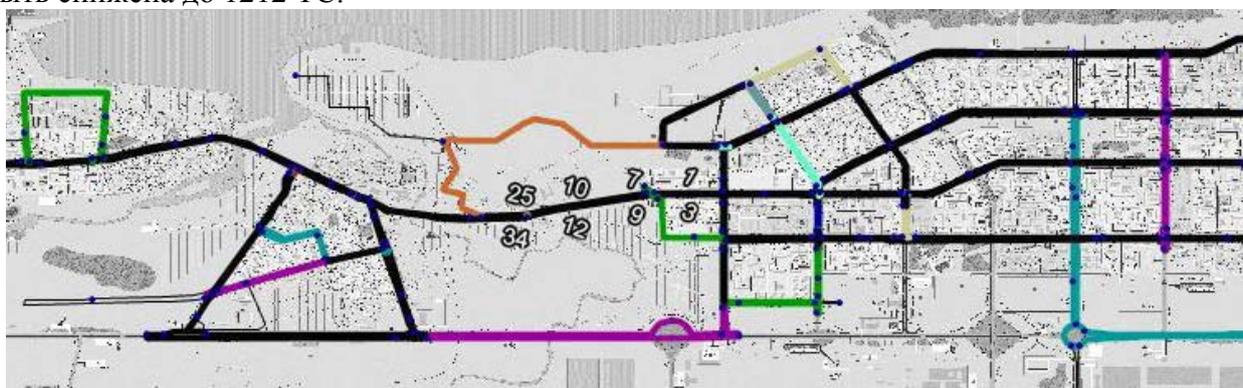


Рисунок 6 – Схема предлагаемой маршрутной сети



Рисунок 7 – Нагрузка УДС города при разработанной маршрутной сети

## ВЫВОДЫ

В условиях роста автомобилизации и рядом проблем, обусловленных данной тенденцией, одной из которых является ограничение мобильности населения городов и мегаполисов при снижении качества его транспортного обслуживания, актуальной проблемой является создание инструмента для выработки научно-обоснованных решений по оптимизации управления движением общественного транспорта. Одной из задач, связанных с достижением вышеуказанной цели является оптимизация маршрутной сети городского пассажирского транспорта.

Одним из вариантов решения данной задачи является использование имитационной модели транспортной системы города. Разработанная транспортная модель позволяет оптимизировать маршрутную сеть одновременно по двум критериям эффективности и в дальнейшем может развиваться, дорабатываться и быть использована в качестве ядра для интеллектуальной транспортной системы.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Global "green" new deal. Policy Brief.March 2009. 29 p. URL: [http://www.unep.org/pdf/GGND\\_Final\\_Report.pdf](http://www.unep.org/pdf/GGND_Final_Report.pdf) Дата обращения 10.06.2015
2. The future we want / United nations URL: 370The\_Future\_We\_Want\_10Jan\_clean.pdf Дата обращения 10.07.2015
3. Preparation of the Fourth High-level Meeting on Transport, Health and Environment (April 2014) Concept note prepared by Transport, Health and Environment Pan-European Programme secretariat. ECE/AC.21/SC/2012/3 - EUDCE1206040/1.9/SC10/3 - 10 p.
4. Liang Sun. A New Robust Optimization Model for the Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands // Journal of Interdisciplinary Mathematics. – 2014. – Vol. 17, Iss. 3. – p. 287-309
5. Huang Z.D. A GIS-based framework for bus network optimization using genetic algorithm / Z.D. Huang, X.J. Liu, C.C. Huang and J.W. Shen // Annals of GIS. – 2010. – Vol. 16, Iss. 3. – p. 185-194
6. Ulusoy Y.Y. Optimal bus service patterns and frequencies considering transfer demand elasticity with genetic algorithm / Yavuz Y. Ulusoy, Steven I-Jy Chien // Transportation Planning and Technology . – 2015. – Vol. 38, Iss. 4. – p. 405-424
7. Данг, Х.Л. Развитие системы городского пассажирского транспорта общего пользования (на примере г. Ханоя, Вьетнам): Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01 / Данг Хай Ле. - М.: МАДИ (ГТУ), 2010. – 20 с.
8. Чжо Мьо Хан Планирование расписания и управление движением пассажирского транспорта с использованием моделирующей среды: Дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01. / Чжо Мьо Хан. – Москва, 2010. – 111 с.
9. Богомолов, А.А. Оптимизация маршрутов городского пассажирского транспорта в средних городах: Дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / А.А. Богомолов. – Вологда, 2002. – 274 с.
10. Корягин, М.Е. Оптимизация потоков общественного транспорта [Электронные ресурс] / М.Е. Корягин // Вопросы современной науки и практики. – 2008. – №1(11). – Т.2. – С. 70-78. - URL: <http://vernadsky.tstu.ru/pdf/2008/01t/09t.pdf> Дата обращения 20.07.2015.
11. Семенова, О.С. Математическое моделирование в задачах оптимизации движения городского пассажирского транспорта с учетом наложения маршрутных схем: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18 / О.С. Семенова. – Новокузнецк, 2009. – 148 с.
12. Кулев, А.В. Оптимизация маршрутов городского пассажирского транспорта общего пользования [Текст] / А.В. Кулев, М.В. Кулев, Н.С. Кулева; под общей редакцией А.Н. Новикова // Информационные технологии и инновации на транспорте. – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК». - 2015. - С. 253-259. URL: <http://lib.madi.ru/fel/fel1/fel15B018.pdf> Дата обращения 20.07.2015.
13. Александров, А.Э. Расчет и оптимизация транспортных систем с использованием моделей (теоретические основы, методология): дис. ... д-р техн. наук: 05.22.08. / А.Э. Александров. – Екатеринбург, 2009. – 213 с.
14. Папаскуа, А.А. Совершенствование организации пассажирского автомобильного транспорта в загруженных районах городов: дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10. / А.А. Папаскуа. – Ростов-на-Дону, 2004. – 218 с.
15. Наумова, Н.А. Теоретические основы и методы автоматизированного управления транспортными потоками средствами мезоскопического моделирования: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. / Н.А. Наумова. – Краснодар, 2015. – 301 с.
16. Зварыч, Е.Б. Разработка и исследование равновесных математических моделей рынка городских транспортных услуг: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.18 / Зварыч Евгений Богданович. - Братск, 2010. – 23 с.
17. Макарова, И.В. Обеспечение надежного и безопасного функционирования транспортной системы города путем интеллектуализации процессов управления [Текст] / И.В. Макарова, Р.Г. Хабибуллин, К.А. Шубенкова, В.А. Мелькова // Мир транспорта и технологических машин. - Орел: Госуниверситет-УНПК. - №3(34). - 2011. - С. 63-72.
18. Стюгин, М. Оценка безопасности системы информационного управления Российской Федерации [Электронный ресурс] / М. Стюгин // ПСИ-ФАКТОР. - 2006. - URL: <http://psyfactor.org/lib/styugin0.htm>. Дата обращения 28.07.2015
19. Куприянова, А.Б. Оптимизация транспортного обслуживания центра крупного города в условиях приоритета общественного транспорта и системы перехватывающих стоянок: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Куприянова Александра Борисовна. - Иркутск: Иркутский государственный технический университет, 2008. – 19 с.
20. Блатнов, М.Д. Пассажирские автомобильные перевозки [Текст]: учебник / М.Д. Блатнов. - М.: Транспорт, 1981. - 198 с.
21. Володин, Е.П. Организация и планирование перевозок пассажиров автомобильным транспортом [Текст]: учебник / Е.П. Володин, Н.Н. Громов. - М.: Транспорт, 1982. – 198 с.
22. Лобанов, Е.М. Транспортная планировка городов [Текст]: учебник для студентов вузов / Е.М. Лобанов. – М.: Транспорт, 1990. – 240 с.
23. Федоров, С.В. Совершенствование методов проектирования транспортных сетей и маршрутных систем крупных городов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Федоров Сергей Владимирович. - М.: МАДИ, 2011. – 20 с.

24. Гринченко, А.В. Повышение эффективности управления процессами перевозок на городских автобусных маршрутах: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08. / А.В. Гринченко. – Липецк, 2006. – 203 с.

25. Генеральный план г. Набережные Челны: Материалы по обоснованию проекта. Пояснительная записка, т.3. – Казань: 2009. – 140 с.

**Макарова Ирина Викторовна**

Казанский (Приволжский) федеральный университет  
Адрес: Россия, 423812, г. Набережные Челны, пр.Сююмбике, 10А  
Д-р техн. наук, профессор кафедры «Сервис транспортных систем»  
E-mail: kamIVM@mail.ru

**Хабибуллин Рифат Габдулхакович**

Казанский (Приволжский) федеральный университет  
Адрес: Россия, 423812, г. Набережные Челны, пр.Сююмбике, 10А  
Д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Сервис транспортных систем»  
E-mail: hrg\_kampi@mail.ru

**Шубенкова Ксения Андреевна**

Казанский (Приволжский) федеральный университет  
Адрес: Россия, 423812, г. Набережные Челны, пр.Сююмбике, 10А  
Старший преподаватель кафедры «Сервис транспортных систем»  
E-mail: ksenia.shubenkova@gmail.com

---

I.V. MAKAROVA, R.G. KHABIBULLIN, K.A. SHUBENKOVA

## **OPTIMIZE ROUTES PASSENGER TRANSPORT BY TRANSPORT MODEL CITY**

*The existing methods of city passenger transport's route network optimization are analyzed in the article and the optimization method based on minimization of the passenger delivery time and the total number of vehicles used on the each route is offered. To evaluate the effectiveness of this solution combined indicator is offered. It is the city transport model developed with the help of the software PTV VISUM used as an optimization tool. The adequacy of the proposed model is confirmed by the high correlation coefficient between the model values and the data on traffic load obtained during field surveys.*

*Experiment on the model revealed the problem areas of the road network and helped to find the best options for reducing the traffic load on the city road network while maintaining the mobility of the population and improving the quality of its transport services.*

**Keywords:** *city passenger transport, route network, transport model, demand model, traffic load*

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Global "green" new deal. Policy Brief.March 2009. 29 p. URL: [http://www.unep.org/pdf/GGND\\_Final\\_Report.pdf](http://www.unep.org/pdf/GGND_Final_Report.pdf) Data obrashcheniya 10.06.2015
2. The future we want / United nations URL: 370The\_Future\_We\_Want\_10Jan\_clean.pdf Data obrashcheniya 10.07.2015
3. Preparation of the Fourth High-level Meeting on Transport, Health and Environment (April 2014) Concept note prepared by Transport, Health and Environment Pan-European Programme secretariat. ECE/AC.21/SC/2012/3 - EUDCE1206040/1.9/SC10/3 - 10 p.
4. Liang Sun. A New Robust Optimization Model for the Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands // Journal of Interdisciplinary Mathematics. - 2014. - Vol. 17, Iss. 3. - p. 287-309
5. Huang Z.D. A GIS-based framework for bus network optimization using genetic algorithm / Z.D. Huang, X.J. Liu, C.C. Huang i J.W. Shen // Annals of GIS. - 2010. - Vol. 16, Iss. 3. - p. 185-194
6. Ulusoy Y.Y. Optimal bus service patterns and frequencies considering transfer demand elasticity with genetic algorithm / Yavuz Y. Ulusoy, Steven I-Jy Chien // Transportation Planning and Technology . - 2015. - Vol. 38, Iss. 4. - p. 405-424
7. Dang, H.L. Razvitie sistemy gorodskogo passazhirskogo transporta obshchego pol'zovaniya (na prime-re g. Hanoya, V'etnam): Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.22.01 / Dang Hay Le. - M.: MADI (GTU), 2010. - 20 s.

8. CHzho M`o Han Planirovanie raspisaniya i upravlenie dvizheniem passazhirskogo transporta s is-pol`zovaniem modeliruyushchey sredy: Dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.13.01. / CHzho M`o Han. - Moskva, 2010. - 111 s.
9. Bogomolov, A.A. Optimizatsiya marshrutov gorodskogo passazhirskogo transporta v srednikh gorodakh: Dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.22.10 / A.A. Bogomolov. - Volgda, 2002. - 274 s.
10. Koryagin, M.E. Optimizatsiya potokov obshchestvennogo transporta [Elektronnyye resurs] / M.E. Koryagin // Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. - 2008. - №1(11). - T.2. - S. 70-78. - URL: <http://vernadsky.tstu.ru/pdf/2008/01t/09t.pdf> Data obrashcheniya 20.07.2015.
11. Semenova, O.S. Matematicheskoe modelirovanie v zadachakh optimizatsii dvizheniya gorodskogo passazhirskogo transporta s uchedom nalozheniya marshrutnykh skhem: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.13.18 / O.S. Semenova. - Novokuznetsk, 2009. - 148 s.
12. Kulev, A.V. Optimizatsiya marshrutov gorodskogo passazhirskogo transporta obshchego pol`zovaniya [Tekst] / A.V. Kulev, M.V. Kulev, N.S. Kuleva; pod obshchey redaktsiey A.N. Novikova // Informatzionnye tekhnologii i innovatsii na transporte. - Orel: FGBOU VPO "Gosuniversitet - UNPK". - 2015. - S. 253-259. URL: <http://lib.madi.ru/fel/fel1/fel15B018.pdf> Data obrashcheniya 20.07.2015.
13. Aleksandrov, A.E. Raschet i optimizatsiya transportnykh sistem s ispol`zovaniem modeley (teoreticheskie osnovy, metodologiya): dis. ... d-r tekhn. nauk: 05.22.08. / A.E. Aleksandrov. - Ekaterinburg, 2009. - 213 s.
14. Papaskua, A.A. Sovershenstvovanie organizatsii passazhirskogo avtomobil`nogo transporta v zagruzhennykh rayonakh gorodov: dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.22.10. / A.A. Papaskua. - Rostov-na-Donu, 2004. - 218 s.
15. Naumova, N.A. Teoreticheskie osnovy i metody avtomatizirovannogo upravleniya transportnymi potokami sredstvami mezoskopicheskogo modelirovaniya: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.22.10. / N.A. Naumova. - Krasnodar, 2015. - 301 s.
16. Zvarych, E.B. Razrabotka i issledovanie ravnovesnykh matematicheskikh modeleyrynka gorodskikh transportnykh uslug: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.13.18 / Zvarych Evgeniy Bogdanovich. - Bratsk, 2010. - 23 s.
17. Makarova, I.V. Obespechenie nadezhnogo i bezopasnogo funktsionirovaniya transportnoy sistemy goroda putem intellektualizatsii protsessov upravleniya [Tekst] / I.V. Makarova, R.G. Habibullin, K.A. Shu-benkova, V.A. Mel`kova // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - Orel: Gosuniversitet-UNPK. - №3(34). - 2011. - S. 63-72.
18. Styugin, M. Otsenka bezopasnosti sistemy informatsionnogo upravleniya Rossiyskoy Federatsii [Elektronnyy resurs] / M. Styugin // PSI-FAKTOR. - 2006. - URL: <http://psyfactor.org/lib/styugin0.htm>. Data obrashcheniya 28.07.2015
19. Kupriyanova, A.B. Optimizatsiya transportnogo obsluzhivaniya tsentra krupnogo goroda v usloviyakh prioriteta obshchestvennogo transporta i sistemy perekhvatyvayushchikh stoyanok: Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.22.10 / Kupriyanova Aleksandra Borisovna. - Irkutsk: Irkutskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy uni-versitet, 2008. - 19 s.
20. Blatnov, M.D. Passazhirskie avtomobil`nye perevozki [Tekst]: uchebnyk / M.D. Blatnov. - M.: Transport, 1981. - 198 s.
21. Volodin, E.P. Organizatsiya i planirovanie perevozk passazhirov avtomobil`nym transportom [Tekst]: uchebnyk / E.P. Volodin, N.N. Gromov. - M.: Transport, 1982. - 198 s.
22. Lobanov, E.M. Transportnaya planirovka gorodov [Tekst]: uchebnyk dlya studentov vuzov / E.M. Lobanov. - M.: Transport, 1990. - 240 s.
23. Fedorov, S.V. Sovershenstvovanie metodov proektirovaniya transportnykh setey i marshrutnykh sistem krupnykh gorodov: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.22.10 / Fedorov Sergey Vladimirovich. - M.: MA-DI, 2011. - 20 s.
24. Grinchenko, A.V. Povyshenie effektivnosti upravleniya protsessami perevozk na gorodskikh avtobusnykh marshrutakh: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.22.08. / A.V. Grinchenko. - Lipetsk, 2006. - 203 s.
25. General`nyy plan g. Naberezhnye Chelny: Materialy po obosnovaniyu proekta. Poyasnitel`naya za-piska, t.3. - Kazan`: 2009. - 140 s.

**Makarova Irina Viktorovna**

Kazan (Volga) Federal University, Kazan  
Address: Russia, 423812, Naberezhnye Chelny, pr.Syuyumbike 10A  
Dr. Sc. , professor of the department "Service of transport systems"  
E-mail: kamIVM@mail.ru

**Habibullin Rifat Gabdulhakovich**

Kazan (Volga) Federal University, Kazan  
Address: Russia, 423812, Naberezhnye Chelny, pr.Syuyumbike 10A  
Dr. Sc. Sciences, head of the "Service of transport systems"  
E-mail: hrg\_kampi@mail.ru

**Shubenkova Xenia Andreyevna**

Kazan (Volga) Federal University, Kazan  
Address: Russia, 423812, Naberezhnye Chelny, pr.Syuyumbike 10A  
Senior lecturer in "Service of transport systems"  
E-mail: ksenia.shubenkova@gmail.com

УДК 656.13

А.Н. НОВИКОВ, А.В. КУЛЕВ, А.А. КАТУНИН, М.В. КУЛЕВ, Н.С. КУЛЕВА

## ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТОВ ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА В Г. ОРЛЕ

*Статья посвящена оптимизации маршрутной транспортной сети городского пассажирского транспорта. Произведен анализ проблем маршрутного пассажирского транспорта на примере города Орла, осуществлен выбор методов обследования пассажиропотоков для получения информации, необходимой для оптимизации маршрутной сети. В статье приводится методика оптимизации маршрутов, в основе которой лежит сокращение затрат времени пассажиров на перемещение. Результаты работы были реализованы на маршрутах пассажирского транспорта в городе Орле.*

**Ключевые слова:** маршрутная транспортная сеть, маршрут, остановочный пункт, маршрутное транспортное средство, пассажир.

В настоящий момент в большинстве российских городов существует тенденция роста количества индивидуальных транспортных средств (ТС) у населения, что в свою очередь, ведет к перегрузке улично-дорожной сети (УДС) города, ухудшению экологической обстановки, повышению аварийности. В данной ситуации выход видится в повышении привлекательности использования городского пассажирского транспорта общего пользования (ГПТОП).

Проблемами совершенствования обслуживания населения городским пассажирским транспортом посвящены труды многих ученых: С. Brand, G.A. Currie, D. Habarda, K.R. Jacques, H. S. Levinson, Л.Б. Миротин, А.В. Вельможин, М.Е. Антошвили, Б.Л. Геронимус и др. Проблемами качества пассажирских перевозок посвящены труды: J. Cibulka, В.А. Гудков И.В. Спирин.

Состояние системы городского пассажирского транспорта в различных региональных центрах России имеют ряд общих проблем (рис. 1).

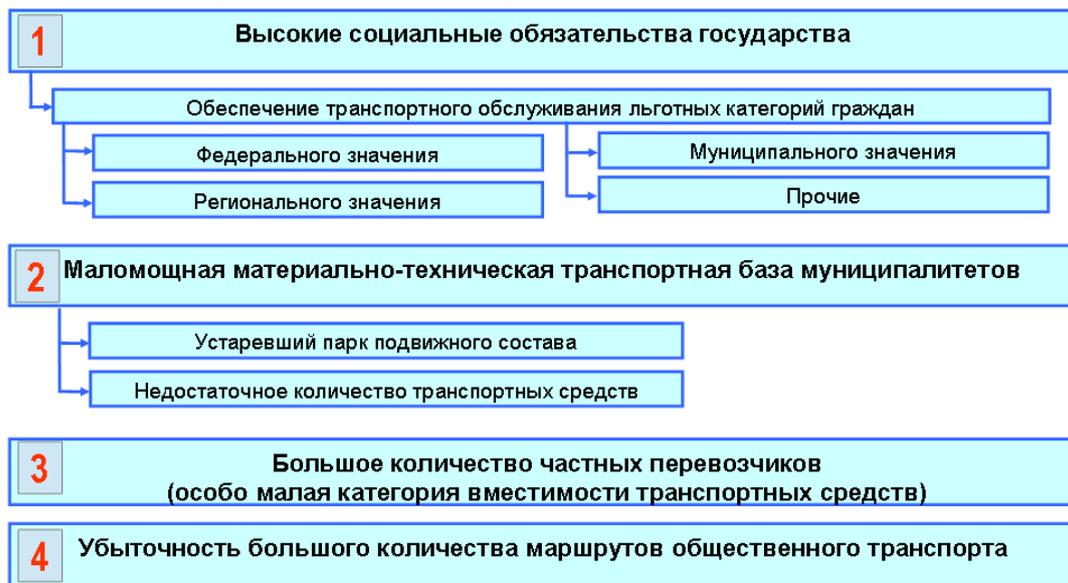


Рисунок 1 – Проблемы системы городского пассажирского транспорта

Одной из основных проблем является недостаточное обслуживание населения во время часов пик. В некоторых новых и развивающихся районах многих городов наблюдается проблема, связанная с недостаточным количеством маршрутов, вследствие чего, не удастся

удовлетворить спрос на перевозку пассажиров, что ведет к росту числа пересадок, а, следовательно, потере времени и денег. Во многих региональных центрах транспортное обслуживание населения осуществляется муниципальными и частными перевозчиками. Данный факт имеет ряд негативных последствий, а именно, конкуренция между перевозчиками в борьбе за пассажиров приводит к несоблюдению интервалов движения, нарушению ПДД, что в свою очередь сильно сказывается на безопасности дорожного движения. Частные перевозчики, в большинстве случаев, располагают парком подвижного состава малого и особо малого классов вместимости. Количество маршрутов, обслуживаемых автобусами малой и особо малой категорией вместимости, в отдельных регионах достигает 70% [2,3,4,8,9]. Это приводит к дополнительной нагрузке на маршрутную транспортную сеть городов.

Решение данных проблем видится в оптимизации маршрутной транспортной сети города.

Наиболее распространенным критерием оптимизации маршрутной сети транспортной общественного пассажирского транспорта является время, затрачиваемое на передвижение пассажиров [1,10,11].

Разработанная методика оптимизации основана на минимизации времени, затрачиваемом пассажирами на весь процесс перемещения [1].

В общем случае, время на передвижение пассажира можно определить по формуле [1,13]:

$$t_{нас} = t_{под} + t_{ож} + t_{передв} + t_{перес} + t_{от}, \quad (1)$$

где  $t_{под}$  - время, затрачиваемое пассажиром на перемещение к остановочному пункту пешим ходом, ч.;

$t_{ож}$  - время, затрачиваемое пассажиром, находящимся на остановочном пункте, в ожидании маршрутного транспортного средства, ч.;

$t_{передв}$  - время, затрачиваемое пассажиром на перемещение внутри маршрутного транспортного средства до необходимого пункта следования, ч.;

$t_{от}$  - время, затрачиваемое пассажиром на перемещение пешим ходом от остановочного пункта до места тяготения, ч.

$t_{перес}$  - время, затрачиваемое пассажиром на совершение пересадки в другое маршрутное транспортное средство, ч. Время пересадки может включать в себя время на перемещение от одного остановочного пункта к другому (в случае необходимости), время на ожидание нужного транспортного средства и время, затрачиваемое на передвижение в маршрутном транспортном средстве. В случае отсутствия необходимости в совершении пересадки  $t_{перес} = 0$ .

Время на пересадку можно рассчитать по формуле [1]:

$$t_{перес} = t'_{под} + t'_{ож} + t'_{передв}, \quad (2)$$

где  $t'_{под}$  - время, затрачиваемое пассажиром на перемещение пешим ходом между остановочными пунктами в случае необходимости совершения пересадки с одного маршрутного транспортного средства на другое, ч.;

$t'_{ож}$  - время, затрачиваемое пассажиром на ожидание маршрутного транспортного средства для пересадки, ч.;

$t'_{передв}$  - время, затрачиваемое пассажиром на перемещение в маршрутном транспортном средстве при пересадке, ч.

Схема перемещения пассажиров представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Технологическая схема передвижения пассажиров при использовании городского пассажирского транспорта общего пользования

Исходя из всего выше сказанного, целевую функцию для определения оптимальной маршрутной транспортной сети городского общественного транспорта можно представить в следующей форме:

$$E = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (t_{передв_{ij}} + t'_{передв_{ij}}) \cdot \Pi_{ij} + \sum_{k=1}^K (t_{ож_k} + t'_{ож_k}) \cdot \Pi_k + \sum_{i_1=1}^{m_1} \sum_{i_2=1}^{m_1} (t'_{nod_{i_1 i_2}} \cdot \Pi_{i_1 i_2} + \Pi_{i_1} \cdot t_{nod_{i_1}} + \Pi_{i_2} \cdot t_{omi_2}) \rightarrow \min, \quad (3)$$

- где  $i=1,2,\dots,m$  – порядковые номера микрорайонов начала передвижения пассажиров;
- $j=1,2,\dots,m$  – порядковые номера микрорайонов окончания передвижения пассажиров;
- $k=1,2,\dots,K$  – маршруты городского пассажирского транспорта;
- $i_1=1,2,\dots,m_1$  – порядковые номера остановочных пунктов начала передвижения;
- $i_2=1,2,\dots,m_1$  – порядковые номера остановочных пунктов окончания передвижения;
- $\Pi_{ij}$  - количество пассажиров, совершивших передвижения между микрорайонами  $i$  и  $j$ ;
- $\Pi_k$  - количество пассажиров, воспользовавшихся  $k$ -ым маршрутом городского общественного транспорта;
- $\Pi_{i_1}$  - количество пассажиров, начавших передвижение от  $l$ -го остановочного пункта;
- $\Pi_{i_2}$  - количество пассажиров, закончивших передвижение в  $r$ -ом остановочном пункте;
- $\Pi_{i_1 i_2}$  - количество пассажиров, осуществивших пеший переход для пересадки из  $l$ -го в  $r$ -ый остановочный пункт.

Апробация методики произведена на маршрутной транспортной сети города Орла. Структура пассажирского транспорта в г. Орле представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Структура пассажирского транспорта в г. Орле

Вид пассажирского транспорта	Количество маршрутов	Количество транспортных средств
Автобус	59	574
Троллейбус	9	100
Трамвай	3	92

Вся необходимая информация для оптимизации маршрутной сети городского пассажирского транспорта может быть получена в процессе обследования пассажиропотоков, но, ни один из методов, не способен дать наиболее полную и достоверную информацию, поэтому принято решение использовать комбинацию из нескольких методов (рис. 3).

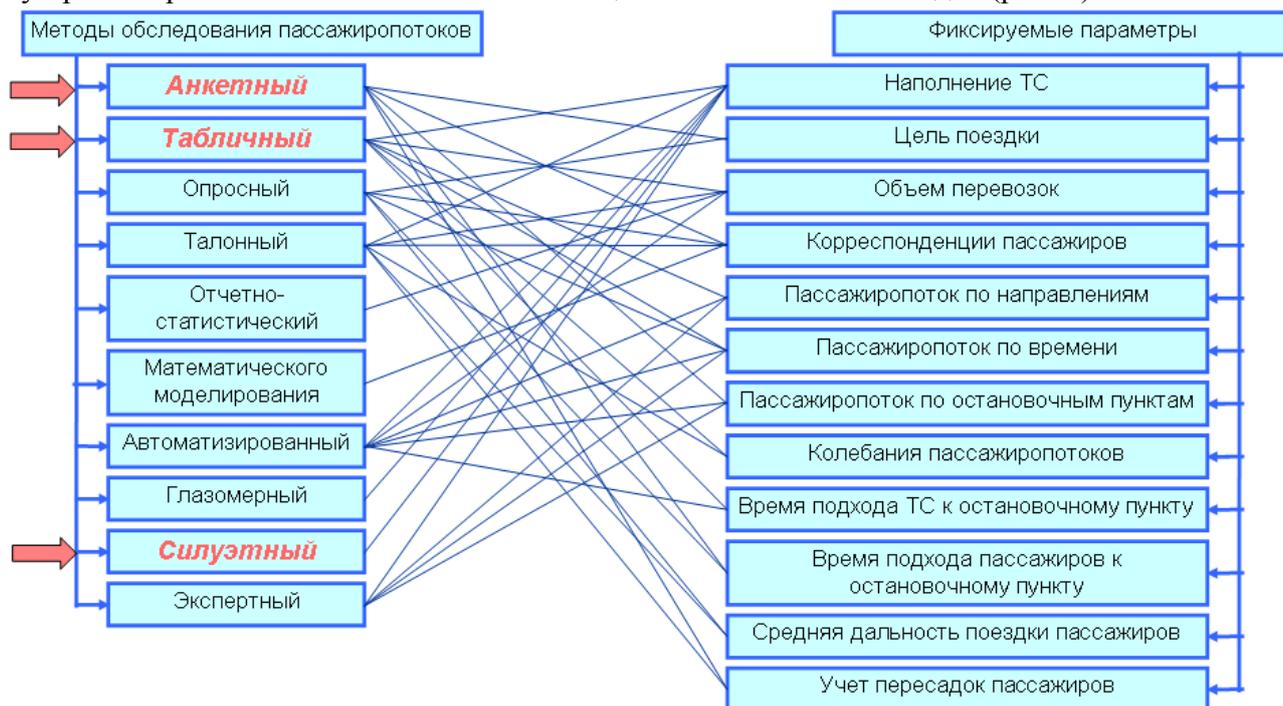


Рисунок 3 – Выбор методов обследования пассажиропотоков

Выбор методов осуществляется с помощью интеграции мнения специалистов (априорное ранжирование). Экспертами выбраны анкетный, табличный и силуэтный методы. Комбинация данных методов характеризуется обширным перечнем определяемых показателей транспортной подвижности населения, высокой полнотой и достоверностью полученной информации, возможностью, применения в условиях г. Орла и относительно низкой стоимостью и трудоемкостью.

Для обработки результатов разработана база данных, способная автоматизировано получить следующие необходимые данные: корреспонденции пассажиров, объемы перевозок, наполнение транспортных средств, пассажиропоток по направлениям, времени, остановочным пунктам, маршрутам и др.

Обследование пассажиропотоков проходило в три этапа:

1. Сплошное обследование пассажиропотоков на городском общественном транспорте в г. Орле, выполненное в апреле – мае 2011 г. [8,9].
2. Выборочное обследование пассажиропотоков на сезонных маршрутах для проезда жителей г. Орла к садово-дачным массивам, проведенное в августе – сентябре 2013 г. [2].
3. Выборочное обследование пассажиропотоков микрорайонов «Выгонка» и «Новая Ботаника», проведенное в апреле – мае 2013 г. [4].

В ходе обследования пассажиропотоков были получены данные о подвижности населения г. Орла необходимые для оптимизации маршрутной транспортной сети: межрайонные корреспонденции различных категорий пассажиров, пассажирооборот на маршрутах, оста-

новочных пунктах, перегонах, коэффициент наполнения транспортного средства, соблюдение интервалов движения и др. (табл. 2).

Таблица 2 - Результаты обследования транспортной подвижности категорий населения г. Орла, имеющих право льготного проезда

Категория льготы	Частота поездок			Итого за неделю	Среднее количество поездок в день
	1-2 поездки	3-4 поездки	более 4 поездок		
<i>Трамвай</i>					
Пенсионеры	196	108	42	6188	2,21
Школьники	62	40	24	2380	2,42
Студенты	78	162	86	6902	2,86
Иная льготная категория	38	22	18	1498	2,37
<b>Итого для вида транспорта – Трамвай</b>					<b>2,47</b>
<i>Троллейбус</i>					
Пенсионеры	492	228	64	13468	2,34
Школьники	82	90	34	3990	2,56
Студенты	370	658	270	26558	2,75
Иная льготная категория	46	32	28	2100	2,72
<b>Итого для вида транспорта – Троллейбус</b>					<b>2,59</b>
<i>Автобус</i>					
Пенсионеры	140	68	18	3892	2,31
Школьники	14	10	4	518	2,31
Студенты	86	140	28	4928	2,58
Иная льготная категория	34	14	8	994	2,36
<b>Итого для вида транспорта – Автобус</b>					<b>2,39</b>
<b>Итого</b>					<b>2,48</b>

В качестве определения эффективности выполненных расчетов проведено сравнение основных технико-экономических показателей схем организации перевозок до, и после оптимизации.

В результате оптимизации, суммарное время затрачиваемое пассажирами на перемещение в общественном пассажирском транспорте в г. Орле за сутки сократилось с 286 тыс. ч. до 269 тыс. ч.

Экономический эффект от применения выполненных расчетов и назначенной оптимальной маршрутной сети можно рассчитать, сопоставляя результаты эксплуатации парка ГПТ при прежней и оптимальной схеме. Данный эффект складывается из [10]:

- из сокращения спроса в ПС;
- из снижения потребности в горючем, ГСМ, снижения износов узлов и деталей ПС, из-за сокращения числа остановок на промежуточных пунктах.

При расчете действующей маршрутной схемы в г. Орле схема состоит из трамвайных, троллейбусных и обычных автобусных маршрутов, за период час пик одного рабочего дня получили величину общего пробега ПС на всех маршрутах, которая составила 54363.64 км.

По результатам расчетов предлагаемой маршрутной сети ПС ГПТ за тот же час пик успевает выполнить ту же транспортную работу при выполнении на всех маршрутах общего пробега ПС, равного 48522.5 км.

Наибольший эффект достигается за счет сокращения потребности в транспорте. Оптимизации маршрутов ГПТ г. Орла переход на новую маршрутную сеть должен обеспечить эффект в сумме 98651,35 руб. в час пик рабочего дня при том же количестве перевезенных пассажиров.

В результате оптимизации маршрутной сети общественного транспорта число автобусных маршрутов уменьшилось на 4 ед., число трамвайных и троллейбусных маршрутов

осталось неизменным. Уменьшилось количество подвижного состава, за счет замены транспортных средств особо малого класса вместимости на транспортные средства малого и среднего класса (табл. 3).

Таблица 3 – Процентное соотношение категорий вместимости маршрутных транспортных средств

Категория вместимости	Процентное соотношение категорий вместимости, %	
	До оптимизации	После оптимизации
Особо малой вместимости (от 9 до 15 мест)	35	21
Малой вместимости (от 16 до 30 мест)	34	42
Средней вместимости (от 31 до 60 мест)	26	32
Большой вместимости (свыше 60 мест)	5	5

Изменения коснулись и льготных категорий граждан - увеличено количество социально-значимых маршрутов (предоставляющих льготное право на проезд) с 30 маршрутов до 36. Изменение маршрутов, предоставляющих льготное право проезда, основывалось на результатах анкетного обследования пассажиропотоков, путем определения межрайонных корреспонденций различных категорий льготных граждан.

Разработанная методика оптимизации маршрутной транспортной сети, позволяет разработать сеть маршрутов регионального центра на основании минимальных затрат времени передвижения пассажиров. Возможность определения рентабельности каждого маршрута позволяет на стадии проектирования исключить из реестра убыточные для перевозчиков маршруты. Адекватность оптимизированной модели планируется проверить в ходе обследования пассажиропотока в 2016 г.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новиков, А. Н. Методика организации маршрутной сети городского пассажирского транспорта общего пользования [Текст] / А. Н. Новиков, А. В. Кулев, М. В. Кулев, Н. С. Кулева // Мир транспорта и технологических машин. - 2015. - № 1 (48). - С. 85-92.
2. Новиков, А. Н. Обследование пассажиропотоков на сезонных маршрутах города Орла [Текст] / А. Н. Новиков, А. Л. Севостьянов, А. А. Катунин, М. В. Кулев, А. В. Кулев, М. М. Савин // Мир транспорта и технологических машин. - 2013. - № 4 (43). - С. 77-85.
3. Новиков, А. Н. Анализ степени загрузки маршрутной транспортной сети города Орла [Текст] / А. Н. Новиков, А. Л. Севостьянов, А. А. Катунин, А. В. Кулев // Мир транспорта и технологических машин. - 2012. - № 4 (39). - С. 69-74.
4. Новиков, А. Н. Исследование пассажиропотоков и транспортной подвижности населения в городе Орле [Текст] / А. Н. Новиков, С. Ю. Радченко, А. Л. Севостьянов, А. С. Бодров, А. А. Катунин и др. // Мир транспорта и технологических машин. - 2011. - №4 (35). - С. 69-77.
5. Новиков, А. Н. Применение интеллектуальных транспортных систем (ИТС) для повышения эффективности функционирования городского общественного транспорта [Текст] / А. Н. Новиков, А. Л. Севостьянов, А. А. Катунин, А. В. Кулев // Мир транспорта и технологических машин. - 2013. - №1 (40). - С. 85-90.
6. Новиков, А. Н. Анализ влияния технических неисправностей транспортных средств на уровень дорожной безопасности [Текст] / А. Н. Новиков, М. В. Кулев, А. В. Кулев // Мир транспорта и технологических машин. - № 1 (28). - 2010. - С. 8-11.
7. Ешуткин, Д. Н. Анализ проблемы экологической и дорожной безопасности автотранспортных средств в России [Текст] / Д. Н. Ешуткин, М. В. Кулев // Мир транспорта и технологических машин. - 2009. - №3 (26). - С. 79-82.
8. Богомолов, А. А. Оптимизация маршрутов городского пассажирского транспорта в средних городах [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Богомолов Андрей Александрович. - Вологда, 2002. - 126 с.
9. Шавыраа, Ч. Д. О. Разработка методики организации обслуживания населения автобусным транспортом в малых городах [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Шавыраа Чечек Деспин-Ооловна. - Санкт-Петербург, 2009. - 274 с.
10. Рассоха, В. И. Повышение эффективности эксплуатации автомобильного транспорта на основе разработанных научно-технических, технологических и управленческих решений [Текст]: дис.... докт. техн. наук:

05.22.10 / Рассоха Владимир Иванович. - Оренбург, 2010. - 400 с.

11. Ларин, О. Н. Организация пассажирских перевозок [Текст]: учебное пособие / О. Н. Ларин. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 104 с.

12. Новиков, А. Н. Построение модели функционирования маршрута троллейбуса [Текст] / А. Н. Новиков, А. Л. Севостьянов, А. А. Катунин, А. В. Кулев // Мир транспорта и технологических машин. – 2012. - № 4 (39). – С. 80-87.

13. Новиков, А. Н. Критерии определения количества транспортных средств на маршрутах с учетом их специфики [Текст] / А. Н. Новиков, А. Л. Севостьянов, А. А. Катунин, А. В. Кулев / Наука 2012: итоги, перспективы. - М.: Буки-Веди. - 2013. - С. 54-62.

14. Новиков, А. Н. Система критериев оптимизации транспортных сетей [Текст] / А. Н. Новиков, А. Л. Севостьянов, А. А. Катунин, А. В. Кулев / Наука 2012: итоги, перспективы. - М.: Буки-Веди. - 2013. - С. 63-69.

15. Новиков, А. Н. Сравнение систем определения местоположения и их применение в интеллектуальных транспортных системах [Текст] / А. Н. Новиков, А. А. Катунин, А. В. Кулев, М. В. Пешехонов // Мир транспорта и технологических машин. - 2013. - № 2 (41). - С. 109-113.

**Новиков Александр Николаевич**

ФГБОУ ВПО «Государственный университет-УНПК»

Адрес: Россия, 302030, г. Орел, ул. Московская, 77

Д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Сервис и ремонт машин»

E-mail: srmostu@mail.ru

**Кулев Андрей Владимирович**

ФГБОУ ВПО «Государственный университет-УНПК»

Адрес: Россия, 302030, г. Орел, ул. Московская, 77

Старший преподаватель кафедры «Сервис и ремонт машин»

E-mail: srmostu@mail.ru

**Катунин Андрей Александрович**

ФГБОУ ВПО «Государственный университет-УНПК»

Адрес: Россия, 302030, г. Орел, ул. Московская, 77

Канд. техн. наук, доцент кафедры «Сервис и ремонт машин»

E-mail: srmostu@mail.ru

**Кулев Максим Владимирович**

ФГБОУ ВПО «Государственный университет-УНПК»

Адрес: Россия, 302030, г. Орел, ул. Московская, 77

Канд. техн. наук, доцент кафедры «Сервис и ремонт машин»

E-mail: srmostu@mail.ru

**Кулева Наталья Сергеевна**

ФГБОУ ВПО «Государственный университет-УНПК»

Адрес: Россия, 302030, г. Орел, ул. Московская, 77

Магистр

E-mail: srmostu@mail.ru

---

A. N. NOVIKOV, A. V. KULEV A.A. KATUNIN, M. V. KULEV, N. S. KULEVA

## **OPTIMIZATION OF ROUTES PASSENGER TRANSPORT IN THE CITY OF OREL**

*The article is devoted to optimization of the route of the transport network of urban passenger transport. The analysis of the problems of fixed-route passenger transport on the example of the city of eagle, the choice of methods of passenger surveys to obtain information necessary for optimization of the route network. The article provides a method of route optimization, which is based on the reduction in time passengers to move. The results were implemented on the routes of passenger transport in the city of Orel.*

**Keywords:** transport route network, route, bus stop, route vehicles, the passenger.

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Novikov, A. N. Metodika organizatsii marshrutnoy seti gorodskogo passazhirskogo transporta ob-shchego pol'zovaniya [Tekst] /A. N. Novikov, A. V. Kulev, M. V. Kulev, N. S. Kuleva // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2015. - № 1 (48). - S. 85-92.

2. Novikov, A. N. Obsledovanie passazhiropotokov na sezonnykh marshrutakh goroda Orla [Tekst] / A. N.

**№ 3(50) 2015 (июль-сентябрь) Безопасность движения и автомобильные перевозки**

Novikov, A. L. Sevost'yanov, A. A. Katunin, M. V. Kulev, A. V. Kulev, M. M. Savin // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2013. - № 4 (43). - S. 77-85.

3. Novikov, A. N. Analiz stepeni zagruzki marshrutnoy transportnoy seti goroda Orla [Tekst] / A. N. Novikov, A. L. Sevost'yanov, A. A. Katunin, A. V. Kulev // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2012. - № 4 (39). - S. 69-74.

4. Novikov, A. N. Issledovanie passazhiropotokov i transportnoy podvizhnosti naseleniya v gorode Orle [Tekst] / A. N. Novikov, S. YU. Radchenko, A. L. Sevost'yanov, A. S. Bodrov, A. A. Katunin i dr. // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2011. - №4 (35). - S. 69-77.

5. Novikov, A. N. Primenenie intellektual'nykh transportnykh sistem (ITS) dlya povysheniya effektivnosti funktsionirovaniya gorodskogo obshchestvennogo transporta [Tekst] / A. N. Novikov, A. L. Sevost'yanov, A. A. Katunin, A. V. Kulev // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2013. - №1 (40). - S. 85-90.

6. Novikov, A. N. Analiz vliyaniya tekhnicheskikh neispravnostey transportnykh sredstv na uroven' dorozhnoy bezopasnosti [Tekst] / A. N. Novikov, M. V. Kulev, A. V. Kulev // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - № 1 (28). - 2010. - S. 8-11.

7. Eshutkin, D. N. Analiz problemy ekologicheskoy i dorozhnoy bezopasnosti avtotransportnykh sredstv v Rossii [Tekst] / D. N. Eshutkin, M. V. Kulev // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2009. - №3 (26). - S. 79-82.

8. Bogomolov, A. A. Optimizatsiya marshrutov gorodskogo passazhirskogo transporta v srednikh gorodakh [Tekst]: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.22.10 / Bogomolov Andrey Aleksandrovich. - Vologda, 2002. - 126 c.

9. Shavyraa, CH. D. O. Razrabotka metodiki organizatsii obsluzhivaniya naseleniya avtobusnym transportom v malyykh gorodakh [Tekst]: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.22.10 / Shavyraa Chechek Despi-Oolovna. - Sankt-Peterburg, 2009. - 274 c.

10. Rassokha, V. I. Povyshenie effektivnosti ekspluatatsii avtomobil'nogo transporta na osnove razrabotannykh nauchno-tekhnicheskikh, tekhnologicheskikh i upravlencheskikh resheniy [Tekst]: dis.... dokt. tekhn. nauk: 05.22.10 / Rassokha Vladimir Ivanovich. - Orenburg, 2010. - 400 s.

11. Larin, O. N. Organizatsiya passazhirskikh perevozok [Tekst]: uchebnoe posobie / O. N. Larin. - Chelyabinsk: Izd-vo YUURGU, 2005. - 104 s.

12. Novikov, A. N. Postroenie modeli funktsionirovaniya marshruta trolleybusa [Tekst] / A. N. Novikov, A. L. Sevost'yanov, A. A. Katunin, A. V. Kulev // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2012. - № 4 (39). - S. 80-87.

13. Novikov, A. N. Kriterii opredeleniya kolichestva transportnykh sredstv na marshrutakh s uchetom ikh spetsifiki [Tekst] / A. N. Novikov, A. L. Sevost'yanov, A. A. Katunin, A. V. Kulev / Nauka 2012: itogi, perspektivy. - M.: Buki-Vedi. - 2013. - S. 54-62.

14. Novikov, A. N. Sistema kriteriev optimizatsii transportnykh setey [Tekst] / A. N. Novikov, A. L. Sevost'yanov, A. A. Katunin, A. V. Kulev / Nauka 2012: itogi, perspektivy. - M.: Buki-Vedi. - 2013. - S. 63-69.

15. Novikov, A. N. Sravnenie sistem opredeleniya mestopolozheniya i ikh primeneniye v intellektual'nykh transportnykh sistemakh [Tekst] / A. N. Novikov, A. A. Katunin, A. V. Kulev, M. V. Peshekhonov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2013. - № 2 (41). - S. 109-113.

**Novikov Alexander Nikolaevich**

FGBOU VPO «State University-UNPK»

Address: Rossia, 302030, g. Orel, Moscows Street., 77

Dr. tech. , Professor, Head of the Department of service and repair of machinery

E-mail: srmostu@mail.ru

**Kulev Andrei Vladimirovich**

FGBOU VPO «State University-UNPK»

Address: Rossia, 302030, g. Orel, Moscows Street., 77

Senior lecturer of service and repair of machinery

E-mail: srmostu@mail.ru

**Katunin Andrei Alexandrovich**

FGBOU VPO «State University-UNPK»

Address: Rossia, 302030, g. Orel, Moscows Street., 77

Cand. tech. sciences, associate professor of service and repair of machinery

E-mail: srmostu@mail.ru

**Kulev Maxim Vladimirovich**

FGBOU VPO «State University-UNPK»

Address: Rossia, 302030, g. Orel, Moscows Street., 77

Cand. tech. sciences, associate professor of service and repair of machinery

E-mail: srmostu@mail.ru

**Kuleva Natalya Sergeevna**

FGBOU VPO «State University-UNPK»

Address: Rossia, 302030, g. Orel, Moscows Street., 77

Master degree

E-mail: srmostu@mail.ru

УДК 621.43.013:656.132

А.В. ПАНИЧКИН, Н.В. ГОЛУБЕНКО

## ОЦЕНКА РЕСУРСА ДВИГАТЕЛЯ АВТОБУСОВ, РАБОТАЮЩИХ НА ГАЗОВОМ ТОПЛИВЕ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В РЕЖИМЕ ГОРОДСКИХ ПЕРЕВОЗОК ПАССАЖИРОВ

*Проведены исследования практического использования автобусов, оборудованных газовыми двигателями. Рассмотрены этапы взаимодействия производителя и эксплуатанта по вопросу выявления слабых мест конструкции и доработки конструкции до эффективного уровня функционирования.*

**Ключевые слова.** *Исследования, анализ, газовое топливо, двигатель, эксплуатация, безопасность, автобусы, перевозки, пассажиры*

Проблема экологической комфортности отдельно взятого региона решается на различных уровнях, начиная с внедрения нормативных актов Правительства РФ в административных структурах города, до отдельно взятых предприятий эксплуатирующих транспортные средства. Большое внимание в настоящее время отводится вопросу контроля экологичности двигателей внутреннего сгорания специализированного транспорта, в число которых входят транспортные средства, предназначенные для пассажирских перевозок – автобусы. Учитывая сложную экономическую ситуацию и возросшее количество индивидуального транспорта на дорогах города предприятиям пассажирских перевозок требуется пересматривать организационную схему перевозки пассажиров, в тоже время сервисная служба предприятия должна переориентировать сферу услуг на усиление контроля токсичности отработанных газов двигателей автобусов.

Для оценки значимости проблемы и установления научно-практического задела ее решения проведены аналитические исследования публикаций в данной сфере. Установлено несколько направлений, активно разрабатываемых учеными: развитие теории транспортных процессов [1, 9, 10, 11, 14, 20, 21]; исследования работоспособности и ресурсных характеристик транспортных средств [3, 15, 16, 17, 18, 19]; оценка эффективности эксплуатации, экологичности и безопасности [2, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 16, 21], разработка организационно-технических мероприятий сервисного сопровождения [4, 5, 6, 7, 13]. Применение на практике отдельных результатов полученных в исследовательских работах позволило разработать для эксплуатационных предприятий имеющих на балансе транспортные средства двигатели внутреннего сгорания которых работают на жидком топливе концепцию перевода на газ.

С теоретической точки зрения переоборудование базовых автобусов работающих на жидком топливе к работе на газу позволяет существенно снизить затраты на топливо, уменьшить загрязненность среды региона. Рассматривая эксплуатационные нагрузки на ДВС работающий в условиях переменных нагрузок, большую часть смены на пониженных оборотах можно допустить, что снижение его работоспособности будет более интенсивной по сравнению с базовыми условиями, заложенными производителем.

Опыт эксплуатации пассажирского транспорта МУП «ГПТ» г. Белгорода, работающего на газовом топливе, в течение года показал динамику эффективности эксплуатации.

Анализируя техническую характеристику производителя низкопольный автобус ЛИАЗ 5292 экологического стандарта ЕЕV – это самый экологичный автобус на сегодняшний момент не только в России, но возможно и в мире. Количество вредных выбросов у этого ав-

тобуса на 60 % меньше по сравнению с аналогичным автобусом экологического стандарта Euro-4.

Автобус агрегируется газовым двигателем MAN экологического стандарта EEV (Евро-6), и автоматической коробкой ZF Ecolife. Применение надежной агрегатной базы от ведущих мировых производителей обеспечивает: моторесурс – 1 млн. км, межсервисный пробег – 30 тыс. км, минимальный расход топлива за счет применения в АКПП программы TORODIN (-5 – -15%).

Низкий уровень пола, система наклона кузова «книлинг», большая накопительная площадка, оборудованная специальными креплениями для инвалидных колясок, аппарат для въезда/съезда, удобные антивандалные сидения позволяют чувствовать себя комфортно всем категориям пассажиров. Современные силовые агрегаты не раздражают шумом в салоне и вибрацией в пути. Общая пассажировместимость ЛиАЗ-52927 EEV – 105 пассажиров, в том числе – 20 посадочных места, включая 2 места для инвалидов. Габариты автобуса – 11990 x 2500 x 3140 мм.

Следует обратить внимание на полунизкопольный автобус НЕФА3-5299-30-31 (4x2), который оборудован системой обеспечивающей работу ДВС на газу и предназначен для перевозки пассажиров по городским маршрутам. Данный автобус имеет заднее расположение двигателя. Общий объем баллонов топливной системы составляет 984 л и вмещает 197 м<sup>3</sup> КПП при давлении 200 атм.

В соответствии с нормативными требованиями, комплекты газобаллонного оборудования (ГБО) для КПП должны обязательно включать в себя следующие агрегаты и элементы:

- 1) газовый баллон (баллоны);
- 2) вспомогательное оборудование баллона, в состав которого должны входить следующие устройства:
  - заправочный блок с вентильными устройствами (наполнительный и расходный);
  - указатель уровня газа в баллоне;
  - автоматическое устройство, ограничивающее наполнение баллона до 80% его емкости;
  - предохранительный (пожарный) клапан;
  - обратный клапан;
  - скоростной клапан;
  - система вентиляции (газонепроницаемый кожух или отсек);
- 3) заправочное устройство со встроенным обратным клапаном;
- 4) газоредуцирующую аппаратуру;
- 5) магистральный запорный клапан;
- 6) газопроводы и шланги;
- 7) газосмесительное устройство;
- 8) электронный блок управления;
- 9) кронштейны и элементы крепежа.

Кроме того, ГБО может включать в себя и другие элементы:

- газовые фильтры;
- газодозирующие устройства;
- обратные и предохранительные клапаны;
- систему измерения и индикации количества газа в баллоне, расположенную в кабине водителя.

Газобаллонное оборудование, устанавливаемое на автотранспортные средства использующих в качестве моторного топлива, как газ, так и нефтяное топливо, должно включать в себя переключатель вида топлива, обеспечивающий невозможность одновременной подачи в двигатель более чем одного вида топлива

Конструкция ГБО должна обеспечивать возможность подсоединения к отдельным устройствам контрольно-диагностического оборудования для их технического обслуживания, диагностики и регулировки.

В конструкции ГБО должны быть предусмотрены устройства для отключения газовых баллонов при проведении технического обслуживания или регулировочных работ, а также возможность подсоединения к агрегатам и узлам ГБО постороннего источника газа или воздуха (без заполнения последним газовых баллонов на ГБТС).

Комплект ГБО должен обеспечивать герметичность агрегатов и узлов во всем диапазоне рабочих режимов и возможность контроля герметичности всех узлов и соединений, в том числе с помощью переносных приборов (течеискателей), без снятия и разборки каких-либо агрегатов АТС.

Наряду с вышеперечисленными преимуществами использования газового топлива, опыт эксплуатации автобусов НЕФАЗ, работающих на газовом топливе, выявил некоторые проблемы:

- увеличенный расход моторного масла, особенно при работе двигателя на холостом ходу – 3 л масла на 100 м<sup>3</sup> газа, при норме – 2,8 л. Впоследствии увеличенный расход масла в системе смазки двигателя по сравнению с нормативным был частично снижен в результате корректировочно-доводочных работ совместно с заводом-изготовителем;
- повышенный износ цилиндро-поршневой группы двигателя (ЦПГ) из-за недостаточного теплоотведения.

Отклонение параметров моторного масла от требований, предъявляемых к нему в процессе его эксплуатации в газовых двигателях, может привести к разрушению деталей ЦПГ. Это является следствием нарушения температурного режима работы ДВС и усугубляется наличием повышенного содержания сульфатной золы.

Выявленные факты ненормативного теплового режима отдельных элементов ДВС потребовали проведения более глубокого анализа причин его вызывающих и разработки мер предотвращения возможных отказов.

Для решения вопросов по устранению выявленных недостатков МУП «ГПТ» г. Белгорода осуществляет с заводом-изготовителем (ОАО «КАМАЗ») корректировочно-доводочные работы. Например, внесены изменения в конструкцию автобусов НЕФАЗ: применен модернизированный комплект ЦПГ мод. «114», применение которого позволило снизить расход масла.

Проведенная дефектация элементов цилиндро-поршневой группы выявила проблемные места (рис. 1).



Рисунок 1 – Элементы цилиндро-поршневой группы газового двигателя КАМАЗ мод. 820.61-260 автобусов НЕФАЗ 5299-30-31

На фотографиях (рис.1) в качестве примера представлен результат работы двигателя при постоянных высоких температурах, при пробеге 42 000 км (повреждение головки блока цилиндров; поршень – вид сверху).

Руководство МУП города Белгорода «Городской пассажирский транспорт» неоднократно обращалось к представителям заводов-изготовителей данных транспортных средств, с предложением об устранении производственных дефектов, из-за которых продукция теряет потребительские качества. В результате, были внесены изменения в конструкцию автобусов, в частности, с целью снижения расхода масла на угар применен модернизированный комплект ЦПГ.

С целью исключения отказа свечей и увеличения срока их службы введена замена свечей BRISK моделей LR14YS и LR15YS на платиново-иридиевые свечи зажигания фирмы BOSCH модели 024225511.

Для исключения течей охлаждающей жидкости в соединениях системы охлаждения принято решение по замене хомутов TORRO на хомуты Power Gear, не требующие дополнительной подтяжки.

По сальнику бортовой задней ступицы ведущего моста Raba, изготовителем произведена замена на манжеты фирмы «Freudenberg» (Германия).

В результате проведения сбора статистических данных по выявлению эффективности эксплуатации пассажирского транспорта, работающего на газовом топливе, на примере Муниципального унитарного предприятия города Белгорода «Городской пассажирский транспорт» выявлена существенная экономия по затратам на топливо.

Дальнейшие мероприятия обеспечивающие высокую работоспособность автобусов позволили разработать программу по выводу предприятия из кризиса и доведения его показателей работы до европейского уровня. С учетом роста доходов от перевозки пассажиров за период июль-сентябрь 2013 г. на 225,4%, деятельность МУП «ГПТ» направлена на дальнейшее повышение доходности и качества пассажирских перевозок, увеличение прибыли от оказания прочих услуг. Для достижения данной задачи с учетом текущего ремонта и технического обслуживания транспорта запланировано в течение года довести коэффициент использования парка нового подвижного состава в рабочие дни до 0,8 – 0,85 или 100-106 единиц ежедневного выпуска на линию новых автобусов и троллейбусов.

Рассматривая работу пассажирского транспорта на межрегиональном уровне взаимодействия, следует отметить уже имеющийся практический опыт одного региона, что позволит избежать технических проблем эффективной эксплуатации автобусов и снизить первичные затраты при реализации программы перевода пассажирского транспорта на газовое топливо в другом регионе.

### **ВЫВОДЫ**

Проведены аналитические исследования научно-практического задела в сфере перевода транспортных средств на газовое топливо, позволившие выявить основные направления решения проблем технического, технологического, организационного и экономического характера возникающих при этом.

Рассмотренная эффективность использования газового топлива на примере газового двигателя КАМАЗ мод. 820.61-260, установленного на автобусах НЕФАЗ 5299-30-31, выявила факторы нарушения температурного режима работы ЦПГ, что позволило установить влияние работы систем охлаждения и смазки и внести предложения производителю для устранения данного недостатка.

Опыт эксплуатации на МУП «ГПТ» г. Белгорода автобусов НЕФАЗ показал актуальность дальнейших исследований по выявлению путей повышения ресурса ДВС, работающего на газовом топливе.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Баранов, Ю. Н. Оптимизация дорожного движения на примере улично-дорожной сети г. Орла [Текст] / Д.О. Кожин, Д.Е. Алекминский, В.В. Евграшин, Ю.Н. Баранов // Вестник НЦБЖД. – 2014. - №3(21). – С.8-14.
2. Баранов, Ю. Н. Основы обеспечения безопасности в системе «человек - машина - среда» [Текст] / Ю.Н. Баранов, А.А. Катунин, Р.В. Шкрабак., Ю.Н. Брагинец // Вестник НЦБЖД. - 2014. - № 1 (19). - С. 73-76.

3. Богомолов, А. А. Структура и семантика вариационной оптимизации транспортных машин и технологических процессов в общей теории систем: монография [Текст] / А.А. Богомолов, М.В. Бунин, Н.С. Севрюгина. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2009. – 83 с.
4. Бодров, А. С. Программно-целевые подходы к управлению качеством автосервисных услуг [Текст] / А.С. Бодров, Д.О. Ломакин // Мир транспорта и технологических машин. - 2009. - № 2 (25). - С. 28-34.
5. Глаголев, С. Н. Теория оценки экономической устойчивости предприятий сервиса автомобильного транспорта [Текст] / С.Н. Глаголев, С.И. Головин, Н.С. Севрюгина // Мир транспорта и технологические машины. - 2011. - №4 (35). - С.42-45.
6. Глаголев, С. Н. Концепция разработки принципов и критериев управления потоками системы менеджмента качества для предприятий фирменного обслуживания автомобильного транспорта [Текст] / С.Н. Глаголев, Н.С. Севрюгина, Е.А. Власова // Автотранспортное предприятие. - 2012. - №7. - С.52-53.
7. Голубенко, Н. В. Об эффективности эксплуатации пассажирского транспорта, работающего на газом топливе, на примере муниципального унитарного предприятия города Белгорода «Городской пассажирский транспорт» [Текст] / Н.В. Голубенко, С.В. Латышев // Молодые ученые - альтернативной транспортной энергетике. - Воронеж. гос. лесотехн. акад. - 2014 г.
8. Зорин, В. А. Требования безопасности к наземным транспортным системам [Текст]: учебник / В.А. Зорин, В.А. Даугелло, Н. С. Севрюгина. – Белгород :БелГТУ, 2009. – 186 с.
9. Кожин, Д. О. Исследование факторов, определяющих вероятность отказа (опасного действия) водителей автотранспортных средств [Текст] /Д.О. Кожин, Д.Е. Алекминский, В.В. Евграшин, Ю.Н. Баранов // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. - 2014. - № 1. - С. 235-239.
10. Кожин, Д. О. Повышение уровня безопасности на улично-дорожной сети за счет оптимизации дорожного движения [Текст] /Д.О. Кожин, Д.Е. Алекминский, В.В. Евграшин, Ю.Н. Баранов // Наука и безопасность. – 2015. - №1(14). – С. 14-18.
11. Кожин, О. Д. Факторы, определяющие опасное действие водителя при управлении транспортным средством [Текст] / Д.О. Кожин, Д.Е. Алёкминский, В.В. Евграшин, Ю.Н. Баранов // Научные труды sworld. - 2014. - Т. 2. - № 4. - С. 3-7.
12. Лапин, А. П. Применение интегрального показателя качества при оценке биотехнических систем по критерию безопасности [Текст] / А.П. Лапин, А.Н. Новиков, Д.Н. Шопов, Р.Р.Садьков // Мир транспорта и технологических машин. - 2009. - № 3 (26). - С. 83-89.
13. Мигунова, Г. С. Повышение конкурентоспособности инновационной экономики региона [Текст]: коллективная монография / Г.С. Мигунова, Н.В. Ивлева, Э.В. Панков Ю.Н. Баранов и др. – Орел: Изд-во ОрелГТУ, 2012.
14. Новиков, А. Н. Пути снижения негативного воздействия автотранспортных потоков на качество акустической среды [Текст] / А.Н. Новиков, О.А. Иващук, В.В. Васильева // Мир транспорта и технологических машин. - 2009. - № 1. - С. - 107-111.
15. Севрюгина, Н. С. Вариационная трактовка жизненного цикла технических систем [Текст] / Н.С. Севрюгина, А.А. Богомолов // Строительные и дорожные машины. - 2010. - №10. - С. 48-52.
16. Севрюгина, Н. С. Инфографическая модель комплексной безопасности транспортных и технологических машин [Текст] / Н.С. Севрюгина // Безопасность труда в промышленности. – 2011. – № 6. – С. 72–74.
17. Севрюгина, Н. С. Метод оценки дисперсной системы «поверхность трения – моторное масло» в двигателях СДМ [Текст] / Н.С. Севрюгина, Н.В. Голубенко // Инновационные материалы, технологии и оборудование для строительства современных транспортных сооружений. – Белгород: Изд-во БГТУ. - 2013. - Т. II. - С. 226–230.
18. Севрюгина, Н. С. Совершенствование методов управления надежностью строительных и дорожных машин путем мониторинга моторных масел: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / Севрюгина Надежда Савельевна.– Орел: ОрелГТУ, 2004.
19. Севрюгина, Н. С. Теория формирования технической безопасности полного жизненного цикла транспортных и технологических машин [Текст]: монография / Н. С. Севрюгина. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. – 179 с.
20. Трясцин, А. П. Улучшение условий и охраны труда водителей, занятых перевозкой опасных грузов в агропромышленном комплексе путем разработки и внедрения инженерно-технических предложений и организационных мероприятий: Дис. ... канд.техн.наук / Трясцин Антон Павлович. - Орел, 2006.
21. Трясцин, А. П. Формирование комплексной технологической безопасности автотранспортных систем [Текст] // Мир транспорта и технологических машин. - 2013. - № 3 (42). - С. 89-94.

**Паничкин Антон Валерьевич**

ФГБОУ ВПО «Государственный университет-УНПК»

Адрес: Россия, 302030, г. Орел, ул. Московская, д. 77



Канд. техн. наук, зав. кафедры «Подъемно-транспортные и дорожные машины»  
E-mail: tepra79@yandex.ru

**Голубенко Наталья Владимировна**

ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»  
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46  
Ассистент кафедры «Сервис транспортных и технологических машин»  
E-mail: Anna-Natali@yandex.ru

---

A.V. PANICHKIN, N.V. GOLUBENKO

## **ОЦЕНКА РЕСУРСА ГАЗОВОГО ДВИГАТЕЛЯ АВТОБУСОВ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В РЕЖИМЕ ГОРОДСКИХ ПЕРЕВОЗОК ПАССАЖИРОВ**

*The research of practical use of buses equipped with gas engines has been conducted. The stages of interaction between the manufacturer and the operator on the question of identifying weak points of the design and refinement of the structure to an effective operation level have been considered.*

**Keywords.** *research, analysis, gas fuel, engine, operation, safety, buses, transportation, passengers.*

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Baranov, YU. N. Optimizatsiya dorozhnogo dvizheniya na primere ulichno-dorozhnoy seti g. Orla [Tekst] / D.O. Kozhin, D.E. Alekminskiy, V.V. Evgrashin, YU.N. Baranov // Vestnik NTSBZHD. - 2014. - №3(21). - S.8-14.
2. Baranov, YU. N. Osnovy obespecheniya bezopasnosti v sisteme "chelovek - mashina - sreda" [Tekst] / YU.N. Baranov, A.A. Katunin, R.V. SHkrabak., YU.N. Braginets // Vestnik NTSBZHD. - 2014. - № 1 (19). - S. 73-76.
3. Bogomolov, A. A. Struktura i semantika variatsionnoy optimizatsii transportnykh mashin i tekhnologicheskikh protsessov v obshchey teorii sistem: monografiya [Tekst] / A.A. Bogomolov, M.V. Bunin, N.S. Sevryugina. - Belgorod: Izd-vo BGTU, 2009. - 83 s.
4. Bodrov, A. S. Programmno-tselevye podkhody k upravleniyu kachestvom avtoservisnykh uslug [Tekst] / A.S. Bodrov, D.O. Lomakin // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2009. - № 2 (25). - S. 28-34.
5. Glagolev, S. N. Teoriya otsenki ekonomicheskoy ustoychivosti predpriyatiy servisa avtomobil'nogo transporta [Tekst] / S.N. Glagolev, S.I. Golovin, N.S. Sevryugina // Mir transporta i tekhnologicheskie mashi-ny. - 2011. - №4 (35). - S.42-45.
6. Glagolev, S. N. Kontseptsiya razrabotki printsipov i kriteriev upravleniya potokami sistemy medzhmenta kachestva dlya predpriyatiy firmennogo obsluzhivaniya avtomobil'nogo transporta [Tekst] / S.N. Glagolev, N.S. Sevryugina, E.A. Vlasova // Avtotransportnoe predpriyatie. - 2012. - №7. - S.52-53.
7. Golubenko, N. V. Ob effektivnosti ekspluatatsii passazhirskogo transporta, rabotayushchego na gazo-vom toplive, na primere munitsipal'nogo unitarnogo predpriyatiya goroda Belgoroda "Gorodskoy passazhir-skiy transport" [Tekst] / N.V. Golubenko, S.V. Latyshev // Molodye uchenye - al'ternativnoy transportnoy energetike. - Voronezh. gos. lesotekhn. akad. - 2014 g.
8. Zorin, V. A. Trebovaniya bezopasnosti k nazemnym transportnym sistemam [Tekst]: uchebnik / V.A. Zorin, V.A. Daugello, N. S. Sevryugina. - Belgorod :BelGTU, 2009. - 186 c.
9. Kozhin, D. O. Issledovanie faktorov, opredelyayushchikh veroyatnost' otkaza (opasnogo deystviya) vodi-teley avtotransportnykh sredstv [Tekst] /D.O. Kozhin, D.E. Alekminskiy, V.V. Evgrashin, YU.N. Baranov // Al'ternativnye istochniki energii v transportno-tekhnologicheskom komplekse: problemy i perspektivy ratsio-nal'nogo ispol'zovaniya. - 2014. - № 1. - S. 235-239.
10. Kozhin, D. O. Povyshenie urovnya bezopasnosti na ulichno-dorozhnoy seti za schet optimizatsii dorozh-nogo dvizheniya [Tekst] /D.O. Kozhin, D.E. Alekminskiy, V.V. Evgrashin, YU.N. Baranov // Nauka i bezo-pasnost'. - 2015. - №1(14). - S. 14-18.
11. Kozhin, O. D. Faktory, opredelyayushchie opasnoe deystvie voditelya pri upravlenii transportnym sredstvom [Tekst] / D.O. Kozhin, D.E. Aliokminskiy, V.V. Evgrashin, YU.N. Baranov // Nauchnye trudy sworld. - 2014. - T. 2. - № 4. - S. 3-7.
12. Lapin, A. P. Primenenie integral'nogo pokazatelya kachestva pri otsenke biotekhnicheskikh sistem po kriteriyu bezopasnosti [Tekst] / A.P. Lapin, A.N. Novikov, D.N. Shopov, R.R.Sadykov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2009. - № 3 (26). - S. 83-89.

13. Migunova, G. S. Povyshenie konkurentosposobnosti innovatsionnoy ekonomiki regiona [Tekst]: kollektivnaya monografiya / G.S. Migunova, N.V. Ivleva, E.V. Pankov YU.N. Baranov i dr. - Orel: Izd-vo Orel-GTU, 2012.
14. Novikov, A. N. Puti snizheniya negativnogo vozdeystviya avtotransportnykh potokov na kachestvo akusticheskoy sredy [Tekst] / A.N. Novikov, O.A. Ivashchuk, V.V. Vasil'eva // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2009. - № 1. - S. - 107-111.
15. Sevryugina, N. S. Variatsionnaya traktovka zhiznennogo tsikla tekhnicheskikh sistem [Tekst] / N.S. Sevryugina, A.A. Bogomolov // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. - 2010. - №10. - S. 48-52.
16. Sevryugina, N. S. Infograficheskaya model' kompleksnoy bezopasnosti transportnykh i tekhnologicheskikh mashin [Tekst] / N.S. Sevryugina // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. - 2011. - № 6. - S. 72-74.
17. Sevryugina, N. S. Metod otsenki dispersnoy sistemy "poverkhnost' treniya - motornoe maslo" v dvigatelyakh SDM [Tekst] / N.S. Sevryugina, N.V. Golubenko // Innovatsionnye materialy, tekhnologii i oborudovanie dlya stroitel'stva sovremennykh transportnykh sooruzheniy. - Belgorod: Izd-vo BGTU. - 2013. - T. II. - S. 226-230.
18. Sevryugina, N. S. Sovershenstvovanie metodov upravleniya nadezhnost'yu stroitel'nykh i dorozhnykh mashin putem monitoringa motornykh masel: Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk / Sevryugina Nadezhda Savel'ev-na.- Orel: OrelGTU, 2004.
19. Sevryugina, N. S. Teoriya formirovaniya tekhnicheskoy bezopasnosti polnogo zhiznennogo tsikla transportnykh i tekhnologicheskikh mashin [Tekst]: monografiya / N. S. Sevryugina. - Belgorod: Izd-vo BGTU, 2012. - 179 s.
20. Tryastin, A. P. Uluchshenie usloviy i okhrany truda voditeley, zanyatykh perevozkoy opasnykh грузов v agropromyshlennom komplekse putem razrabotki i vnedreniya inzhenerno-tekhnicheskikh predlozheniy i organizatsionnykh meropriyatiy: Dis. ... kand. tekhn. nauk / Tryastin Anton Pavlovich. - Orel, 2006.
21. Tryastin, A. P. Formirovanie kompleksnoy tekhnologicheskoy bezopasnosti avtotransportnykh sistem [Tekst] // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2013. - № 3 (42). - S. 89-94.

**Panichkin Anton Valer'evich**

FGBOU VPO "State University-UNPK"

Address: Russia, 302030, Orel, ul. Moscow, d. 77

Kand. tehn. Science, Head. Department of "handling and road machines"

E-mail: teppa79@yandex.ru

**Golubenko Natalia Vladimirovna**

FGBOU VPO "Belgorod State Technological University. VG Shukhov "

Address: Russia, 308012, Belgorod, ul. Kostyukova 46

Assistant Professor "Service of transport and technological machines"

E-mail: Anna-Natali@yandex.ru

*Продолжается подписка на журнал  
«Мир транспорта и  
технологических машин»*

*Подписной индекс журнала:*

*16376 («Пресса России»)*

*Подписка через редакцию:*

*(с любого месяца)*

*Информация о подписке на нашем сайте*

*[www.gu-unpk.ru](http://www.gu-unpk.ru)*

*Тел. +7 (4862) 43-48-90*

УДК 330.1 (470)

В.А. КОРЧАГИН, Ю.Н. РИЗАЕВА, Т.В. КОРЧАГИНА

## **МОДЕЛЬ ПОИСКА БИОСФЕРНО-СОВМЕСТИМОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СОЦИОПРИРОДОЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

*Разработана методология организации и управления в социоприродоэкономической транспортной системе (СПЭТС). На основе экологического подхода, с учетом предложенных критериев: минимизация ресурсоматериалоемкости продукта (услуги) и ресурсоэнергоёмкости производства, разработаны концептуальные и теоретические положения поиска оптимальных управленческих решений при функционировании открытых СПЭТС в реальных условиях эксплуатации транспортных средств; модель системы управления СПЭТС, позволяющая поддерживать биосферно-нормативное равновесие и сбалансированность взаимодействия всех подсистем СПЭТС.*

**Ключевые слова:** транспортная система, окружающая среда, эффективность.

В настоящее время возникла актуальная задача оптимального совмещения научно - технической и хозяйственной деятельности человека с процессами, протекающими в биосфере. Развитие человеческого общества привело к тому, что природные экосистемы постепенно вытесняются системами, имеющими антропогенную составляющую. Устойчивое функционирование таких систем возможно только при выполнении принципа сбалансированности: совокупная антропогенная нагрузка, включающая вся сумма техногенного воздействия на экологическую подсистему от изъятия природных ресурсов до техногенного загрязнения, не должна превосходить самовосстановительного потенциала последней. Такие системы названы социоприродоэкономическими системами (СПЭС) - это часть техносферы и биосферы, ограниченная определенной территорией, где природные, социальные и производственные составляющие и процессы связаны взаимоподдерживающими, взаимовлияющими потоками вещества, энергии и информации. Требования баланса природных и производственных потенциалов территории наиболее полно реализованы в границах сбалансированной СПЭС, в которой природные и технические объекты так взаимосвязаны, что функционируют как единое целое. Целостность достигается вещественно - энергетическими и информационными потоками (связями) в процессе производственной деятельности.

Необходимо обеспечить такое взаимодействие подсистем, при котором сохранятся свои источники саморазвития и вместе с тем позволяет оптимально и устойчиво функционировать всей социоприродоэкономической системой, как сложной открытой саморазвивающейся. Нужно высокое развитие каждого элемента системы и их адекватное соответствие друг другу. Только в этом случае мы сможем понять, как образуется целостность, не сводимая к простой сумме элементов.

Система как целое не лишь простая сумма частей или элементов, а она формируется как их гармоничное и оптимальное взаимодействие, дающее новое надсистемное качество. Целостность выступает и как теория целого и как некоторое надсистемное образование нового качества при обеспечении надежности и безопасности работы системы. Целостность выступает фундаментом частей и продуктом их гармоничного взаимодействия.

С точки зрения целостного отношения к Природе предполагается в качестве основного условия целостность культуры, а, следовательно, плотную и слаженную связь науки с экологией, искусством, философией и т.д. Действуя в данном направлении, наука вынуждена будет отступить от курса только на технический прогресс. Экономический рост, который достигается путем разрушения человеческой жизни и природной среды, не является развитием.

Для достижения целостности человека и Природы, наука обязана постигать естествен-

ные законы Природы, которые показывают ее душу, язык, свободу, любовь, добиваясь комплексного постижения и переживания. Существующая экологическая ситуация грозит масштабным экологическим кризисом, так как современное поколение продолжает отрицательно влиять на механизм целостного функционирования биосферы в планетарном масштабе.

Рассмотрение существующих тенденций социоприродоэкономического развития приводит к выводу о назревшей коренной трансформации самой стратегии человеческой жизнедеятельности, сущность которой – переход от неконтролируемых изменений в биосфере и человечестве в область рациональных социоэкологоэкономических решений.

Существует объективная необходимость экологизации и экономизации экологии. Ни земля, ни труд, ни капитал не функционируют по законам реального товарного производства. Составляя “социальную ткань” общества, взаимодействуют на социально-экологических законах и принципах. Нужно обеспечить экологическое воспроизводство, то есть воспроизводство условий предстоящего воспроизводства, поскольку вне процессов, происходящих в экологии, все рассуждения о возможностях производства материальных благ, услуг и сохранения тем самым условий воспроизводства главной производительной силы являются абсурдными.

Достижение реального единства человечества необходимо для успешного контроля людей над собственной эволюцией, а также дальнейшим развитием биосферы.

Перед наукой встают актуальные микрозадачи: возможные механизмы приспособленности биосферы к условиям, созданным человеком; изучение возможности развития новых биологических свойств самого человека к меняющейся природной среде; и макрозадачи: выявление закономерностей, протекающих в биосфере, вызванным объединением в целостную систему естественной биосферы и техносферы.

В условиях конкуренции на транспортно-логистическом рынке ежедневно возникают все новые проблемы, требующие скорого разрешения. Несомненно, большинство из них будут решены при условии применения менеджером по логистике социоприродоэкономической транспортной системы современных транспортно-логистических технологий.

Достижение эффективности функционирования СПЭТС обуславливается необходимостью выстраивать взаимоотношения для всех элементов, входящих в ее состав в соответствии со своими потребностями и эколого-экономическими интересами. Для эффективного функционирования социоприродоэкономической транспортной системы необходимо иметь достаточный объем информации для того, чтобы объективно оценивать ситуацию во внешней и природной средах, производить анализ собственной деятельности, снижать экологические опасности.

Для решения этих проблем, а также всех взаимосвязанных с ними, необходимо осуществить переход к системе более высокого порядка, рассматривающей отношения множества существующих составляющих СПЭТС. На рис. 1 отражено системное представление управления СПЭТС с позиций кибернетического подхода управления.

Со стороны внешней среды на объект управления (ОУ) действуют возмущающие воздействия  $F_v$ , а со стороны окружающей среды – воздействия  $F_n$ . Информация о возмущающих воздействиях  $F_v$  и  $F_n$  используется в управляющей системе (УС) для выработки управляющего воздействия  $U$ . На вход УС подается задающее воздействие  $G$ , содержащее информацию о цели управления, т.е. о предписанном (заданном) значении  $Y$ .

В статье рассматривается система управления, в которой используется информация о четырех воздействиях:  $G_i$ ,  $Y_i$ ,  $F_{vi}$  и  $F_{ni}$ . Информация о значении возмущающего воздействия  $F_{vi}$  и  $F_{ni}$  позволяет УС работать с предвидением, т.е. начинать компенсацию внешнего возмущения, нарушающего нормальную работу ОУ раньше, чем возникнет достаточно большое отклонение.

Текущей информации может быть недостаточно, поэтому ее необходимо восполнять с

помощью фильтрации результатов имеющихся измерений. Подобный блок уравнивания - фильтр оценивания состояния подсистем СПЭТС - включают в цепи обратной связи перед регулятором. Одновременно, актуальная постоянная информация содержит константы и ограничения регулятора, константы и ограничения фильтра оценивания состояния СПЭТС.

Текущая информация поступает в идентификатор, где вырабатываются параметры модели, передаваемые в фильтр оценивания.

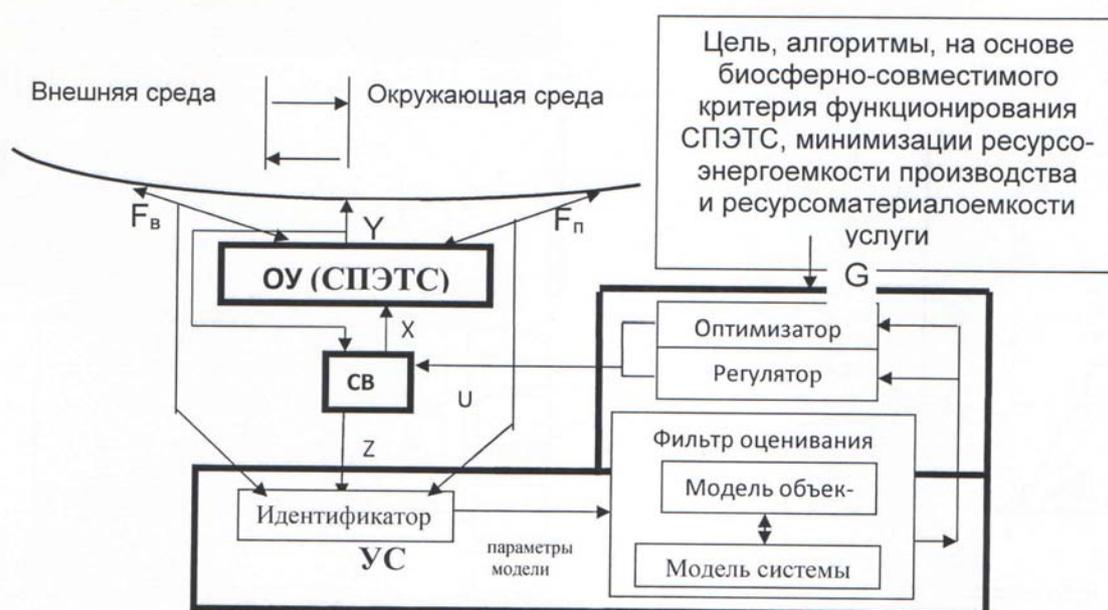


Рисунок 1 - Системное представление управления социоприродоэкономической системой

Фильтр восполняет информацию с помощью фильтрации результатов имеющихся измерений и производит сравнение заданной модели с полученной в результате функционирования СПЭТС, ориентируясь на биосферно-совместимый критерий (цель) оптимизации. В зависимости от отклонения выходной величины  $Y$  от биосферно-совместимого значения принимается управленческое решение (направленное на определение значений управляющих воздействий (входов  $G_i$ ,  $F_{Bi}$ ,  $F_{Pi}$ ) и соответствующего им значения выхода  $Y_i$ , удовлетворяющего заданному критерию оптимальности) о применении оптимизатора или регулятора через систему связи (СВ) и вырабатывается управляющее воздействие  $U$  на СПЭС. Объект управления создает воздействие  $Y$  на окружающую и внешнюю среды. Воздействие  $Y$  характеризует желаемое состояние или положение ОУ и называется управляемой величиной.

Целью моделирования является оценка отклонения выходной величины  $Y$  от биосферно-совместимого значения. Отклонение  $Y$  от входных воздействий  $G, F_B, F_n$  имеет вид

$$\sigma_Y = \sqrt{\sigma_G^2 + \sigma_{F_B}^2 + \sigma_{F_n}^2}, \quad (1)$$

где  $\sigma_G$  - отклонение задающего воздействия от биосферно-совместимого значения;

$\sigma_{F_B}$  - отклонение воздействия внешней среды от биосферно-совместимого значения;

$\sigma_{F_n}$  - отклонение воздействия окружающей среды от биосферно-совместимого значения.

Отличительной особенностью предлагаемого подхода является разделение на два последовательных действия задач исследования СПЭТС и управления ей, что позволяет оптимально управлять СПЭТС и, одновременно, получать меняющиеся в результате протекания транспортного процесса данные о свойствах СПЭТС для последующего совершенствования применяемых методов управления. Немаловажным преимуществом является возможность избежать дестабилизирующего воздействия отдельных каналов друг на друга, поскольку в рассматриваемой схеме управляющие воздействия на модель могут быть выбраны таким образом, чтобы они сразу удовлетворяли оптимальным траекториям всех выходов. СПЭТС

должна компенсировать действие помех и возвращаться в равновесное состояние.

Использование результатов модели позволяют осуществлять поиск эффективных решений по проблемам согласования экологических и экономических интересов общества и по вопросам улучшения поддержания равновесия и сбалансированности взаимодействия всех подсистем СПЭТС.

На основе экологического подхода разработана модель системы управления СПЭТС, позволяющая обеспечить: экологически улучшенное и эффективное грузодвижение в городе; поддержание нормативного равновесия и сбалансированности взаимодействия всех подсистем СПЭТС.

Создание данной системы управления представляется полезным и прогрессивным, так как появилась возможность при поиске наиболее экономически эффективного варианта доставки грузов учитывать критерии: минимизация ресурсоэнергоёмкости производства и ресурсоматериалоемкости услуги; уровень экоэффективности и экологизации производства.

В условиях глобализации и необходимости использования в транспортной отрасли энерго- и ресурсоэффективных технологий, а также в связи с вступлением России в ВТО социально-ориентированные отрасли экономики приобретают стратегический характер, что требует социально-ответственного ведения бизнеса в соответствии с принципами устойчивого развития, принятыми Международной конференцией по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро в 1992 г. Данная тенденция реализуется при организации эффективных бизнес-процессов промышленных предприятий и на транспорте в индустриально развитых государствах. Организация эффективного грузодвижения в городе с учетом требований эколого-логистического менеджмента и энергоменеджмента позволяет оптимизировать использование материальных и топливно-энергетических ресурсов и уменьшить совокупные затраты на доставку грузов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корчагин, В. А. Ноосферологические подходы создания социоприродоэкономических транспортно-логистических систем [Текст] / В. А. Корчагин, Ю. Н. Ризаева // Автотранспортное предприятие. - 2012. - № 1. - С.45-48.
2. Корчагин, В. А. Научно-обоснованное управление открытыми автотранспортными системами [Текст] / В. А. Корчагин, Ю. Н. Ризаева, Т. В. Корчагина // Фундаментальные исследования. - 2012. - № 11. - С. 148-152.
3. Корчагин, В. А. Научные основы организации эффективного грузодвижения [Текст]: монография / В. А. Корчагин, А. А. Турсунов, Ю. Н. Ризаева. - Душанбе: ТТУ, 2012. – 160 с.
4. Корчагин, В. А. Экономическая новая экономика [Текст]: монография / В. А. Корчагин. - Липецк/ЛГТУ, 2006. – 200 с.
5. Корчагин, В. А. Современная экология [Текст]: учебное пособие. - Липецк: ЛГТУ. - Ч.1. - 2011. – 160 с.
6. Брума, Е. В. К расчету параметра биосферной совместимости урбанизированной территории [Текст] / С. Г. Емельянов, Е. В. Брума // Биосферная совместимость: человек, регионы, технологии. – 2013. - №3. – С.3–11.
7. Новиков, А. Н. Современные подходы к управлению перевозками грузов автомобильным транспортом [Текст] / А. Н. Новиков, А. А. Катунин, А. Н. Семкин // Мир транспорта и технологических машин. - 2015. - № 1 (48). - С. 119-126.
8. Корчагин, В. А. Экологическая безопасность социоприродоэкономических транспортных систем в свете целостности [Текст] / В. А. Корчагин, Л. П. Станкевич, А. А. Турсунов, Ю. Н. Ризаева // Вестник ТТУ, Душанбе. - 2013. - № 2. - С. 155 - 160.
9. Корчагин, В. А. Управление транспортными потоками в регионе [Текст] / В. А. Корчагин, Ю. Н. Ризаева // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. - Пермь: ПНИПУ. - 2013. - С. 202-206.
10. Корчагин, В. А. Создание инновационной экоэкономики на базе новых знаний [Текст] / В. А. Корчагин, Ю. Н. Ризаева, Т. В. Корчагина // Транспортные системы Сибири. Проблемы безопасности. - Красноярск: СФУ. - 2013. - С. 15-21.
11. Корчагин, В. А. Построение синхронизированной и эффективной логистической цепи поставок [Текст] / В. А. Корчагин, А. Н. Новиков, Ю. Н. Ризаева // Мир транспорта и технологических машин. - 2014. - № 4. - С. 139-142.

**Корчагин Виктор Алексеевич**

ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет»

Адрес: Россия, 398600, г. Липецк, ул. Московская, д.30

Заслуженный деятель науки РФ, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Управление автотранспортом»

E-mail: kafedrauat@mail.ru

**Ризаева Юлия Николаевна**

ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет»

Адрес: Россия, 398600, г. Липецк, ул. Московская, д.30

Канд. экон. наук, доцент кафедры «Управление автотранспортом»

E-mail: rizaeva.u.n@yandex.ru

**Корчагина Татьяна Викторовна**

ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет»

Адрес: Россия, 398600, г. Липецк, ул. Московская, д.30

Канд. экон. наук, доцент кафедры «Управление автотранспортом»

E-mail: rizaeva.u.n@yandex.ru

---

V.A. KORCHAGIN, YU.N. RIZAEVA, T.V. KORCHAGINA

## MODELSEARCHBIOSPHERE-COMPATIBLEOPERATION TRANSPORT SOCIO NATURE OF THE ECONOMIC SYSTEM

*The developed methodology of organization and management in socio-economic nature of the transport system (SENTS). Based on the ecological approach, taking into account the proposed criteria is to minimize the resource consumption of materials of the product (service) and resource intensity of production, has developed a conceptual and theoretical positions of finding optimal managerial decisions in the operation of open SENTS in real conditions of a vehicle; a model of the control system of SENTS, creating a biosphere-regulatory equilibrium and the balanced interaction of all subsystems of SENTS.*

**Keywords:** transport, environment, efficiency.

### BIBLIOGRAPHY

1. Korchagin, V. A. Noosferologicheskie podkhody sozdaniya sotsioprirodoekonomicheskikh transportno-logicheskikh sistem [Tekst] / V. A. Korchagin, YU. N. Rizaeva // Avtotransportnoe predpriyatie. - 2012. - № 1. - S.45-48.
2. Korchagin, V. A. Nauchno-obosnovannoe upravlenie otkrytymi avtotransportnymi sistemami [Tekst] / V. A. Korchagin, YU. N. Rizaeva, T. V. Korchagina // Fundamental' nye issledovaniya. - 2012. - № 11. - S. 148-152.
3. Korchagin, V. A. Nauchnye osnovy organizatsii effektivnogo gruzodvizheniya [Tekst]: monografiya / V. A. Korchagin, A. A. Tursunov, YU. N. Rizaeva. - Dushanbe: TTU, 2012. - 160 c.
4. Korchagin, V. A. Ekonravstvennaya novaya ekonomika [Tekst]: monografiya / V. A. Korchagin. - Lipetsk/LGTU, 2006. - 200 c.
5. Korchagin, V. A. Sovremennaya ekologiya [Tekst]: uchebnoe posobie. - Lipetsk: LGTU. - CH.1. - 2011. - 160 s.
6. Bruma, E. V. K raschetu parametra biosfernoy sovmestimosti urbanizirovannoy territorii [Tekst] / S. G. Emel'yanov, E. V. Bruma // Biosfer'naya sovmestimost': chelovek, regiony, tekhnologii. - 2013. - №3. - S.3-11.
7. Novikov, A. N. Sovremennye podkhody k upravleniyu perevozkami gruzov avtomobil'nym transportom [Tekst] / A. N. Novikov, A. A. Katunin, A. N. Semkin // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2015. - № 1 (48). - S. 119-126.
8. Korchagin, V. A. Ekologicheskaya bezopasnost' sotsioprirodoekonomicheskikh transportnykh sistem v svete tselostnosti [Tekst] / V. A. Korchagin, L. P. Stankevich, A. A. Tursunov, YU. N. Rizaeva // Vestnik TTU, Dushanbe. - 2013. - № 2. - C. 155 - 160.
9. Korchagin, V. A. Upravlenietransportnymi potokami v regione [Tekst] / V. A. Korchagin, YU. N. Rizaeva // Modernizatsiya i nauchnye issledovaniya v transportnom komplekse. - Perm': PNIPU. - 2013. - S. 202-206.
10. Korchagin, V. A. Sozdanie innovatsionnoy ekoekonomiki na baze novykh znaniy [Tekst] / V. A. Korchagin, YU. N. Rizaeva, T. V. Korchagina // Transportnye sistemy Sibiri. Problemy bezopasnosti. - Krasnoyarsk: SFU. - 2013. - S. 15-21.

11. Korchagin, V. A. Postroenie sinkhronizirovannoy i effektivnoy logisticheskoy tsepi postavok [Tekst] / V. A. Korchagin, A. N. Novikov, YU. N. Rizaeva // *Мир транспорта и технологических машин*. - 2014. - № 4. - S. 139-142.

**Korchagin Viktor Alekseevich**

FGBOU VPO "Lipetsk State Technical University"

Address: Russia, 398600, Lipetsk, st. Moscow, d.30

Honored Worker of Science, Doctor of Engineering. , Professor, Head of Department of "Management of auto-transport"

E-mail: kafedrauat@mail.ru

**Rizaeva Yulia Nikolaevna**

FGBOU VPO "Lipetsk State Technical University"

Address: Russia, 398600, Lipetsk, st. Moscow, d.30

Kand. ehkon. professor of "Management by road"

E-mail: rizaeva.u.n@yandex.ru

**Korchagin Tatiana Viktorovna**

FGBOU VPO "Lipetsk State Technical University"

Address: Russia, 398600, Lipetsk, st. Moscow, d.30

Kand. ehkon. professor of "Management by road"

E-mail: rizaeva.u.n@yandex.ru

*Продолжается подписка на журнал  
«Мир транспорта и  
технологических машин»*

*Подписной индекс журнала:*

*16376 («Пресса России»)*

*Подписка через редакцию:*

*(с любого месяца)*

*Информация о подписке на нашем сайте*

*[www.gu-unpk.ru](http://www.gu-unpk.ru)*

*Тел. +7 (4862) 43-48-90*

УДК 629.3.083 (076)

Ю.В. РОДИОНОВ, М.Ю. ОБШИВАЛКИН, Н.В. ПАУЛИ

## УЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НАРАБОТКИ

*Важным направлением развития технической эксплуатации автомобилей является получения зависимостей изменения эффективности эксплуатации подвижного состава от наработки. Это позволит оценить интенсивность изменения технического состояния грузовых автомобилей с накоплением пробега.*

**Ключевые слова:** эксплуатация, надежность, эффективность, автомобили, ресурс.

Для оценки эффективности эксплуатации конкретной марки автомобиля необходимо учитывать затраты, необходимые на приобретение новой единицы автотранспорта, а также некоторую компенсацию расходов за счет продажи отработавшего свой ресурс автомобиля [1, 2, 3]. Известно, что с течением наработки стоимость автомобиля снижается [4-7]. В общем виде можно записать:

$$Z_{авт} = F Z_{авт}(x), \quad (1)$$

где  $F_{Z_{авт}}$  - функция изменения стоимости автомобиля с наработкой;

$x$  – наработка, лет эксплуатации либо км пробега.

Зависимость изменения стоимости  $Z_{авт}$  носит экспоненциальный характер [1]. Для получения зависимости потребуется изучение стоимости подвижного состава от наработки [9, 11]. Установление стоимости автомобиля на  $t$ -м году эксплуатации можно выполнять с учетом существующих методик по оценке остаточной стоимости [2].

Предложено ввести коэффициент изменения стоимости автомобиля в зависимости от наработки:

$$K_{Z_{авт}}^t = \frac{Z_{авт}^t}{Z_{авт}^1}, \quad (2)$$

где  $Z_{авт}^1, Z_{авт}^t$  - рыночная стоимость автомобиля соответственно на 1-м и  $t$ -м году эксплуатации, руб.

Производительность автомобилей изменяется в зависимости от возраста [11-15]. Именно поэтому в условиях автотранспортных предприятий выполняется замена подвижного состава с достижением автомобилями предельного состояния [16-18]. Изменение производительности на  $t$ -м году эксплуатации  $W^t$  можно выразить через коэффициент изменения производительности:

$$K_W^t = \frac{W^t}{W^1}, \quad (3)$$

где  $W^1$  - производительность автомобиля на первом году эксплуатации, т·км.

Тогда:

$$W^t = W^1 K_W^t. \quad (4)$$

Известно, что с течением наработки техническое состояние подвижного состава непрерывно изменяется, и с достижением некоторого пробега начинают отказывать различные сложные системы, которые требуют соответствующего дорогостоящего ремонта и замен элементов [19-21]. Изменение себестоимости перевозок связано со снижением затрат на ре-

монтаж устаревшей техники, можно выразить через коэффициент изменения себестоимости перевозок  $K_{3w}$ , который будет характеризовать величину затрат на поддержание работоспособности (аналогично [22]):

$$K_{3w}^t = \frac{3_{под}^t}{3_{под}^1}, \quad (5)$$

где  $3_{под}^t$ ,  $3_{под}^1$  - затраты соответственно на 1-м и  $t$ -м году эксплуатации, которые зависят от наработки подвижного состава, руб.

Тогда:

$$3_{под}^t = K_{3w}^t \cdot 3_{под}^1. \quad (6)$$

Коэффициенты  $K_{3w}^t$  и  $K_{3w}^1$ , характеризующие техническую эффективность эксплуатации автомобилей, не могут оценить эффективность как с точки зрения техники, так и с точки зрения экономики, почему был рассмотрен комплекс представленных показателей. Применение комплекса показателей дает возможность оценить техническую и экономическую эффективность подвижного состава.

Практическое применение предложенных коэффициентов, комплексно характеризующих эффективность эксплуатации подвижного состава, было выполнено на базе крупных действующих автотранспортных предприятий города Ульяновска. Всего в исследовании участвовало 93 грузовых автомобиля исполнения в виде седельного тягача.

В таблице 1 представлены значения коэффициентов изменения стоимости автомобиля для 10 лет эксплуатации. Расчет стоимости автомобилей выполнялся по известной методике Ю.В. Андрианова [2]. Базовым было принято значение первого года эксплуатации автомобилей.

Таблица 1 - Значения коэффициента изменения стоимости автомобиля для 10 лет эксплуатации

Автомобиль	Год эксплуатации									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Камаз	1	0,920	0,847	0,780	0,717	0,660	0,608	0,559	0,515	0,474
Вольво	1	0,904	0,817	0,738	0,667	0,603	0,545	0,492	0,445	0,402
Мерседес	1	0,938	0,880	0,825	0,774	0,725	0,680	0,638	0,598	0,561
Скания	1	0,922	0,850	0,784	0,723	0,667	0,615	0,567	0,523	0,482
Рено	1	0,918	0,842	0,773	0,710	0,651	0,598	0,549	0,504	0,462
Маз	1	0,890	0,792	0,705	0,628	0,559	0,498	0,443	0,394	0,351

На рисунке 1 представлены полученные зависимости коэффициента изменения стоимости автомобиля  $K_{3w}^t$  от наработки. Предложены функциональные зависимости изменения показателя с указанием коэффициента достоверности аппроксимации.

Для характеристики изменения стоимости автомобилей принята экспоненциальная зависимость от наработки. Наиболее слабая интенсивность падения стоимости у автомобилей марки Мерседес. К десятому году эксплуатации его стоимость составляет более 50 % от первоначальной. Стоимость автомобилей марки МАЗ снижается наиболее интенсивно и за десять лет эксплуатации составляет менее 40 % от первоначальной.

В таблице 2 представлены значения коэффициентов изменения производительности автомобилей  $K_{W}^t$  для 10 лет эксплуатации. Базовым значением была принята производительность первого года эксплуатации автомобилей.

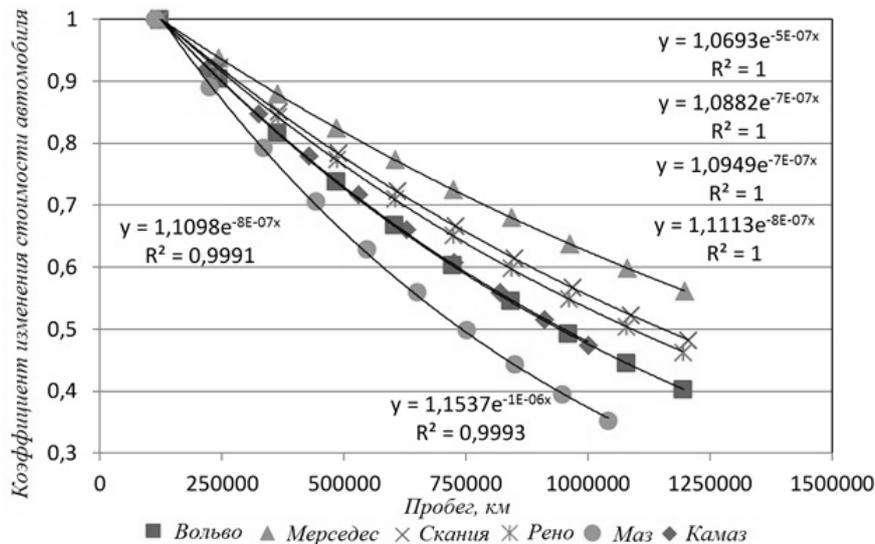


Рисунок 1 - Зависимости коэффициента изменения стоимости автомобиля от наработки

Таблица 2 - Значения коэффициентов изменения производительности

Автомобиль	Год эксплуатации									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Камаз	1,000	0,979	0,958	0,936	0,915	0,894	0,873	0,852	0,830	0,809
Вольво	1,000	0,996	0,992	0,988	0,985	0,981	0,977	0,973	0,969	0,965
Мерседес	1,000	0,996	0,992	0,988	0,985	0,981	0,977	0,973	0,969	0,965
Скания	1,000	0,996	0,992	0,989	0,985	0,981	0,977	0,973	0,969	0,966
Рено	1,000	0,995	0,990	0,985	0,980	0,974	0,969	0,964	0,959	0,954
Маз	1,000	0,981	0,962	0,942	0,923	0,904	0,885	0,866	0,846	0,827

По значениям годовой производительности автомобилей была получена зависимость данного показателя от наработки. С учетом значения годового пробега автомобилей, который непосредственно зависел от коэффициента технической готовности автомобилей, был проведен корреляционно-регрессионный анализ и получена функция, по которой изменяется показатель в зависимости от пробега. На рисунке 2 представлены результаты анализа – зависимости коэффициента изменения производительности от пробега.

Общий анализ результатов говорит о том, что просматривается деление автомобилей на 2 группы: автомобили отечественного и зарубежного производства. Причем производительность отечественных автомобилей снижается с более высокими темпами в зависимости от наработки. Наибольшую интенсивность падения показателя имеет автомобиль марки КАМАЗ. Наиболее стабильные значения производительности получены для автомобилей марок Вольво, Мерседес и Скания.

Среднегодовой пробег автомобилей составляет 125 тыс. км. Производительность зарубежных автомобилей выше, чем у отечественных в начале эксплуатации на 10-15 %. С наработкой разница растет, и к 10 году становится более 30 %. Наиболее высокое значение коэффициента производительности  $K_{\text{пр}}$  получено по значениям производительности автомобиля Скания R.

В таблице 3 представлены значения коэффициентов изменения затрат на поддержание работоспособности автомобилей для 10 лет эксплуатации. Базовым было также принято значение первого года эксплуатации автомобилей.

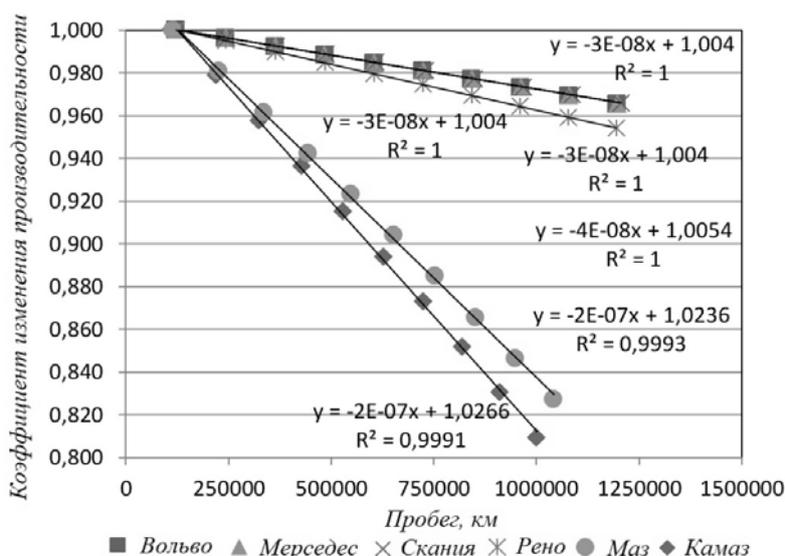


Рисунок 2 - Зависимости коэффициента изменения производительности от наработки

Таблица 3 - Значения коэффициентов изменения производительности для 10 лет эксплуатации

Автомобиль	Год эксплуатации									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Камаз	1	1,088	1,176	1,264	1,352	1,440	1,528	1,615	1,703	1,791
Вольво	1	1,024	1,049	1,073	1,098	1,122	1,147	1,171	1,195	1,220
Мерседес	1	1,066	1,132	1,198	1,264	1,330	1,396	1,463	1,529	1,595
Скания	1	1,047	1,093	1,140	1,187	1,233	1,280	1,327	1,373	1,420
Рено	1	1,020	1,039	1,059	1,078	1,098	1,117	1,137	1,156	1,176
Маз	1	1,085	1,169	1,254	1,339	1,423	1,508	1,593	1,678	1,762

Далее, по значениям годовых затрат на поддержание работоспособности автомобилей была получена зависимость данного показателя от наработки. С учетом значения годового пробега автомобилей, который непосредственно зависел от коэффициента технической готовности автомобилей, был проведен корреляционно-регрессионный анализ и получена функция, по которой изменяется показатель в зависимости от пробега. На рисунке 3 представлены зависимости коэффициента изменения затрат на поддержание работоспособного состояния от пробега с указанием наименования функции, а также коэффициента достоверности аппроксимации, характеризующего степень соответствия выбранной функции с полученными из эксперимента данными.

Наиболее интенсивно растут затраты отечественных автомобилей в зависимости от наработки. Самая низкая интенсивность повышения затрат наблюдается у марки Скания. За 10 лет эксплуатации годовые затраты на поддержание работоспособности автомобилей Скания увеличивается не более чем на 20%. В случае с маркой КАМАЗ рост затрат составляет 80 % по сравнению с первоначальным значением, что характеризует более низкую надежность автомобилей данной группы. Наиболее высокие затраты на поддержание работоспособного состояния имеют автомобили КАМАЗ 53105 и МАЗ 5440. В группе автомобилей зарубежного производства самое низкое значение имеют автомобили Рено Магнум, которые составляют 30 % от затрат базового автомобиля на 8-10 годах эксплуатации. Самое высокое значение затрат среди автомобилей зарубежного производства имеют автомобили Мерседес Актрос - на уровне 50 % от затрат базового автомобиля.

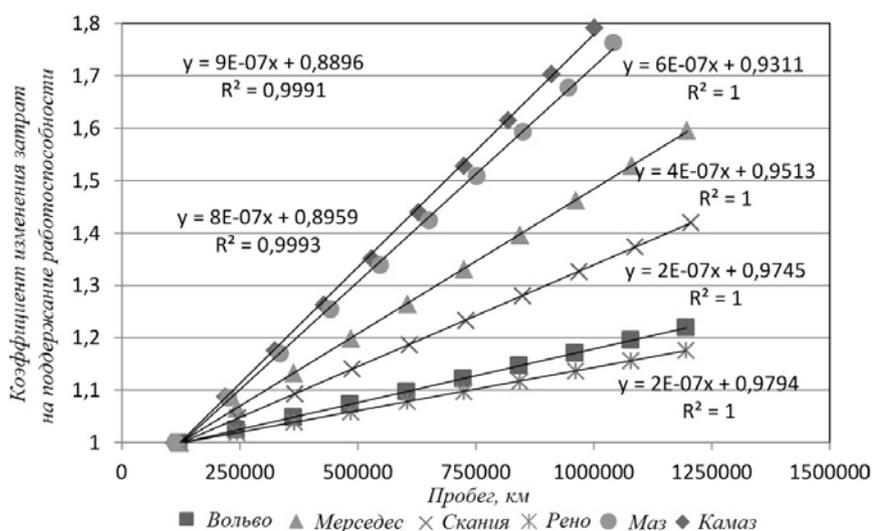


Рисунок 3 - Зависимости коэффициента изменения затрат на поддержание работоспособного состояния от наработки

В результате проведенных исследований выполнена оценка интенсивности изменения эффективности эксплуатации грузовых автомобилей крупных автотранспортных предприятий г. Ульяновска и Ульяновской области от наработки по значениям предложенных коэффициентов. Изучены изменения показателей, которые были предложены для комплексной оценки технического состояния подвижного состава, а также его эффективности. Получены функциональные зависимости предложенных для оценки эффективности эксплуатации коэффициентов в зависимости от пробега. Большинство зависимостей, полученных в результате анализа, имеют величину  $R^2 = 0,95$  и более, что характеризует зависимости как сильные, а достоверность анализа - высокую. Автомобили зарубежного производства имеют более высокие значения производительности, а также меньшие значения затрат на поддержание работоспособности. Однако, начальная стоимость автомобилей очень высокая, а в зависимости от наработки ее изменение более интенсивное.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костин, И.М. Техничко-экономическая оценка грузовых автомобилей при разработке [Текст] / И.М. Костин, Х.А. Фасхиев // Изд-во Камского политехн. ин-та - Набережные Челны. - 2002. - 479 с.
2. Великанов, Д.П. Эффективность автомобильных транспортных средств и транспортной энергетики [Текст] / Д.П. Великанов // Наука - Москва. - 1989. - 536 с.
3. Андрианов, Ю.В. Оценка автотранспортных средств [Текст]: монография / Ю.В. Андрианов // Изд-во «Дело» - Москва. - 2006. - 410 с.
4. Фасхиев, А.Х. Конкурентоспособность грузовых автомобилей [Текст] / А.Х. Фасхиев и др. // Грузовик. - 2004. - № 4. - С. 56-61.
5. Кузнецов, Е. С. Техническая эксплуатация автомобилей [Текст]: учебник для ВУЗов / Е.С. Кузнецов, А.П. Болдин, В.Н. Власов и др. - 4-е изд., перераб. и дополн. - Наука - Москва, 2004. - 535 с.
6. Дынченков, В.С. Как сделать обновление парка автомобилей эффективным [Текст] / В.С. Дынченков // Автомобильная промышленность. - 2011. - № 1. - С. 4-6.
7. Дынченков, В.С. Определение сроков замены автомобиля на основе оценки его эксплуатационной надежности [Текст] / В.С. Дынченков // Автомобильная промышленность. - 2010. - № 9. - С. 28-32.
8. Паули, Н.В. Скрытые неисправности как фактор старения автомобиля [Текст] / М.Ю. Обшивалкин, Н.В. Паули // Проблемы и достижения автотранспортного комплекса. - Екатеринбург. - 2011. - С. 43-46.
9. Иголкин, А.Н. Управление ресурсом городских автобусов в региональных условиях [Текст] / И.Н. Аринин, А.Г. Кириллов, А.Н. Иголкин // Автотранспортное предприятие. - 2011. - № 2. - С. 32-35.
10. Паули, Н.В. О влиянии изменений конструкции и условий рынка на эффективность автомобилей [Текст] / Ю.В. Родионов, М.Ю. Обшивалкин, Н.В. Паули // Актуальные вопросы инновационного развития транспортного комплекса. - Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК». - 2011. - С. 87-92.
11. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта [Текст] / Транспорт: М-во автомоб. трансп. РСФСР - Москва, 1988. - 78 с.
12. Аринин, И.Н. Техническая эксплуатация автомобилей. (Управление технической готовностью подвижного состава) [Текст]: учеб.пособие / И.Н. Аринин, С.И. Коновалов, Ю.В. Баженов, А.А. Бочков. - Изд. 2-е, доп. - Владимир: Владим. гос. ун-т, 2003. - 248 с.

13. Паули, Н.В. К вопросу моделирования процессов старения элементов автомобиля и их влияния на безотказность [Текст] / Ю.В. Родионов, М.Ю. Обшивалкин, Н.В. Паули // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств. – Пенза: Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. - 2010. - С. 72-77.
14. Паули, Н.В. Исследование изменения затрат автомобилей с наработкой [Текст] / Ю.В. Родионов, М.Ю. Обшивалкин, Н.В. Паули // Перспективные направления развития автотранспортного комплекса. – Пенза: МНИЦ. - 2011. - С. 177-182.
15. Паули, Н.В. Продление эффективного ресурса автомобилей за счет усиленного контроля состояния [Текст] / М.Ю. Обшивалкин, Н.В. Паули // Безопасность транспортных средств в эксплуатации. – Нижний Новгород: НГТУ. - 2012. - С. 156-163.
16. Грязнов, М.В. Как повысить КТГ автопарка [Текст] / В.М. Курганов, М.В. Грязнов // Мир транспорта. - 2011. - № 3. - С. 106-117.
17. Паули, Н.В. Методика формирования парка подвижного состава с учетом минимизации затрат на расход запасных частей и материалов [Текст] / М.Ю. Обшивалкин, Н.В. Паули, В.А. Мигачев // Авто-НН-2009. – Нижний новгород: НГТУ. - 2009. - С. 167-168.
18. Паули, Н.В. Влияние стратегий автотранспортных предприятий на надежность подвижного состава [Текст] / Н.В. Паули, М.Ю. Обшивалкин // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – Пермь: ПНИПУ. - 2012. - Том 2. - С. 92-97.
19. Крамаренко, Г.В. Техническое обслуживание автомобилей [Текст] / Г.В. Крамаренко. - Москва: изд-во «Транспорт», 1968. - 400 с.
20. Хусаинова, О.Н. Затраты на обеспечение работоспособности современного грузового автомобиля на послегарантийном пробеге [Текст] / О.Н. Хусаинова, В.А. Янчевский // Автотранспортное предприятие. - 2010. - № 3. - С. 47-49.
21. Паули, Н.В. О влиянии скрытых неисправностей на эксплуатацию автомобиля [Текст] / Ю.В. Родионов, М.Ю. Обшивалкин, Н.В. Паули // Актуальные вопросы инновационного развития транспортного комплекса. – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК». - 2012. - С. 23-30.
22. Сергеев, М.П. Техническая эксплуатация МТП [Текст] / Сергеев М.П. // Челябинск: Челябинское обл. изд-во, 1964. - Вып. 1. – 234 с.

**Родионов Юрий Владимирович**

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»

Адрес: Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, 28

Д-р техн. наук, профессор, директор автомобильно-дорожного института

E-mail: dekauto@pguas.ru

**Обшивалкин Михаил Юрьевич**

Ульяновский государственный технический университет

Адрес: Россия, 432027, Ульяновск, ул. Северный Венец, 32

Канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Автомобили»

E-mail: muo@ulstu.ru

**Паули Никита Владимирович**

Ульяновский государственный технический университет

Адрес: Россия, 432027, Ульяновск, ул. Северный Венец, 32

Старший преподаватель кафедры «Автомобили»

E-mail: overnike@ya.ru

---

YU.V. RODIONOV, M.YU. OBSHIVALKIN

## ACCOUNTING CHANGES IN OPERATING EFFICIENCY ROLLING STOCK ACCORDING TO HOURS

*One of the most important part of technic automobile operation's evolution is getting dependencies of changing affectivity automobile operation by the summary operating time. It can estimate intensity of changing technical condition with mileage dependence.*

**Keywords:** Operation, reliability, efficiency, cars, resource.

### BIBLIOGRAPHY

1. Kostin, I.M. Tekhniko-ekonomicheskaya otsenka gruzovykh avtomobiley pri razrabotke [Tekst] / I.M. Kostin, N.A. Fashiev // Izd-vo Kamskogo politekhn. in-ta - Naberezhnye Chelny. - 2002. - 479 s.
2. Velikanov, D.P. Effektivnost' avtomobil'nykh transportnykh sredstv i transportnoy energetiki [Tekst] / D.P. Velikanov // Nauka - Moskva. - 1989. - 536 s.
3. Andrianov, YU.V. Otsenka avtotransportnykh sredstv [Tekst]: monografiya / YU.V. Andrianov // Izd-vo "Delo" - Moskva. - 2006. - 410 s.
4. Fashiev, A.H. Konkurentosposobnost' gruzovykh avtomobiley [Tekst] / A.H. Fashiev i dr. // Gruzo-vik. -

2004. - № 4. - С. 56-61.

5. Kuznetsov, E. S. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya avtomobiley [Tekst]: uchebnik dlya VUZov / E.S. Kuznetsov, A.P. Boldin, V.N. Vlasov i dr. - 4-e izd., pererab. i dopoln. - Nauka - Moskva, 2004. - 535 s.

6. Dynchenkov, V.S. Kak sdelat' obnovenie parka avtomobiley effektivnym [Tekst] / V.S. Dynchenkov // Avtomobil'naya promyshlennost'. - 2011. - № 1. - С. 4-6.

7. Dynchenkov, V.S. Opredelenie srokov zameny avtomobilya na osnove otsenki ego ekspluatatsionnoy nadezhnosti [Tekst] / V.S. Dynchenkov // Avtomobil'naya promyshlennost'. - 2010. - № 9. - С. 28-32.

8. Pauli, N.V. Skrytye neispravnosti kak faktor stareniya avtomobilya [Tekst] / M.YU. Obshivalkin, N.V. Pauli // Problemy i dostizheniya avtotransportnogo kompleksa. - Ekaterinburg. - 2011. - С. 43-46.

9. Igolkin, A.N. Upravlenie resursom gorodskikh avtobusov v regional'nykh usloviyakh [Tekst] / I.N. Arinin, A.G. Kirillov, A.N. Igolkin // Avtotransportnoe predpriyatie. - 2011. - № 2. - С. 32-35.

10. Pauli, N.V. O vliyaniy izmeneniy konstruksii i usloviy rynka na effektivnost' avtomobiley [Tekst] / YU.V. Rodionov, M.YU. Obshivalkin, N.V. Pauli // Aktual'nye voprosy innovatsionnogo razvitiya transportnogo kompleksa. - Orel: FGBOU VPO "Gosuniversitet - UNPK". - 2011. - С. 87-92.

11. Polozhenie o tekhnicheskoy obsluzhivaniy i remonte podvizhnogo sostava avtomobil'nogo transporta [Tekst] / Transport: M-vo avtomob. transp. RSFSR - Moskva, 1988. - 78 s.

12. Arinin, I.N. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya avtomobiley. (Upravlenie tekhnicheskoy gotovnost'yu podvizhnogo sostava) [Tekst]: ucheb. posobie / I.N. Arinin, S.I. Kononov, YU.V. Bazhenov, A.A. Bochkov. - Izd. 2-e, dop. - Vladimir: Vladim. gos. un-t, 2003. - 248 s.

13. Pauli, N.V. K voprosu modelirovaniya protsessov stareniya elementov avtomobilya i ikh vliyaniya na bezotkaznost' [Tekst] / YU.V. Rodionov, M.YU. Obshivalkin, N.V. Pauli // Problemy kachestva i ekspluatatsii avtotransportnykh sredstv. - Penza: Penzenskiy gosudarstvennyy universitet arkhitektury i stroitel'stva. - 2010. - С. 72-77.

14. Pauli, N.V. Issledovanie izmeneniya zatrat avtomobiley s narabotkoy [Tekst] / YU.V. Rodionov, M.YU. Obshivalkin, N.V. Pauli // Perspektivnye napravleniya razvitiya avtotransportnogo kompleksa. - Penza: MNITS. - 2011. - С. 177-182.

15. Pauli, N.V. Prodlenie effektivnogo resursa avtomobiley za schet usilennogo kontrolya sostoyaniya [Tekst] / M.YU. Obshivalkin, N.V. Pauli // Bezopasnost' transportnykh sredstv v ekspluatatsii. - Nizhniy Nov-gorod: NGTU. - 2012. - С. 156-163.

16. Gryaznov, M.V. Kak povysit' KTG avtoparka [Tekst] / V.M. Kurganov, M.V. Gryaznov // Mir transporta. - 2011. - № 3. - С. 106-117.

17. Pauli, N.V. Metodika formirovaniya parka podvizhnogo sostava s uchetom minimizatsii zatrat na rashod zapasnykh chastey i materialov [Tekst] / M.YU. Obshivalkin, N.V. Pauli, V.A. Migachev // Avto-NN-2009. - Nizhniy novgorod: NGTU. - 2009. - С. 167-168.

18. Pauli, N.V. Vliyanie strategiy avtotransportnykh predpriyatiy na nadezhnost' podvizhnogo sostava [Tekst] / N.V. Pauli, M.YU. Obshivalkin // Modernizatsiya i nauchnye issledovaniya v transportnom komplekse. - Perm': PNIPU. - 2012. - Tom 2. - С. 92-97.

19. Kramarenko, G.V. Tekhnicheskoe obsluzhivanie avtomobiley [Tekst] / G.V. Kramarenko. - Moskva: izd-vo "Transport", 1968. - 400 s.

20. Husainova, O.N. Zatraty na obespechenie rabotosposobnosti sovremennoy gruzovoy avtomobilya na poslegarantiynom probege [Tekst] / O.N. Husainova, V.A. Yanchevskiy // Avtotransportnoe predpriyatie. - 2010. - № 3. - С. 47-49.

21. Pauli, N.V. O vliyaniy skrytykh neispravnostey na ekspluatatsiyu avtomobilya [Tekst] / YU.V. Rodionov, M.YU. Obshivalkin, N.V. Pauli // Aktual'nye voprosy innovatsionnogo razvitiya transportnogo kompleksa. - Orel: FGBOU VPO "Gosuniversitet - UNPK". - 2012. - С. 23-30.

22. Sergeev, M.P. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya MTP [Tekst] / Sergeev M.P. // Chelyabinsk: Chelyabinskoe obl. izd-vo, 1964. - Vyp. 1. - 234 s.

**Rodionov Yuri Vladimirovich**

FGBOU VPO «Penza State University of Architecture and Construction»

Address: Russia, 440028, g. Penza, ul. Titov, 28

Dr. Sc. sciences, professor, director of the Automobile and Road Institute

E-mail: dekauto@pguas.ru

**Obshivalkin Mikhail Yur'evich**

Ulyanovsk State Technical University

Address: Russia, 432027, g. Ulyanovsk, ul. North Venice, 32

Kand. tehn. Sciences, Associate Professor, Head. Chair of "Cars"

E-mail: muo@ulstu.ru

**Pauli Nikita Vladimirovich**

Ulyanovsk State Technical University

Address: Russia, 432027, g. Ulyanovsk, ul. North Venice, 32

Senior lecturer in "Cars"

E-mail: overnike@ya.ru

**Уважаемые авторы!**  
**Просим Вас ознакомиться с основными требованиями к оформлению научных статей.**

- Объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах формата А4 и содержит от 3 до 7 страниц; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию.
- Статья предоставляется в 1 экземпляре на бумажном носителе и в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе).
- В одном сборнике может быть опубликована только **одна** статья **одного** автора, включая соавторство.
- Статьи должны быть набраны шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ – 1,25 см, правое поле – 2 см, левое поле – 2 см, поля внизу и сверху – 2 см.
- Название статьи, а также фамилии и инициалы авторов, сведения об авторах обязательно дублируются на английском языке.
- К статье прилагается аннотация и перечень ключевых слов на русском и английском языке.
- Сведения об авторах приводятся в такой последовательности: Фамилия, имя, отчество; учреждение или организация, адрес учреждения или организации, ученая степень, ученое звание, должность, телефон, электронная почта.
- В тексте статьи желательно:
  - не применять обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
  - не применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
  - не применять произвольные словообразования;
  - не применять сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими государственными стандартами.
- Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.
- **Формулы** следует набирать в редакторе формул Microsoft Equation 3.0. **Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!**
- **Рисунки** и другие иллюстрации (чертежи, графики, схемы, диаграммы, фотоснимки) следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые.
- Подписи к рисункам (полужирный шрифт курсивного начертания 10 pt) выравниваются по центру страницы, в конце подписи точка не ставится:

*Рисунок 1 – Текст подписи*

С полной версией требований к оформлению научных статей Вы можете ознакомиться на сайте [www.gu-unprk.ru](http://www.gu-unprk.ru).

*Плата с аспирантов за опубликование статей не взимается.*

*Адрес учредителя:*

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс»  
302020, г.Орел, Наугорское шоссе, 29  
Тел. +7(4862)420024  
Факс +7(4862)416684  
www.gu-unpk.ru  
E-mail: unpk@ostu.ru

*Адрес редакции:*

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс»  
302006, г.Орел, ул. Московская, 77  
Тел. +7 905 856 6556  
www.gu-unpk.ru  
E-mail: srmostu@mail.ru

Технический редактор, корректор,  
компьютерная верстка И. В. Акимочкина

Подписано в печать 25.09.2015

Формат 70x108 1/16.

Усл. печ. л. 8,9

Тираж 500 экз.

Заказ № \_\_\_\_\_

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической базе Госуниверситета-УНПК  
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.