

**Редакционный совет:**

**Голенков В.А.** д-р техн. наук, проф.,  
председатель  
**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.  
**Киричек А.В.** 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.  
Заместители главного редактора:  
**Катунин А.А.** канд. техн. наук, доц.  
**Ушаков Л.С.** д-р техн. наук, проф.

**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)  
**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)  
**Корчагин В.А.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Марьян Г.** д-р техн. наук, проф. (Молдова)  
**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)  
**Пржибил 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)  
**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, 2014

## Содержание

### Эксплуатация, ремонт, восстановление

<i>В. В. Лянденбургский, А. И. Тарасов, И. В. Кучин</i> Анализ времени простоя по ТНВД при применении вероятностно-логического метода поиска неисправностей для автомобилей КАМАЗ.....	3
<i>А. С. Денисов, Ю. И. Данилов</i> Аналитическое исследование и обоснование комплексной оценки технического состояния ДВС.....	11
<i>Е. В. Бондаренко, А. А. Филиппов, Р. Т. Шайлин</i> Коэффициент потребительской оценки результативности деятельности обслуживающих предприятий, как основа для разработки инновационных проектов.....	15
<i>И. В. Стародубцева</i> Методы контроля тормозного сопротивления гибридного электромобиля.....	21
<i>В. И. Сарбаев, А. Ю. Ерошин</i> Оценка эффективности активной приемки предприятия фирменного автосервиса.....	28
<i>С. А. Сериков, Ю. Н. Бороденко, А. А. Дзюбенко</i> Управление силовой установкой гибридных автомобилей.....	36
<i>С. В. Тимохин, Ю. В. Родионов</i> Результаты исследований обкатки дизеля Д-144-32 с использованием усовершенствованного цикла динамического нагружения.....	44

### Технологические машины

<i>Л. С. Ушаков, А. В. Паничкин, Д. Ю. Гребенченко, М. И. Жуков</i> Анализ способов и средств проведения подъемно-транспортных работ крупногабаритных грузов со смещенным центром тяжести.....	50
<i>Ю. В. Стенин, С. А. Арефьев, Р. С. Ганиев</i> Карьерные автодороги – элемент открытых горных работ.....	55
<i>Е. Н. Христофоров, Н. Е. Сакович, А. М. Случевский</i> Повышение надежности гидроприводов дорожно – транспортных и грузоподъемных машин.....	62
<i>Е. Г. Рьякин, Ю. А. Захаров</i> Повышение работоспособности гидропривода транспортно-технологических машин в условиях низких температур.....	69
<i>П. С. Рубин, А. С. Тарапанов</i> Припуски под чистовую обработку цилиндрических колес с арочными зубьями.....	76
<i>Й. Хрбчек, В. Шимак, А. Яноа</i> Прогнозный контроль радиальных колебаний ротора.....	83

### Безопасность движения и автомобильные перевозки

<i>В. А. Голенков, А. Н. Новиков, А. А. Катунин, Ю. Н. Баранов, Д. Д. Матназаров</i> Комплексное обследование улично-дорожной сети города орла (на примере ул. «Наугорское шоссе»).....	90
<i>К. С. Подшивалова, С. Ф. Подшивалов, И. С. Герасимова</i> Параметры функционирования интегрированной системы доставки грузов.....	99
<i>В. А. Корчагин, И. В. Жилин, О. П. Киселева</i> Применение разработанной модели для поиска эффективных решений при доставке свеклы на заводы...	104

### Образование и кадры

<i>И. Е. Ильина, М. Г. Богаткина, С. А. Евстратова</i> Исследования психофизиологических особенностей кандидатов в водители на тренажере ТА-2.....	112
<i>Ю. Г. Сапронов</i> Методологические аспекты разработки фондов для оценки результатов обучения выпускников по направлению «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов».....	118

### Вопросы экологии

<i>А. С. Антонов, Г. Г. Ишанин</i> Газоанализатор для измерения диоксида азота в выбросах автотранспортных средств.....	128
---	-----



The scholarly  
journal  
A quarterly review

№ 1(44) 2014  
January - March

# World transport and technological machinery

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

## Editorial Council:

**V.A. Golenkov** *Doc. Eng., Prof.*  
**S.Y. Radchenko** *Doc. Eng., Prof.*  
*Vice-Chairman*  
**P.A. Astafichev** *Doc. Law., Prof.*  
**M.I. Borzenkov** *Can. Eng., Prof.*  
**T.N. Ivanova** *Doc. Eng., Prof.*  
**A.V. Kirichek** *Doc. Eng., Prof.*  
**V.I. Kolchunov** *Doc. Eng., Prof.*  
**I.S. Konstantinov** *Doc. Eng., Prof.*  
**A.N. Novikov** *Doc. Eng., Prof.*  
**L.I. Popova** *Doc. Ec., Prof.*  
**Y.S. Stepanov** *Doc. Eng., Prof.*

## Editor-in-Chief

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

## Associate Editors

**A.A. Katunin** *Can. Eng.*  
**L.S. Ushakov** *Doc. Eng., Prof.*

## Editorial Board:

**I.E. Agureev** *Doc. Eng., Prof. (Russia)*  
**A.V. Bazhinov** *Doc. Eng., Prof. (Ukraine)*  
**V.N. Baskov** *Doc. Eng., Prof. (Russia)*  
**E.V. Bondarenko** *Doc. Eng., Prof. (Russia)*  
**U. Brannolte** *Doc. Eng., Prof. (Germany)*  
**V. Bialy** *Doc. Eng., Prof. (Poland)*  
**E.S. Vencel** *Doc. Eng., Prof. (Ukraine)*  
**S.N. Glagolev** *Doc. Eng., Prof. (Russia)*  
**V.B. Gorovic** *Doc. Eng., Prof. (USA)*  
**M. Demic** *Doc. Eng., Prof. (Serbia)*  
**V.A. Korchagin** *Doc. Eng., Prof. (Russia)*  
**G. Marian** *Doc. Eng., Prof. (Moldova)*  
**I.G. Martyuchenko** *Doc. Eng., Prof. (Russia)*  
**A.A. Mitusov** *Doc. Eng., Prof. (Kazakhstan)*  
**V.V. Nordin** *Doc. Eng., Prof. (Russia)*  
**O. Prentkovskis** *Doc. Eng., Prof. (Lithuania)*  
**P. Pribyl** *Doc. Eng., Prof. (Czech Republic)*  
**A.E. Pushkarev** *Doc. Eng., Prof. (Russia)*  
**A.N. Rementsov** *Doc. Edc., Prof. (Russia)*  
**L.A. Savin** *Doc. Eng., Prof. (Russia)*  
**L.A. Sivachenko** *Doc. Eng., Prof. (Belarus)*  
**R.G. Habibullin** *Doc. Eng., Prof. (Russia)*  
**D.A. Yungmeyster** *Doc. Eng., Prof. (Russia)*

## Person in charge for publication:

**I.V. Akimochkina**

## Editorial Board Address:

302030, Russia, Orel, Moskovskaya Str., 77  
Tel. +7 (4862) 73-43-50  
<http://www.gu-unpk.ru/science/journal/mtitm>  
E-mail: [srmostu@mail.ru](mailto:srmostu@mail.ru)

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

Subscription index: **16376**

in a union catalog "The Press of Russia"

© State University-ESPC, 2014

## Contents

### Operation, Repair, Restoration

<i>V. V. Ljandenbursky, A. I. Tarasov, I. V. Kuchin</i> Analysis of downtime fuel injection pump when the application of probabilistic and logical method trouble shooting for kamaz trucks.....	3
<i>A. S. Denisov, Yu. I. Danilov</i> Analytical research and justification of a comprehensive assessment of technical condition of internal combustion engines.....	11
<i>E. V. Bondarenko, A. A. Filippov, R. T. Shailin</i> Coefficient of a consumer assessment of productivity of activity of the serving enterprises as a basis for development of innovative projects.....	15
<i>I. V. Starodubtseva</i> Methods of control of hybrid electric brake resistance.....	21
<i>V. I. Sarbaev, A. Yu. Eroshin</i> Evaluation of the effectiveness of active acceptance in the enterprise car service.....	28
<i>S. A. Serikov, Y. N. Borodenko, A. A. Dziubenko</i> Hybrid vehicles power unit control.....	36
<i>S. V. Timochin, J. V. Rodionov</i> Research results of the diesel engine d-144-32 rolling using the advanced dynamic loading cycle.....	44

### Technological Machinery

<i>L. S. Ushakov, A. V. Panichkin, D. U. Grebenchenko, M. I. Jukov</i> Analysis of ways and means to implement the handling of air cargo shifted center of gravit.....	50
<i>Yu. V. Stenin, S. A. Arefyev, R. S. Ganiev</i> Career highway - element opencast mining.....	55
<i>E. N. Hristoforov, N. E. Sakovich, A. M. Sluchevsky</i> Increased reliability hydrodrives road - transport and lifting machines.....	62
<i>E. G. Ryljakin, Yu. A. Zakharov</i> Increasing operability of the hydraulic actuator in transport technological machines during low temperatures conditions.....	69
<i>P. S. Rubin, A. S. Tarapanov</i> Seam allowances for finishing cylindrical wheels with arched teeth.....	76
<i>J. Hrbcek, V. Simak, A. Janota</i> Predictive control of radial rotor vibrations.....	83

### Road safety and road transport

<i>V. A. Golenkov, A. N. Novikov, A. A. Katunin, Yu. N. Baranov, D. D. Matnazarov</i> Comprehensive survey of the road network city eagle (for example street «Naugorskoye highway»).....	90
<i>K. S. Podshivalova, S. F. Podshivalov, I. S. Gerasimova</i> Parameters for the functioning of the system integrated freight.....	99
<i>V. A. Korchagin, I. V. Zhilin, O. P. Kiseleva</i> Modeling of the processes of harvest and transport the roots to the firm of sugar beet processing.....	104

### Education and Personnel

<i>I. E. Ilyina, M. G. Bogatkina, S. A. Evstratova</i> Research psychophysiological characteristics of drivers on the simulator TA-2.....	112
<i>Y. G. Sapronov</i> Methodological aspects of development funds for the assessment of learning outcomes of direction «Exploitation of transport and technological machines and complexes».....	118

### Ecological Problems

<i>G. G. Ishanin, A. S. Antonov</i> Gas detector for measuring nitrogen dioxide vehicle emissions.....	128
--	-----

УДК 629. 113. 003

В. В. ЛЯНДЕНБУРСКИЙ, А. И. ТАРАСОВ, И. В. КУЧИН

## **АНАЛИЗ ВРЕМЕНИ ПРОСТОЯ ПО ТНВД ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ВЕРОЯТНОСТНО-ЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА ПОИСКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ ДЛЯ АВТОМОБИЛЕЙ КАМАЗ**

*Применение вероятностно-логического метода поиска неисправностей на автотранспортных предприятиях, позволяет оптимизировать транспортный процесс и снизить время простоя автомобилей, в частности величины простоя по топливным насосам высокого давления от отказа элемента на один автомобиль, парк автомобилей, и на один день эксплуатации автомобилей КАМАЗ.*

**Ключевые слова:** анализ, время простоя, неисправность, вероятностно-логический метод, автомобиль.

За последние десятилетия эффективность работы автомобилей, выпускаемых промышленностью существенно возросли. Несмотря на это, опыт эксплуатации автомобильного парка показывает, что значительная доля автомобилей эксплуатируется с неисправностями, которые ведут к снижению показателей их работы.

В процессе проведения экспериментальных исследований по сбору статистического материала по отказам элементов автомобилей КАМАЗ, кроме отказов по двигателю, рассматривались отказы по трансмиссии, ходовой части, тормозной системе, рулевому управлению и электрооборудованию. В качестве выбранного объекта исследований рассматривается топливная система и дизельный двигатель автомобиля, устанавливаемый на грузовых автомобилях КАМАЗ.

Среди всех вышедших из строя элементов отказы по двигателю, трансмиссии, ходовой части, тормозной системе, рулевому управлению и электрооборудованию распределились следующим образом: двигатель - 27%, трансмиссия – 14 %, электрооборудование — 13 %, тормозная система - 17%, рулевое управление – 3 %, гидравлическая система — 6 %, кузов — 19 %.

Собранные статистические материалы позволили выявить, что значительная часть отказов, по своим проявлениям диагностическим показателям указывает на отказы и неисправности в системе высокого давления подачи топлива. Вместе с тем более детальная обработка материалов и проведенные работы по диагностированию и выявлению причин неисправностей позволила сделать заключение, что 27% отказов действительно относятся к отказам по двигателю, а 61,5% из них - отказы и неисправности в системе высокого давления подачи топлива.

Так, например, практика работы с автомобилями КАМАЗ позволила выявить, что частый ремонт топливного насоса высокого давления ТНВД приводит к выходу из строя трубопровода высокого давления около 15%. Однако эти неисправности устраняются небольшими разборочно-сборочными работами и не требуют технических воздействий на топливную систему высокого давления.

Учитывая, что количество отказов возрастает с увеличением пробега автомобиля с начала эксплуатации, был проведен специальный анализ имеющихся статистических данных, который позволил установить зависимость нарастания отказов от года эксплуатации автомобиля и пробега. Исходные данные были получены в результате обработки статистической информации, собранной в г.г. Пензе и Рязани.

Эксплуатируемые в г.г. Пензе и Рязани грузовые автомобили проходят работы по техническому обслуживанию, диагностированию и ремонту на автотранспортных предприятиях.

Анализ условий хранения и пуска автомобилей в Пензе позволил установить следующие данные:

- 1) на открытых организованных стоянках - 85%;
- 2) в закрытых неотапливаемых гаражах и боксах 15%;

Анализ условий хранения и пуска автомобилей в Рязани позволил установить следующие данные:

- 1) на открытых организованных стоянках - 78%;
- 2) в закрытых неотапливаемых зонах ТО и ТР - 22%.

Вместе с тем, при выполнении исследований необходимо было провести изучение отказов элементов топливной системы и выявить основные причины их возникновения для планово-предупредительной стратегии и для вероятностно-логической модели поиска неисправностей. В связи с изложенным, для выполнения работы потребовалось сбор статистических данных по отказам и неисправностям элементов дизельных топливных систем автомобилей КамАЗ при их эксплуатации в различных условиях.

Цель проведения экспериментальных исследований преследовала выявление наиболее слабых элементов дизельных топливных систем, определения их среднего ресурса в эксплуатации и степени влияния на работоспособность всей системы, разработку мероприятий по выявлению и отказов при эксплуатации.

Дополнительно при выполнении исследований необходимо было провести сравнение статистических материалов при эксплуатации автомобилей в различных условиях.

В ходе эксперимента было важно учесть климатические условия, обеспеченность сервисных предприятий достаточным технологическим оборудованием и квалифицированным ремонтным персоналом. По этим причинам для экспериментальных исследований поставлена задача о проведении эксплуатационных исследований на автотранспортных предприятиях г.г. Пензы и Рязани.

В начальный период при проведении экспериментальных исследований в качестве объекта принята дизельная топливная аппаратура грузовых автомобилей российского производства КАМАЗ.

Наиболее важной особенностью дизельной аппаратуры является зависимость от качества топлива. В связи с этим, при проведении экспериментальных исследований по сбору статических данных об отказах элементов дизельной аппаратуры необходимо было рассматривать конструкции использующихся в настоящее время на автомобилях. Конструктивно системы питания дизелей выполняются по одной из четырех схем: Системы разделенного типа с многоплунжерным ТНВД; Системы разделенного типа с распределительным ТНВД, с применением топливной ramпы высокого давления - "Common rail"; Системы на основе насос-форсунок; Системы на основе форсунок с индивидуальными топливными насосами.

Анализ парка дизелей в нашей стране, показывает, что подавляющее большинство они оборудованы системами старого образца, более того, новые грузовые автомобили, выпускаемые в нашей стране, оборудуются механическими многоплунжерными ТНВД и позволяют выполнять нормы токсичности Евро I, II.

По этим причинам в процессе сбора статистических материалов потребовалось анализировать топливную систему в целом и учитывать конструкционные различия между ними. При этом объект исследований (топливная система) рассматривалась как система, состоящая из самого ТНВД и его устройств, представляющих прецизионные пары и исполнительные устройства.

С целью получения наибольшего объема информации об исследуемых объектах дизельной топливной системы грузовых автомобилей методикой исследований предполагалось провести изучение всех обращений на АТП по грузовым автомобилям российского производства при отказах элементов дизельной топливной системы.

В процессе проведения экспериментальных исследований по сбору статистического материала по отказам дизельной топливной системы и их элементов на грузовых автомобилях КАМАЗ было обследовано 48 автомобилей.

Собранные статистические материалы позволили выявить, что значительная часть отказов, по своим проявлениям диагностическим показателям указывает на отказы и неисправности в ТНВД. Вместе с тем более детальная обработка материалов и проведенные работы по диагностированию и выявлению причин неисправностей позволила сделать заключение, что 20% отказов действительно относятся к отказам ТНВД.

Построение плана эксперимента и его обработка производились в программе "STATISTICA v.6" фирмы StatSoft. При реализации плана эксперимента были поставлены две серии параллельных опытов для планово-предупредительной стратегии и для вероятностно-логической модели поиска неисправностей. При этом, в процессе проведения экспериментальных исследований была выявлена особенность в отказах элементов дизельной топливной системы при эксплуатации автомобилей в условиях России.

По предложенным элементам ТНВД сформируем графики на один автомобиль.

В первую очередь нас интересует - насколько перспективна вероятностно-логическая модель со встроенным датчиком для диагностирования в сравнении с существующей на предприятии системой обслуживания.

Так же необходимо проанализировать простой автомобиля от используемого способа обслуживания, для этого опираясь на экспериментальные данные (табл. 1) формируем график (рис. 1) величины простоя по ТНВД от отказа элемента на один автомобиль используя показатель времени.

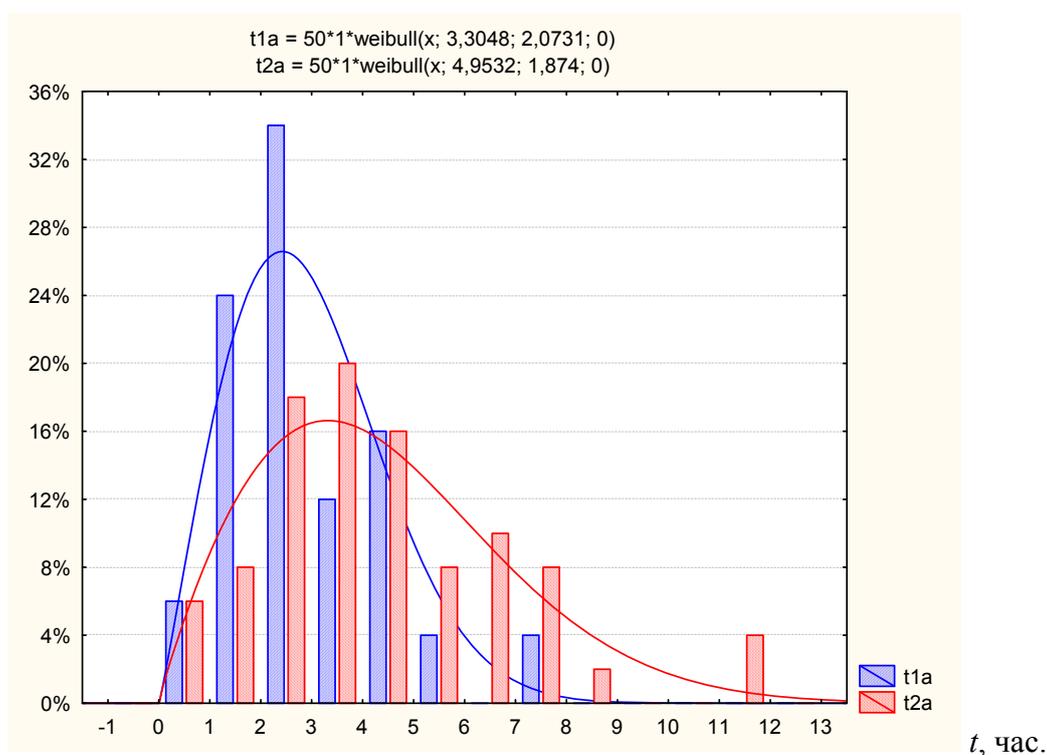
Таблица 1 - Величины простоя по ТНВД от отказа элемента на один автомобиль ( $t_{1a}$  - для вероятностно-логической модели,  $t_{2a}$  - для планово-предупредительной стратегии), на парк автомобилей ( $t_{1p}$  - для вероятностно-логической модели,  $t_{2p}$  - для планово-предупредительной стратегии), на один день ( $t_{1d}$  - для вероятностно-логической модели,  $t_{2d}$  - для планово-предупредительной стратегии)

№ п/п	$t_{1a}$	$t_{2a}$	$t_{1p}$	$t_{2p}$	$t_{1d}$	$t_{2d}$
1	0,21	0,24	13,27	16,99	0,12	0,24
2	0,39	0,47	22,41	28,68	0,22	0,37
3	0,75	0,96	39,09	50,04	0,41	0,43
4	1,26	1,71	60,72	77,72	0,69	0,76
5	1,33	1,81	63,59	81,39	0,72	0,89
6	1,44	1,98	67,92	86,94	0,78	1,31
7	1,45	1,99	68,4	87,55	0,79	1,38
8	1,52	2,10	71,12	91,04	0,82	1,38
9	1,69	2,36	77,98	99,81	0,92	1,50
10	1,71	2,39	78,59	100,6	0,92	1,56
11	1,83	2,57	83,14	106,4	0,99	1,62
12	1,86	2,61	84,26	107,8	1,00	1,63
13	1,86	2,62	84,36	96,37	1,00	1,67
14	1,89	2,67	85,72	109,7	1,02	1,71
15	1,99	2,83	89,46	114,5	1,07	1,71
16	2,03	2,89	91,07	116,6	1,10	1,72

Продолжение таблицы 1						
1	2	3	4	5	6	7
17	2,12	3,03	94,4	120,8	1,14	1,74
18	2,37	3,43	103,8	132,9	1,27	1,77
19	2,41	3,49	105,2	134,6	1,29	1,78
20	2,42	3,50	105,6	135,1	1,30	1,78
21	2,46	3,57	107,1	137,1	1,32	1,79
22	2,47	3,59	107,5	137,7	1,33	1,82
23	2,52	3,67	109,3	139,9	1,35	1,84
24	2,64	3,87	113,9	145,8	1,42	1,87
25	2,67	3,92	115	147,2	1,43	1,93
26	2,72	3,99	116,7	149,3	1,46	1,95
27	2,73	4,00	117	149,8	1,46	1,97
28	2,83	4,16	120,6	154,4	1,51	1,97
29	2,85	4,21	121,6	155,6	1,53	2,08
30	2,94	4,35	124,8	159,8	1,57	2,11
31	2,96	4,38	125,4	160,5	1,58	2,19
32	2,99	4,43	126,4	161,8	1,60	2,22
33	3,09	4,60	130,2	166,6	1,65	2,23
34	3,30	4,94	137,5	176	1,76	2,27
35	3,41	5,12	141,5	181,1	1,82	2,28
36	3,62	5,48	149	190,7	1,93	2,51
37	3,76	5,71	153,9	196,9	2,00	2,54
38	3,81	5,80	155,6	199,2	2,03	2,64
39	4,23	6,50	170	217,6	2,24	2,79
40	4,35	6,72	174,3	223,1	2,31	2,81
41	4,39	6,78	175,5	224,7	2,33	2,83
42	4,41	6,81	176,2	225,5	2,34	3,09
43	4,51	7,00	179,9	230,2	2,39	3,17
44	4,55	7,05	180,9	231,6	2,41	3,19
45	4,55	7,05	181	231,6	2,41	3,25
46	4,78	7,46	188,9	241,8	2,53	3,53
47	5,06	7,94	198,2	253,7	2,68	3,88
48	5,52	8,73	213,3	273	2,91	4,26
49	7,01	11,38	261,6	334,9	3,68	4,36
50	7,02	11,39	261,9	335,2	3,68	5,53

Окончание таблицы 1						
1	2	3	4	5	6	7
Среднее (Mean)	2,93	4,40	122,5	156,56	1,56	2,15
Средне-квадратическое отклонение StdDv	1,48	2,45	53,5	68,7	0,77	1,01
Коэффициент вариации v	0, 51	0,55	0,43	0,44	0,49	0,47

$f(t),\%$



**Рисунок 1 – Распределение времени простоя по ТНВД от отказа элемента на один автомобиль**  
 1 – для вероятностно-логической методики определения технического состояния дизелей;  
 2 – для плано-предупредительной системы

По парку автомобилей, для которых эксперимент проводился, суммарное время простоя составило следующие зависимости (рис. 2, 3).

$f(t),\%$

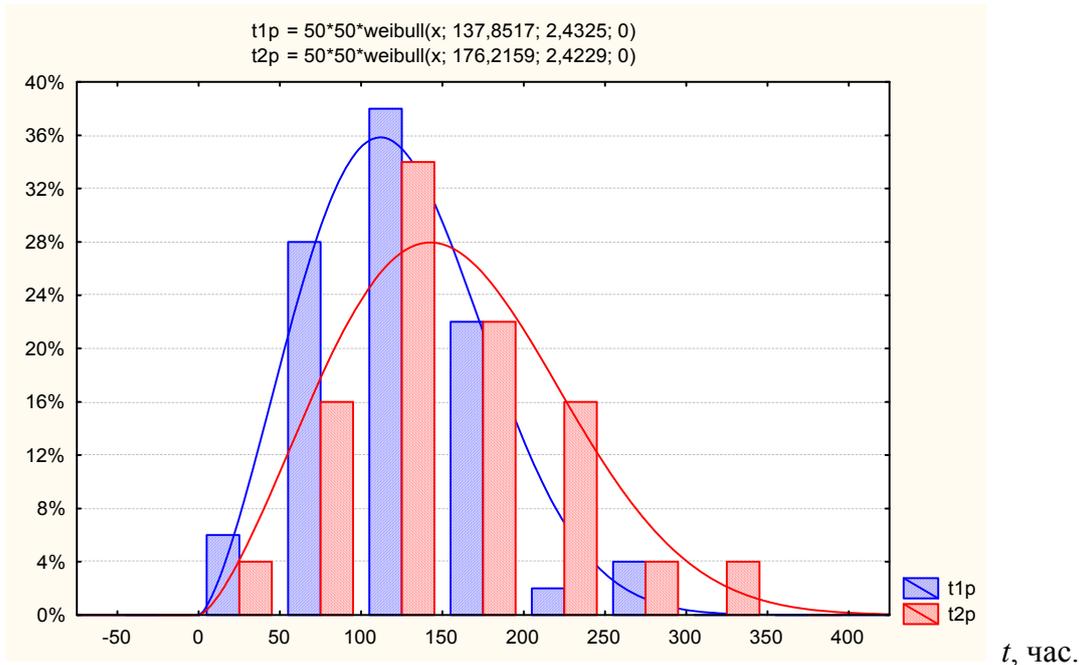


Рисунок 2 – Распределение времени простоя по ТНВД до отказа элемента на весь парк испытуемых  
 1 – для вероятностно-логической методики определения технического состояния дизелей;  
 2 – для планово-предупредительной системы

$f(t),\%$

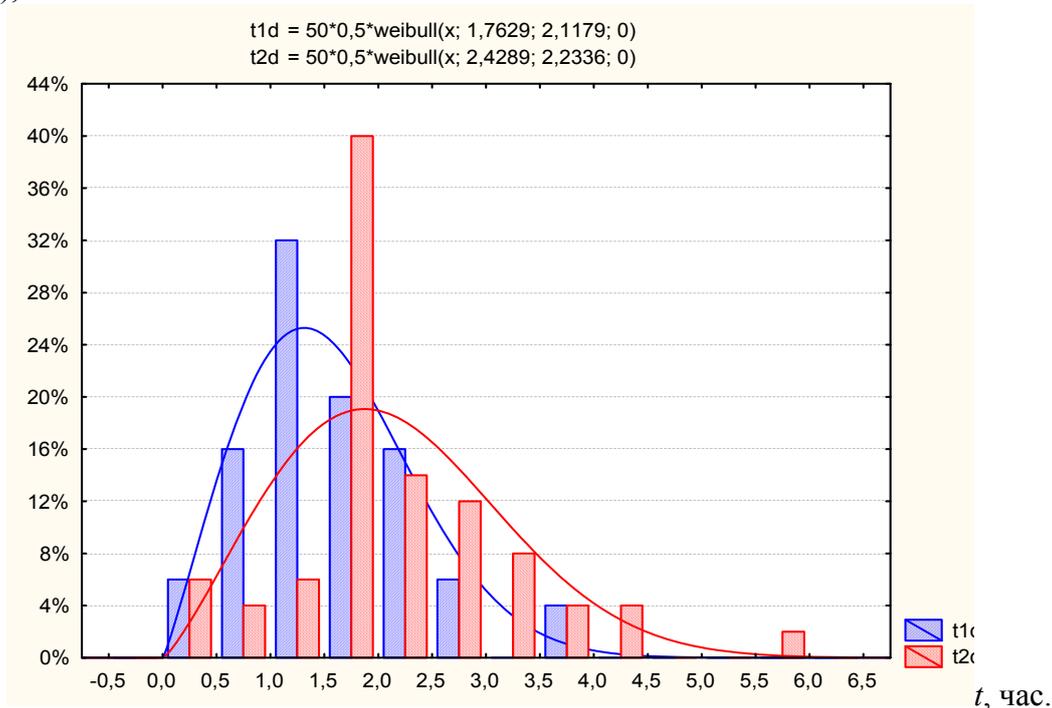


Рисунок 3 – Распределение времени простоя по ТНВД до отказа элемента на один день эксплуатации по парку испытуемых  
 1 – для планово-предупредительной системы;  
 2 – для вероятностно-логической методики определения технического состояния дизелей

На данный момент предприятие использует планово-предупредительную стратегию обслуживания по данным предложенным заводом-изготовителем. Нормативы корректируются согласно «Положения о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта».

Анализ приведенных данных в таблице 1 и на рисунках 1,2,3 приводит к выводу, что введенная система вероятностно-логической модели с встроенным диагностированием на предприятии существенно улучшает показатели по сокращению времени простоя на 19-27% по ТНВД по сравнению с действующей на предприятии планово-предупредительной системой обслуживания автомобилей.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лянденбургский, В. В. Анализ неисправностей топливных систем дизельных автомобилей. / Кривобок С. А., Лянденбургский В. В., Тарасов А. А., Федосков А. В. // Мир транспорта и технологических машин. - 2011. - № 3. – С. 3-11.
2. Лянденбургский, В. В. Вероятностно-логический метод поиска неисправностей автомобилей [Текст] / В. В. Лянденбургский, А. И. Тарасов, А. В. Федосков, С. А. Кривобок // Мир транспорта и технологических машин. -2011. – № 4. – С. 3-9.
3. Лянденбургский, В. В. Встроенная система диагностирования автомобилей с дизельным двигателем [Текст] / В. В. Лянденбургский, Ю. В. Родионов, С. А. Кривобок // Автотранспортное предприятие. - 2012. - № 11. – С. 45-48.
4. Лянденбургский, В. В. Совершенствование процесса диагностирования топливной системы дизельного двигателя [Текст] / В. В. Лянденбургский, А. С. Иванов, Е. В. Кравченко // Мир транспорта и технологических машин. - 2012. - № 3. – С. 57-61.
5. Лянденбургский, В. В. Анализ удельных затрат и эффективности применения вероятностно-логического метода поиска неисправностей для автомобилей КАМАЗ [Текст] / В. В. Лянденбургский, Л. А. Долганов // Мир транспорта и технологических машин. – 2013. - №3. - С. 52-60.
6. Лянденбургский, В. В. Вероятностный подход к определению вероятностно-логического коэффициента поиска неисправностей автомобилей [Текст] / В. В. Лянденбургский, Ю. В. Родионов, А. И. Тарасов, И. Е. Долганов // Вестник Таджикского технического университета. - 2013. - № 1. – С. 26-33.
7. Лянденбургский, В. В. Логический подход к определению вероятностно-логического коэффициента поиска неисправностей автомобилей [Текст] / В. В. Лянденбургский, А. И. Тарасов, Р. Р. Сейфетдинов // Вестник Оренбургского государственного университета. -2013. - № 5. – С. 194-198.
8. Лянденбургский В. В. Топливные системы современных и перспективных двигателей внутреннего сгорания [Текст]: учебное пособие / В. В. Лянденбургский, А. А. Грабовский, А. М. Белоковильский, В. В. Салмин, П. И. Аношкин. - Пенза: ПГУАС, 2013. – 323 с.
9. Лянденбургский, В. В. Основы научных исследований [Текст]: учебное пособие / В. В. Лянденбургский, А. В. Баженов, В. В. Коновалов. - Пенза: ПГУАС, 2013. – 388 с.
10. Лянденбургский, В. В. Дипломное проектирование [Текст]: учебное пособие / В. В. Лянденбургский. - Пенза: ПГУАС, 2013. – 332 с.
11. Лянденбургский, В. В. Информационно-интеллектуальные системы контроля и управления транспортными средствами [Текст]: учебное пособие / В. В. Лянденбургский, Г. И. Шаронов, А. В. Баженов. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 336 с.

**Лянденбургский Владимир Владимирович**

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»

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

Канд. техн. наук, доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта»

Email: dekauto@pguas.ru

**Тарасов Александр Иванович**

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»

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

Инженер

Email: dekauto@pguas.ru

**Кучин Игорь Викторович**

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»

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

Студент

Email: dekauto@pguas.ru

V. V. LJANDENBURSKY, A. I. TARASOV, I. V. KUCHIN

## ANALYSIS OF DOWNTIME FUEL INJECTION PUMP WHEN THE APPLICATION OF PROBABILISTIC AND LOGICAL METHOD TROUBLE SHOOTING FOR KAMAZ TRUCKS

*Application of probabilistic and logical method of troubleshooting for transport companies, to optimize the transportation process and reduce downtime of vehicles, in particular the value of downtime for high pressure fuel pump failure on the element for one car, a car park, and one day operation of KAMAZ vehicles.*

**Keywords:** analysis, downtime, malfunction, probabilistic and logical method car.

### BIBLIOGRAPHY

1. Lyandenburskiy, V. V. Analiz neispravnostey toplivnykh sistem dizel'nykh avtomobiley. / Krivobok S. A., Lyandenburskiy V. V., Tarasov A. A., Fedoskov A. V. // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2011. - № 3. - S. 3-11.
2. Lyandenburskiy, V. V. Veroyatnostno-logicheskiy metod poiska neispravnostey avtomobiley [Tekst] / V. V. Lyandenburskiy, A. I. Tarasov, A. V. Fedoskov, S. A. Krivobok // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2011. - № 4. - S. 3-9.
3. Lyandenburskiy, V. V. Vstroennaya sistema diagnostirovaniya avtomobiley s dizel'nyim dvigatelem [Tekst] / V. V. Lyandenburskiy, YU. V. Rodionov, S. A. Krivobok // Avtotransportnoe predpriyatie. - 2012. - № 11. - S. 45-48.
4. Lyandenburskiy, V. V. Sovershenstvovanie protsessa diagnostirovaniya toplivnoy sistemy dizel'no-go dvigatelya [Tekst] / V. V. Lyandenburskiy, A. S. Ivanov, E. V. Kravchenko // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2012. - № 3. - S. 57-61.
5. Lyandenburskiy, V. V. Analiz udel'nykh zatrat i effektivnosti primeneniya veroyatnostno-logicheskogo metoda poiska neispravnostey dlya avtomobiley KAMAZ [Tekst] / V. V. Lyandenburskiy, L. A. Dolganov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2013. - №3. - S. 52-60.
6. Lyandenburskiy, V. V. Veroyatnostnyy podkhod k opredeleniyu veroyatnostno-logicheskogo koeffitsienta poiska neispravnostey avtomobiley [Tekst] / V. V. Lyandenburskiy, YU. V. Rodionov, A. I. Tarasov, I. E. Dolganov // Vestnik Tadzhijskogo tekhnicheskogo universiteta. - 2013. - № 1. - S. 26-33.
7. Lyandenburskiy, V. V. Logicheskiy podkhod k opredeleniyu veroyatnostno-logicheskogo koeffitsienta poiska neispravnostey avtomobiley [Tekst] / V. V. Lyandenburskiy, A. I. Tarasov, R. R. Seyfetdinov // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. - 2013. - № 5. - S. 194-198.
8. Lyandenburskiy V. V. Toplivnye sistemy sovremennykh i perspektivnykh dvigateley vnutrennego sgoraniya [Tekst]: uchebnoe posobie / V. V. Lyandenburskiy, A. A. Grabovskiy, A. M. Belokovyl'skiy, V. V. Sal-min, P. I. Anoshkin. - Penza: PGUAS, 2013. - 323 s.
9. Lyandenburskiy, V. V. Osnovy nauchnykh issledovaniy [Tekst]: uchebnoe posobie / V. V. Lyandenburskiy, A. V. Bazhenov, V. V. Konovalov. - Penza: PGUAS, 2013. - 388 s.
10. Lyandenburskiy, V. V. Diplomnoe proektirovanie [Tekst]: uchebnoe posobie / V. V. Lyandenburskiy. - Penza: PGUAS, 2013. - 332 s.
11. Lyandenburskiy, V. V. Informatsionno-intelektual'nye sistemy kontrolya i upravleniya transportnymi sredstvami [Tekst]: uchebnoe posobie / V. V. Lyandenburskiy, G. I. Sharonov, A. V. Bazhenov. - Penza: PGUAS, 2013. - 336 s.

**Ljandenbursky Vladimir Vladimirovich**

FGBOU VPO «Penza state university of architecture and building»  
Address: 440028, Russia, Penza, Titov's street, 28  
Candidate. techn., assistant professor of "Operation of road transport"  
E-mail: dekauto@pguas.ru

**Tarasov Alexander Ivanovich**

FGBOU VPO «Penza state university of architecture and building»  
Address: 440028, Russia, Penza, Titov's street, 28  
Engineer  
Email: dekauto@pguas.ru

**Kuchin Igor Viktorovich**

FGBOU VPO «Penza state university of architecture and building»  
Address: 440028, Russia, Penza, Titov's street, 28  
Student  
Email: dekauto@pguas.ru

УДК 629.621.018.

А. С. ДЕНИСОВ, Ю. И. ДАНИЛОВ

## АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДВС

*В линейке диагностических устройств для оценки кривошипно-шатунного механизма и цилиндропоршневой группы ДВС недостаточно эффективных, мобильных средств безразборной оценки технического состояния. Предлагается измерение толщины масляного слоя и температуры такта сжатия в цилиндре ДВС устройствами, выполненными из форсунки с микрометрическим винтом и встроенной термопарой. Снижение толщины масляного слоя в шатунных подшипниках и температуры воздушно-масляной смеси в камере сгорания цилиндра свидетельствует об износе шатунных вкладышей и утечках цилиндропоршневой группы из-за изношенных поршневых колец.*

**Ключевые слова:** *двигатель, температура, камера сгорания, диагностика, цилиндропоршневая группа, толщина масляного слоя, кривошипно-шатунный механизм.*

Действующая на автомобильном транспорте планово-предупредительная система технических обслуживаний и ремонта сочетает две стратегии: профилактическую, призванную предупредить отказ, и ремонтную при устранении возникших отказов. Принципы функционирования систем поддержания в работоспособности транспортных средств и ДВС развитых стран не содержит существенных отличий от аналогичных систем, функционирующих у нас. Различие заключается лишь в распределении объемов работ по техническому обслуживанию и ремонту техники между различными методами, все многообразие которых можно свести к трем категориям [1]:

- hard time (жесткий ресурс);
- on condition (по состоянию);
- condition monitoring (контроль состояния с контролем уровня надежности).

Первая категория аналогична методам ТО и ремонта техники, составляющим основу планово-предупредительной системы. Для транспортных средств, эксплуатирующихся по второй, наиболее многочисленной категории не устанавливается ограничение по ресурсу. Ремонт осуществляется по фактическому техническому состоянию с периодическим контролем средствами диагностирования. Третья категория – инженерное прогнозирование надежности с анализом отказов – применяется значительно реже, хотя является перспективным направлением.

Актуальность работы обусловлена тем, что по мере совершенствования планово-предупредительной системы увеличивается доля профилактических воздействий, однако они проводятся несвоевременно, что обуславливает высокие затраты труда, времени и средств на обеспечение работоспособности.

Целью исследования является снижение эксплуатационных издержек проведением текущих и профилактических ремонтов по результатам диагностирования разработанными и обоснованными методами.

На практике степень износа двигателя и потребность в его ремонте устанавливают по ряду косвенных признаков, таких как расход топлива, моторного масла, падение давления в системе смазки, падение мощности. Очевидно, что точность диагноза по указанным показателям относительна, и не позволяет определить состояние и степень изношенности цилиндропоршневой группы (ЦПГ) двигателя и кривошипно-шатунного механизма (КШМ), дать объективную оценку проведенного ремонта или же снабдить информацией, позволяющей прогнозировать остаточный ресурс ЦПГ и КШМ.

В Саратовском ГТУ имени Гагарина Ю.А. ведется разработка устройств для диагностики систем ДВС без разборки [2]. Для оценки технического состояния КШМ ранее нами описывалось разработанное и запатентованное устройство для диагностирования кривошип-

но-шатунного механизма и аналитическое обоснование этого метода диагностирования [3]. Суть - в безразборном измерении суммарного зазора в кривошипно-шатунном механизме и оценке толщины масляного слоя в шатунных подшипниках при перекладке поршня в верхней мертвой точке. Характер трибологии подшипника скольжения подтвердился в работах других исследователей [4,5].

В 2010 году нами получен патент на полезную модель № 95827 для диагностирования технического состояния цилиндропоршневой группы по температуре в камере сгорания. В дизелях температура такта сжатия является важным фактором, поскольку влияет на его эффективность и экономичность.

Для оценки технического состояния ЦПГ нами выдвинута рабочая гипотеза, заключающаяся в том, что при износе сопряжения ДВС «цилиндр-поршневое кольцо» снижается температура, при которой происходит возгорание топливно-воздушной смеси, так как часть газов прорывается в картер двигателя снижая давление, а следовательно, и температуру в камере сгорания. То есть, измеряя температуру в камере сгорания (без возгорания топливно-воздушной смеси), можно судить о состоянии рассматриваемого сопряжения. Сопряжение цилиндр-поршневое кольцо относится к саморазгружающимся, так как давление на поверхности трения по мере износа сопряжения уменьшается в процессе эксплуатации. Износ цилиндров и поршневых колец при одинаковых внешних условиях работы зависит от действия двух основных факторов: давления газов и упругости поршневых колец. Падение мощности двигателя происходит из-за уменьшения уплотняющей способности поршневых колец, герметичности камеры сгорания, упругости поршневого кольца и изменения формы гильзы. Чем больше отклонение формы гильзы в поперечном сечении от цилиндрической и чем меньше упругость поршневого кольца, тем сильнее ухудшается прилегаемость кольца к гильзе. Площадь просвета между кольцом и гильзой пропорциональна износу гильзы на величину  $d$ , тогда зазор в стыке кольца увеличится на величину  $\pi d$ , упругость поршневого кольца уменьшится на величину коэффициента пропорциональности  $b \pi d$ . Поэтому, можно говорить о линейности зависимости прилегаемости кольца (герметичности камеры сгорания) и его упругостью (износом гильзы). По экспериментальным данным [2], давление сжатия и сгорания уменьшается пропорционально площади просветов, уменьшается температура такта сжатия. Такие закономерности справедливы при величине относительной площади просвета до 10%.

Но, интенсивность изнашивания сопряжений цилиндр-поршневое кольцо в зависимости от пробега не остается постоянной, поэтому [2]:

$$S = \alpha_0(1 - e^{-bl})/b, \quad (1)$$

где  $S$  - увеличение зазора в стыке кольца при износе поршневого кольца и цилиндра по радиальной толщине;

$\alpha_0$  -интенсивность изнашивания поршневого кольца;

$b$  –параметр, характеризующий изменение интенсивности изнашивания на единицу износа (коэффициент интенсификации изнашивания);

$l$  –пробег.

Толщина поршневых колец и гильзы экспоненциально убывает в процессе эксплуатации, закономерность изменения интенсивности изнашивания в зависимости от пробега [1]:

$$\alpha = \alpha_0 e^{-bl}, \quad (2)$$

где  $\alpha_0$  -интенсивность изнашивания в конце приработки, приведенная к началу эксплуатации.

То есть, интенсивность изнашивания сопряжения цилиндр-поршневое кольцо уменьшается в зависимости от пробега по экспоненциальному закону.

С другой стороны, при увеличении зазоров в сопряжении цилиндр-поршневое кольцо уменьшается температура такта сжатия из-за снижения компрессионных свойств. Зависимость интенсивности изнашивания от температуры является весьма сложной, однако, с достаточной для практических целей точностью ее можно принять линейной [2]:

$$\alpha = \alpha_0 + b * t, \quad (3)$$

где  $\alpha_0$  - интенсивность изнашивания в конце приработки, приведенная к началу эксплуатации;

$b^*$  – параметр, характеризующий изменение температуры камеры сгорания на единицу износа;

$t$  – разница температуры внешней среды и температуры камеры сгорания без подачи топлива.

Приравняв (3) и (2) относительно  $\alpha$  получим зависимость износа сопряжения цилиндр-поршневое кольцо от температуры камеры сгорания:

$$\alpha_0 = b * t / (e^{-bt} - 1). \quad (4)$$

То есть, имеется аналитическая база для измерения температуры камеры сгорания и увязка с износом сопряжения цилиндр - поршневое кольцо.

При диагностировании двигатель запускают в режиме холостого хода и воздух в камере сгорания нагревается примерно до температуры 200°С. При снижении температуры на 5% и более следует провести углубленное диагностирование ЦПГ а при необходимости - замену поршневых колец на новые, для исключения прорыва газов в картер ДВС и снижения температуры горения рабочей смеси. Расширяясь, нагретый воздух истекает из камеры сгорания тем интенсивнее, чем больше износ в сопряжении между поршневыми кольцами и цилиндром, вследствие чего температура воздуха в камере сгорания падает. Значение температуры камеры сгорания можно с достаточной степенью точности преобразовать в величины износа цилиндропоршневой группы по предлагаемой зависимости (4), что может служить дополнительным диагностическим параметром технического состояния ЦПГ ДВС.

Таким образом, новизна исследования заключается в аналитическом обосновании возможности диагностирования механизмов ДВС и использовании разработанных и запатентованных устройств для комплексной оценки технического состояния ЦПГ и КШМ, что позволит увеличить точность и информативность диагностики ДВС с целью прогнозирования и продления профилактическими воздействиями [6] его ресурса. Практическая ценность исследования заключается в предложении эксплуатирующим автомобильную технику предприятиям сертифицированных средств диагностики технического состояния ДВС.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Remanufacturing. Overhauling. Rebuilding. What's the difference? [Text] // Fleet maintenance and Specifing: Part 1. – May 2002. – P. 28-33; Part 2. – June 1982. – P. 29-32.
2. Данилов, И. К. Аналитическое обоснование и разработка устройства для оценки износа цилиндропоршневой группы дизелей [Текст] / И. К. Данилов, К. Л. Слитников, Ю. И. Данилов // Мир транспорта и технологических машин. - 2012. - №1(36). - С. 15-19.
3. Денисов, А. С. Исследование режима диагностирования кривошипно-шатунной группы дизельных двигателей по толщине масляного слоя [Текст] / А. С. Денисов, И. К. Данилов // Вестник Саратовского государственного технического университета. - 2003. - №1. - С.71-75.
4. Виноградов, А. Н. Повышение качества подшипников на основе формирования рациональных физико-механических свойств контактных поверхностных слоев [Текст]: дис. ... д-р техн. наук / Виноградов А. Н. – Саратов, 2008.
5. Радченко, С. Ю. Анализ видов повреждений шаровых шарниров [Текст] / С. Ю. Радченко, А. Н. Новиков, А. А. Катунин, М. Д. Тебекин // Мир транспорта и технологических машин. – 2012. - №1(36). – С. 8-15.

6. Данилов, И. К. Планирование эксплуатационно-ремонтных циклов двигателей внутреннего сгорания [Текст] / И. К. Данилов, Ю. И. Данилов, И. М. Попова, К. Л. Слитников // Наука: 21 век. - 2012. - №2. - С.28-35.

**Денисов Александр Сергеевич**

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

Адрес: 410008, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

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

E-mail: denisov@sstu.ru

**Данилов Юрий Игоревич**

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

Адрес: 410008, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

Аспирант кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство»

E-mail: danilov@sstu.ru

---

A. S. DENISOV, Yu. I. DANILOV

## ANALYTICAL RESEARCH AND JUSTIFICATION OF A COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF TECHNICAL CONDITION OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES

*Within diagnostic devices of cylinder and piston group of the internal combustion engine (ICE) there are not enough effective and mobile devices for the estimation of nondemountable technical condition of ICE. It is supposed that the temperature measuring of the compression stroke will be done with a device made of jet apparatus with built-in thermocouple. The reduction of the temperature of the compression stroke indicates the effluxes within the cylinder and piston group because of the wear and may be done with the additional diagnostic parameter at the estimation of the ICE resource.*

**Keywords:** engine, thermocouple, jet apparatus, combustion chamber, diagnostics, cylinder and piston group.

### BIBLIOGRAPHY

1. Remanufacturing. Overhauling. Rebuilding. What's the difference? [Text] // Fleet maintenance and Specifing: Part 1. - May 2002. - P. 28-33; Part 2. - June 1982. - P. 29-32.
2. Danilov, I. K. Analiticheskoe obosnovanie i razrabotka ustroystva dlya otsenki iznosa tsilindro-porshnevoy gruppy dizeley [Tekst] / I. K. Danilov, K. L. Slitnikov, YU. I. Danilov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2012. - №1(36). - S. 15-19.
3. Denisov, A. S. Issledovanie rezhima diagnostirovaniya krivoshipno-shatunnoy gruppy dizel'nykh dvigateley po tolshchine maslyanogo sloya [Tekst] / A. S. Denisov, I. K. Danilov // Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. - 2003. - №1. - S.71-75.
4. Vinogradov, A. N. Povyschenie kachestva podshipnikov na osnove formirovaniya ratsional'nykh fiziko-mekhanicheskikh svoystv kontaktnykh poverkhnostnykh sloev [Tekst]: dis. ... d-r tekhn. nauk / Vinogradov A. N. - Saratov, 2008.
5. Radchenko, C. YU. Analiz vidov povrezhdeniy sharovykh sharnirov [Tekst] / S. YU. Radchenko, A. N. No-vikov, A. A. Katunin, M. D. Tebekin // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2012. - №1(36). - S. 8-15.
6. Danilov, I. K. Planirovanie ekspluatatsionno-remontnykh tsiklov dvigateley vnutrennego sgora-niya [Tekst] / I. K. Danilov, YU. I. Danilov, I. M. Popova, K. L. Slitnikov // Nauka: 21 vek. - 2012. - №2. - S.28-35.

**Denisov Aleksandr Sergeevich**

ФГБОУ ВПО «Юри Гагарин State Technical University of Saratov»

Address: 77 Politechnicheskaya street, Saratov, Russia, 410054

Doctor of Science in Engineering, Professor of the department «Cars and cars organisations»

E-mail: denisov@sstu.ru

**Danilov Yuriy Igorevich**

ФГБОУ ВПО «Юри Гагарин State Technical University of Saratov»

Address: 77 Politechnicheskaya street, Saratov, Russia, 410054

Postgraduate Student of the department «Cars and»

E-mail: danilov@sstu.ru

Е. В. БОНДАРЕНКО, А. А. ФИЛИППОВ, Р. Т. ШАЙЛИН

## КОЭФФИЦИЕНТ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОЙ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОБСЛУЖИВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ, КАК ОСНОВА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

*Опыт использования альтернативных видов топлива (АВТ) на транспорте показал, что запланированная результативность от применения АВТ не достигается в полном объеме. В этой связи в статье проанализированы причины, сдерживающие рост эффективности применения АВТ, а также представлен коэффициент потребительской оценки, позволяющий определить возможность применения АВТ для различных регионов и потребности в строительстве новых заправочных станций и модернизации существующих.*

**Ключевые слова:** альтернативные виды топлива, результативность деятельности, заправочная сеть, коэффициент потребительской оценки.

Известно, что наиболее эффективным направлением снижения издержек автотранспортных предприятий является эксплуатация транспортных средств (ТС) на альтернативных видах топлива (АВТ) [1]. Но, как показывает опыт, явные преимущества различных АВТ не всегда приводят к запланированному результату. Причинами такого проявления являются:

- недостаточно развитая заправочная сеть, приводящая к большим порожним пробегам.
- опережающие темпы роста парка ТС работающего на АВТ, приводящих к перегрузке заправочной сети;

Это приводит к снижению показателей результативности деятельности автотранспортных предприятий и, в последующем, к отсутствию стимула расширения использования АВТ на транспорте.

Поэтому, важнейшую роль в успешности развития программ расширения парка транспортных средств, работающих на АВТ [2], играет подготовленность региона к этим мероприятиям. Таким образом, определение возможности применения АВТ, а также потребности в строительстве заправочных станций должно, в первую очередь, определяться не на основе потенциальной потребительской емкости спроса на АВТ (выявляется на основе определения перспективной доли (группы) ТС), а за счет удовлетворенности тех потребителей, которые используют АВТ.

Потребительское отношение к использованию АВТ можно охарактеризовать как потребительскую оценку к обслуживаемому объекту, на основе которой каждое автотранспортное предприятие будет определять целесообразность применения любого вида топлива, формировать требования к мощностным показателям и размещению объектов заправочной сети.

Потребительская оценка обслуживаемого объекта складывается из следующих составляющих:

- потери, связанные с движением до пункта обслуживания ( $\Pi_1$ );
- потери, связанные с простаиванием в очереди на пункте обслуживания ( $\Pi_2$ ).

Приведенные потери влияют на результативность деятельности, которая выражается в эффективности использования материальных средств и (или) сокращении общего времени полезной деятельности.

Для  $\Pi_1$  достаточным является тот пробег, время на преодоление которого не превысит планового времени, выделенного на обслуживание, а затраты материальных средств не приведут к критическому снижению результативности деятельности.  $\Pi_1$  зависит от нескольких факторов:

- «плеча» обслуживания – пробег транспорта до пункта обслуживания;

- сложившихся условий дорожного движения (плотность транспортного потока, скоростные ограничения, обустройство дорожных узлов и развязок).

Таким образом, эта составляющая потребительской оценки будет включаться в состав общего времени деятельности, а выход значения за пределы предусмотренных потерь будет вести к снижению потребительской оценки.

Как и  $\Pi_1$ ,  $\Pi_2$  включается в состав общего времени деятельности, поэтому также способна влиять на результативность деятельности. Величина  $\Pi_1$  зависит от следующих факторов:

- организация обслуживания (с приоритетом, без приоритета);
- пропускной способности (зависит от числа обслуживающих каналов);
- плотности заявок на обслуживание;
- длительности обслуживания;
- наличие альтернативных пунктов обслуживания.

Влияние  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$  на результат деятельности может быть значительным и дальнейшая деятельность перестанет приносить эффект. Данный эффект зависит от материальной стороны деятельности (доход, прибыль, издержки) и (или) психофизиологической нагрузки оказываемой на участника деятельности (режим труда и отдыха). Определение критического значения составляющих потребительской оценки позволит определить для каждого потребителя собственное отношение в численной форме к различным пунктам обслуживания. Графическое определение потребительской оценки обслуживаемого объекта с определением критических значений представлено на рисунке 1, линейное представление обусловлено аппроксимацией полученных данных.

Математическая интерпретация потребительской оценки обслуживаемого объекта имеет следующий вид:

$$\Pi_{\text{оц.}} = \left( 1 - \frac{P_{\text{пл.ф.}} - P_0}{P_{\text{крит.}} - P_0} \right) \cdot 100, \quad (1)$$

где  $P_{\text{пл.ф.}}$  – фактическая потеря результативности, ед. результ. деят.;

$P_0$  – результативность без учета затрат пробега до и от пункта обслуживания, ед. результ. деят.;

$P_{\text{крит.}}$  – критическая потеря результативности, ед. результ. деят.;

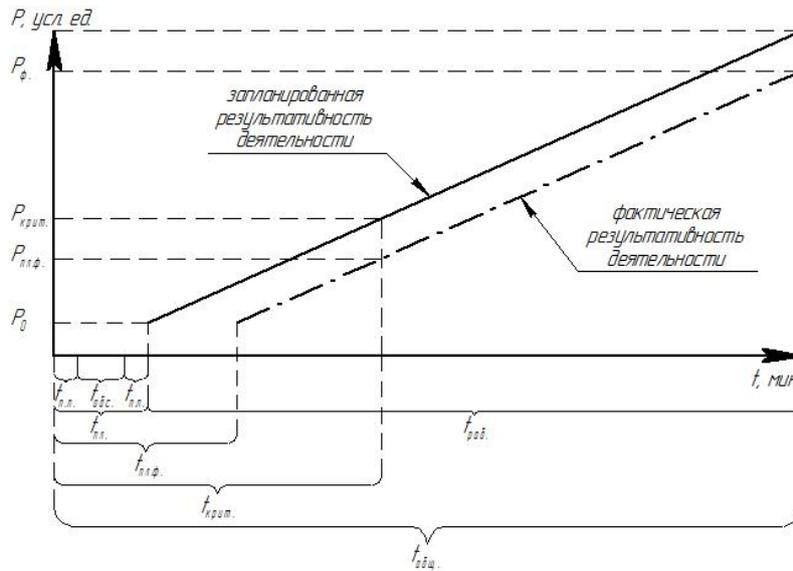
Для объектов обслуживания автомобильного транспорта потребительская оценка будет определяться с учетом линейного расхода топлива ( $Q$ , ед. топлива), «плеча» обслуживания ( $L$ , км), стоимости ед. топлива ( $C$ , руб.):

$$\Pi_{\text{оц.}} = \left( 1 - \frac{(P_{\text{пл.ф.}} - Q \cdot L \cdot C) \cdot t_{\text{общ.}}}{t_{\text{крит.}} \cdot P_{\text{общ.}} - t_{\text{общ.}} \cdot Q \cdot L \cdot C} \right) \cdot 100, \quad (2)$$

где  $t_{\text{крит.}}$  – критически возможное время прохождения обслуживания, ч;

$P_{\text{общ.}}$  – общая планируемая результативность деятельности, ед. результ. деят.;

$t_{\text{общ.}}$  – общее время деятельности, ч.



**Рисунок 1 – Графическое определение потребительской оценки обслуживающего объекта**

$P_{\phi}$  – фактическая результативность;  $P_{крит.}$  – критическая потеря результативности;  $P_{пл.ф.}$  – фактическая потеря результативности;  $P_0$  – результативность без учета затрат пробега до и от пункта обслуживания;  $t_{п.п.}$  – время на прохождение пути до пункта обслуживания;  $t_{обс.}$  – время обслуживания;  $t_{пл.}$  – планируемое время обслуживания;  $t_{пл.ф.}$  – фактическое время обслуживания;  $t_{крит.}$  – критически возможное время прохождения обслуживания;  $t_{раб.}$  – планируемый интервал времени результативной деятельности;  $t_{общ.}$  – общее время деятельности

При этом, граничными условиями целесообразности продолжения деятельности будет условие:

$$t_{крит.} > t_{пл.ф.} \rightarrow t_{пл} = 2t_{п.п.} \cdot t_{обс.}, \tag{3}$$

- где  $t_{пл.ф.}$  – фактическое время обслуживания, ч;  
 $t_{пл}$  – планируемое время обслуживания, ч;  
 $t_{п.п.}$  – время на прохождение пути до пункта обслуживания, ч;  
 $t_{обс.}$  – время обслуживания, ч.

Для предприятий автомобильного транспорта основное влияние на процесс функционирования оказывает время, затрачиваемое на  $t_{обс.}$  и  $t_{п.п.}$ , особенно для предприятий, задействованных в регулярных пассажирских перевозках. Помимо потерь прибыли происходит нарушение интервалов выхода транспорта на маршруты из-за неправильно учтенного  $t_{пл}$ , что может привести к переутомлению водителей, перекраиванию в срочном порядке расписаний диспетчерскими службами и в конечном итоге, приводящих к нарушению регулярности обслуживания маршрутов.

Поэтому определение  $t_{п.п.}$  проводится при наличии информации о средней скорости транспортных потоков в течение всего рабочего времени по пути движения и использования геоинформационных программных средств (2GIS, OrenGIS и т.д.), позволяющих определять длину пути и оптимальный маршрут движения до пункта обслуживания.

$$t_{п.п.} = L \cdot V_{тр.п.}, \tag{4}$$

где  $V_{тр.п.}$  – средняя скорость транспортного потока, км/ч.

Графическое определение оптимального выбора при помощи геоинформационных программных средств, представлено на рисунке 2.

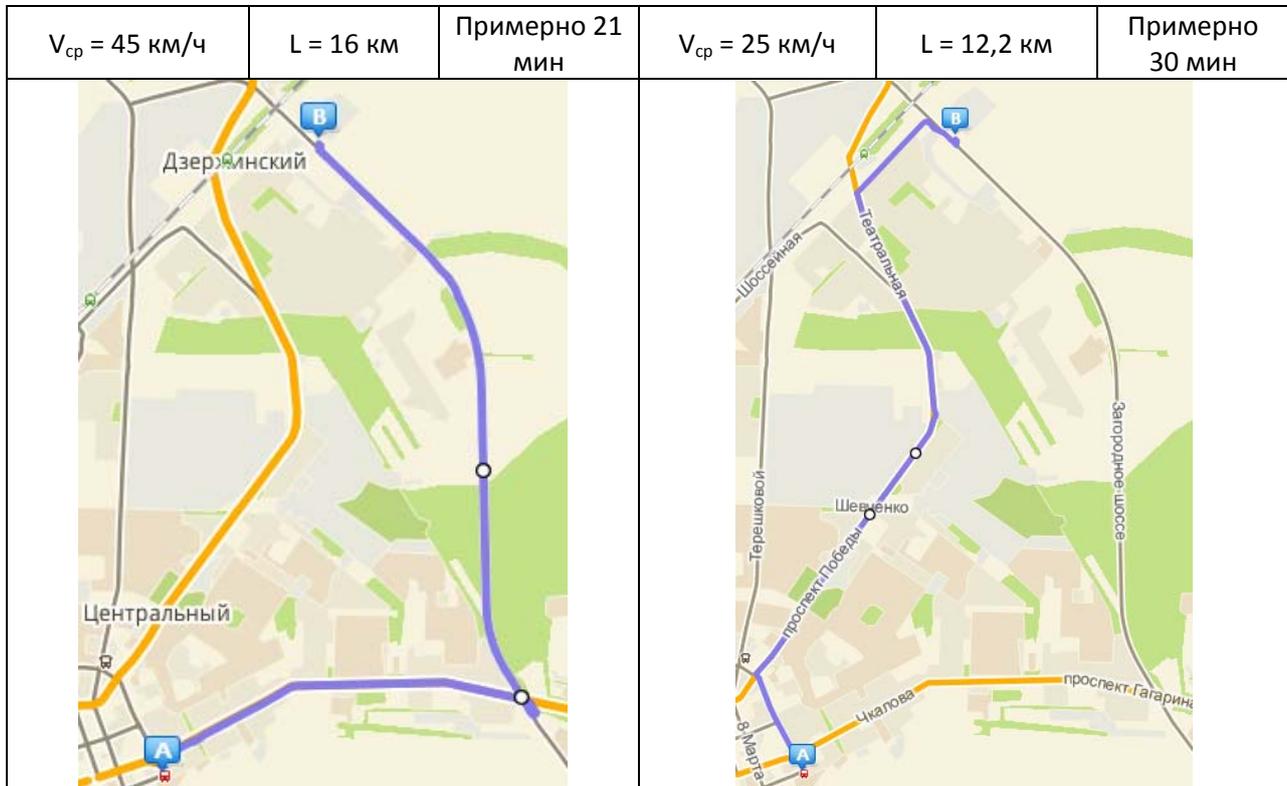


Рисунок 2 – Определение оптимального маршрута при помощи геоинформационного программного средства

Определение  $t_{обс.}$  проводится с учетом загрузки обслуживающего объекта. Для этой цели используется математический аппарат теории массового обслуживания, с помощью которого можно определить время нахождения транспорта на пункте обслуживания [3]:

$$t_{обс.} = \frac{1}{\lambda} \cdot \left( \frac{(\lambda \cdot t)^{n+1}}{(n-1)! \cdot (n - \lambda \cdot t)^2} \cdot \frac{1}{\sum_{k=0}^n \frac{(\lambda \cdot t)^k}{k!} + \frac{(\lambda \cdot t)^{n+1}}{n! \cdot [n - (\lambda \cdot t)]}} \right) + t, \quad (5)$$

где  $\lambda$  – интенсивность потока заявок, заявок/ед.времени;  
 $n$  – количество каналов обслуживания, ед.;  
 $k$  – количество заявок в очереди, ед.;  
 $t$  – среднее время обслуживания заявки, ч.

Для обслуживающих объектов характерно наличие неравномерности загрузки в течение суток (рис. 3)[4]. Поэтому, чтобы учесть наличие пиковых часов загрузки необходимо периодически проводить мониторинг пунктов обслуживания с целью дальнейшего учета переменной  $\lambda$ .

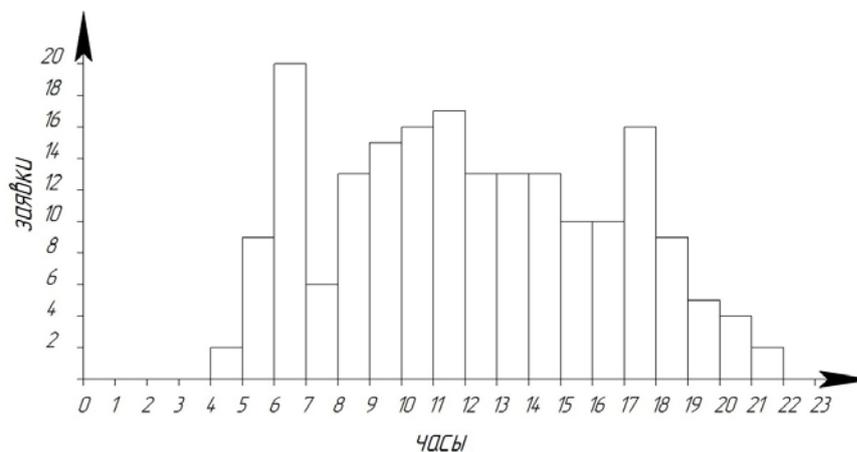


Рисунок 3 – Динамика изменения плотности заявок за сутки по часам

В конечном итоге, для возможности проведения ранжирования объектов обслуживающей сети предлагается использовать коэффициент потребительской оценки:

$$K_{п} = \Pi_{оц} / 100 = 1 - \frac{(P_{пл.ф.} - Q \cdot L \cdot C) \cdot t_{общ}}{t_{крит} \cdot P_{общ.} - t_{общ} \cdot Q \cdot L \cdot C}. \quad (6)$$

Вводимый коэффициент потребительской оценки деятельности обслуживающих предприятий (заправки, мойки и т.д.) позволит на новом, научно-обоснованном уровне, разрабатывать инновационные региональные программы по совершенствованию сети обслуживающих предприятий в т.ч. АЗС АВТ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко, Е. В. К вопросу о необходимости развития сети метановых заправок в г. Оренбурге [Текст] / Е. В. Бондаренко, А. А. Филиппов, М. Р. Фазуллин, Р. Т. Шайлин // Мир транспорта и технологических машин. - 2012. - № 4. - С 15-23.
2. Бондаренко, Е. В. К вопросу о разработке и реализации программы «Расширение парка техники, работающей на природном газе и региональной заправочной сети до 2015 года и на перспективу до 2020 года» [Текст] / Е. В. Бондаренко, А. А. Филиппов, Р. Т. Шайлин // Актуальные вопросы инновационного развития транспортного комплекса: материалы 3-ей международной научно-практической конференции. -2013.–С. 41-45.
3. Куликов, О. В. Анализ характеристик системы массового обслуживания средствами MATHCAD [Текст]: методические рекомендации к выполнению лабораторной работы [Текст] / О. В. Куликов, Т. В. Завьялова, П. П. Скачков. - Екатеринбург: изд-во «Уральский государственный университет путей и сообщения (УрГУПС)», 2006.
4. Седых, А. А. Опыт эксплуатации АГНКС совместно с ПАГЗ в ЗАО «Касимавтогаз» [Текст] / А. А. Седых, А. Н. Дегтярев, А. Н. Ковалев, Ю. В. Панов, И. П. Капустин // Транспорт на альтернативном топливе. – 2008. - № 4(4). - С 41-43.

**Бондаренко Елена Викторовна**

ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный университет»  
 Адрес: 460018, Россия, г. Оренбург, пр. Победы 13  
 Д-р техн. наук, профессор кафедры «Техническая эксплуатация и ремонт автомобилей»  
 E-mail: tera@mail.osu.ru, Raul20082008@mail.ru

**Филиппов Андрей Александрович**

ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный университет»  
 Адрес: 460018, Россия, г. Оренбург, пр. Победы 13  
 Канд. техн. наук, доцент кафедры «Техническая эксплуатация и ремонт автомобилей»  
 E-mail: andrulia@rambler.ru

**Шайлин Равиль Ташбулатович**

ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный университет»

Адрес: 460018, Россия, г. Оренбург, пр. Победы 13

Аспирант кафедры «Техническая эксплуатация и ремонт автомобилей»

E-mail: Raul20082008@mail.ru

---

E. V. BONDARENKO, A. A. FILIPPOV, R. T. SHAILIN

## COEFFICIENT OF A CONSUMER ASSESSMENT OF PRODUCTIVITY OF ACTIVITY OF THE SERVING ENTERPRISES AS A BASIS FOR DEVELOPMENT OF INNOVATIVE PROJECTS

*Experience of use of the alternative types of fuel (ATF) on transport, showed that the planned productivity from application of ATF isn't reached in full. In this regard in article the reasons containing growth of efficiency of application of ATF are analysed, and also the description of coefficient of a consumer assessment allowing to define possibility of application of ATF for various regions and need for construction of new gas stations is submitted.*

**Keywords:** *alternative types of fuel, productivity of activity, filling network, activity time.*

### BIBLIOGRAPHY

1. Bondarenko, E. V. K voprosu o neobkhodimosti razvitiya seti metanovykh zapravok v g. Orenburge [Tekst] / E. V. Bondarenko, A. A. Filippov, M. R. Fazullin, R. T. SHaylin // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2012. - № 4. - S 15-23.
2. Bondarenko, E. V. K voprosu o razrabotke i realizatsii programmy "Rasshirenje parka tekhniki, rabotayushchey na prirodnom gaze i regional'noy zapravochnoy seti do 2015 goda i na perspektivu do 2020 goda" [Tekst] / E. V. Bondarenko, A. A. Filippov, R. T. SHaylin // Aktual'nye voprosy innovatsionnogo razvitiya transportnogo kompleksa: materialy 3-ey mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. -2013.-S. 41-45.
3. Kulikov, O. V. Analiz kharakteristik sistemy massovogo obsluzhivaniya sredstvami MATHCAD [Tekst]: metodicheskie rekomendatsii k vypolneniyu laboratornoy raboty [Tekst] / O. V. Kulikov, T. V. Zav'ya-lova, P. P. Skachkov. - Ekaterinburg: izd-vo "Ural'skiy gosudarstvennyy universitet putey i soobshcheniya (Ur-GUPS)", 2006.
4. Sedykh, A. A. Opyt ekspluatatsii AGNKS sovместno s PAGZ v ZAO "Kasimavtogaz" [Tekst] / A. A. Sedykh, A. N. Degtyarev, A. N. Kovalev, YU. V. Panov, I. P. Kapustin // Transport na al'ternativnom toplive. - 2008. - № 4(4). - S 41-43.

**Bondarenko Elena Viktorovna**

ФГБОУ ВПО "Orenburg State University"

Address: 460018, Russia, Orenburg, etc. Victory 13

Dr. tehn., professor of "Maintenance and repair"

E-mail: tera@mail.osu.ru, Raul20082008@mail.ru

**Filippov Andrey Aleksandrovich**

ФГБОУ ВПО "Orenburg State University"

Address: 460018, Russia, Orenburg, etc. Victory 13

Candidate . tehn., assistant professor of "Maintenance and repair"

E-mail: andrulia@rambler.ru

**Shaylin Ravil Tashbulatovich**

ФГБОУ ВПО "Orenburg State University"

Adreks : 460018, Russia, Orenburg, etc. Victory 13

Graduate student "Maintenance and repair"

E-mail: Raul20082008@mail.ru

УДК 656.13

И. В. СТАРОДУБЦЕВА

## МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ТОРМОЗНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГИБРИДНОГО ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

*Тормозное сопротивление - ключевой компонент, обеспечивающий безопасность и надежность гибридных электромобилей (ГЭМ). В этой статье исследуются математические модели электрической тормозной системы и способы контроля тормозного сопротивления. Ключевые детали, включая двигатель, аккумуляторы и шины, которые влияют на контроль тормозного сопротивления, выбраны. Методы ручного управления с помощью переключателей и линейного регулирования тормозным сопротивлением сравниваются с помощью моделирования и анализа. Результаты показывают: математические модели отражают характеристики электрической тормозной системы. Оба метода ручного управления с помощью переключателей и линейного регулирования могут осуществлять эффективный контроль. Метод ручного управления с помощью переключателей может быть осуществлен достаточно легко. Метод линейного регулирования достаточно точный и равномерный.*

**Ключевые слова:** гибридный электромобиль (ГЭМ); тормозное сопротивление; метод ручного управления с помощью переключателей, метод линейного регулирования, моделирование.

Электрический тормоз – важный элемент гибридных электромобилей, который применяется, чтобы сохранить энергию и увеличить срок службы тормозов с механическим приводом.

Электрический тормоз включает рекуперативный тормоз и тормозной реостат. Рекуперативный тормоз возвращает электроэнергию, которая может использоваться электрическими компонентами или поглощаться аккумуляторами. В условиях достаточно большой тормозной силы или непрерывного торможения, ограниченного мощностью аккумуляторов, рекуперативная энергия не может быть полностью поглощена. В этом случае избыточная энергия должна быть преобразована в тепло тормозным реостатом для безопасности и надежности ГЭМ.

В этой статье исследуются методы контроля тормозного сопротивления ГЭМ, и сравниваются методы ручного управления с помощью переключателей и линейного регулирования.

### ПРИНЦИП ТОРМОЗНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Когда работает реостатное торможение, электроэнергия от двигателя переходит в тормозное сопротивление, и электроэнергия преобразуется в тепловую энергию. Тепловая энергия выделяется в атмосферу воздушным маслоохладителем. Стационарная сила тормоза может быть достигнута реостатным торможением, но для этого необходимо большое сопротивление. Структура электрической тормозной системы ГЭМ с тормозным реостатом показана на рисунке 1.

В результате торможения транспортного средства, часть кинетической энергии преобразуется в электроэнергию. Часть электроэнергии поглощается обмоткой, большая часть энергии возвращается в шину и напряжение увеличивается. Если электроэнергия на шине не выделялась, то напряжение увеличилось, и на прибор управления поступил бы предупреждающий сигнал. Когда напряжение выше, чем пороговое, цепь тормозного реостата открыта, и избыточная электроэнергия потребляется сопротивлением. Система управления тормозным сопротивлением представлена на рисунке 2.

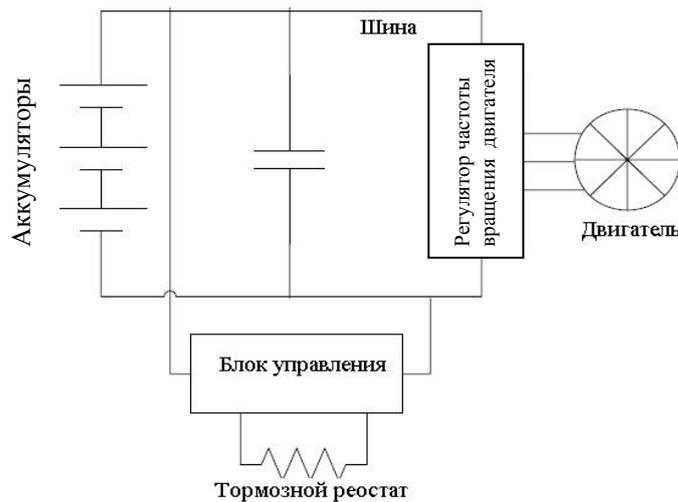


Рисунок 1 - Структура электрической тормозной системы

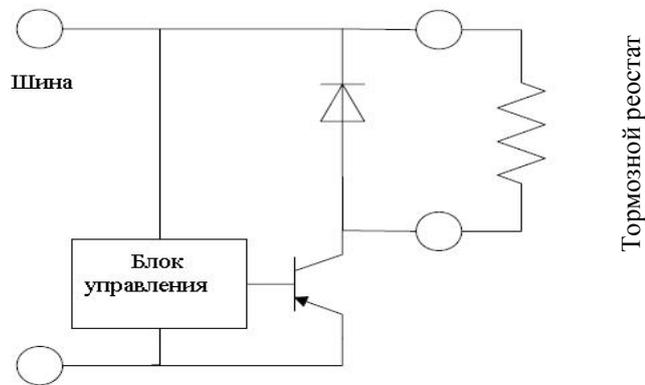


Рисунок 2 - Структура блока управления тормозного сопротивления

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ

### 1. Модель электродвигателя.

В этой статье используется метод моделирования с помощью моторных характеристик. Просмотр и интерполирование результатов осуществляются в программе Matlab.

Вращающий момент на выходном валу электродвигателя рассчитывается по формуле

(1):

$$T_m = \frac{1}{1+s\tau} T_{m0}, \quad (1)$$

где  $T_m$  - фактический тормозной момент двигателя;

$T_{m0}$  - расчетный тормозной момент двигателя;

$\tau$  - время моторного тормозного момента;

$s$  – оператор Лапласа.

Входной сигнал модели электродвигателя – это крутящий момент от распределительного контроллера силы торможения и частоты вращения электродвигателя. Выходной сигнал – это фактический вращающий момент и рекуперативный ток. Частота вращения двигателя может быть вычислена с помощью скорости вращения колеса. Рекуперативная энергия и ток рассчитываются от фактического моторного вращающего момента, частоты вращения двигателя и коэффициента полезного действия.

Полная мощность электродвигателя:

$$P_{\text{общ}} = T_m \omega_m \quad \text{или} \quad P_{\text{общ}} = P_m + P_{\text{пот}}, \quad (2)$$

где  $P_{\text{общ}}$  - полная мощность электродвигателя;

$\omega_m$  - частота вращения электродвигателя;  
 $P_m$  - эффективная мощность электродвигателя;  
 $P_{пот}$  - мощность потери электродвигателя.  
 Эффективная мощность это:

$$P_m = I_m U, \quad (3)$$

где  $I_m$  – ток электродвигателя;  
 $U$  - напряжение на шине.

Таким образом, применяя формулы (2) и (3) получаем, что рекуперативный ток электродвигателя при условии торможения:

$$I_m = \frac{P_m \omega_m - P_{пот}}{U}. \quad (4)$$

## 2. Модель аккумулятора

Зарядка и разрядка аккумуляторов - химический процесс, связанный с температурой и током. В связи с этим этот процесс достаточно сложно смоделировать из-за нелинейной и изменяющей во времени характеристики аккумуляторов.

Внутренняя модель сопротивления аккумуляторов состоит из источника напряжения и переменного резистора. Напряжение разомкнутой цепи аккумулятора соответствует состоянию заряда аккумулятора (СЗА) и температуре. СЗА аккумуляторов вычисляется с помощью модели аккумулятора.

Внутреннее сопротивление аккумуляторов  $R_{внутр}$  является функцией СЗА, температуры и текущего направление тока (зарядка или разрядка). Соответствующие переменные величины модели аккумулятора вычисляются с помощью таблицы поиска данных и интерполяцией.

Динамическое СЗА вычисляется по формуле (5):

$$СЗА = СЗА_0 - \frac{\int_0^t I_B dt}{C_N}, \quad (5)$$

где  $СЗА_0$  – начальная величина СЗА;

$I_B$  - ток аккумулятора;

$C_N$  - суммарная емкость аккумуляторов.

Динамические функции переменных величин в модели аккумулятора вычислены следующим образом. Динамическое напряжение аккумуляторов рассчитывается как:

$$E(СЗА) = U_{oc} + I_B R_{внутр}.$$

Мощность зарядки/разрядки аккумуляторов:

$$P_B = I_B U_{oc}.$$

Полная мощность аккумуляторов:

$$E I_B = P_B + I_B^2 R_{внутр}.$$

Ток аккумулятора:

$$I_B = \frac{E - \sqrt{E^2 - 4R_{внутр}P_B}}{2R_{внутр}}.$$

Температура аккумулятора влияет на ток и срок службы. Температура вычисляется как:

$$T = T_0 + \int_0^t \frac{Q_{\text{ак}} + Q_{\text{ат}}}{mc} dt,$$

где  $T_0$  – начальное значение температуры;

$Q_{\text{ак}}$  – тепло, выделенное из-за потери мощности аккумуляторов;

$Q_{\text{ат}}$  – тепло, выделенное в атмосферу;

$m$  – масса аккумуляторов;  $c$  – удельная теплоемкость аккумуляторов.

### 3. Модель шины.

Шина соединяет двигатель, аккумуляторы и тормозное сопротивление (рис.1). Между положительным и отрицательным электродом есть конденсатор фильтра. Напряжение на шине – важный параметр для вычисления модели и управления тормозным сопротивлением. Согласно упрощенной модели, показанной на рисунке 1, напряжение на шине вычисляется по формуле (6):

$$U = E(\text{СЭА}) + C(I_m - I_B) = U_{\text{ак}} + I_B R_{\text{внутр}} + C(I_m - I_B), \quad (6)$$

где  $C$  – емкость конденсатора фильтра текущей шины.

Когда цепь шины разомкнута, напряжение на шине эквивалентно напряжению разомкнутой цепи аккумулятора и напряжению на конденсаторе фильтра. Когда есть ток в шине и  $I_m$  не равен  $I_B$ , конденсатор фильтра заряжается или разряжается и напряжение на шине изменяется. Когда тормозное сопротивление работает, напряжение на шине вычисляется по формуле (7):

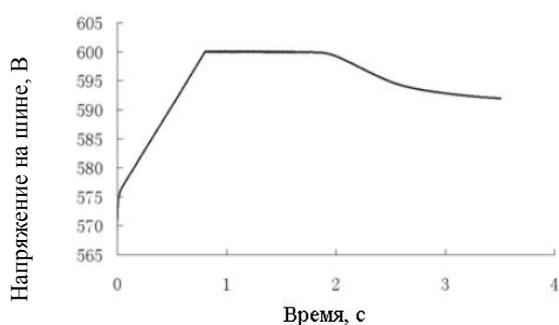
$$U = E(\text{СЭА}) + C(I_m - I_B - I_R), \quad (7)$$

где  $I_R$  – ток, протекающий через тормозной реостат.

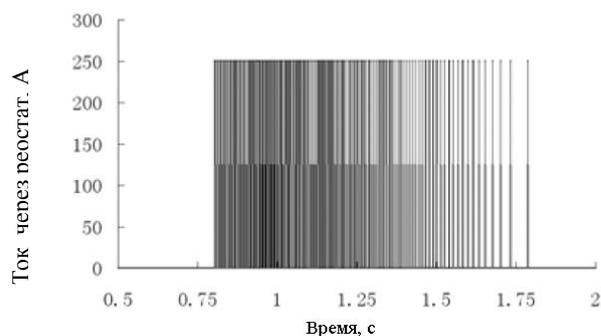
### МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ТОРМОЗНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Метод ручного управления устанавливает рабочий порог тормозного сопротивления согласно напряжению на шине. Когда напряжение на шине выше, чем пороговое, тормозное сопротивление открыто. Ток через тормозной реостат равен отношению напряжения на шине к величине тормозного сопротивления. Метод ручного управления с помощью переключателей не может регулировать ток через тормозной реостат. Когда напряжение на шине ниже, чем пороговое, тормозное сопротивление закрыто. Ручное управление с помощью переключателей используется в ГЭМ. Результат моделирования ручного управления с помощью переключателей показан на рисунке 3.

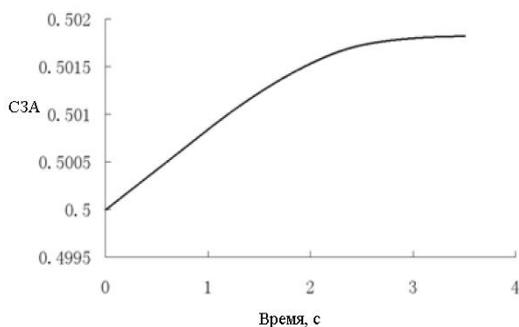
Предположим, что рекуперативный ток и зарядный ток могут быть измерены или оценены точно, и ток тормозного реостата может регулироваться линейной системой управления. Тогда может быть применен линейный способ регулирования. В этом методе только избыточный ток, который является разницей между рекуперативным током и максимально допустимым зарядным током аккумуляторов, передает тормозное сопротивление. Напряжение на шине и ток тормозного реостата контролируются очень плавно и повышается эффективность контроля. Для сравнения с ручным управлением, результат моделирования линейного способа регулирования показан на рисунке 4.



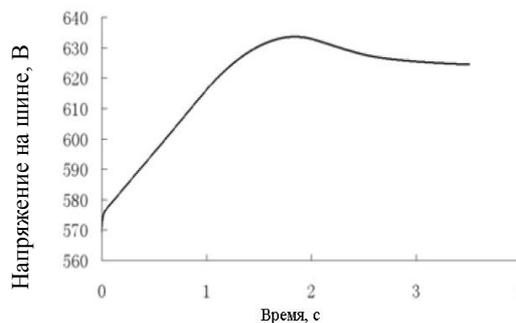
(а) Напряжение на шине с контролем



(б) Ток тормозного реостата



(в) СЗА



(г) Напряжение на шине без контроля

Рисунок 3 - Состояние электрической тормозной системы с ручным управлением тормозного сопротивления

### АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Когда тормозная сила велика, и рекуперативный ток выше, чем допустимый зарядный ток аккумуляторов, конденсатор фильтра шины заряжен избыточным током. Напряжение на шине увеличивается быстро. При отсутствии тормозного сопротивления, напряжение на шине было бы намного выше, чем допустимый диапазон напряжения, который показан на рисунке 3 (г). Это повлияло бы на работу и на срок службы аккумуляторов. Если есть тормозное сопротивление, то цепь будет открыта, когда напряжение на шине выше, чем пороговое. Ток через тормозной реостат равен отношению напряжения на шине к величине тормозного сопротивления. Когда ток потребляется тормозным сопротивлением, и напряжение на шине становится меньше, чем пороговое, цепь закрыта, и протекающий ток равен нулю (рис. 3 (б)). Несмотря на контроль тормозного сопротивления, напряжение на шине ограничено, и удастся избежать воздействия большого напряжения на аккумуляторы. Напряжение на шине немного колеблется и существует шум, производимый в результате контроля тормозного сопротивления. Это недостатки метода ручного управления.

Преимущества линейного контроля показаны на рисунке 4. Поскольку переданный ток тормозного сопротивления регулируется линейным управлением, напряжение на шине и ток через тормозной реостат контролируются плавно, и аккумуляторы заряжены равномерно в допустимом диапазоне тока заряда. Конечно, линейный способ регулирования требует точные значения рекуперативного тока и зарядного тока аккумулятора, и соответственно током через тормозной реостат можно управлять линейно.

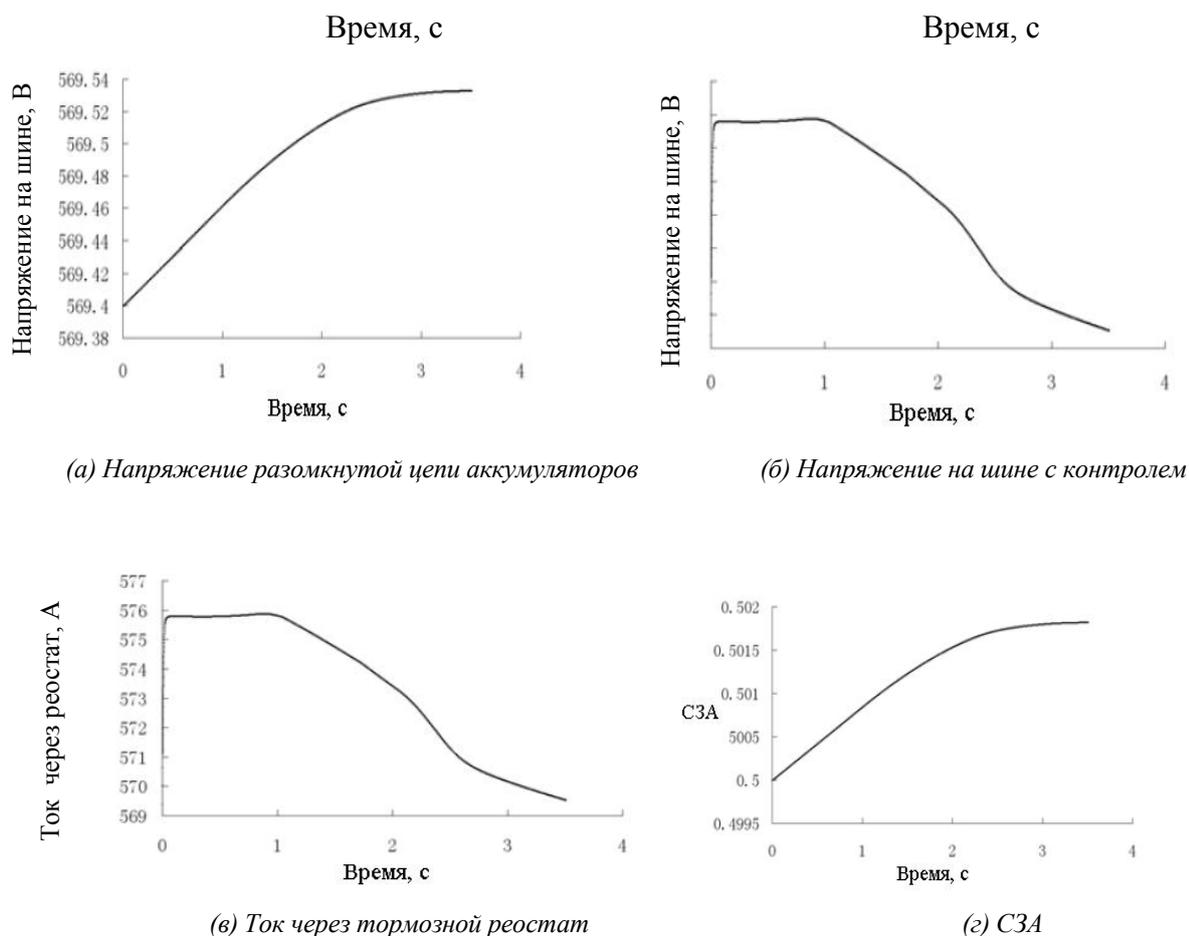


Рисунок 4 - Состояние электрической тормозной системы с линейным контролем тормозного сопротивления

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Посредством методов контроля был произведен анализ тормозного сопротивления, математических моделей электродвигателя и аккумуляторов. Результаты моделирования показывают, что модели могут отразить особенности параметров состояния электрической тормозной системы.

Воздействие контроля тормозного сопротивления обосновывается системным моделированием. По результатам моделирования можно сделать вывод, что тормозное сопротивление потребляет избыточный рекуперативный ток, и таким образом, удастся избежать большого напряжения на шине.

Оба метода выполняют эффективный контроль тормозного сопротивления, и следовательно обеспечивают безопасность и надежность гибридных электромобилей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дидманидзе, О. Н. Использование суперконденсаторов в комбинированных установках тягово-транспортных средств [Текст] / О. Н. Дидманидзе, С. А. Иванов.- М.:УМЦ «ТРИАДА», 2004. - 160с.
2. Златин, П. А. Электромобили и гибридные автомобили [Текст] / П. А. Златин, В. А. Кеменов, И. П. Ксенович.- М.:Агроконсалт, 2004. - 416с.
3. Machowski J, Smolarczyk A and Bialek J W. Damping of power swings by control of braking resistors. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2008, № 23(7).
4. Wang Suzhen. Research on the energy management strategy and simulation of Hybrid Electric Vehicles. Beijing Institute of Technology, Beijing, 2006.

Стародубцева Ирина Владимировна

ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина»

Адрес: 127550, Россия, г. Москва, Лиственничная аллея, д.7

Аспирант

E-mail: i.starodubtseva@mail.ru

I. V. STARODUBTSEVA

## METHODS OF CONTROL OF HYBRID ELECTRIC BRAKE RESISTANCE

*The brake resistance is a key component to ensure the safety and reliability of hybrid electric vehicles (HEVs). The mathematical models of electric brake system and control methods of brake resistance are researched in this article. The key details including motor, batteries and bus which effect the control of brake resistance are established. The switch control and linear control methods of brake resistance are compared by the simulation and analysis. The results indicate: the mathematical models can reflect the state properties of electric brake system. The switch control and linear control methods both can realize the effective control. The switch control can be implemented easily. The linear control is accurate and smooth.*

**Keywords:** hybrid electric vehicle (HEV); brake resistance; switch control; linear control, simulation.

### BIBLIOGRAPHY

1. Didmanidze, O. N. Ispol'zovanie superkondensatorov v kombinirovannykh ustanovkakh tyagovotransportnykh sredstv [Tekst] / O. N. Didmanidze, S. A. Ivanov.- M.:UMTS "TRIADA", 2004. - 160s.
2. Zlatin, P. A. Elektromobili i gibridnye avtomobili [Tekst] / P. A. Zlatin, V. A. Kemenov, I. P. Ksenevich.- M.:Agrokonsalt, 2004. - 416s.
3. Machowski J, Smolarczyk A and Bialek J W. Damping of power swings by control of braking resistors. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2008, № 23(7).
4. Wang Suzhen. Research on the energy management strategy and simulation of Hybrid Electric Vehicles. Beijing Institute of Technology, Beijing, 2006.

Starodubtseva Irina Vladimirovna

ФГБОУ ВПО «Moscow state agricultural university by V.P.Goryachkin»

Adress: 127550, Rossia, Moscow, Listvennichnaya alleya, 7

Postgraduate student

E-mail: i.starodubtseva@mail.ru

### Уважаемые коллеги!

Приглашаем Вас принять участие в работе

международной научно-практической

интернет-конференции

**«АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИННОВАЦИОННОГО  
РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА»**,

которая будет проводиться в период

с 1 апреля по 1 мая 2014 года

<http://gu-unpk.ru/chair/sirm/science>

УДК 656.13

В. И. САРБАЕВ, А. Ю. ЕРОШИН

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АКТИВНОЙ ПРИЕМКИ ПРЕДПРИЯТИЯ ФИРМЕННОГО АВТОСЕРВИСА

*Представлены основные процессы активной приемки на предприятии фирменного автосервиса, классификация и ранжирование факторов, влияющих на эффективность приемки, результаты оценки эффективности приемки с использованием диагностики.*

**Ключевые слова:** автосервис, активная приемка автомобилей, диагностическая линия, классификация и ранжирование факторов, методика проведения экспертного опроса.

Современные конкурентные условия на рынке автосервисных услуг вынуждают предприятия изменять и обновлять подходы к работе с клиентами, искать возможные варианты повышения эффективности работы своих подразделений.

Для удержания лидирующих позиций на рынке и сохранения лояльности клиентов, руководители предприятий стремятся, чтобы сервисные системы, действующие на предприятии, обеспечивали:

- внимательное отношение к клиенту;
- устранение неисправности автомобиля при первом визите клиента в сервисный центр;
- сведение к минимуму претензий к некачественному выполнению работ.

В формировании качества оказываемых услуг на предприятии значительную роль играет организация основных сервисных процессов, а именно, оформление необходимых документов и первичная диагностика автомобилей (рис. 1).



Рисунок 1 – Ключевые процессы сервисного обслуживания

Процесс приемки автомобиля является одним из основных процессов автосервиса, так как именно в процессе приемки происходит первичное взаимодействие заказчика и исполнителя.

Ключевую роль во время приемки играет консультирование клиента непосредственно у автомобиля (схема 1):

- Автомобиль помещается на рабочее место (подъемник).
- Мастер-консультант фиксирует информацию о состоянии автомобиля и четко анализирует жалобы клиента.

- Клиенту сообщается об объёме необходимого ремонта.
- Локализация прочих возможных неисправностей в автомобиле и за счёт этого расширение объёма ремонтных работ.
- Активная продажа услуг сервиса.

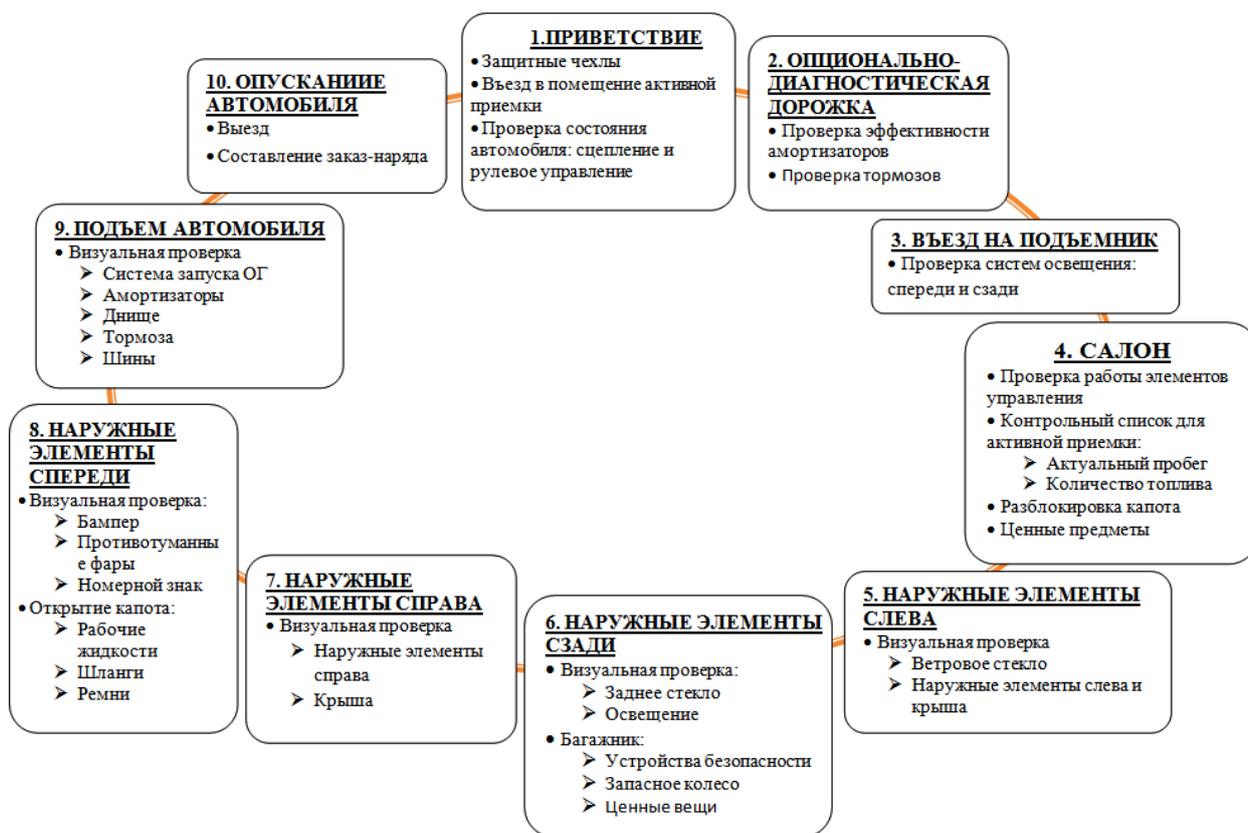


Схема 1 – Этапы прямой приемки

В современных условиях широко используется активная приемка автомобиля, которая реализуется при непосредственном участии клиента в приемке автомобиля и его знакомстве с местом выполнения ремонтных работ, что обеспечивает прозрачность сервисных услуг и укрепляет доверие клиента. При этом эффективность активной приемки в значительной степени определяется большим количеством факторов, которые были сгруппированы авторами в четыре крупные группы (системы) и приведены на рисунке 2.

Каждый из перечисленных факторов оказывает свое, специфическое влияние на эффективность процесса активной приемки, - различное по силе (степени) влияния, по времени (быстроте отклика) реализации влияния, по соотношению затраты/результат (эффективности). Очевидно, что такое влияние в виде случайных, стохастических процессов, и не может быть описано аналитическими методами. Вместе с тем, оценка степени влияния отдельных факторов является необходимой с точки зрения оценки эффективности функционирования процесса активной приемки в целом. Для решения задачи количественной оценки степени влияния различных факторов на эффективность активной приемки авторами использовались экспертные методы априорного ранжирования.



Рисунок 2 – Классификация факторов, влияющих на реализацию процесса активной приемки на предприятии фирменного автосервиса

При этом отбор экспертов производился в соответствии с признаками, представленными в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты оценки признаков ранжирования экспертов

№ п/п	Признаки ранжирования	Значимость признаков $g_{ij}$
1.	Стаж работы в области, связанной с исследуемым вопросом	0.29
2.	Стаж работы на автомобильном транспорте	0.22
3.	Специальное образование	0.21
4.	Общий стаж работы	0.12
5.	Общее образование	0.11
6.	Возраст	0.05

Для проведения опроса было отобрано 10 компетентных экспертов (минимально необходимое количество экспертов – 7 человек).

Оценка степени влияния каждого фактора на конечную цель оценивалась по методике, предложенной профессором В.А.Максимовом / 1 /, по трем критериям: степени влияния фактора (метода) на достижение поставленной цели; экономичности метода (фактора); времени реализации метода (фактора).

Коэффициенты веса того или иного мероприятия (фактора) определялись, исходя из предположения об их пропорциональности членам убывающей арифметической прогрессии и подсчитывались по итогам ранжирования по формуле:

$$\omega_{ij} = \frac{2(k - \xi + 1)}{k(k + 1)}, \quad (1)$$

где  $\omega_{ij}$  - коэффициент веса  $i$ -го мероприятия;

$k$  - общее число мероприятий;

$\xi$  - место, отдаваемое при ранжировании  $i$ -у мероприятию  $j$ -м экспертом.

Контроль правильности вычислений осуществлялся по выражению:

$$\sum_{i=1}^k \omega_{ij} = 1. \quad (2)$$

Обобщенная оценка веса каждого мероприятия осуществлялась по критерию, который определялся по формуле:

$$ka_{ij} \times \omega_{ij} + kc_{ij} \times \omega_{ij} + kt_{ij} \times \omega_{ij} = k, \quad (3)$$

где  $ka_{ij}$ ,  $kc_{ij}$ ,  $kt_{ij}$  - коэффициенты относительной важности степени влияния метода на достижение поставленной цели, экономичности метода и времени его реализации соответственно.

Значения коэффициентов относительной важности представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Численные значения коэффициентов относительной важности критериев

Наименование критерия	Условное обозначение	Численное значение
Степень влияния метода на достижение поставленной цели	$ka_{ij}$	0.33
Экономичности метода	$kc_{ij}$	0.50
Времени реализации метода	$kt_{ij}$	0.17

Всего в классификации выделено четыре подсистемы первого уровня, которые, в свою очередь, включают ряд более мелких мероприятий.

К подсистемам первого уровня на основании обобщения данных обзора литературных источников и производственного опыта были отнесены следующие, которые по степени влияния на достижение главной цели распределились следующим образом (рис. 3):

1. Организация и технология проведения активной приемки – 31,6%;
2. Производственно-техническая база – 30,1%;
3. Персонал – 25%;
4. Информационное обеспечение – 13,3.

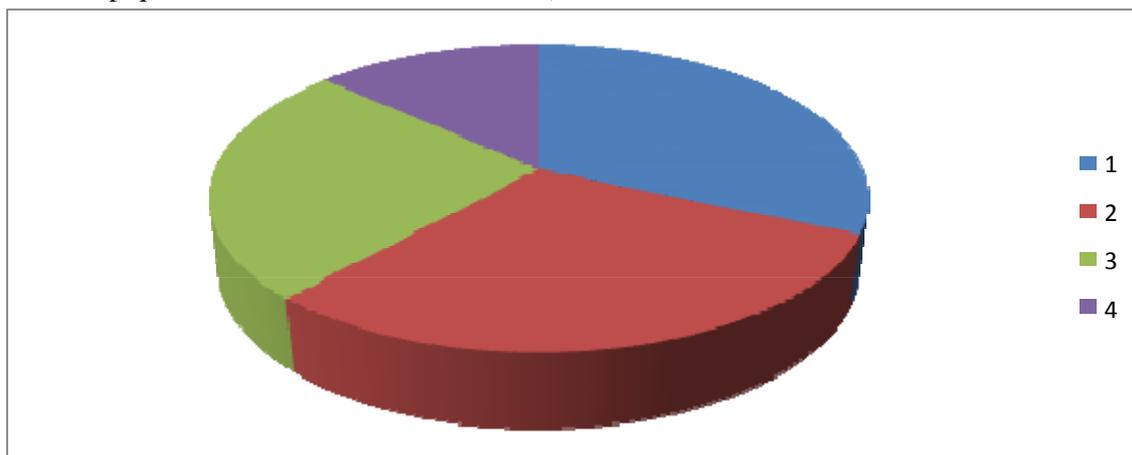


Рисунок 3 – Вклад подсистем в реализацию главной цели системы «Активная приемка»

Результаты ранжирования представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты ранжирования факторов, влияющих на эффективность активной приемки автомобилей с укомплектованной диагностической линией на предприятии фирменного автосервиса

Уровень фактора	Наименование факторов	«Вес» фактора
1	2	3
<b>1.1</b>	<b>Производственно-техническая база</b>	<b>0,301</b>
1.1.1.	Наличие свободной площади (не ущемляя кузовной цех и пост по установке доп. оборудования)	0,206
1.1.2	Возможность подвода коммуникаций для реализации такой приемки	0,214
1.1.3	Возможность создания поста активной приемки сразу после мойки	0,206
1.1.4	Разработка оптимальной работы мойки для а/м на которых производится активная приемка	0,142
1.1.5	Реализация перемещения а/м по цеху с применением зоны активной приемки	0,182
1.1.6	Отдаленность зоны активной приемки от зоны основной приемки	0,047
<b>1.2</b>	<b>Персонал</b>	<b>0,25</b>
1.2.1	Обеспечение приемки персоналом (Мастера-консультанты)	0,066
1.2.2	Обучение МК основным процессам сервиса и умению пользоваться диагностическим оборудованием	0,244
1.2.3	Повышение и поддержание квалификации персонала за счет проведения систематических обучений и аттестаций	0,310
1.2.4	Совершенствование систем стимулирования персонала	0,133
1.2.5	Обязательное обучение и аттестация руководителей клиентской службы	0,244

Продолжение таблицы 3

1	2	3
<b>1.3</b>	<b>Организация и технология проведения активной приемки</b>	<b>0,316</b>
1.3.1	Применение обоснованных нормативов системы	0,185
1.3.2	Обеспечение рабочих мест и исполнителей рациональной технологической и др. документацией	0,304
1.3.3	Управление качеством проведения активной приемки	0,241
1.3.4	Обеспечение выполнения рекомендаций и нормативов системы	0,228
1.3.5	Совершенствование учёта и отчётности, компьютеризация и индивидуализация учета и отчетности при проведении активной приемки	0,348
<b>1.4</b>	<b>Информационное обеспечение</b>	<b>0,133</b>
1.4.1	Применение современных информационных технологий	0,295
1.4.2	Разработка оптимальной записи а/м на сервис без нарушения рабочего процесса	0,228
1.4.3	Возможность дооформления мастером-консультантом предварительного заказ-наряда в зоне активной приемки	0,222
1.4.4	Централизованное обеспечение автосервиса законодательной и нормативно-методической литературой	0,233

Проведенная оценка влияния отдельных подсистем и факторов позволяет оценить эффективность принимаемых решений, и была применена при реализации активной приемки на предприятии фирменного автосервиса.

Для определения эффективности реализованного процесса были проанализированы опросы клиентов, посещавших сервис, функционирующий с приемкой без диагностики, и с активной приемкой с диагностической линией. Результаты опроса приведены в таблицах 4 и 5.

Таблица 4 – Показатели клиентской удовлетворенности до внедрения активной приемки

Мастер-консультант	Средняя оценка по вопросам							Совместная оценка по 7-ми показателям
	Были ли соблюдены сроки приема, ремонта и выдачи Вашего а/м из сервиса?	Довольны ли Вы качеством выполненных работ?	Довольны ли вы работой мастера-консультанта?	Осмотрели ли Ваш а/м мастер до начала ремонта?	Проинформировал ли Вас мастер о содержании и предстоящих работ и их предварительной стоимости?	Соответствовала ли сумма счета предварительно заявленной стоимости?	Готовы ли Вы рекомендовать данный технический центр своим друзьям и знакомым?	Оценка
1	1,78	2,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	88,89%
2	1,88	1,88	0,94	1,00	1,00	1,88	1,00	77,25%
3	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	100,00%
4	1,88	2,00	1,00	1,00	1,00	1,88	0,94	83,37%
5	1,89	1,89	0,95	1,00	1,00	2,00	0,89	76,08%
6	1,88	1,88	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	88,58%
Итого	<b>1,89</b>	<b>1,94</b>	<b>0,98</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,96</b>	<b>0,97</b>	<b>85,6%</b>
	<b>94,3%</b>	<b>97,1%</b>	<b>98,1%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>98,0%</b>	<b>97,3%</b>	

Таблица 5 – Показатели клиентской удовлетворенности после внедрения активной приемки

Мастер-консультант	Средняя оценка по вопросам							Совместная оценка по 7-ми показателям
	Были ли соблюдены сроки приема, ремонта и выдачи Вашего а/м из сервиса?	Довольны ли Вы качеством выполненных работ?	Довольны ли вы работой мастера-консультанта?	Осмотрели ли Ваш а/м мастер до начала ремонта?	Проинформировали ли Вас мастер о содержании и предстоящих работ и их предварительной стоимости?	Соответствовала ли сумма счета предварительно заявленной стоимости?	Готовы ли Вы рекомендовать данный технический центр своим друзьям и знакомым?	Оценка
1	1,93	2,00	0,96	1,00	1,00	2,00	1,00	92,64%
2	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	100,00%
3	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	100,00%
4	1,89	2,00	1,00	1,00	1,00	1,88	1,00	88,94%
5	2,00	1,89	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	94,74%
6	1,93	2,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	96,50%
Итого	<b>1,96</b>	<b>1,98</b>	<b>0,99</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,98</b>	<b>1,00</b>	<b>95,5%</b>
	<b>97,9%</b>	<b>99,1%</b>	<b>99,3%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>99,0%</b>	<b>100,0%</b>	

Из данных, приведенных в таблицах, можно сделать вывод, что реализация процесса активной приемки с использованием диагностической линии положительно сказывается на клиентской удовлетворенности. Удовлетворенность клиентов качеством приемки в целом возросла на 9,9%. Таким образом, предложенная методика оценки позволяет выявить наиболее эффективные направления развития подразделений автосервиса, и, в частности, развития подразделения активной приемки. Модернизация приемки автомобилей повышает авторитет сервиса в глазах клиентов и является одним из факторов увеличения потока клиентов и заявок на ремонт и обслуживание для предприятия автосервиса.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сарбаев, В. И. Методология и практика обеспечения экологической безопасности эксплуатации автомобильного транспорта [Текст] / В. И. Сарбаев. - М.: Издательство «Машиностроение-1», 2004. – 336 с.
2. Априорное ранжирование факторов [Текст]: Методические указания к семинарскому занятию/ под ред. В.И. Сарбаева, В.А. Максимова. – М.: МГИУ, 2008. – 14 с.
3. Информационные материалы ООО «Фаворит Моторс Групп». Опрос клиентов, – М., Фаворит Моторс Групп, 2001. – 1 с.
4. Кузнецов, Е. С. Техническая эксплуатация автомобилей [Текст] / Е. С. Кузнецов. – М.: Наука, 2001. – 535 с.
5. Кузнецов, Е. С. Малое предприятие автосервиса: организация, оснащение, эксплуатация [Текст] / Е. С. Кузнецов, Н. В. Белов. – М. «Машиностроение», 1995. – 303 с.
6. Волгин, В. В. Автосервис: Производство и менеджмент [Текст] / В. В. Волгин. – М.: Дашков и К, 2005 – 520 с.

**Сарбаев Владимир Иванович**

ФГБОУ ВПО "Московский государственный индустриальный университет"

Адрес: 115280, Россия, г. Москва, ул. Автозаводская, д. 16

Д-р техн. наук, профессор, почетный работник транспорта РФ, заведующий кафедрой эксплуатации транспортных средств

E-mail: sarbaev@mail.msiu.ru

**Ерошин Антон Юрьевич**

ФГБОУ ВПО «Московский государственный индустриальный университет»

Адрес: 115280, Россия, г. Москва, ул. Автозаводская, д. 16

Аспирант кафедры эксплуатации транспортных средств

E-mail: anton-eroshin@yandex.ru

---

V. I. SARBAEV, A. YU. EROSHIN

## EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF ACTIVE ACCEPTANCE IN THE ENTERPRISE CAR SERVICE

*Presents the basic processes of active acceptance in the enterprise car service, classification and ranking of factors influencing the effectiveness of acceptance, results assessments of the effectiveness of active acceptance with the use of diagnostics.*

**Keywords:** car service, active acceptance of cars, diagnostic line, classification and ranking of factors, method of conducting of the expert survey.

### BIBLIOGRAPHY

1. Sarbaev, V. I. Metodologiya i praktika obespecheniya ekologicheskoy bezopasnosti ekspluatatsii avtomobil'nogo transporta [Tekst] / V. I. Sarbaev. - M.: Izdatel'stvo "Mashinostroenie-1", 2004. - 336 s.
2. Apriornoe ranzhirovanie faktorov [Tekst]: Metodicheskie ukazaniya k seminarскому zanyatiyu/ pod red. V.I. Sarbaeva, V.A. Maksimova. - M.: MGIU, 2008. - 14 s.
3. Informatsionnye materialy OOO "Favorit Motors Grupp". Opros klientov, - M., Favorit Mo-tors Grupp, 2001. - 1 s.
4. Kuznetsov, E. S. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya avtomobiley [Tekst] / E. S. Kuznetsov. - M.: Nauka, 2001. - 535 s.
5. Kuznetsov, E. S. Maloe predpriyatie avtoservisa: organizatsiya, osnashchenie, ekspluatatsiya [Tekst] / E. S. Kuznetsov, N. V. Belov. - M. "Mashinostroenie", 1995. - 303 s.
6. Volgin, V. V. Avtoservis: Proizvodstvo i menedzhment [Tekst] / V. V. Volgin. - M.: Dashkov i K, 2005 - 520 s.

**Sarbaev Vladimir Ivanovich**

FGBOU VPO "Moscow State Industrial University"

Address: Rossia, 115280, Moscow, ul. Avtozavodskaya, 16

Dr. tehn. , Professor, Honorary Worker of Transport of the Russian Federation, Head of the use of vehicles

E-mail: sarbaev@mail.msiu.ru

**Eroshin Anton Yurievich,**

FGBOU VPO "Moscow State Industrial University"

Address: Rossia, 115280, Moscow, ul. Avtozavodskaya, 16

Graduate student use of vehicles

E-mail: anton-eroshin@yandex.ru

УДК 629.3.038, 621.33

С. А. СЕРИКОВ, Ю. Н. БОРОДЕНКО, А. А. ДЗЮБЕНКО

## УПРАВЛЕНИЕ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ ГИБРИДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

*Выполнен аналитический обзор методов оптимального управления гибридной силовой установкой. Рассмотрены задачи, решаемые системой автоматического управления иерархической структуры, подходы и принципы реализации стратегии управления (1 часть).*

**Ключевые слова:** гибридная силовая установка, система автоматического управления, электропривод, тяговая аккумуляторная батарея, целевая функция, оптимизирующий алгоритм, логические правила, методы адаптации.

Гибридная силовая установка (ГСУ) как объект управления характеризуется переменной структурой, существенной нелинейностью основных своих элементов, параметрической неопределённостью. Эффективность применения ГСУ в значительной степени определяется характеристиками ее системы автоматического управления (САУ), которая должна решать следующие основные задачи:

- идентификация текущего состояния элементов ГСУ;
  - идентификация и прогнозирование тягово-скоростного режима движения автомобиля;
  - выбор оптимального режима работы (варианта кинематической схемы) ГСУ в зависимости от её текущего состояния и режима движения транспортного средства (АТС);
  - оптимальное перераспределение потоков мощности между агрегатами ГСУ на всех задаваемых тягово-скоростных режимах;
  - управление рекуперацией энергии торможения АТС;
  - управление подзарядкой и расходом энергии накопителя;
  - обеспечение стоп-стартного режима, минимизирующего использование холостого хода ДВС при кратковременных остановках АТС;
  - стабилизация заданных режимов работы отдельных агрегатов;
  - обеспечение интерфейса водителя, имитирующего управление традиционным АТС.
- Задачи, решаемые САУ ГСУ, имеют иерархическую организацию.

Первому уровню иерархии соответствуют задачи стабилизации заданных режимов работы отдельных агрегатов, входящих в состав ГСУ, а также обеспечение требуемого качества переходных процессов. При этом, законы регулирования должны характеризоваться достаточной грубостью к изменению параметров соответствующих объектов регулирования либо иметь возможность адаптации. Решение данных задач возлагается на локальные регуляторы соответствующих агрегатов: САУ ДВС, регулятор частоты вращения тягового электропривода, блок управления рекуперацией энергии и т.д.

На втором уровне иерархии решаются задачи выбора оптимальных режимов работы и особенностей взаимодействия агрегатов и подсистем ГСУ, перераспределения потоков мощности между агрегатами в зависимости от текущего состояния ГСУ, режима движения АТС, управляющих и возмущающих воздействий. При этом, должен обеспечиваться наиболее экономичный и экологически безопасный режим работы ДВС, а также достаточный запас энергии в накопителе для парирования пиковых нагрузок посредством вспомогательного двигателя. Подзарядка накопителя может осуществляться либо при наличии избытка мощности основного двигателя, либо путем рекуперации энергии торможения АТС.

К третьему уровню иерархии можно отнести задачу обеспечения интерфейса водителя, имитирующего управление традиционным транспортным средством и, в то же время, обеспечивающего отображение текущего состояния и режима работы ГСУ. Данная задача имеет отношение к САУ ГСУ, поскольку управление гибридным автомобилем осуществляется по концепции «drive-by-wire», согласно которой водитель управляет бортовым компьютером, а не непосредственно силовой установкой. Особенности решения данной задачи дик-

туются эргономическими соображениями и не влияют на эффективность функционирования гибридной силовой установки непосредственно.

Задачи, отнесенные ко второму уровню иерархии, определяющие стратегию управления ГСУ, являются характерными именно для гибридных АТС, когда объектами управления являются несколько источников мощности в сложной конфигурации. Эффективность гибридного автомобиля решающим образом зависит от соответствия выбранного режима работы ГСУ тягово-скоростному режиму движения, а также от качества управления перераспределением потоков мощности между силовыми агрегатами ГСУ. Целевой функцией такого управления является минимизация расхода топлива и выбросов токсичных компонентов с отработавшими газами ДВС при ограничениях, обусловленных требованиями управляемости, надёжности, запаса энергии в тяговой аккумуляторной батарее (ТАБ) и т.д. [1]. Часто решение данной оптимизационной задачи предполагает преобразование электрической мощности в эквивалентное количество сжигаемого топлива для того, что бы оценить общие затраты топлива [2, 3]. Впоследствии, оптимальное перераспределение мощности между ДВС и электродвигателем осуществляется на основании анализа статических карт удельного расхода топлива ГСУ. Оптимизация перераспределения потоков мощности, в первую очередь, актуальна для автомобилей с параллельной и последовательно-параллельной схемами построения ГСУ. Во многих случаях задачи, характерные для второго уровня иерархии допускают постановку в обобщенном виде и не требуют конкретизации принципов функционирования вспомогательного двигателя и контура рекуперации энергии.

Многими авторами исследовались методы использования вычислительного интеллекта при управлении силовыми установками гибридных автомобилей. Управление на основе нечётких правил и систем нечёткого вывода применялось в [4 – 15]. В работах [16, 17] исследуется возможность применения генетических алгоритмов для настройки систем нечёткого вывода. Использование искусственных нейронных сетей (ИНС) при управлении ГСУ рассматривается в [1, 18 – 21]. Совместному использованию ИНС и систем нечёткого вывода посвящены работы [22 – 26]. Упомянутые исследования показывают существенный потенциал улучшения эксплуатационных характеристик гибридных автомобилей на основе более эффективного управления мощностью вследствие применения технологий вычислительного интеллекта.

На настоящее время используются три подхода к построению САУ ГСУ, различающиеся принципами реализации стратегии управления при решении задач второго уровня иерархии: использование методов теории оптимального управления, использование логических правил выбора стратегии, применение алгоритмов адаптации к текущему ездовому циклу и ожидаемым его изменениям.

Наиболее распространенной практикой является выбор стратегии управления ГСУ на основе логических правил и таблично заданных законов регулирования (logic based control strategies). Часто этот подход называют англоязычным термином Rule Based (RB) – «основанный на правилах» [9, 27 – 33]. Правила и законы управления задаются разработчиками САУ путем сочетания эвристических методов и анализа результатов вычислительных экспериментов. При таком управлении, обычно, не учитываются особенности конкретной дорожной ситуации и характер ездового цикла, которые могут оказывать влияние на функционирование ГСУ. Следовательно, этот подход не позволяет полностью реализовать потенциал энергетической эффективности ГСУ.

Характер ездового цикла и особенности конкретной дорожной ситуации оказывают существенное влияние на функционирование ГСУ. Применение алгоритмов адаптации стратегии управления к текущему ездовому циклу позволяет более полно реализовать потенциал энергетической эффективности и экологической чистоты гибридных автомобилей [7, 16, 19 – 21, 24 – 26, 34]. Однако существенная вычислительная сложность таких алгоритмов адаптации сдерживает их широкое применение. В настоящей статье рассмотрены принципы реализации систем управления ГСУ с использованием методов теории оптимального управления.

Если ограничения типа неравенств на управляющие воздействия  $\mathbf{u}$  и координаты вектора состояния  $\mathbf{x}$  свести к ограничениям вида  $F(\mathbf{x}, \mathbf{u}) = 0$ , а также ввести предположение о

гладкости оптимальных решений, то задача об оптимальном управлении ГСУ может быть сформулирована в виде задачи Лагранжа. Однако, учитывая возможность использования негладких и разрывных управляющих воздействий, более предпочтительным выглядит использование для поиска оптимального управления ГСУ принципа максимума, основные идеи которого выдвинуты Л.С. Понтрягиным и развиты В.Г. Болтянским, Р.В. Гамкрелидзе, Е.Ф. Мищенко [35, 37, 38].

Еще одним методом решения поставленной задачи является метод динамического программирования, который основывается на принципе оптимальности, разработанном Р. Беллманом для решения многошаговых задач оптимизации дискретных процессов. При этом, оптимальное управление в любой момент времени не зависит от предыдущих состояний системы и определяется только ее текущим состоянием и целью управления. Формулировка принципа остается справедливой и для систем непрерывного времени. Применение метода динамического программирования возможно и для нестационарных задач, в которых описания объекта управления и функционала качества содержат функции времени [35 – 38].

Аналитическое решение задач оптимального управления возможно лишь в крайне простых случаях. Такие задачи могут быть сформулированы благодаря далеко идущей идеализации, когда фактически вместо поставленной задачи решается совсем иная. Основным подходом к решению реальных задач является приближенная численная оптимизация.

Полученные, в результате решения оптимизационных задач, оптимальные управляющие воздействия ГСУ используются при формулировке логических правил выбора стратегии управления, а также при научном обосновании основных параметров и характеристик систем и агрегатов ГСУ. В ряде случаев методы оптимального управления включаются в алгоритмы адаптации стратегии к текущему ездовому циклу [19 – 21, 34]. Эффективность использования методов теории оптимального управления для определения управляющих воздействий ГСУ автомобиля обсуждается в [39 – 41].

Методы математического моделирования и «off-line» оптимизации стратегии управления ГСУ автомобиля Toyota Prius рассматриваются в [42]. Целевой функцией оптимизации здесь, является минимизация расхода топлива и токсичных выбросов на заданном ездовом цикле. Численное решение оптимизационной задачи осуществляется при помощи метода последовательного квадратичного программирования (Sequential quadratic programming – SQP).

Возможность оптимизации управления силовой установкой гибридного автомобиля с параллельной схемой построения с использованием принципа максимума Понтрягина исследуется в [43]. При этом, критерием оптимальности является минимум расхода топлива, а вопросы загрязнения окружающей среды выбросами токсичных компонентов отработавших газов в данной работе не принимаются во внимание.

Существует большое количество исследований, посвященных использованию метода динамического программирования для поиска оптимальных управляющих воздействий ГСУ [44 – 47]. Данные подходы, как правило, позволяют определить оптимальную стратегию управления только на определенном фиксированном ездовом цикле и не работают при изменяющейся дорожной ситуации.

В [47] обсуждаются результаты научно-исследовательских работ в области создания ГСУ на кафедре «Автомобили» МГТУ «МАМИ», где был создан экспериментальный автомобиль (на базе серийного УАЗ-3153), устройство силового привода которого позволяет исследовать и сравнивать различные варианты ГСУ параллельного типа. САУ данной ГСУ осуществляет управляющие воздействия на ДВС, тяговый электродвигатель и трансмиссию (выбор передаточного отношения). При этом, закон регулирования задаётся при помощи логических правил и таблично заданных функций (RB). Согласно этой стратегии, в гибридном режиме ДВС работает строго по характеристике минимальных удельных расходов. Избыток мощности, при этом, отбирается электродвигателем в генераторном режиме для подзарядки ТАБ. Для реализации такого процесса используется только третья ступень коробки передач.

С целью улучшения закона регулирования САУ, при помощи метода динамического программирования, был осуществлён поиск оптимального управления ГСУ на стандартных городских ездовых циклах: ECE15 (городской цикл ЕЭК ООН) и FUDS (Federal Urban Driving Schedule – часть испытательной программы FTP, США). По результатам поиска коррек-

тировались и формировались новые эвристические правила и законы управления ГСУ. В процессе оптимизации управления была использована упрощённая модель гибридного автомобиля, включающая уравнение динамики автомобиля, уравнение баланса энергии в ТАБ, а также статические модели компонентов ГСУ (характеристики КПД для ТАБ, электропривода и многопараметрические характеристики ДВС). Состояние модели определялось двумя переменными – скоростью автомобиля и количеством энергии в накопителе. При этом, скорость автомобиля задавалась операционной картой цикла. Диапазон изменения второй переменной состояния (степени заряженности ТАБ), задавался таким образом, что бы её значения в начале и в конце цикла совпали. Это необходимо для правильной оценки топливной экономичности автомобиля. В качестве минимизируемого критерия оптимальности использовался расход топлива в ездовом цикле. Путевой расход топлива, полученный в результате поиска оптимального управления методом динамического программирования, сравнивался с путевым расходом, рассчитанным в ходе вычислительного эксперимента при использовании эвристической RB – стратегии управления ГСУ.

Экспериментальные исследования показали, что оптимальное управление на ездовом цикле ECE15, найденное при помощи алгоритма динамического программирования, даёт экономию топлива 12÷30 % в сравнении с RB – стратегией управления. В результате анализа экспериментальных данных была улучшена логика перехода ГСУ между режимом электроавтомобиля и гибридным режимом. Кроме того оказалось, что отклонение режима работы ДВС от характеристики минимального удельного расхода (в сторону уменьшения мощности) в гибридном режиме при равномерном движении автомобиля позволяет повысить КПД ГСУ приблизительно на 5%.

Результаты моделирования движения гибридного автомобиля в ездовом цикле FUDS показали, что увеличение числа используемых передач (при возможности выбора между 2-й, 3-й и 4-й передачами) снижает путевой расход топлива на 7,2%. При этом средняя мощность ДВС в цикле снизилась на 14,9% (с 19,5 кВт до 16,6 кВт), а максимальная мощность – на 26,8% (с 37,3 кВт до 27,3 кВт). Использование трех передач вместо одной значительно сократило и диапазон колебаний степени заряженности (state of charge – SOC) ТАБ на 41,6%.

Из приведенного выше аналитического обзора видно, что эксплуатационные качества гибридных автомобилей в значительной степени определяются эффективностью САУ ГСУ. Дальнейшее улучшение их экономичности и экологической безопасности невозможно без совершенствования имеющихся и разработки новых методов управления, которые определяют оптимальные режимы работы ГСУ не только на основании текущего состояния и управляющих воздействий, но и с учётом прогноза предстоящего режима движения.

Задача синтеза системы управления ГСУ отличается сложностью формального описания. В значительной степени это обусловлено особенностями гибридного автомобиля как объекта управления. Даже, если ограничиться динамикой продольного прямолинейного движения, изменение структурной схемы ГСУ на различных режимах работы и при включении/выключении сцепления значительно усложняет математическую модель [48 – 50].

При построении модели ДВС, входящего в состав ГСУ, традиционно используются экспериментально полученные статические характеристики. Для описания динамических свойств ДВС применяются либо очень грубые линейные модели, либо громоздкие системы нелинейных дифференциальных уравнений. При этом, идентификация математической модели выливается в отдельную сложную задачу и опирается на результаты экспериментальных исследований.

При построении математической модели ТАБ, её эксплуатационные характеристики оказываются тесно связанными со сложными физико-химическими процессами, которые определяют нелинейность и нестационарность модели.

Статические и динамические свойства электропривода могут описываться системами нелинейных дифференциальных уравнений, предполагающих этап параметрической идентификации и допускающих, как правило, возможность только численного решения. Кроме этого, возникают сложности с определением целевой функции оптимизации управления, которая должна учитывать показатели экономичности, экологической безопасности, динамической точности и запас энергии в ТАБ. При этом, способы учёта данных показателей должны

изменяться в зависимости от режима движения и дорожной обстановки. Отдельной задачей является идентификация и прогнозирование возмущающих воздействий.

В силу перечисленных особенностей, важно определить адекватный уровень идеализации математической модели ГСУ, который позволит решить проблему дальнейшего повышения эксплуатационных качеств гибридных автомобилей на основе совершенствования законов управления их силовыми установками. При этом, необходимо разработать новые способы уменьшения размерности оптимизационных задач синтеза САУ ГСУ с целью повышения эффективности применения традиционных методов численной оптимизации и, в первую очередь, метода динамического программирования. Уменьшение размерности задачи не должно сопровождаться нивелированием нелинейностей и нестационарностей характеристик отдельных агрегатов, существенных для оптимизации режима функционирования ГСУ.

Одним из способов преодоления сложности формального описания САУ ГСУ является применение методов вычислительного интеллекта. Так, искусственные нейронные сети представляют собой удобный и универсальный инструмент аппроксимации характеристик агрегатов и законов регулирования. Формулирование алгоритма управления силовой установкой в терминах нечеткой логики позволяет в полной мере использовать эмпирические знания и эвристические соображения при синтезе САУ, а также осуществлять настройку полученного алгоритма в процессе испытаний и дальнейшей эксплуатации гибридного АТС.

Исследование незадействованных возможностей нейросетевого и нейронечёткого управления ГСУ является ещё одним перспективным направлением повышения эффективности гибридных автомобилей. При проектировании новых гибридов возникает сложная проблема научного обоснования базовых параметров и характеристик ГСУ. Решить такую проблему экспериментальными методами практически невозможно из-за большого количества материальных и временных затрат на разработку и изготовление семейства ГСУ, их установку на автомобиль и проведения комплекса лабораторно – дорожных испытаний. Для решения данной проблемы могут использоваться методики, основанные на проведении вычислительных экспериментов с соответствующими математическими моделями. При этом, проведение сравнительного анализа различных конструктивных решений не представляется возможным без оптимизации алгоритмов управления как ГСУ в целом, так и составляющих ее отдельных агрегатов на различных тягово-скоростных режимах.

Разработка соответствующих моделей, законов регулирования, методов оптимизации, а также рекомендаций по сравнительному анализу различных конструктивных решений и научному обоснованию базовых параметров и характеристик ГСУ является важной предпосылкой к повышению эффективности перспективных гибридных автомобилей.

Задача сравнительного анализа конструктивных решений ГСУ определяет некоторые особенности математических моделей и методов синтеза системы управления. Вычислительный эксперимент должен опираться на экспериментальные характеристики ДВС и других агрегатов ГСУ, а также на численные методы расчёта эксплуатационных показателей в зависимости от типа автомобиля, принятого ездового цикла, схемы силовой установки. Отсутствие необходимости аппаратурной реализации законов управления существенно снижает требования к их вычислительной сложности, а часто и к физической реализуемости САУ. Так, при определении оптимального управления, оказывается доступной априорная информация о ездовом цикле, которую в реальных условиях эксплуатации можно получить лишь в виде прогноза с той или иной степенью достоверности.

По результатам анализа методов оптимального управления гибридным автомобилем можно сделать выводы об эффективности их использования при разработке САУ для перспективных композиций ГСУ с учетом специфических требований к определенному классу автомобильного подвижного состава.

1. Эксплуатационные качества гибридных автомобилей в значительной степени определяются характеристиками ее САУ. Существует три подхода к синтезу систем управления ГСУ, различающиеся принципами реализации стратегии управления: использование логических правил, использование методов теории оптимального управления и применение алгоритмов адаптации к текущему ездовому циклу и ожидаемым его изменениям.

2. Актуальной является проблема улучшения экономичности и экологической безопасности ГСУ на основании повышения эффективности методов численной оптимизации за счёт новых способов уменьшения размерности оптимизационных задач и определения адекватного уровня идеализации математических моделей, использования возможностей нейросетевого и нейронечёткого управления.

3. Для решения проблемы научного обоснования базовых параметров и характеристик ГСУ могут использоваться методики, основанные на проведении вычислительных экспериментов с соответствующими математическими моделями и сравнительного анализа различных ГСУ на заданном ездовом цикле при оптимальном управлении.

Материал (продолжение настоящей статьи), посвященный вопросам использования логических правил и применения адаптивных алгоритмов при выборе стратегии управления ГСУ будет представлен в последующих публикациях настоящего издания.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Danil V. Prokhorov. «Toyota Prius HEV neurocontrol and diagnostics». Neural Networks, Vol. 21, Iss. 2–3, March–April 2008, pp. 458–465.
2. P. Caratozzolo, M. Serra, J. Riera, Energy manage strategies for hybrid electric vehicles, Proceedings of the IEEE Electric Machines and Drives Conference (IEMDC'03), 2003, pp. 241-248.
3. C. C. Lin, Huei Peng, J. W. Grizzle, Power management strategy for a parallel hybrid electric truck, IEEE Transactions on Control Systems Technology, vol.11, no.6, Nov. 2003, pp.839-849.
4. Schouten, N.J., Salman, M.A., and Kheir, N.A., “Energy management strategies for parallel hybrid vehicles using fuzzy logic,” Control Engineering Practice, vol.11, pp. 171-177, 2003.
5. Kheir, N.A., Salman, M.A., and Schouten, N.J., “Emissions and fuel economy trade-off for hybrid vehicles using fuzzy logic”, Mathematics and Computers in Simulation, (66):155-172, 2004.
6. Zhang Yi, Liu Heping, Wang Huabin. «Torque Control Strategy for Parallel Hybrid Electric Vehicles using Fuzzy Logic». WSEAS Transactions on Systems, iss. 4, vol. 10, 2011, pp. 116-125.
7. Development of Fuzzy Logic and Neural Network Control and Advance Emissions Modeling for Parallel Hybrid Vehicles / A. Rajagopalan, G. Washington, G. Rizzoni, Y. Guezennec. Center for Automotive Research. The Ohio State University Columbus, Ohio. Subcontract Report – December 2003 (<http://www.osti.gov/bridge>).
8. Baumann, B., Washington, G., Glenn, B., & Rizzoni, G. (2000). Mechatronic design and control of hybrid electric vehicles. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 5(1), 58–72.
9. M. Salman, N. J. Schouten, and N. A. Kheir, "Control strategies for parallel hybrid vehicles", in Proc. of the American Control Conf., Chicago, IL, June 2000, pp. 524-528.
10. Schouten, N.J., Salman, M.A., Kheir, N.A., “Fuzzy logic control for parallel hybrid vehicles,” IEEE Transaction on Control Systems Technology, vol. 10, No. 3, May 2002, pp. 460–468.
11. Syed, F., Filev, D., & Ying, H. (2007). A rule-based fuzzy driver advisory system for fuel economy improvement in a hybrid electric vehicle. In Proceedings of North American fuzzy information processing society conference (pp. 178–183).
12. J.-S. Won and R. Langari, "Fuzzy torque distribution control for a parallel hybrid vehicle", Expert Systems: The International Journal of Knowledge Engineering and Neural Networks, vol. 19, no. 1, pp. 4-10, February 2002.
13. H Zhong, F Wang, G-Q Ao, J-X Qiang, L Yang, B Zhuo, X-J Mao, An optimal torque distribution strategy for an integrated starter-generator parallel hybrid electric vehicle based on fuzzy logic control, Proc. IMechE J. Automobile Engineering, vol.222, part D, Sep. 2007, pp.79-92.
14. Hong Shu, Lijun Deng, Peixiang He and Yuanbo Liang. «Speed Prediction of Parallel Hybrid Electric Vehicles Based on Fuzzy Theory» International Conference on Power and Energy Systems (ICPES). – 2012. – Lecture Notes in Information Technology, vol. 13, pp. 493 –498.
15. Bernd M. Baumann, Gregory Washington, Bradley C. Glenn, and Giorgio Rizzoni, Member. Mechatronic Design and Control of Hybrid Electric Vehicles. IEEE/ASME Transaction on mechatronics, vol. 5, No. 1, 2000. pp. 58 – 72.
16. Dorri, M. and Shamekhi, A., "Design of an Optimal Control Strategy in a Parallel Hybrid Vehicle in Order to Simultaneously Reduce Fuel Consumption and Emissions," SAE Technical Paper 2011-01-0894, 2011, doi:10.4271/2011-01-0894.
17. Montazeri-Gh, M., Poursamad, A., and Ghalichi, B., “Application of genetic algorithm for optimization of control strategy in parallel hybrid electric vehicles,” Journal of the Franklin Institute, (343):420-435, 2006.
18. Harmon, F., Frank, A., & Joshi, S. (2005). The control of a parallel hybrid-electric propulsion system for a small unmanned arial vehicle using a cmac neural network. Neural Networks, 18(June/July), 772–780.
19. Arezoo D. Abdollahi, S.K.Nikraves, M.B.Menhaj. «An Intelligent Control Strategy in a Parallel Hybrid Vehicle». Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers – Vo1.4- No.2- Fall and Winter 2007, p. 43 – 52

20. J. Arsie, M. Graziosi, C. Pianese, G. Rizzo, and M. Sorrentino, "Optimization of supervisory control strategy for parallel hybrid vehicle with provisional load estimate," in Proc. 7th Int. Symp. Adv. Vehicle Control (AVEC), Arnhem, The Netherlands, Aug. 2004. pp.483 – 488;
21. I. Arsie, M. Graziosi, C. Pianese, G. Rizzo, M. Sorrentino. Control Strategy Optimization for Hybrid Electric Vehicles via Provisional Load Estimate / REVIEW OF AUTOMOTIVE ENGINEERING, Society of Automotive Engineers of Japan (JSAE), 2005, ISSN 1349-4724 26: pp. 341-348.
22. Baumann, B., Rizzoni, G., & Washington, G. (1998). Intelligent control of hybrid vehicles using neural networks and fuzzy logic, SAE technical paper 981061. In SAE int. cong. and exposition.
23. B. M. Brahma, "Intelligent control strategies for hybrid vehicles using neural network and fuzzy logic", Elect. Eng; ohio state univ. , coluombos, 1997, 98 p.
24. J-S. Won and R. Langari, "Intelligent Energy Management Agent for a Parallel Hybrid Vehicle, Part I: System Architecture and Design of the Driving Situation Identification Process," IEEE Transactions on Vehicular Technologies, **Volume:** 54 , Issue: 3 **pp:** 925 – 934;
25. J-S. Won and R. Langari, "Intelligent Energy Management Agent for a Parallel Hybrid Vehicle, Part II: Torque Distribution and Charge Sustenance Strategies and Performance Results", IEEE Transactions on Vehicular Technologies, **Volume:** 54 , Issue: 3 **pp:** 935 – 953;
26. Jong-Seob Won. Intelligent Energy Management Agent for a Parallel Hybrid Vehicle: dissertation for the degree of doctor of philosophy. Submitted to the Office of Graduate Studies of Texas A&M University. May 2003.–93 p.
27. Гібридні автомобілі / О.В. Бажинов, О.П. Смирнов, С.А. Серіков, А.В. Гнатів, А.В. Колесніков; під ред. О.В. Бажинова – Харків: ХНАДУ, 2008. – 327 с.
28. Синергетичний автомобіль. Теорія і практика / [Бажинов О.В., Смирнов О.П., Серіков С.А., Дванденко В.Я.]. – Харків: ХНАДУ, 2011. – 236 с.
29. C. Liang, W. Qingnian, L. Youde, M. Zhimin, Z. Ziliang, and L. Di, "Study of the electric control strategy for the power train of hybrid electric vehicle", in Proc. of the IEEE International Vehicle Electronics Conf. (IVEC '99), vol. 1, Changchun, China, September 1999, pp. 383-386.
30. 52. N. Jalil, N. A. Kheir, and M. Salman, "A rule-based energy management strategy for a series hybrid vehicle", in Proc. of the American Control Conf., vol. 1, Albuquerque, NM, June 1997, pp. 689 -693.
31. Автотехцентр HYBRIDS.ru. Ресурс, посвящений гибридным силовым установкам. <http://hybrids.ru/GrahamPriusFiles/FramePage5.htm>
32. Hermance, D. (1999). «Toyota hybrid system». presented at the SAE TOPTEC Conf., Albany, NY, May 1999.
33. Hermance, Dave, "Toyota Hybrid System Concept and Technologies," presentation at SAE Future Transportation Technology Conference, Orange County, CA, October 1999.
34. C.C. Lin, S. Jeon, H. Peng, J.M. Lee. Driving Pattern Recognition for Control of Hybrid Electric Trucks. Vehicle System Dynamics, Vol. 42, pp. 41-58, 2004.
35. Мирошник, И. В. Теория автоматического управления. Нелинейные и оптимальные системы [Текст] / И. В. Мирошник. – СПб.: Питер, 2006. – 272 с.: ил.
36. Беллман, Р. Динамическое программирование. Пер. с англ. [Текст] / И. Беллман, под ред. Воробьева Н.Н. – М.: издательство иностранной литературы, 1960 г. - 400 с.
37. Теория автоматического управления. Ч. II. Теория нелинейных и специальных систем автоматического управления [Текст]: учеб. пособие для вузов / Под ред. А.А. Воронова.- М.: «Высш. школа», 1977. – 288 с.
38. Методы классической и современной теории автоматического управления [Текст]: учебник в 5-и тт.; 2-е изд., перераб. и доп. Т.4: Теория оптимизации систем автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова и Н.Д. Егупова. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2004. – 744 с.; ил.
39. A. Kleimaier and D. Schröder, "Optimization strategy for design and control of a hybrid vehicle", in Proc., 6th International Workshop on Advanced Motion Control, Nagoya, Japan, March 30 - April 1 2000, pp. 459-464.
40. S. Delprat, T. M. Guerra, and J. Rimaux, "Control strategies for hybrid vehicles: Optimal control", in Proc., Vehicular Technology Conf. (VTC 2002-Fall), vol. 3, Vancouver, Canada, September 2002, pp. 1681-1685.
41. S. E. Lyshevski and C. Yokomoto, "Control of hybrid-electric vehicles", in Proc. of the American Control Conf., Philadelphia, PA, June 1998, pp. 2148-2149.
42. Francesco Esposito. A sub-optimal energy management strategy for hybrid electric vehicles. Università degli Studi di Napoli Federico II. Tesi di dottorato. (2008). 151 p.
43. Xi Wei. Modelling and control of a hybrid electric drivetrain for optimum fuel economy, performance and driveability. Dissertation. Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Doctor of Philosophy in the Graduate School of The Ohio State University. – 2004. – 175 p.
44. Sebastien Delprat, Jimmy Lauber, Thierry Marie Guerra, and J. Rimaux. Control of a Parallel Hybrid Powertrain: Optimal Control. IEEE Transaction on Vehicular Technology, vol. 53, No. 3, MAY 2004, pp. 872 – 881.
45. Jinming Liu. Modeling, configuration and control optimization of power split hybrid vehicles. A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy (Mechanical Engineering) in The University of Michigan. – 2007. – 164 p.
46. M.P. O'Keefe and T. Markel. Dynamic Programming Applied to Investigate Energy Management Strategies for a Plug-in HEV. International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS-

22) Yokohama, Japan October 23–28, 2006. Conference Paper National Renewable Energy Laboratory NREL/CP-540-40376 November 2006, 13 p.

47. Куликов, И. Динамическое программирование как инструмент теоретического исследования силовой установки гибридного автомобиля (начало) [Текст] / И. Куликов // Журнал Автомобильных Инженеров. – 2010. – №4 (63); №5 (64).

48. Yuanjun Huang, Chengliang Yin, Jianwu Zhang. Modeling and Development of the Real-time Control Strategy For Parallel Hybrid Electric Urban Buses / WSEAS TRANSACTIONS on INFORMATION SCIENCE & APPLICATIONS. Issue 7, Volume 5, July 2008. pp. 1113-1126

49. Xi Wei. Modelling and control of a hybrid electric drivetrain for optimum fuel economy, performance and driveability. Dissertation. Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Doctor of Philosophy in the Graduate School of The Ohio State University. – 2004. – 175 p.

50. Chan-Chiao Lin, Zoran Filipi, Yongsheng Wang, Loucas Louca, Huei Peng, Dennis Assanis, Jeffrey Stein. Integrated, Feed-Forward Hybrid Electric Vehicle Simulation in SIMULINK and its Use for Power Management Studies. Automotive Research Center. The University of Michigan, 2001.

**Сериков Сергей Анатольевич**

ХНАДУ «Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет»

Адрес: 61002, Украина, г. Харьков, ул. Петровского, 25

Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автомобильной электроники

E-mail: srkv@inbox.ru

**Бороденко Юрий Николаевич**

ХНАДУ «Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет»

Адрес: 61002, Украина, г. Харьков, ул. Петровского, 25

Канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры автомобильной электроники

**Дзюбенко Александр Андреевич**

ХНАДУ «Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет»

Адрес: 61002, Украина, г. Харьков, ул. Петровского, 25

Канд. техн. наук, доцент кафедры автомобильной электроники

---

S. A. SERIKOV, Y. N. BORODENKO, A. A. DZIUBENKO

## HYBRID VEHICLES POWER UNIT CONTROL

*The methods of optimal control of a hybrid power unit are analyzed. The problem solved by the automatic control system of the hierarchical structure, principles and approaches to the implementation of control strategy are considered.*

**Keywords:** *hybrid power setting, automatic control system, electric drive, storage batteries, objective function, optimizing algorithm, logical rules, adaptation methods.*

**Serikov Sergey Anatolevich**

KhNAHU «Kharkov national automobile and highway University»

Address: 61002, Ukraine, Kharkov, street Petrovsky, 25

Assistant professor, cand. eng. sc. of the Department «Automobile electronic»

E-mail: srkv@inbox.ru

**Borodenko Yuri Nikolayevich**

KhNAHU «Kharkov national automobile and highway University»

Address: 61002, Ukraine, Kharkov, street Petrovsky, 25

Assistant professor, cand. physic.-math. sc. of the Department «Automobile electronic»

**Dziubenko Alexander Andreyevich**

KhNAHU «Kharkov national automobile and highway University»

Address: 61002, Ukraine, Kharkov, street Petrovsky, 25

Assistant professor, cand. eng. sc. of the Department «Automobile electronic»

УДК 621.436.001.43

С. В. ТИМОХИН, Ю. В. РОДИОНОВ

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ОБКАТКИ ДИЗЕЛЯ Д-144-32 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО ЦИКЛА ДИНАМИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ

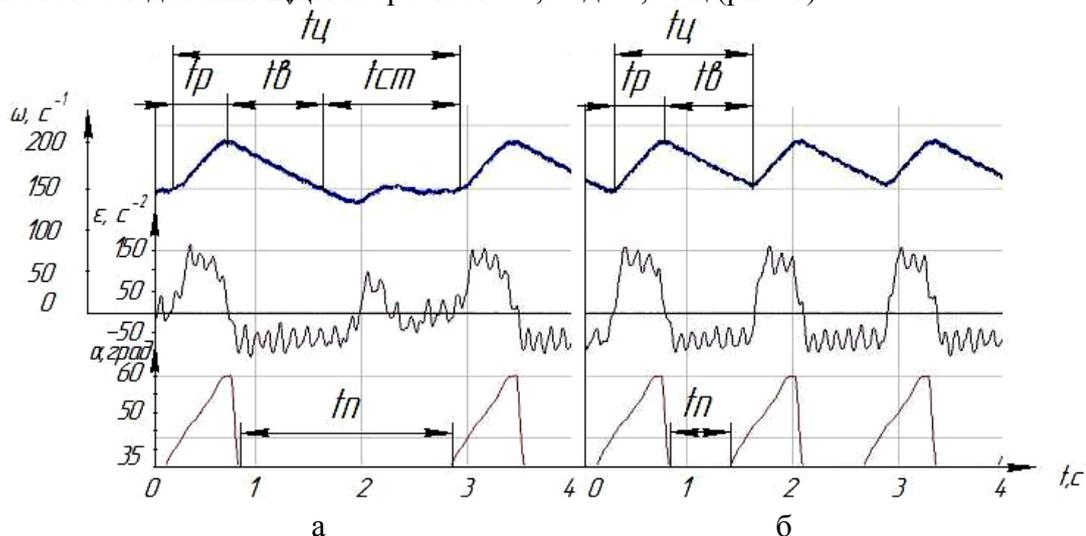
*Представлены результаты исследований обкатки дизеля Д-144-32 в бестормозных неустановившихся режимах, доказывающие преимущества применения усовершенствованного алгоритма цикла динамического нагружения. Произведен анализ изменения нагрузочного динамического момента и состояния шатунных вкладышей, произведена сравнительная оценка износа компрессионных колец после экспериментальной обкатки.*

**Ключевые слова:** дизель, горячая обкатка, динамическое нагружение, результаты исследований.

Для повышения эффективности приработки сопряжений разработана и внедрена автоматизированная система управления обкаткой автотракторных дизелей с динамическим нагружением (АСУ-ДН), реализующая усовершенствованный цикл динамического нагружения (ДН) с воздействием на рычаг регулятора частоты вращения [1, 2].

В процессе проведенных моторных исследований АСУ-ДН дизеля Д-144-32 выявлена возможность реализации цикла динамического нагружения (ЦДН) без такта стабилизации на последних ступенях обкатки и существенного повышения нижнего предела и среднего значения угловой скорости коленчатого вала (УСКВ) цикла путем управления кулачковым исполнительным механизмом по времени пауза (выбега) [3].

В результате экспериментальных исследований АСУ-ДН установлено, что исключение такта стабилизации при нагрузках более 70% от номинального значения не влияет на характер изменения нагрузочного динамического момента (НДМ) и при одинаковых значениях времени тактов разгона и выбега, снижает время ЦДН на 0,9 с (до 30%). При этом максимальная частота следования ЦДН возрастает с 0,36 до 0,5 Гц (рис. 1).



**Рисунок 1 – Осциллограммы параметров циклов динамического нагружения дизеля Д-144-32:**  
 а) с тактом стабилизации УСКВ; б) без такта стабилизации УСКВ:  $\omega$  – угловая скорость коленчатого вала,  $c^{-1}$ ;  $\varepsilon$  – угловое ускорение коленчатого вала,  $c^{-2}$ ;  $\alpha$  – угол поворота рычага РЧВ, град

В процессе исследований также установлена возможность существенного повышения нижнего предела и среднего значения УСКВ цикла сокращением времени паузы при неизменном значении НДМ (углового ускорения разгона) степени (рис. 2). Анализ осциллограммы показывает, что при уменьшении времени паузы (выбега) с 1,1 до 0,35 с нижний пре-

дел частоты вращения (УСКВ) повысился с  $136 \text{ с}^{-1}$  до  $168 \text{ с}^{-1}$ , средняя УСКВ цикла с  $171 \text{ с}^{-1}$  до  $188 \text{ с}^{-1}$  (на 10%), частота циклов увеличилась с 0,5 до 1 Гц.

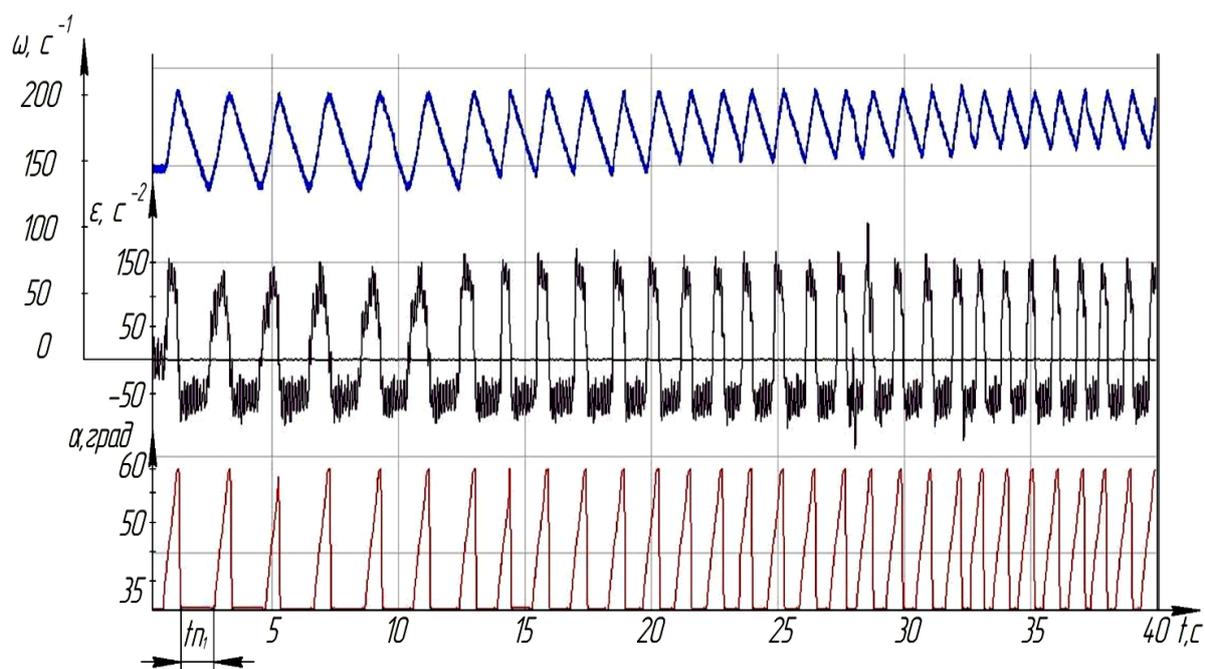


Рисунок 2 – Оциллограмма изменения параметров циклов динамического нагружения дизеля Д-144-32 в зависимости от времени паузы  $t_p$  (выбега)

Это позволяет значительно сократить продолжительность ступеней за счет повышения скоростного и нагрузочного режимов приработки сопряжений ДВС и приблизить время горячей обкатки с ДН к времени тормозной обкатки по типовым технологиям. Повышение средней УСКВ ЦДН особенно актуально при обкатке дизелей с турбонадувом, так как обеспечиваются лучшие условия работы турбокомпрессора и соответственно большие значения НДМ.

В результате холодной обкатки, которая проводилась путем прокрутки коленчатого с помощью автономного устройства на базе штатного электростартера дизеля с питанием от специального сетевого источника питания, установлена возможность проведения такой обкатки (рис. 3).

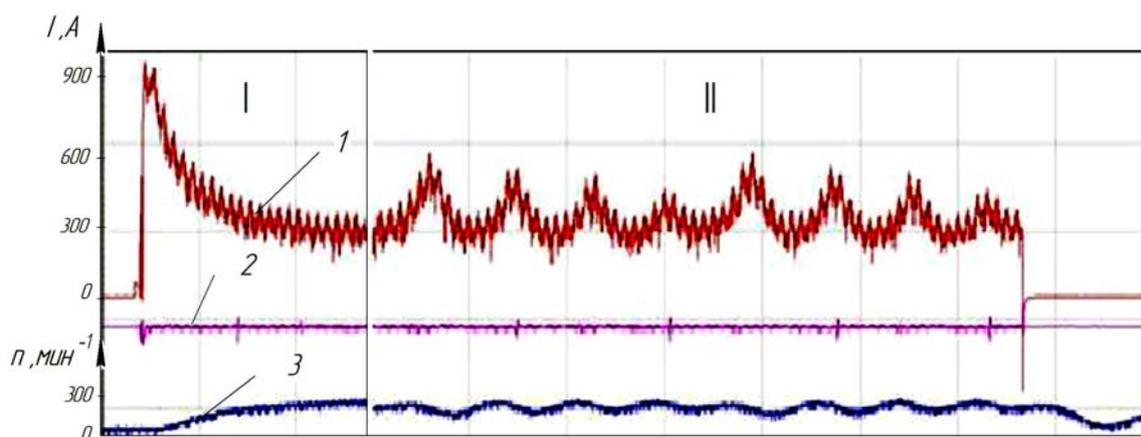


Рисунок 3 – Оциллограмма тока электростартера, частоты вращения коленчатого вала и отметок ВМТ в процессе холодной обкатки дизеля Д-144-32:

1 – ток электростартера; 2 – отметки ВМТ первого цилиндра; 3 – частота вращения коленчатого вала;  
I – начальный участок обкатки без компрессии; II – конечный участок обкатки с компрессией

В процессе обкатки без компрессии частота вращения коленчатого вала повысилась с 220 до 270 мин<sup>-1</sup>, при давлении в смазочной системе - 0,35 МПа. Потребляемый электростартером ток за время этой ступени снизился с 240 А до 220 А, при напряжении питания около 12 В. При обкатке с компрессией средняя частота вращения составила 215 мин<sup>-1</sup>, а давление в смазочной системе - 0,23 МПа. Средний потребляемый электростартером ток составил 300 А при напряжении питания 11 В. Потребляемый электростартером ток при обкатке с компрессией существенно изменяется в пределах кинематического и рабочего циклов ДВС относительно среднего значения (300 А) в соответствии с изменением давления в цилиндрах, достигая максимума в зонах ВМТ цилиндров - 600 А. В зонах между ВМТ ток снижается до 220 А. Потребляемая электростартером мощность составила при обкатке без компрессии 2,6 – 2,9 кВт; с компрессией – 3,3 кВт.

Температура корпуса стартера (рис. 4) за время обкатки повысилась с 20 до 40 °С, а щеточного узла с 25 до 149 °С, что не превышает допустимых значений.

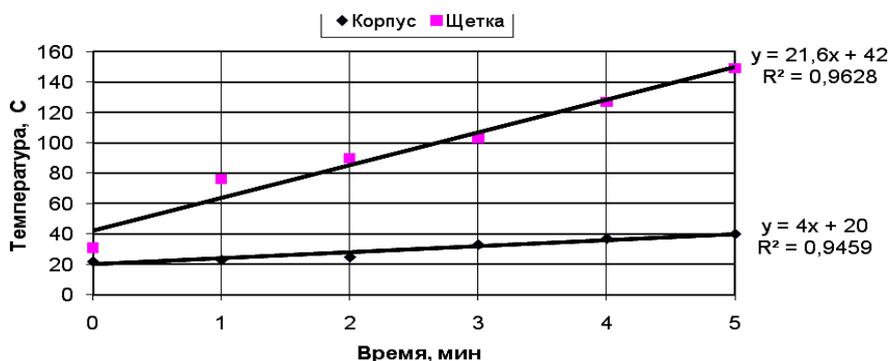


Рисунок 4 – Зависимость температуры корпуса стартера и щеточного узла от времени холодной обкатки

Момент прокрутки в процессе холодной обкатки снижался до 8% (рис. 5, 6), а в процессе обкаток с ДН до 19,3% (при обкатке по базовой технологии) и до – 24,7% (по предлагаемой технологии).

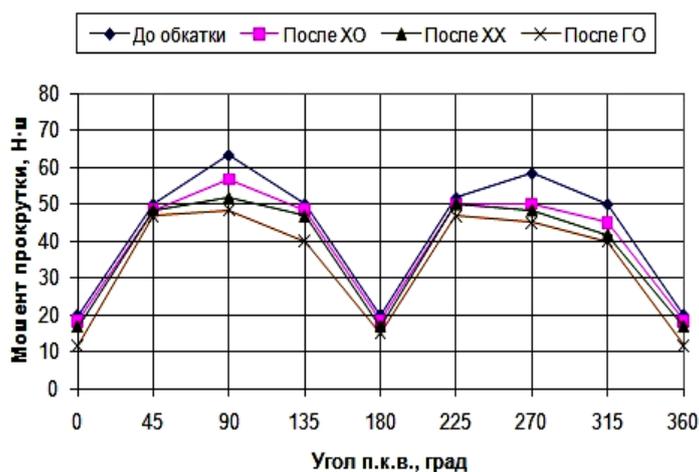


Рисунок 5 – Зависимость момента прокрутки от углового положения коленчатого вала в процессе обкатки дизеля Д-144-32 по базовой технологии

Цилиндрические поверхности первых компрессионных колец после экспериментальных обкаток имели равномерный по периметру приработочный пояс со следами приработки по всей поверхности. Вторые и третьи компрессионные кольца при обкатках с тактом стабилизации и без него имели односторонний приработочный пояс шириной 0,6 – 0,9 мм, при этом площадь приработанных поверхностей составила 26-40% и 28-40% соответствен-

но. Длина просветов между поршневыми кольцами и калибром после экспериментальных обкаток дизеля уменьшилась на 57% и 65,6% соответственно.

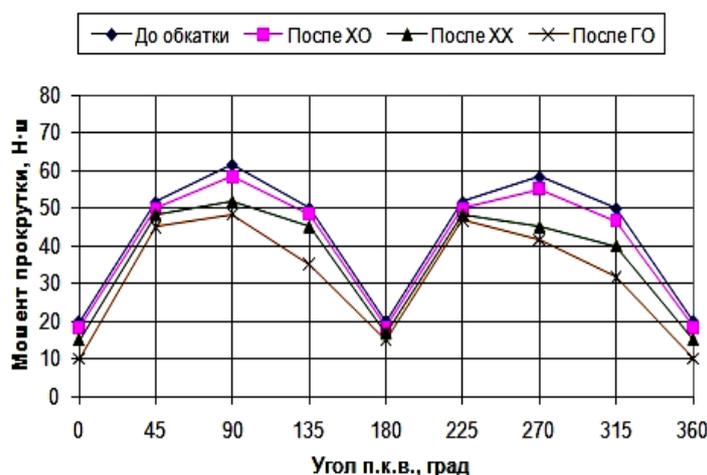


Рисунок 6 – Зависимость момента прокрутки от углового положения коленчатого вала в процессе обкатки дизеля Д-144-32 по предлагаемой технологии

Результаты сравнительной оценки износа поршневых колец весовым способом до и после проведения экспериментальных обкаток (рис. 7), показали, что после обкатки с ДН по базовой технологии среднее снижение веса всех колец по цилиндрам составило 0,2; 0,17; 0,16 и 0,17 г по отношению к начальному, а после обкатки с ДН по предлагаемой технологии - 0,16; 0,15; 0,13; и 0,16 г соответственно.

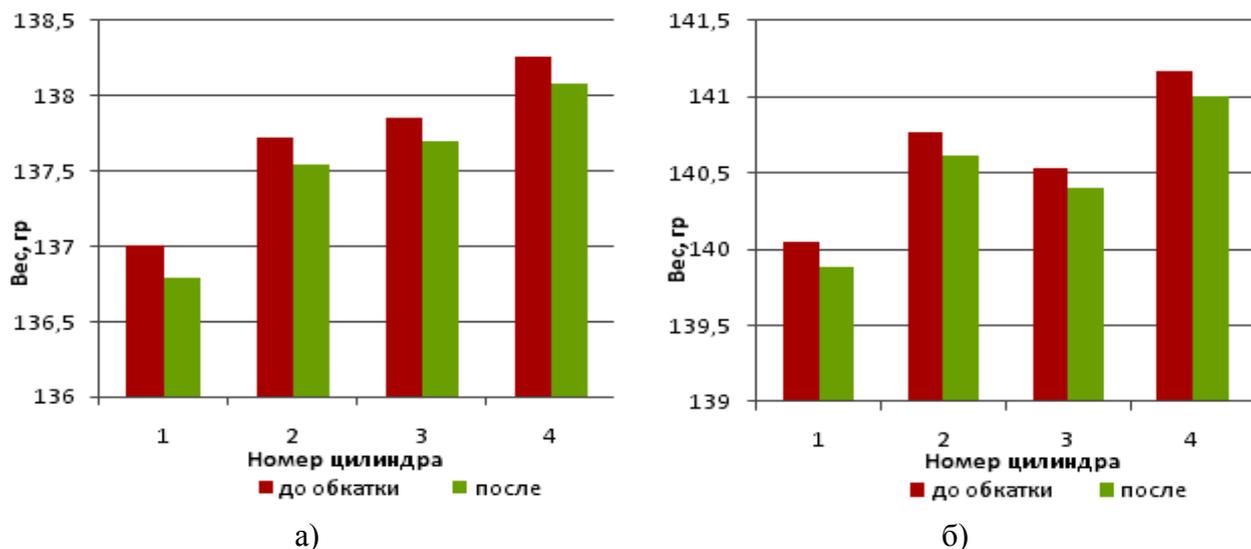


Рисунок 7 – Гистограмма результатов взвешивания поршневых колец:  
а) по базовой технологии; б) по предлагаемой технологии

Также установлено, что средний вес после обкатки с ДН по базовой технологии первого компрессионного хромированного кольца снижается на 0,175%, второго – 0,166%, третьего – 0,152% по отношению к начальному, а после обкатки с ДН по предлагаемой технологии снижение веса первых компрессионных колец соответственно составляет 0,147%, 0,144% и 0,134%, что говорит о незначительно меньшей величине износа компрессионных поршневых колец при обкатке без такта стабилизации УСКВ.

Анализ результатов сравнительной оценки износа шатунных вкладышей двигателя весовым способом до и после проведения экспериментальных обкаток, показал, что среднее снижение веса по всем цилиндрам верхних и нижних шатунных вкладышей после обкатки с

ДН по базовой технологии составило  $235 \cdot 10^{-5}\%$  и  $288 \cdot 10^{-5}\%$ , а при обкатке с ДН по предлагаемой технологии -  $295 \cdot 10^{-5}\%$  и  $344 \cdot 10^{-5}\%$  соответственно.

Среднее значение общей площади приработанных поверхностей верхних шатунных вкладышей после обкатки по базовой и предлагаемой технологиям составило 12,4% и 12,9%, а нижних – 1,3% и 2,4% от площади всей поверхности соответственно.

Анализ результатов исследований состояния цилиндрических поверхностей поршневых колец показал, что первые компрессионные хромированные кольца после экспериментальных обкаток с ДН имели равномерный по периметру цилиндрической поверхности приработочный пояс, на поверхностях вторых и третьих компрессионных колец наблюдается неравномерность пояска по всему периметру цилиндрической поверхности при различных колебаниях его ширины (от 0,6 до 0,9 мм).

На ненагруженных нижних шатунных вкладышах следы контактирования практически отсутствуют, а на верхних имеются линейные следы контакта. Наличия задиров и следов перегрева вкладышей не обнаружено. После обкатки с ДН по предлагаемой технологии на поверхностях верхних шатунных вкладышей имеются пятна полной приработки (в зоне перпендикулярной плоскости разъема) с качеством приработанной поверхности, значительно лучшим, чем после обкатки с ДН по базовой технологии.

Таким образом, сравнительные исследования экспериментальных обкаток показали, что при обкатке с ДН без такта стабилизации УСКВ получены лучшие результаты по показателям приработки, чем при обкатке с ДН с тактом стабилизации. Установлено, что при проведении обкатки с ДН без такта стабилизации УСКВ общая площадь приработанных поверхностей шатунных вкладышей, при незначительно большем снижении веса, превышает значения полученные при обкатке с ДН с тактом стабилизации УСКВ, при этом величина износа на  $1 \text{ м}^2$  приработанной поверхности имеет меньшие значения; значения общей площади приработанных цилиндрических поверхностей компрессионных колец незначительно больше, чем при обкатке с ДН с тактом стабилизации УСКВ, но при меньших значениях снижения веса и величины износа на  $1 \text{ м}^2$  приработанной поверхности; момент прокрутки и суммарная протяженность просветов между поршневыми кольцами и калибром имеют меньшие значения.

Экспериментальный образец АСУ-ДН для обкатки дизелей и основные результаты исследований приняты к внедрению ОАО «Завод коммунальной энергетики» г. Пензы и ГНУ ГОСНИТИ г. Москва. Расчетный годовой экономический эффект от внедрения АСУ-ДН составляет 2483 рублей на одну обкатку дизеля Д-144-32 в ценах 2012 года.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тимохин, С. В. Усовершенствованный цикл динамического нагружения дизелей при обкатке [Текст] / С. В. Тимохин, Ю. В. Родионов // Мир транспорта и технологических машин. - 2013. - № 3(42). – С. 40-46.
2. Тимохин, С. В. Разработка средств для обкатки дизелей с динамическим нагружением [Текст] / С. В. Тимохин, Ю. В. Родионов // Мир транспорта и технологических машин. - 2013. - №4(43). – С. 27-33.
3. Моисеев, К. Л. Повышение эффективности приработки дизелей совершенствованием технологии и средств обкатки с динамическим нагружением [Текст]: автореф. дис...канд. техн. наук: 05.20.03 / К. Л. Моисеев. - Пенза, 2012. – 19 с.

### **Тимохин Сергей Викторович**

ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная сельскохозяйственная академия»

Адрес: 440014, Россия, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30

Д-р техн. наук, профессор кафедры «Тракторы, автомобили и теплоэнергетика»

E-mail: dspgsha@mail.ru

### **Родионов Юрий Владимирович**

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»

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

Д-р техн. наук, профессор, директор автомобильно-дорожного института

E-mail: dekauto@pguas.ru

## RESEARCH RESULTS OF THE DIESEL ENGINE D-144-32 ROLLING USING THE ADVANCED DYNAMIC LOADING CYCLE

*Research results of the diesel engine D-144-32 rolling for nonbreaking transients modes to prove the advantages of advanced dynamic loading cycle algorithm application have been offered. Changes in the load dynamic torque and status of the connecting rod bearings have been analyzed, comparative wear evaluation of compression rings having been subjected to test rolling being given.*

**Keywords:** diesel, hot rolling, dynamic loading, the results of the research.

### BIBLIOGRAPHY

1. Timokhin, S. V. Uovershenstvovannyy tsikl dinamicheskogo nagruzheniya dizeley pri obkatke [Tekst]/ S. V. Timokhin, YU. V. Rodionov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2013. - № 3(42). - S. 40-46.
2. Timokhin, S. V. Razrabotka sredstv dlya obkatki dizeley s dinamicheskim nagruzheniem [Tekst] / S. V. Timokhin, YU. V. Rodionov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2013. - №4(43). - S. 27-33.
3. Moiseev, K. L. Povyshenie effektivnosti prirabotki dizeley sovershenstvovaniem tekhnologii i sredstv obkatki s dinamicheskim nagruzheniem [Tekst]: Avtoref. dis...kand. tekhn. nauk: 05.20.03 / K. L. Moise-ev. - Penza, 2012. - 19 s.

**Timohin Sergey Viktorovich**

FGBOU VPO "Penza State Agricultural Academy"

Address: 440014, Russia, Penza city. Botanical, 30

Dr. tehn. , professor of "Tractors, cars and power system"

E-mail: dspgsha@mail.ru

**Rodionov Yuri Vladimirovich**

FGBOU VPO "Penza State University of Architecture and Construction"

Address: 440028, Russia, Penza city. Titova, 28

Dr. tehn. Sciences, Professor, Director of Automobile and Road Institute

E-mail: dekauto@pguas.ru

### Уважаемые коллеги!

Приглашаем Вас принять участие в работе

международной научно-практической

интернет-конференции

**«АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИННОВАЦИОННОГО  
РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА»,**

которая будет проводиться в период

с 1 апреля по 1 мая 2014 года

<http://gu-unpk.ru/chair/sirm/science>

УДК 629. 113

Л. С. УШАКОВ, А. В. ПАНИЧКИН, Д. Ю. ГРЕБЕНЧЕНКО, М. И. ЖУКОВ

## **АНАЛИЗ СПОСОБОВ И СРЕДСТВ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ РАБОТ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ГРУЗОВ СО СМЕЩЕННЫМ ЦЕНТРОМ ТЯЖЕСТИ**

*Определяются способы подъема неуравновешенных грузов. Рассматриваются устройства для подъема не уравновешенных грузов. Приводится пример реализации.*

**Ключевые слова:** *траверса, неуравновешенный груз, длинномерный груз.*

Подъемно-транспортное оборудование является одним из важных факторов производственного процесса, определяющих его эффективность. Наиболее трудоемкими являются погрузочно-разгрузочные работы, которые занимают существенный объем в технологических процессах любого предприятия, склада, строительного объекта. Данный вид работ выполняются на всех этапах основных производственных процессов. Подъемно-транспортное оборудование – машины и механизмы, предназначенные для механизации и автоматизации работ при погрузке и выгрузке сырья и продуктов во время их приемки и хранения, перемещении внутри предприятия, транспортировки готовой продукции к месту реализации, выполнении монтажных и пусконаладочных работ по установке оборудования.

Стоимость, масса, эксплуатационная надежность подъемно-транспортных машин в значительной степени определяются их металлическими конструкциями. При подъеме и перемещении крупногабаритных грузов используются траверсы различного исполнения. Траверса может использоваться для подъема длинномерных грузов и грузов, где возникают ограничения по высоте. Основное назначение траверс — предохранить поднимаемые элементы от воздействия сжимающих усилий, возникающих в них при наклоне стропов.

В современном производстве и строительстве объем перемещения крупногабаритных грузов со смещенным центром тяжести ежегодно возрастает. Из этого объема доля погрузочно-разгрузочных работ крупногабаритных грузов составляет 5-6%, но именно при работе с этими типами грузов значительны затраты, а также наиболее велика вероятность повреждения поднимаемого крупногабаритного груза. Применение траверс в 2-3 раза повышает производительность труда и на 15-20% уменьшает потребность в дополнительных грузоподъемных механизмах.

Систематизировав наиболее распространенных типов траверс, представленные на рисунке 1, анализ технических характеристик траверс которых предьявляют ниже.

При погрузочно-разгрузочных работах, при перемещении габаритных и хрупких грузов в условиях ограниченной высоты подъема применяются линейные траверсы, за одну точку подвеса (рис. 2). Траверса навешивается непосредственно на крюк крана. Используется для подъема и перемещения широкого перечня грузов, обеспечивает минимальные требования к высоте подъема. Недостатком является жесткое требование к центровке груза для предотвращения его перекосов при подъеме. При использовании траверсы данного типа, в момент перемещения каретки происходит раскачивание груза, что может повредить перемещаемый предмет. Применение траверс данного типа приводит к снижению скорости погрузочно-разгрузочных работ. Таким образом, применение траверс данного типа для перемещения грузов со смещенным центром тяжести недопустимо.

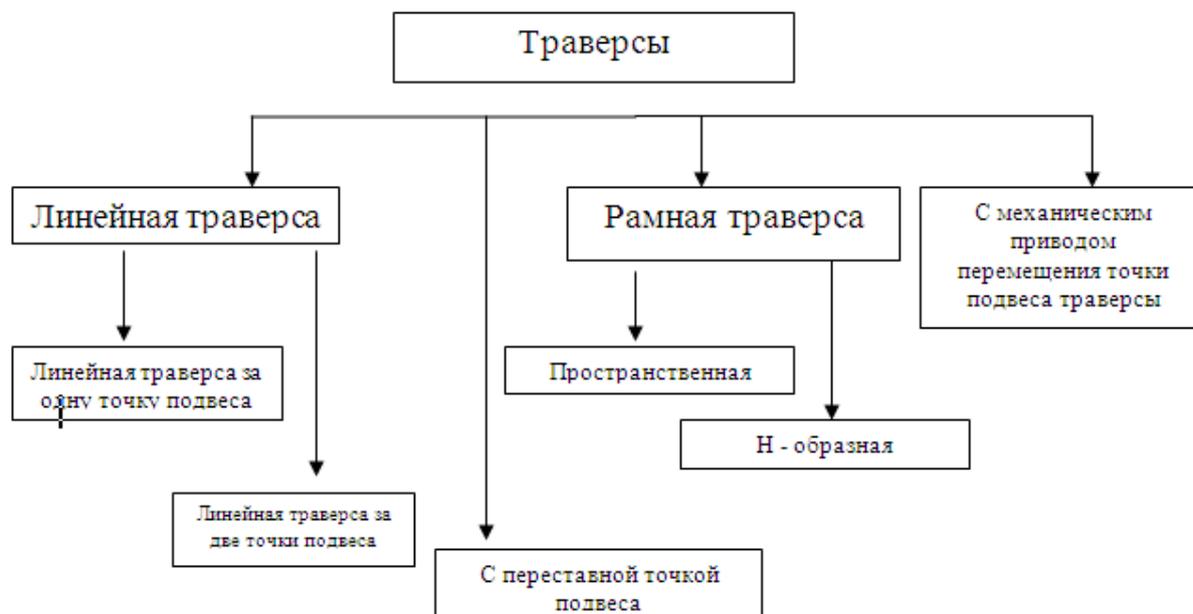


Рисунок 1 - Систематизация предназначенных для подъема крупногабаритных грузов траверс

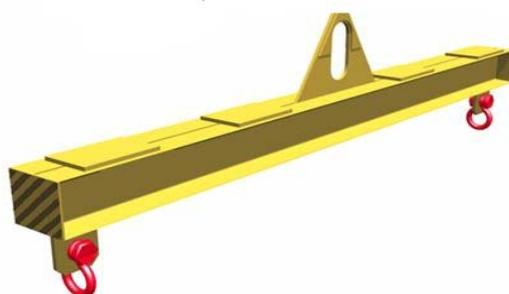


Рисунок 2 - Линейная траверса за одну точку подвеса

Линейная траверса за две точки подвеса (рис. 3) может использоваться для работы с грузами с незначительно смещенным центром тяжести поднимаемого груза, сдвинутого от оси точки подвеса. Гибкий тяговый орган исключает перевешивание груза на одну сторону при подъеме. Для навешивания на крюк грузоподъемного механизма необходимо использование дополнительного двухветвевго стропа. По сравнению с аналогичной линейной траверсой за одну точку подвеса металлоемкость данной траверсы меньше, что дает возможность поднимать груз массой близкой к грузоподъемности крана. Существенным недостатком такой траверсы является ее неустойчивость и сложность эксплуатации, при подъеме и перемещении грузов со смещенным центром тяжести, траверса будет отклоняться от линии горизонта, что не обеспечивает в достаточной мере сохранность поднимаемого груза. Так же при перемещении, не исключены колебания, возникшие при подъеме и опускании, которые могут повредить хрупкий груз, так как стропы весьма гибки. Использование траверсы данного типа существенно снижается полезная высота подъема.

Рамная траверса предназначена для перегрузки крупногабаритных и длинномерных грузов (рис. 4), которые бывают пространственные и Н-образные. Их преимущество: четыре подвеса, которые позволяют надежно зафиксировать крупногабаритный груз и безопасно переместить его. Имеется модели как с подъемом за центр, так и с подъемом за края.



Рисунок 3 - Линейная траверса за две точки подвеса



Рисунок 4 - Рамная траверса

Представленные виды траверс не дают возможности перемещать груз, со смещенным центром тяжести, фиксация при этом, груз параллельно линии горизонта, разработаны траверсы, подвесное звено которых представлено в виде гребенки с переставной точкой подвеса. Такой вид балансировки, существенно замедляет технологический процесс погрузо-разгрузочных работ. И шаг, на который сдвигается проушина, может не соответствовать необходимому для выравнивания груза.

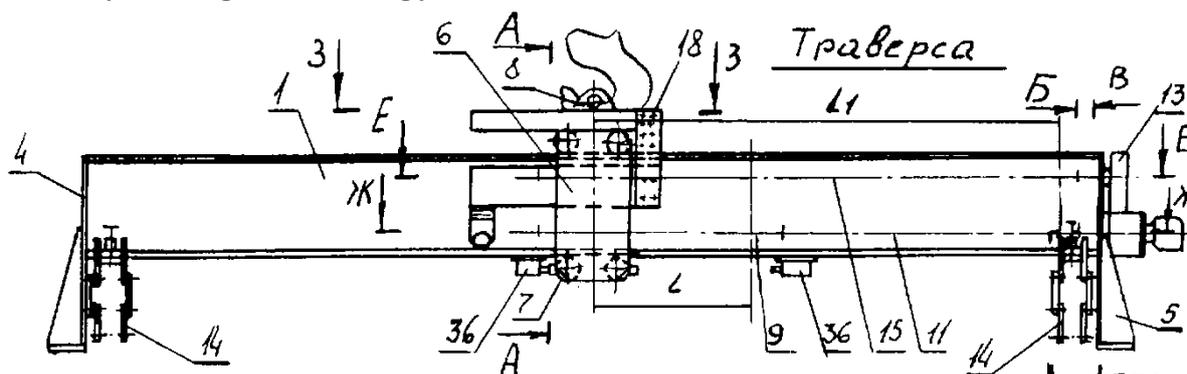


Рисунок 5 - Траверса с механическим приводом перемещения точки подвески траверсы

К устройствам, осуществляющим подъем и перемещение штучных грузов с неопределенным центром тяжести. Траверса предназначена для перемещения грузов с неопределенным центром тяжести (рис. 5). Траверса имеет несущую балку, на которой установлены каретка, имеющая ролики и крюковую подвеску, механизм их перемещения, состоящий из основного винта с гайкой и промежуточного вала, соединенного с валом редуктора, и грузозахватные органы, снабжена дополнительным винтом, расположенным параллельно основному винту и соединенным со вторым валом редуктора, дополнительной гайкой, взаимодействующей с дополнительным винтом, противовесом, установленным на дополнительной гайке с возможностью перемещения относительно несущей балки. Противовес траверсы состоит из распорки и закрепленных на ней силовых щек, установленных на последних верхних и нижних грузах, выполненных, например, из мягкого тяжелого металла, центрального кронштейна, жестко связанного с распоркой, оснащенной опорными роликами, взаимодействующими с верхней частью несущей балки, и опорных кронштейнов с роликами, взаимодействующими с нижней частью несущей балки.

Однако, представленная траверса имеет существенный ряд недостатков. Определение местоположения каретки и центра тяжести поднимаемого груза осуществляет оператор. Находясь на расстоянии от поднимаемого груза, или при подъеме и опускании груза в труднодоступных местах и в условиях ограниченной видимости, пользуясь сигнальными знаками

стоповщика, применение данной траверсы нецелесообразно. Так же, высокая утомляемость оператора, приведет к снижению производительности.

Траверса механизма подъема крана, содержащая раму с приспособлениями для присоединения к механизму подъема крана и средствами для удержания груза, отличающаяся тем, что средства для удержания груза включают в себя рычаги с проушинами, шарнирно прикрепленные к одному концу рамы с возможностью поворота в поперечной вертикальной плоскости, и штангу с вилкой и выдвигной осью, шарнирно прикрепленную к другому концу рамы с возможностью поворота в продольной вертикальной плоскости, при этом к раме жестко прикреплены две опоры, одна из которых расположена в одной поперечной плоскости с рычагами и на ней смонтированы механизмы поворота рычагов, а вторая опора расположена в зоне крепления штанги.

Грузоподъемная траверса, содержащая грузовой несущий элемент, верхний строп с серьгой, нижние грузовые канаты с крюками, соединенные с несущим грузовым элементом, отличающаяся тем, что несущий грузовой элемент выполнен в виде жесткой рамы, на которой по углам неподвижно установлены лебедки, на барабанах которых закреплены нижние грузовые канаты с возможностью изменения длины любого из них для наклона груза в пространстве.

Данное изобретение относится к подъемно-перегрузочным устройствам для проведения операций по переносу и монтажно-стыковочным работам. Траверса содержит несущую балку, в балансировочных гнездах которой установлены стропы с такелажными узлами крепления, серьгу с регулируемой винтовой вставкой серьги и несущей балкой расположено устройство взвешивания, выполненное в виде двух горизонтальных пластин. Пластины соединены между собой вертикально расположенными пружинами и винтовыми стопорами фиксации положения пружин. Устройство изменения угла наклона выполнено в виде резьбового соединения ползуна, закрепленного на нижней пластине устройства обезвешивания, и регулировочного винта, закрепленного на нижней пластине устройства обезвешивания, и регулировочного винта, закрепленного на несущей балке. Достигается исключение возможности механической деформации в процессе подъема переносимого изделия при откреплении его от фиксирующих устройств и обеспечение требуемого угла наклона изделия при выполнении монтажно-стыковочных работ.

Таким образом, большинство применяемых в промышленности траверс для подъема и перемещения грузов не обеспечивают безопасный подъем и перемещение крупногабаритных грузов с неопределенным центром тяжести или приводит к снижению производительности вследствие ручной перестановки подвесного звена траверсы и высокой утомляемости оператора. Следовательно, дальнейшее совершенствование конструкций траверс необходимо вести в области кинематики и автоматизации перемещения точки подвеса траверсы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров, М. П. Грузоподъемные машины [Текст]: учебник для вузов / М. П. Александров. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана – Высшая школа, 2000. – 552 с.
2. Александров, М. П. Подъемно-транспортные машины [Текст]: учеб. для машиностроит. спец. вузов. – М.: Высш. шк., 1985.- 520 с., ил.
3. Жуков, М. И. Систематизация траверс для погрузки и перемещения крупногабаритных грузов / М. И. Жуков // Мир транспорта и технологических машин. – 2012. - № 2(37). – С. 96-100.

**Ушаков Леонид Семёнович**

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – УНПК»

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

Д-р техн. наук, профессор кафедры ПТСДМ

E-mail: oushakov2007@mail.ru

**Паничкин Антон Валерьевич**

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»  
Адрес: Россия, 302030, г. Орел, ул. Московская, д. 77  
Канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой ПТСДМ  
E-mail: teppa79@yandex.ru

**Гребенченко Дмитрий Юрьевич**

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»  
Адрес: Россия, 302030, г. Орел, ул. Московская, д. 77  
Студент 5-го курса специальности 190205  
E-mail: ne32zuba@mail.ru

**Жуков Михаил Игоревич**

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»  
Адрес: Россия, 302030, г. Орел, ул. Московская, д. 77  
Аспирант кафедры ПТСДМ

---

L. S. USHAKOV, A. V. PANICHKIN, D. U. GREBENCHENKO, M. I. JUKOV

## ANALYSIS OF WAYS AND MEANS TO IMPLEMENT THE HANDLING OF AIR CARGO SHIFTED CENTER OF GRAVITY

*Defines the ways of lifting unbalanced loads. Discusses the equipment for lifting is not balanced cargo. Is an example implementation.*

**Keywords:** *traverse, an unbalanced load, lengthy cargo.*

### BIBLIOGRAPHY

1. Aleksandrov, M. P. Gruzopod"emnye mashiny [Tekst]: uchebnik dlya vuzov / M. P. Aleksandrov. - M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana - Vysshaya shkola, 2000. -552 s.
2. Aleksandrov, M. P. Pod"emno-transportnye mashiny [Tekst]: ucheb. dlya mashino-stroit. spets. vuzov. - M.: Vyssh. shk., 1985.- 520 s., il.
3. Zhukov, M. I. Sistematizatsiya travers dlya pozh"ema i peremeshcheniya krupnogabbaritnykh грузов / M. I. Zhukov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2012. - № 2(37). - S. 96-100.

**Ushakov Leonid Semenovich**

ФГБОУ ВПО "State University - ESPC "  
Address: Russia, 302030 , Eagle Street . Moskovskaya 77  
Dr. tehn. , Professor, Department PTSMD  
E-mail: oushakov2007@mail.ru

**Panichkin Anton Valer'evich**

ФГБОУ ВПО "State University - ESPC"  
Address: Russia, 302030 , Eagle Street . Moskovskaya 77  
Candidate . tehn. Sciences , Assoc . Chair PTSMD  
E-mail: teppa79@yandex.ru

**Grebchenko Dmitry Yur'evich**

ФГБОУ ВПО "State University - ESPC"  
Address: Russia, 302030 , Eagle Street . Moskovskaya 77  
Student 5th year specialty 190205  
E-mail: ne32zuba@mail.ru

**Zhukov Michael Igorevich**

ФГБОУ ВПО "State University - ESPC"  
Address: Russia, 302030 , Eagle Street . Moskovskaya 77  
Graduate student PTSMD

Ю. В. СТЕНИН, С. А. АРЕФЬЕВ, Р. С. ГАНИЕВ

## КАРЬЕРНЫЕ АВТОДОРОГИ – ЭЛЕМЕНТ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

*Выполнен системный анализ технологических автодорог в карьере. Рассмотрены взаимосвязи карьерных автодорог в системе «открытые горные работы» с другими подсистемами и самой системой. На этой основе предложена технологическая характеристика дорог и предложены специфические подходы к их проектированию, строительству и содержанию. Отмечается, что проектирование, строительство и содержание карьерных дорог должно осуществляться с учётом их взаимосвязей с другими элементами открытых горных работ и параметрами карьера, а также дифференцированного по глубине карьера формирования таких показателей, как срок службы и суммарная за срок службы грузонапряженность дороги. Последние показатели зависят от места расположения дороги в пространстве карьера и от его размеров. Технология строительства и содержания карьерных дорог должна предусматривать минимальное снижение грузопотока горной массы на участке строительства или ремонта дороги и производительности открытых горных работ.*

**Ключевые слова:** карьерные автомобильные дороги; система «открытые горные работы»; подсистема «карьерные автодороги»; параметры карьерных автодорог; технология строительства и содержания карьерных автодорог.

Горнодобывающее предприятие – сложная система с присущими системными свойствами [1, 2] и многоуровневой структурой [3]. Горнодобывающее предприятие с добычей открытым способом для целей данной работы можно представить пятиуровневой структурой (табл. 1).

Функционирование подсистем каждого уровня направлено на обеспечение цели всей системы «горнодобывающее предприятие открытой добычи полезных ископаемых» (ГПОД) – добыча полезного ископаемого в количестве и с качеством, обеспечивающими максимальную прибыль. Все подсистемы и их элементы связаны функционально и пространственно.

Подсистему четвертого уровня «рудник» можно представить как технологическую систему, состоящую из подсистем «карьер – совокупность горных выработок» и «горно-техническое оборудование», с помощью последней реализуется технология добычи полезного ископаемого. Тогда подсистема «карьер...» состоит из подсистем: «горизонтальная траншея», «наклонная траншея» и «уступ». Общим элементом этих подсистем являются технологические внутрикарьерные транспортные коммуникации (в том числе автомобильные дороги для карьерных автосамосвалов).

Следовательно, внутрикарьерные транспортные коммуникации, в частности технологические автодороги, являются элементом подсистемы «карьер – совокупность горных выработок», а значит системы ГПОД – «горнодобывающее предприятие ...», то есть элементом открытых горных работ.

Целью функционирования технологических транспортных коммуникаций – карьерных автодорог является обеспечение транспортной связи между экскаваторными забоями и пунктами приёма горной массы, перемещаемой карьерными автосамосвалами. Дороги должны обеспечивать надёжное и безопасное перемещение автосамосвалов с удельной нагрузкой от колеса автомобиля 5,5–7,0 кН/см<sup>2</sup> поверхности дороги при допустимых деформациях дорожных одежд. А строительство и содержание дороги должно согласовываться во времени и в пространстве с основными технологическими процессами открытых горных работ. Необходимо также учитывать взаимовлияние и взаимозависимость параметров карьерных автодорог с параметрами «карьера ...» и других подсистем системы «рудник».

Таблица 1 – Иерархическая структура системы «Горнодобывающее предприятие открытой добычи полезных ископаемых»

Уровень структуры	Содержание структурного блока
1	Буровая и экскавационная техника; транспортное оборудование; забои; вспомогательное оборудование; внутрикарьерные сооружения; оборудование для ремонта и обслуживания техники; транспортные коммуникации: на уступах, в траншеях, между карьером и складами руды и вскрышных пород и т. д.
2	Подсистемы "выемочно-погрузочное оборудование", «транспортное оборудование», "буровое оборудование", "уступы", "траншеи", ремонтно-механические мастерские" и т. д.
3	Подсистема "горнотехническое оборудование", "карьер-совокупность горных выработок", "отвалы", "служба эксплуатации экскаваторного парка", "служба эксплуатации транспорта", "буровой цех" и т. д.
4	Подсистемы "Рудник", "техническое обслуживание горнотехнического оборудования", административно-управленческая система" и т. д.
5	Производственная система "Горнодобывающее предприятие открытой добычи полезных ископаемых"

Пространственные размеры и границы зоны работы автотранспорта определяют стеснённость условий размещения автотранспортных коммуникаций, средневзвешенные уклоны и длина трасс, количество и радиусы поворотов, соотношение горизонтальных и наклонных участков.

Для карьеров, разрабатывающих компактные и глубоко залегающие месторождения (как правило, цветных металлов), характеризующихся глубиной до 500–600 м и компактными размерами в плане, присущи спиральные, простые малоразветвленные трассы с небольшим количеством поворотов радиусом менее 50 м и средневзвешенным уклоном 5,5–7,0 %. В карьерах, разрабатывающих относительно не глубоко залегающие месторождения площадного типа, характеризующихся глубиной до 200–300 м и большими размерами по поверхности, трассы автодорог имеют сложную форму, представляющую сочетания спиральных, петлевых и прямолинейных участков со средневзвешенным уклоном 3,5–4,5 %. Дорожная сеть таких карьеров довольно разветвленная при общей протяженности дорог до 80–120 км.

Исследования показывают [4], что суммарная протяжённость автодорог в карьере ( $L_{т.д.}$ ) связана со средним расстоянием транспортирования горной массы ( $L_{с.тр.}$ ):

$$L_{т.д.} = L_{с.тр.} \cdot k_{разв.},$$

где  $k_{разв.}$  – коэффициент, учитывающий разветвленность дорожной сети; (определяется как отношение протяженности технологических автодорог к среднему расстоянию транспортирования) (табл. 2).

Кроме того, по данным этих же исследований на стадии предварительной оценки ожидаемая протяженность технологических карьерных автодорог может быть определена по регрессионной зависимости общей протяженности таких дорог ( $L_{т.д.}$ ) от объемов перевозки горной массы автотранспортом в млн. т ( $V_{г.м.}$ ):

$$L_{т.д.} = 0,14 \cdot V_{г.м.}^{1,94}$$

Величина коэффициента разветвленности дорожной сети карьера зависит от его пространственных размеров и глубины, а также от производительности карьера.

В работе [4] приведены более детальные зависимости таких параметров дорожной сети карьеров как протяженность и срок службы отдельных участков дороги от размеров рабо-

чих и нерабочих зон карьера, скорости перемещения и длины фронта горных работ, скорости углубки карьера, углов откоса бортов карьера.

Таблица 2 – Изменение показателя разветвленности сети технологических автодорог карьера

Вид транспортной системы карьера	Показатель разветвленности сети автодорог при объеме перевозок технологическим автотранспортом, млн. т в год		
	≥ 30	15–30	< 15
Автомобильный транспорт	20–30	8–12	2–4
Сборочный автомобильный в комбинации с железнодорожным транспортом	14–18	5–8	–
Сборочный автомобильный в комбинации с железнодорожным и конвейерным транспортом (доля конвейерного < 30 %)	14–18	3–5	–
Сборочный автомобильный в комбинации с железнодорожным и конвейерным транспортом (доля конвейерного >30%)	5–8	–	–

Грузонапряжённость карьерных дорог и сроки их службы варьируются в пределах одного карьера в широких пределах (рис. 1, 2).

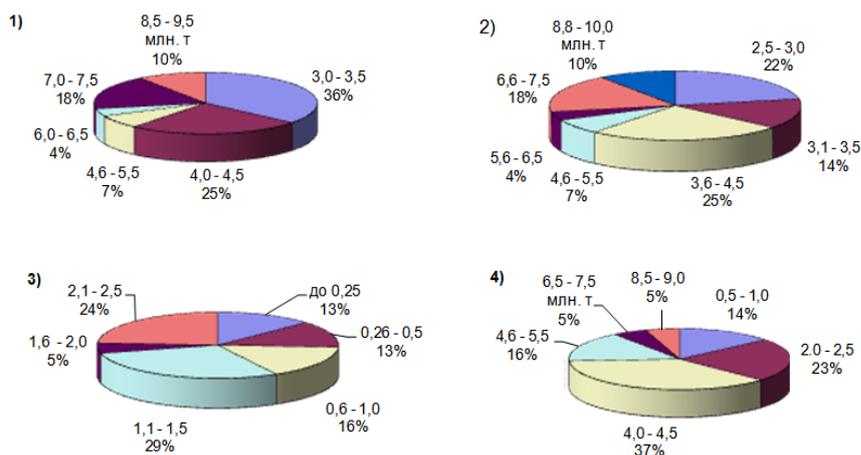


Рисунок 1 – Распределение (в %) сети технологических автодорог карьеров по грузонапряженности (млн. т в год)

1) Соколовский карьер; 2) Карагайский карьер; 3) Новобакальский карьер; 4) Сарбайский карьер

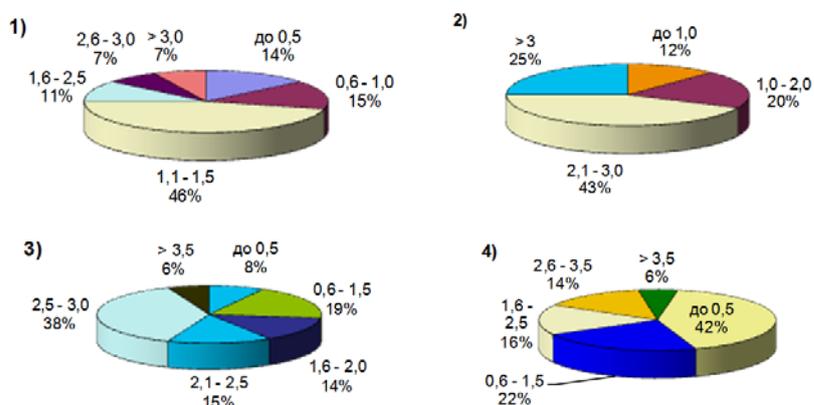


Рисунок 2 – Распределение (в %) сети карьерных автодорог по сроку службы (лет)

1) Соколовский карьер; 2) Карагайский карьер; 3) Новобакальский карьер; 4) Сарбайский карьер

Максимальная грузонапряжённость на участках дорог в зависимости от объёмов автотранспортных перевозок составляет от 2 до 15 млн. т нетто в год. Как правило, она не превышает 55–60 % от объёмов перевозок, в том числе для карьеров с комбинированным автомобильно-железнодорожным транспортом не более 30–35 %. Средняя грузонапряжённость технологических автодорог карьеров составляет 1–5 млн. т нетто в год. При этом суммарная грузонапряжённость за срок службы участков дороги с четкой закономерностью изменяется по глубине карьера: максимальная на верхних горизонтах и минимальная – на нижних горизонтах (рис. 3). Такая же закономерность наблюдается при изменении срока службы отдельных участков дороги от глубины их расположения в карьере (рис. 4).

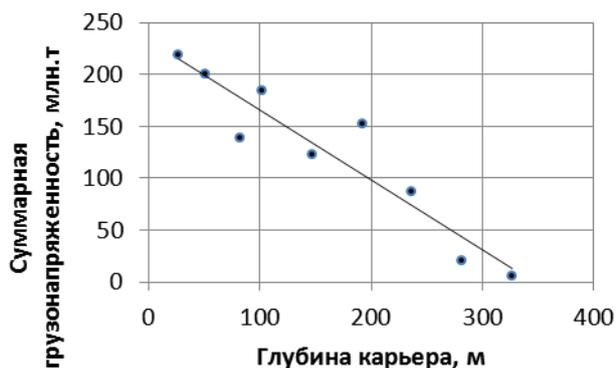


Рисунок 3 – Суммарная грузонапряжённость участка автодороги за срок его службы в зависимости от глубины его расположения в карьере

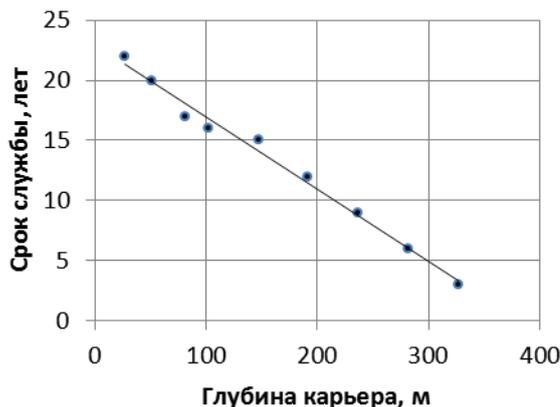


Рисунок 4 – Срок службы участка автодороги от глубины его расположения в карьере

Срок службы технологических автодорог колеблется от нескольких месяцев до 5–10 лет и более (рис. 2). При этом максимальный срок службы технологических автодорог определяется размерами карьера, схемой его вскрытия и развития горных работ, которые находятся во взаимосвязи, в том числе, и с объемами автотранспортных работ.

Одними из основных параметров автодорог является ширина проезжей части и мощность дорожных одежд. Оба параметра прежде всего зависят от размеров и грузоподъёмности автосамосвалов, следовательно, от производительности системы «рудник».

Так, связь между шириной проезжей части и грузоподъёмностью карьерного автосамосвала описывается регрессионной зависимостью [5]:

$$Ш_{п.ч} = (4,75 \div 5) G_T^{0,35},$$

где  $Ш_{п.ч}$  – шириной проезжей части автодороги, м;

$G_T$  – грузоподъёмность автосамосвала, т.

Грузоподъёмность автосамосвала определяет так же мощность (толщину) дорожной одежды, от которой зависит величина горизонтального проложения откоса насыпи дорожной одежды и транспортной полосы в целом.

В то же время, ширина проезжей части определяет ширину транспортных берм карьера и ширину рабочих площадок, от которых зависят углы откоса нерабочих и рабочих бортов карьера.

Расчётами, проведенными ИГД УрО РАН [6], установлено, что при изменении ширины проезжей части автодороги для карьерных автосамосвалов в пределах от минимального значения, определяемого условием безопасного движения, и максимального значения, определяемого условием движения в свободном потоке без помех, угол рабочего борта изменяет-

ся на  $1-1,25^\circ$  – при сквозной схеме подъезда и на  $2-2,5^\circ$  – при петлевой или тупиковой схеме подъезда.

В среднем же, увеличение ширины автодороги на 1 м обуславливает при наиболее распространенной петлевой или тупиковой схеме подъезда автомобилей к экскаватору увеличение угла рабочего борта на  $0,27-0,33^\circ$  и увеличение объемов по разному бортов карьера на 2,5–3,0 %. Абсолютное значение этих показателей зависит от конкретных горно-геологических и горнотехнических условий разработки месторождения. Однако относительный уровень будет находиться в указанных пределах.

Кроме того, необходимо учитывать влияние ширины проезжей части: на режим горных работ – для дорог, расположенных в рабочей зоне карьера; на объем вскрышных работ по разному борту карьера – для дорог на нерабочем борту карьера; на объем горно-капитальных работ – для дорог в зоне строительства и подготовки карьера в эксплуатацию (табл. 3) [6].

Таблица 3 – Объем горно-строительных работ при различной ширине проезжей части автодороги и глубине карьера на момент сдачи его в эксплуатацию, тыс. м<sup>3</sup> на 1 км протяженности карьера

Ширина проезжей части автодороги, м	Объем горно-строительных работ при глубине карьера на момент сдачи в эксплуатацию, м <sup>3</sup>				
	20	30	40	60	80
<i>Петлевая (тупиковая) схема подъезда</i>					
14	588	1323	2352	5292	9408
18	640	1440	2560	5760	10240
20	666	1498	2664	5994	10656
<i>Сквозная схема подъезда</i>					
14	1072,2	2412,4	4288,8	9649,8	17155,2
18	1126,6	2534,85	4506,4	10139,4	18025,6
20	1157,8	2605,0	4631,2	10420,2	18524,8

Однако взаимосвязь ширины проезжей части с вышеуказанными факторов зависит от условий залегания полезного ископаемого, схемы вскрытия месторождения и развития карьерного транспорта, параметров системы разработки, которые отличаются широким многообразием как на различных месторождениях, так и в пределах одного месторождения в процессе его разработки. Поэтому предлагаемые типовые нормативы ширины проезжей части карьерных автодорог разработанные ИГД УрО РАН [6] на основе оптимизации дорожно-транспортных затрат предлагается принять за основу для обоснования ширины технологических автодорог конкретного карьера.

Конструкция автодорог и её практическая реализация должны быть рассчитаны на движение автосамосвалов грузоподъемность от 30 до 300–400 т и более, а также учитывать интенсивность движения и требуемый объем перевозок за срок службы.

Технология строительства и содержания карьерных автодорог должна учитывать такие специфические условия как то, что она является звеном в процессе функционирования системы «рудник». А дороги – это элемент «карьера», поэтому они жестко связаны с морфологией карьера, с его пространственными размерами, развитием в пространстве и во времени.

К особенностям открытых горных работ, определяющим условия строительства карьерных автодорог, относятся: стесненность карьерного пространства; формирование автомобильных съездов по развалу взорванных пород; относительно короткие участки строительства дорог – длина автомобильных съездов 130–250 м и небольшая длина активного фронта

работ 700–800 м; необходимость ограничивать сроки строительства дорог, чтобы снизить простой экскаваторов, транспорт к которым должен перемещаться через строящиеся участки дорог.

Комплектование парка дорожных машин для строительства и содержания карьерных автодорог имеет существенное отличие от формирования парка дорожных машин, необходимых для строительства и эксплуатации автомобильных дорог общего пользования.

К этим отличиям следует отнести: разбросанность участков дорог в пределах карьерного поля, которые необходимо одновременно и строить, и содержать; необходимость выполнять операции по строительству и содержанию автодорог в сжатые сроки с наименьшими затратами.

### **ВЫВОДЫ**

Технологические дороги в карьере являются неотъемлемым элементом динамической производственной системы «Рудник» и её подсистемы «карьер – совокупность горных выработок». Они связаны с этой системой и другими её подсистемами пространственными, функциональными и экономическими связями.

Проектирование, строительство и содержание карьерных дорог должно осуществляться с учётом этих связей, а также с учётом изменения по глубине карьера таких параметров, как срок службы и суммарная за срок службы грузонапряженность дороги.

Конструкцию дороги необходимо рассчитывать с учетом производительности карьера, грузоподъёмности автосамосвалов, интенсивности их движения и грузонапряжённости дороги в конкретной зоне карьера, стеснённости пространства в этой зоне и в карьере в целом и срока службы дороги.

Проведенный анализ показывает, что одним из основных условий качественного строительства и эксплуатации карьерных автодорог является дифференцированный подход, учитывающий, как место расположения участка автодороги и морфологию карьера, так и характеристику автосамосвалов, геометрические параметры дороги, срок её эксплуатации, интенсивность движения и объём перевозок за срок эксплуатации.

Технология строительства и содержания карьерных дорог должна предусматривать минимальное снижение грузопотока горной массы на участке строительства или ремонта дороги, а значит и снижение простоев экскаваторов в забоях.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Современные принципы теории проектирования карьеров [Текст] / Горный институт КФАН СССР. – Л.: Наука, 1987. – 256 с.
2. Чаплыгин, Н. Н. Системный анализ развития горнодобывающих предприятий (проблемы теории и методологии) [Текст] / Н. Н. Чаплыгин, Н. Н. Мельников, Г. И. Близнак и др. – Л.: Наука, 1991.- 184с.
3. Бусленко, В. Н. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем [Текст] / В. Н. Бусленко. – М.: Наука, 1977. – 240 с.
4. Лель, Ю. И. Оценка и планирование развития сети автотранспортных коммуникаций карьеров [Текст] / Ю. И. Лель, Ю. В. Стенин // Горный журнал, Изв. вузов. – 2005. – № 3. – С. 95-102.
5. Стенин, Ю. В. Рациональные параметры автотранспортных берм карьеров [Текст] / Ю. В. Стенин, Д. Х. Ильбундин // Горный журнал. - 2010. – № 2. – С. 33-35.
6. Торов, В. С. Исследование параметров технологических автомобильных дорог на рудных карьерах [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук / Торов В. С. - ИГД МЧМ СССР. – Свердловск, 1983. – 17 с.

#### **Стенин Юрий Владимирович**

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Адрес: 620144, Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Канд. техн. наук, доцент кафедры разработки месторождений открытым способом

E-mail: belas7540@yandex.ru

#### **Арефьев Степан Александрович**

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Адрес: 620144, Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Преподаватель кафедры разработки месторождений открытым способом  
E-mail: arefevsa@yandex.ru

**Ганиев Руслан Салаватович**

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»  
Адрес: 620144, Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30  
Аспирант кафедры разработки месторождений открытым способом  
E-mail: sunmail2003@mail.ru

Yu. V. STENIN, S. A. AREFYEV, R. S. GANIEV

## CAREER HIGHWAY - ELEMENT OPENCAST MINING

*The systematic analysis of technological roads in the career was carried out. It was examined the relationship of the "open pit" career roads with other subsystems and the system itself. The technological characteristics of roads and proposed specific approaches to their design, construction and maintenance were proposed on this basis. It is noted that the design, construction and maintenance of roads in the career should take into account their interactions with other elements of the open pit mining and career parameters, as well as with the differential depth career formation indicators such as life time and total life-cycle road traffic density. Recent indicators depend on the location of the road in the career and its size. Technology construction and maintenance of roads should provide career minimal decrease of rock mass traffic at the construction site or repair of roads and minimal performance degradation of opencast mining.*

**Keywords:** career roads, the system "open pit", subsystem "career road", career roads parameters, construction and maintenance technology of career roads.

## BIBLIOGRAPHY

1. Sovremennye printsipy teorii proektirovaniya kar'erov [Tekst] / Gornyy institut KFAN SSSR. - L.: Nauka, 1987. - 256 s.
2. Chaplygin, N. N. Sistemnyy analiz razvitiya gornodobyvayushchikh predpriyatii (problemy teorii i metodologii) [Tekst] / N. N. Chaplygin, N. N. Mel'nikov, G. I. Bliznyuk i dr. - L.: Nauka, 1991.- 184s.
3. Buslenko, V. N. Avtomatizatsiya imitatsionnogo modelirovaniya slozhnykh sistem [Tekst] / V. N. Buslenko. - M.: Nauka, 1977. - 240 s.
4. Lel', YU. I. Otsenka i planirovanie razvitiya seti avtotransportnykh kommunikatsiy kar'erov [Tekst] / YU. I. Lel', YU. V. Stenin // Gornyy zhurnal, Izv. vuzov. - 2005. - № 3. - S. 95-102.
5. Stenin, YU. V. Ratsional'nye parametry avtotransportnykh berm kar'erov [Tekst] / YU. V. Stenin, D. H. Il'bundin // Gornyy zhurnal. - 2010. - № 2. - S. 33-35.
6. Torov, V. S. Issledovanie parametrov tekhnologicheskikh avtomobil'nykh drog na rudnykh kar'erakh [Tekst]: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk / Torov V. S. - IGD MCHM SSSR. - Sverdlovsk, 1983. - 17 s.

**Stenin Yuri Vladimirovich**

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»  
Адрес: 620144, Россия, Екатеринбург, Куйбышев str. 30  
Ph.D., docent of mining open pit departament  
E-mail: belas7540@yandex.ru

**Arefjev Stepan Aleksandrovich**

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»  
Адрес: 620144, Россия, Екатеринбург, Куйбышев str. 30  
Teacher of mining open pit departament  
E-mail: arefevsa@yandex.ru

**Ganiev Ruslan Salavatovich**

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»  
Адрес: 620144, Россия, Екатеринбург, Куйбышев str. 30  
Postgraduate of mining open pit departament  
E-mail: sunmail2003@mail.ru

Е. Н. ХРИСТОФОРОВ, Н. Е. САКОВИЧ, А. М. СЛУЧЕВСКИЙ

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ГИДРОПРИВОДОВ ДОРОЖНО – ТРАНСПОРТНЫХ И ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МАШИН

*Проанализированы проблемы надежности гидроприводов дорожно – транспортных и грузоподъемных машин, причины самопроизвольного опускания самосвальных платформ, предложены технические средства решающие данную проблему.*

**Ключевые слова:** *безопасность, самосвальный прицеп, гидроцилиндр.*

В соответствии с ГОСТ надежность гидропривода есть свойство выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования. Проблемам обеспечения надежности гидроприводов машин посвящено много работ советских и российских ученых – Агапова И. Т., Белаги Я. Б., Беленкова Ю. А., Глущенко А. Д., Канашка Д. И., Комарова А. А., Класмейя И. Я, Лозовского В. Н., Махина В. П., Сырицына Т. А., Шкрабака В. С. и других.

В разработках, по обеспечению надежности гидроприводов гидрофицированных машин в настоящее время, можно выделить два основных направления:

1. Повышение надежности за счет внесения изменений в конструкторскую документацию (главным образом за счет повышения запасов прочности и запаса по давлению);

2. Повышение надежности за счет внедрения в эксплуатацию методов контроля и расчета показателей надежности (главным образом за счет внедрения методов и средств диагностики, прогнозирования ресурса и поиска отказов).

Обеспечение надежности и долговечности объемных гидроприводов – задача сложная, требующая комплексного решения ее как на этапе создания так и в процессе эксплуатации на основе качественного и статистического анализа причин отказов и неисправностей, анализа влияния внешних факторов на накопление необратимых изменений в элементах, понимания картины протекания физических процессов в гидроприводе при его работе [1,4].

Факторы, влияющие на надежность и ресурс гидроприводов, показаны на рисунке 1.

Необходимо иметь в виду, что гидроприводы машин работают в тяжелых, средних и неблагоприятных режимах, особенно по климатическим показателям, что непременно приводит к появлению отказов.

Распределение отказов по системам и аппаратам представлено на рисунках 2 и 3.

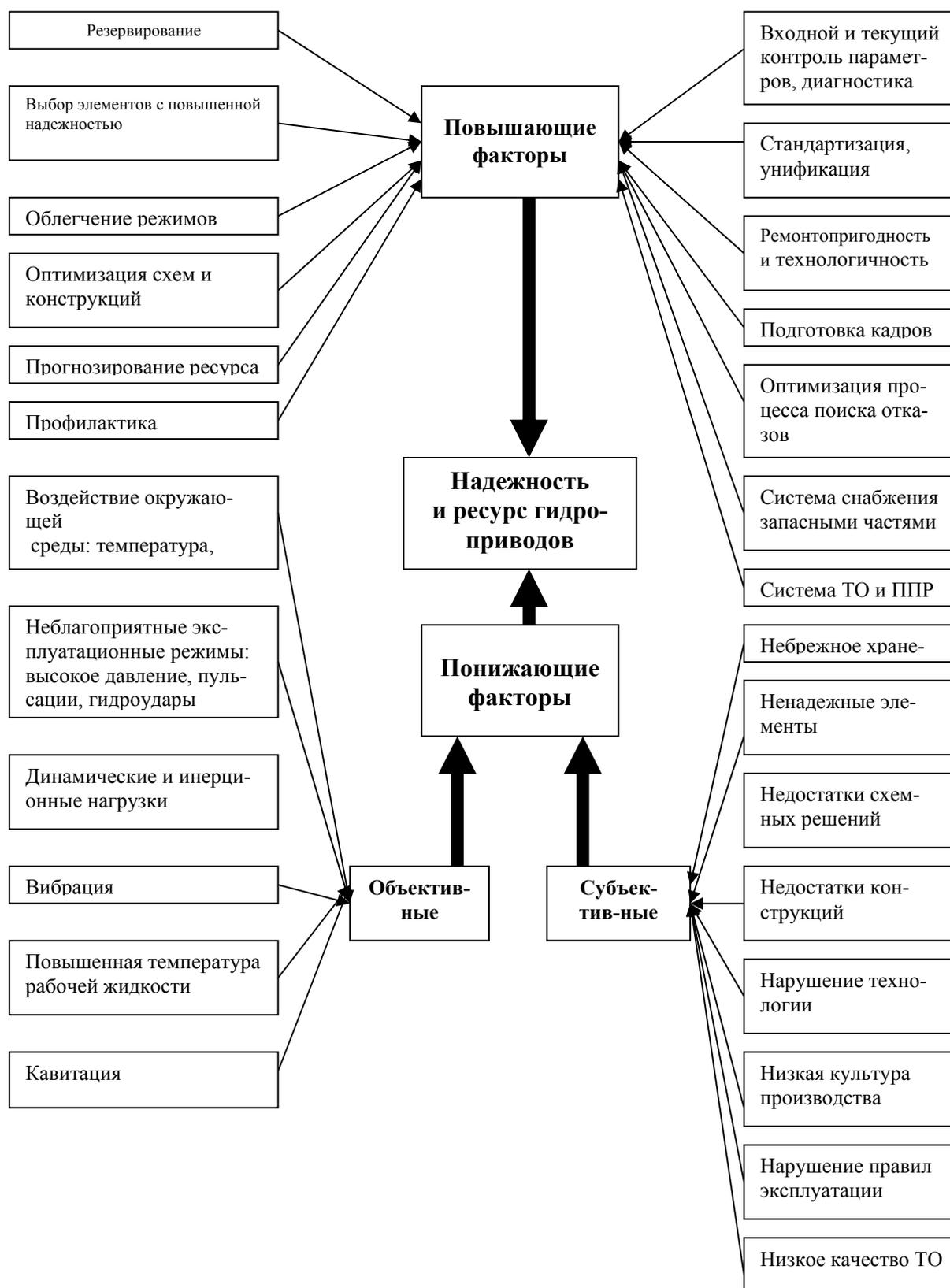


Рисунок 1 – Факторы, влияющие на надежность гидроприводов машин

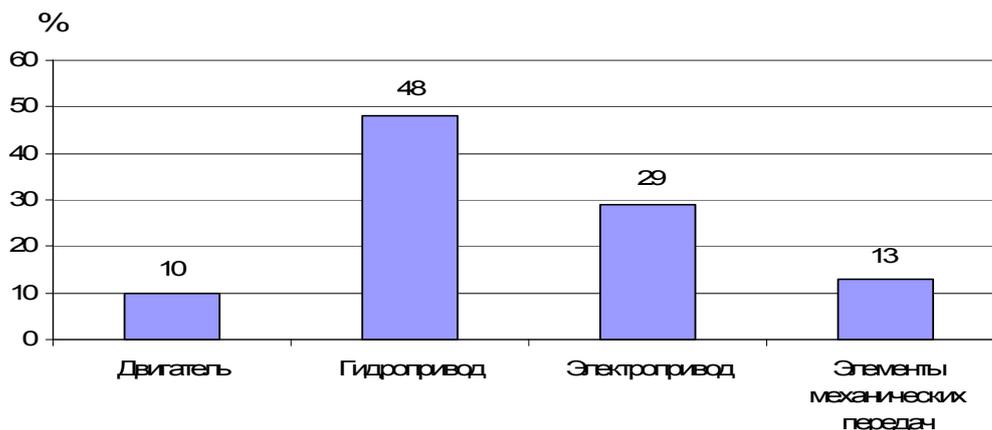


Рисунок 2 – Распределение отказов по системам

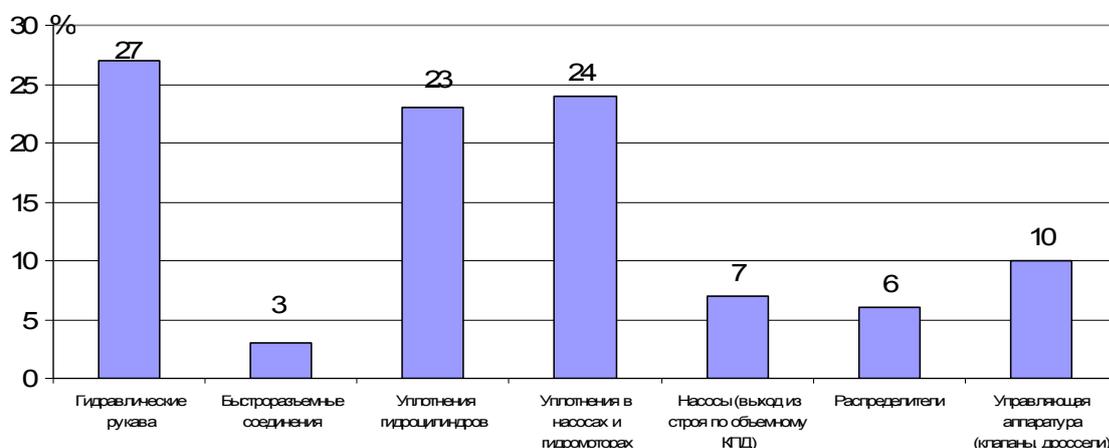


Рисунок 3 – Распределение отказов по аппаратам

Все отказы, возникающие в гидроприводах, принято разделять на внезапные и постепенные (износные). Иногда одни и те же виды отказов могут быть как внезапными, так и постепенными, в зависимости от физического механизма возникновения отказа данного вида. Например, вырыв шланга из заделки, течь по штоку гидроцилиндра может быть вызвана как случайным попаданием крупной механической частицы в зону уплотнения (внезапный отказ), так и его износом или старением (постепенный отказ).

Все отказы, возникающие в гидроприводах, принято разделять на внезапные и постепенные или износные отказы (рис. 4).

В сельскохозяйственном строительстве находится в эксплуатации большое количество машин – самосвалов, прицепов, полуприцепов с самосвальными платформами, землеройных и подъемно – транспортных машин с гидроприводами. Ежегодно в результате технических неисправностей возникающих в системе подъема и опускания самосвальной платформы, получают травмы с летальным исходом от 5 до 30 операторов. Анализ материалов расследования причин несчастных случаев, позволил сделать вывод о том, что несчастные случаи происходили не только по вине обслуживающего персонала нарушающего требования безопасной эксплуатации самосвальных платформ, но также, из-за конструктивных недостатков узлов и механизмов гидропривода платформы.

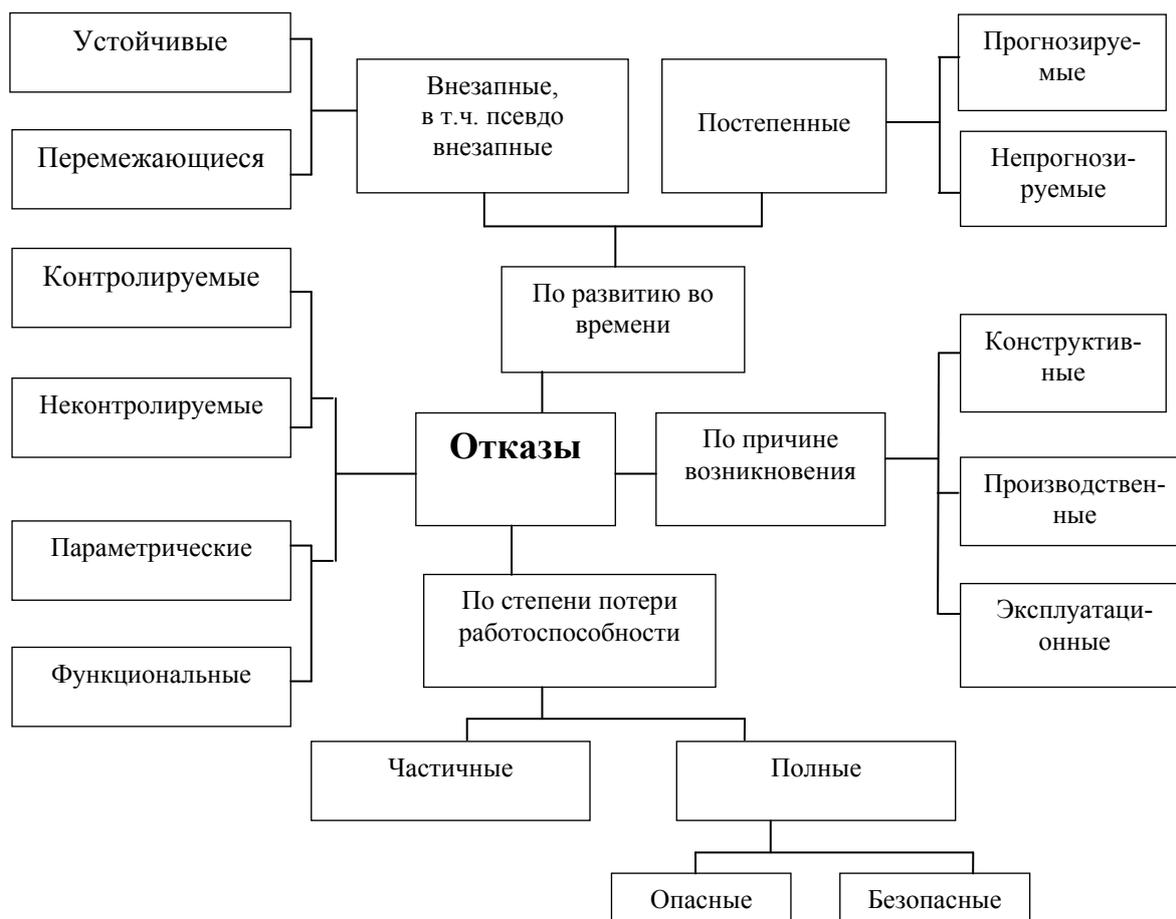
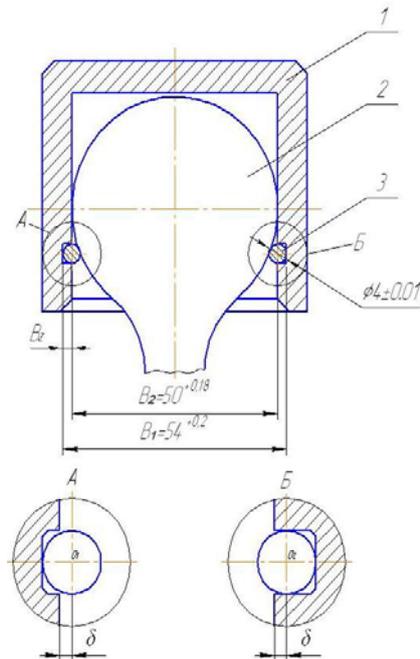


Рисунок 4 – Классификация отказов гидроприводов мобильных машин

На прицепах всех марок используются гидроцилиндры одностороннего действия, обеспечивающие быстрый подъем рабочих платформ. Опускание платформ осуществляется под действием веса порожней платформы. В гидросистеме прицепа предусмотрен замедлительный клапан, призванный обеспечить замедленное опускание грузовых платформ, однако, он часто не выполняет своего назначения. Так, при случайном повреждении или разрыве шланга, время опускания, а точнее падения, платформы составляет всего от 1 до 2 секунд. За такой промежуток времени, эксплуатирующий персонал физически не успевает покинуть опасную зону.

Исследование точностных и прочностных характеристик соединительного узла, при котором возникает аварийное – рассоединение головки гидроцилиндра с платформой прицепа (схема крепления гидроцилиндра к платформе представлена на рисунке 5) показало, что рассоединение узлов может произойти при нарушении точностных размеров. Согласно расчетам, глубина канавки может принимать размеры от  $V_{Z_{max}} = 2,2$  мм до  $V_{Z_{min}} = 1,8$  мм, диаметр проволоки пружинного стопорного кольца:  $d_{max} = 4,01$  и мм  $d_{min} = 3,99$  мм [2].

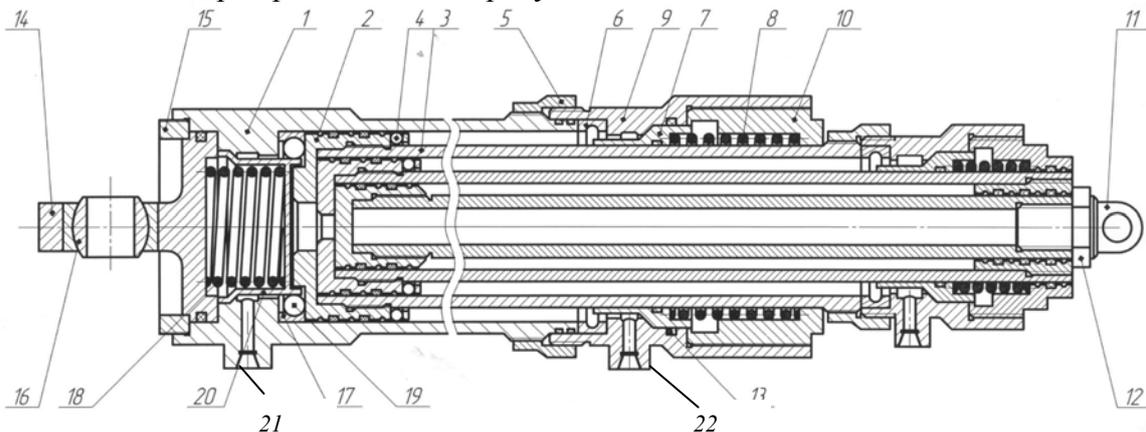
В пределах допустимых полей допусков на практике имеют место соединения, в которых глубина канавки выполняется по нижнему полю допуска, а диаметр проволоки пружинного кольца – по верхнему. При этом центр кольца (рис. 5) располагается вне канавки, что при действии на него динамических сил со стороны шаровой опоры приводит к возникновению составляющих сил, выталкивающих кольцо из канавки.



**Рисунок 5 – Схема крепления гидроцилиндра к платформе или раме прицепа:**  
 А – положение центра кольца при  $B_{zmin}$ ; Б – положение центра кольца при  $B_{zmax}$ : 1 – стакан, 2 – шаровая головка гидроцилиндра; 3 – стопорное кольцо.

Для решения проблемы авторы предлагают два решения:

1. Установить на самосвальную платформу цилиндр двустороннего действия с механическими шариковыми замками.
  2. Изменить конструкцию узла крепления цилиндра к раме и платформе вместо шаровой головки и стопорного кольца установить ушковый узел со сферическим шарниром.
- Схема цилиндра представлена на рисунке 6.



**Рисунок 6 – Схема гидроцилиндра**

Силовой гидравлический цилиндр работает следующим образом. Исходное положение механический шариковый замок убранного положения цилиндра закрыт, шарики 16 находятся в кольцевой выточке кольца замка 17.

Для выдвижения штока рабочее тело, под давлением, через штуцер 21 подается в полость под распорным цилиндром 19, под которым начинает возрастать давление, при этом распорный цилиндр начинает с двигаться влево, шарики 16 опускаются вниз, замок открывается.

Давление также них начинает возрастать под поршневыми полостями, выдвигая секции штока цилиндра. При выдвигании поршня 3 вправо, шарики 4 подходят и упираются в круговой конусный уступ торца распорного цилиндра 7. Возникает горизонтальная составляющая от силы прижатия шариков к конусной части распорного цилиндра, под воздействием которой распорный цилиндр, сжимая пружину 8, сдвигается в сторону полости цилиндра, соединенной со сливом, при этом шарики установятся напротив сферической выточки кольца замка и под действием вертикальной составляющей усилия прижатия их к конусной части распорного цилиндра, они будут выдвинуты из гнезд сепаратора в кольцевую выточку замка 6, а распорный цилиндр 7 под действием усилия пружины 8 проскользнет под шариками, механический шариковый замок закроется.

Для открытия замка жидкость поступает в полость (стороны штока) через штуцер 22. В изолированной камере между поршнем и распорным цилиндром возникает нарастающее давление, которое не может сдвинуть поршень, закрытый на шариковый замок, а, сжимая пружину, сдвигает распорный цилиндр. Как только шарики замка не будут удерживаться в сферической выточке кольца замка распорным цилиндром, шарики сдвигаются внутрь сепаратора и откроют шариковый замок, после чего поршень начнет убираться в корпус цилиндра.

При уборке, поршень упирается в распорный цилиндр 19, сдвигает его влево, как только шарики 16 окажутся напротив сферической выточки кольца замка, то действием усилия пружины 18 распорный цилиндр проскользнет под шариками 16, механический шариковый замок убранного положения закроется, надежно фиксируя поршень в убранном положении.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гринчар, Н. Г. Методы и средства повышения эксплуатационной надежности гидроприводов дорожных и строительных машин [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук. – Москва, 2007. – 369 с.
2. Олянич, Ю. Д. Исследования причин аварийного опускания платформ тракторных прицепов [Текст] / Ю. Д. Олянич, А. И. Пантюхин, Н. А. Мерцалов // Охрана труда и здоровья работников АПК. – Орел: ВНИИОТ. - 1993.
3. Пат. 2278304 Российская Федерация. Силовой гидроцилиндр двустороннего действия [Текст] / Христофоров Е. Н., Лумисте Е. Г. и др; опубл. 2006, БИ №17.
4. Баранов, Ю. Н., Шкрабак Р.В., Брагинец Ю.Н., Пантюхин П.А. 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. – 2012. - № 26. - С. 438-440.
5. Трясцин, А. П. Теоретические подходы к стратегии подготовки водителей транспортных средств [Текст] / А. П. Трясцин, Ю. Н. Баранов, А. П. Лапин, А. А. Катунин // Мир транспорта и технологических машин. – 2012. - № 2(37). – С.123-128.

### **Христофоров Евгений Николаевич**

ФГБОУ ВПО «Брянская государственная сельскохозяйственная академия»

Адрес: 243365, Россия, Брянская обл., Выгоничский р-н, с. Кокино, ул. Советская 2а

Д-р техн. наук, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности и инженерной экологии

E-mail: en-x@bk.ru

### **Сакович Нина Евгеньевна**

ФГБОУ ВПО «Брянская государственная сельскохозяйственная академия»

Адрес: 243365, Россия, Брянская обл., Выгоничский р-н, с. Кокино, ул. Советская 2а

Д-р техн. наук, доцент кафедры информатики

### **Случевский Александр Михайлович**

ФГБОУ ВПО «Брянская государственная сельскохозяйственная академия»  
Адрес: 243365, Россия, Брянская обл., Выгоничский р-н, с. Кокино, ул. Советская 2а  
Старший преподаватель кафедры сельскохозяйственных, мелиоративных и строительных машин  
E-mail: sluch62@mail.ru

---

E. N. HRISTOFOROV, N. E. SAKOVICH A. M. SLUCHEVSKY

## INCREASED RELIABILITY HYDRODRIVES ROAD - TRANSPORT AND LIFTING MACHINES

*Abstract: We analyzed the problem of reliability of hydraulic drives road - transport and lifting equipment causes spontaneous lowering tippers, proposed technical means to address the problem.*

*Keywords: security, camosvalny trailer, hydraulic cylinder.*

### BIBLIOGRAPHY

1. Grinchar, N. G. Metody i sredstva povysheniya ekspluatatsionnoy nadezhnosti gidroprivodov dorozhnykh i stroitel'nykh mashin [Tekst]: dis. ... d-ra tekhn. nauk. - Moskva, 2007. - 369 s.
2. Olyanich, YU. D. Issledovaniya prichin avariynogo opuskaniya platform traktornykh pritsepov [Tekst] / YU. D. Olyanich, A. I. Pantyukhin, N. A. Mertsalov // Okhrana truda i zdorov'ya rabotnikov APK. - Orel: VNIOT. - 1993.
3. Pat. 2278304 Rossiyskaya Federatsiya. Silovoy gidrotsilindr dvustoronnego deystviya [Tekst] / Hristoforov E. N., Lumiste E. G. i dr; opubl. 2006, BI №17.
4. Baranov, YU. N., SHkrabak R.V., Braginets YU.N., Pantyukhin P.A. Issledovanie sistemy "CH-M" pri formirovaniy proizvodstvennykh opasnostey [Tekst] / YU. N. Baranov, R. V. SHkrabak, YU. N. Braginets, P. A. Pantyukhin // Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. - 2012. - № 26. - S. 438-440.
5. Tryastin, A. P. Teoreticheskie podkhody k strategii podgotovki voditeley transportnykh sredstv [Tekst] / A. P. Tryastin, YU. N. Baranov, A. P. Lapin, A. A. Katunin // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2012. - № 2(37). - S.123-128.

#### **Khristophorov Evgeny Nikolaevich**

ФГБОУ ВПО "Брянск State Agricultural Academy"  
Address: 243365, Russia, Bryansk, Vygonichsky district, p. Kokkino str. Soviet 2a  
Dr. tehn. Sciences, Department of Safety & Environmental Engineering  
E-mail: en-x@bk.ru

#### **Sakovich Nina Evgen'evna**

ФГБОУ ВПО "Брянск State Agricultural Academy"  
Address: 243365, Russia, Bryansk, Vygonichsky district, p. Kokkino str. Soviet 2a  
Dr. tehn., assistant professor of computer science

#### **Sluchevsky Alexander Mihaylovich**

ФГБОУ ВПО "Брянск State Agricultural Academy"  
Address: 243365, Russia, Bryansk, Vygonichsky district, p. Kokkino str. Soviet 2a  
Senior Lecturer, Department of Agricultural, reclamation and construction machinery  
E-mail: sluch62@mail.ru

Е. Г. РЫЛЯКИН, Ю. А. ЗАХАРОВ

## ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ГИДРОПРИВОДА ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

*Изложены основные причины, ухудшающие работоспособность и определяющие особенности функционирования гидроагрегатов транспортно-технологических машин в холодное время года. Предлагается использовать пленочные электронагреватели (ПЭН) для обеспечения рациональной температуры рабочей жидкости гидросистем этих машин. Приводятся основные преимущества ПЭН, их конструктивные элементы и способы нанесения на теплообменные поверхности деталей машин, а также некоторые технические решения для обеспечения разогрева и поддержания температуры рабочей жидкости гидросистем транспортно-технологических машин в рациональном интервале в условиях зимней эксплуатации.*

Эффективная работа машины возможна только при рациональном тепловом режиме. В современных транспортно-технологических машинах не предусмотрены системы подогрева масла в гидроагрегатах. Их отсутствие сказывается при эксплуатации машин, в основном, в зимнее время.

На территории большей части нашей страны среднемесячная температура окружающего воздуха находится в пределах  $\pm 20^{\circ}\text{C}$ , причем при температуре минус  $20^{\circ}\text{C}$  свыше четырех месяцев в году эксплуатируется 65% подвижного состава. Объем зимних работ может составлять до 30% от всего объема работ [1].

Основные причины, ухудшающие работоспособность и определяющие особенности функционирования гидроагрегатов мобильных машин в холодное время года, следующие:

- отсутствие подогревателей масла в гидросистемах современных транспортно-технологических машин;
- высокая вязкость рабочей жидкости в начальный период работы, нарушение режима смазки узлов и механизмов определяющая ухудшение пусковых качеств гидронасосов, а также;
- большая продолжительность саморазогрева рабочей жидкости до эксплуатационных температур;
- низкое значение установившейся температуры рабочей жидкости в гидросистеме [1].

Как показало обобщение опыта, все известные способы подогрева рабочей жидкости транспортно-технологических машин имеют как свои преимущества, так и недостатки.

Нами предлагается использовать для обеспечения рациональной температуры рабочей жидкости в гидросистеме пленочные электронагреватели (ПЭН).

Основным требованием, предъявляемым к нагревательным устройствам любого типа, является обеспечение по возможности равномерного распределения температуры по нагреваемой поверхности и постоянного теплового потока на контактной поверхности теплообмена [2].

В нагревательных устройствах с поверхностно-распределенными резистивными элементами резистивный элемент в виде сплошной тонкой пленки или определенного узора равномерно покрывает почти всю поверхность устройства, полностью снимая противоречия и обусловленные ими недостатки нагревательных устройств с протяженными элементами. Равномерное распределение резистивного элемента и минимальная разница между температурами нагреваемой поверхности и окружающей среды исключают необходимость исполь-

зования дополнительных устройств для теплообмена с окружающей средой и обуславливают основные преимущества ПЭН [3]:

- ПЭН нагреватели не сжигают кислород, не изменяет влажность;
- не требуют сервисного обслуживания в течение всего срока эксплуатации. Капитальные затраты на обслуживание ПЭН-системы нагрева отсутствуют. Конструкция настолько простая, что ломаться в ней просто нечему;
- легкий монтаж и демонтаж с возможностью последующей сборки и эксплуатации;
- полное отсутствие продуктов сгорания и необходимости их отвода;
- ПЭН работают абсолютно бесшумно, не выделяя никаких вредных веществ;
- оборудование не занимает полезной площади, увеличивая рабочие и другие полезные пространства;
- электромагнитные поля приборов находятся на фоновом уровне и значительно меньше многих бытовых электроприборов;
- ПЭН нагреватели не боятся перепада напряжения и временного отключения;
- быстрый нагрев – поверхности теплые сразу после включения;
- высокая производительность (до 15°C/ч);
- температуру можно легко регулировать.

Основными конструкционными элементами ПЭН являются: подложка, выполненная из тонколистового диэлектрического материала или из металлического листа с электроизоляционным покрытием; резистивный электронагревательный функциональный элемент, выполненный в виде тонкой сплошной или узорчатой пленки; защитная оболочка, выполненная в виде тонкослойной газонепроницаемой изоляции; контактные электроды, которые через токоподводы подсоединяются к сети электрического тока (рис. 1) [3].

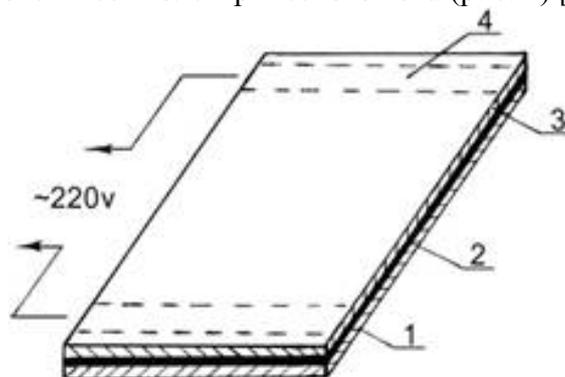


Рисунок 1 – Классическая модель ПЭН:

1 - несущий электроизоляционный слой (подложка); 2 – резистивный электронагревательный элемент;  
3 - защитный электроизоляционный слой; 4 - контактные электроды

Подложка может быть выполнена из достаточно прочного и теплопроводящего материала, обеспечивающего целостность конструкции при минимальной инерционности в рабочей области температур. Такими материалами являются тонкие каменные, керамические, стеклянные и ситалловые листы, покрытые стеклоэмалью или другим электроизоляционным слоем, металлические листы толщиной 0,5...0,8 мм, электротехнический картон, асбест, пластмасса и резина.

Выбор резистивного материала, предназначенного для формирования нагревательного элемента ПЭН, осуществляется в зависимости от ожидаемой рабочей температуры и гибкости нагревателя. Так, в «жестких» ПЭН с высокой рабочей температурой в качестве нагревательного элемента используют вытравленную определенным узором металлическую фольгу или нанесенную на подложку любым способом металлическую пленку. Металлическую фольгу закрепляют на керамическую подложку органической связкой, стеклом или другими связующими материалами. Для нанесения (формования) металлической пленки используют трафаретную печать, вакуумное, воздушно-капельное или плазменное напыление, электро-

литическое осаждение и т.д. Для фиксации металлической пленки на подложку часто используют метод спекания. Для формования «жестких» нагревательных элементов сравнительно высокотемпературных ПЭН используют также композиции, состоящие из электропроводящих, диэлектрических и связующих компонентов.

В «гибких», сравнительно низкотемпературных ПЭН в качестве нагревательного элемента используют резистивные композиции, содержащие разнородные электропроводящие порошки, органические пленкообразующие и связующие материалы. Подложка и электроизоляционное защитное покрытие таких ПЭН также изготавливаются из органических полимерных материалов.

В качестве токоподводов нагревательных элементов ПЭН используют металлические сетки, решетки, проволоку, фольгу, пленку и т.д. Металлические сетки и пленки преимущественно накладывают на резистивный слой через токопроводящую пасту, решетки, фольгу и проволоку – на подложку под резистивной пастой. При нанесении токопроводящей пленки пользуются трафаретной печатью, воздушно-капельным или плазменным напылением, электролитическим осаждением и т.д.

В качестве электроизоляционных защитных материалов нагревательных элементов ПЭН используются стеклоэмали, диэлектрические оксиды, горные породы и глины, органические полимеры, а также материалы самой подложки. Важно, чтобы защитное покрытие, обладая высокими электроизоляционными свойствами и газонепроницаемостью, не содержало токсичных веществ, и было химически пассивным по отношению к резистивному материалу и токоподводам.

С целью обеспечения рационального диапазона температур эксплуатационных жидкостей в гидравлических и топливных системах различных машин целесообразно использовать низкотемпературные электронагреватели пленочного типа, что скажется благоприятно как на производительности этих систем, так и на их долговечности и надежности [4].

В гидросистемах ПЭН можно наносить и на наружные поверхности деталей и узлов, и на внутренние поверхности, в которых отсутствует механическое воздействие на слои нагревателя, например, гидравлические и топливные баки, нагнетательные, всасывающие трубопроводы и патрубки. Причем, ПЭН можно наносить как на металлические, так и на неметаллические поверхности. Подвод питания к ПЭН можно осуществлять как от бытовой электросети, так и от бортовой сети машины.

При производстве машин, в частности, деталей и узлов гидросистем, в настоящее время нанесение ПЭН не предусмотрено, то эту работу можно выполнить при реализации мероприятий текущего ремонта или восстановлении работоспособности систем. То есть, включив в технологический процесс ремонта или восстановления гидросистем машин, операции по нанесению слоев ПЭН.

Наибольший КПД передачи тепла от ПЭН к рабочей жидкости гидросистемы обеспечивается при нанесении слоев на внутреннюю поверхность трубопроводов. Поэтому весьма актуальной задачей является нанесение ПЭН на внутреннюю поверхность узлов и деталей гидросистем машин.

Возможны различные способы нанесения слоев ПЭН на внутренние поверхности деталей. Слой подложки и газонепроницаемый защитный слой имеют невысокие требования к равномерности толщины слоя по всей поверхности ПЭН, поэтому их нанесение не вызывает больших проблем. Выбор метода зависит от материала подложки, наносимого вещества, толщины покрытия, времени старения пленки и ее требуемого распределения. Нанесение можно проводить распылением растворенной резины, пластмассы или другого материала. Кроме того, можно нанести защитный или диэлектрический слой установкой тонкостенных листов и последующего оплавления их для сцепления с подложкой. Применяется так же механическое натирание обрабатываемых поверхностей валиками, кистями или тампонами, смоченными в растворах диэлектрических материалов [5].

Пленки элемента электронагревателя получают: а) химическим осаждением; б) электроосаждением; в) взрывом металлических проволок в инертных газах; г) термическим разложением на нагретой подложке галоидного соединения металла или его газообразного карбонила; д) катодным распылением металлов или их окислов в разряде низкого давления; е) химической реакцией галоидной соли металла с парами воды, ведущей к образованию окисла металла; ж) химическим испарением в вакууме металлов и их устойчивых соединений.

Способы получения покрытий следующие – физические, химические и механические, которые имеют, в свою очередь, несколько разновидностей, применяемых самостоятельно или в сочетании друг с другом.

Наиболее простые механические методы – закрепление готового металлического покрытия на пластмассе. К ним относятся: горячее тиснение для декорирования пластмасс; плакирование, применяемое для изготовления фольгированных диэлектриков; окрашивание или опудривание поверхности металлическим порошком, а также заливка пластмассами металлической оболочки, сформированной гальванопластически на поверхности пресс-формы.

К физическим методам относятся металлизация в вакууме и газотермическое напыление. В первом случае покрытие образуется в результате конденсации паров металлов, термическим путем или катодным распылением. Во втором случае расплавленный металл напыляется с помощью сжатого газа; толщина покрытия порядка 10...1000 мкм.

Химические методы. Под химической металлизацией подразумевают образование слоя металла в результате автокаталитической химической реакции, протекающей преимущественно только на металлируемой поверхности. Такая металлизация может быть осуществлена в газовой фазе, в растворах, а иногда и в твердой фазе.

Химическая металлизация в растворах является наиболее доступным и удобным способом металлизации пластмасс. Этим способом металлические покрытия получают путем восстановления ионов металлов в водных растворах с помощью растворенного восстановителя.

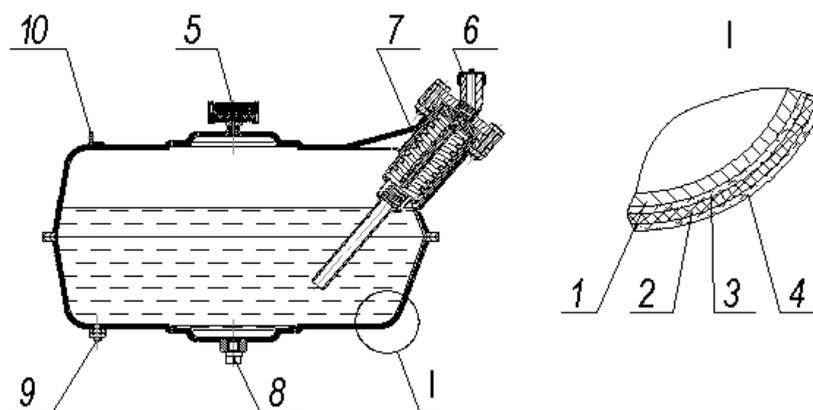
Широкое распространение химической металлизации пластмасс объясняется рядом преимуществ этого метода: 1) простота оборудования и доступность материалов; 2) возможность получения любой толщины покрытия в интервале от долей микрона до десятков микрон; 3) равномерность толщины покрытия на всей поверхности сложной формы; 4) возможность получения прочного сцепления металлического покрытия с пластмассой.

Существуют способы металлизации, основанные на комбинации вышеприведенных «чистых» методов. Например, химико-гальванический способ металлизации пластмасс. Он начинается с химического осаждения металла на диэлектрик и заканчивается электрохимическим осаждением металлических покрытий на полученный вначале электропроводящий металлический слой.

Но такой способ имеет ряд определяющих факторов, ограничивающих их широкое применение. Например, соответствие материалов подложки и наносимого слоя, форма детали и способ создания поверхностной электропроводности на диэлектрической подложке.

Конструктивно применение ПЭН-элементов на поверхностях гидробаков гидросистем, позволяющих эффективно регулировать температуру рабочей жидкости, представлено на рисунке 1 [6].

Конструкция такого гидробака содержит металлический корпус 1, на внешней поверхности которого размещен пленочный электронагреватель, который состоит из тонкослойного изоляционного покрытия 3 и нагревательного элемента 2. Сверху на нагревательном элементе – герметизирующая стекломаль 4, повышающая безопасность поражения электрическим током и предохраняющая нагреватель при попадании влаги. Гидробак снабжен токопроводящими электродами 10 в виде полосок из материала с высокой электропроводностью (латунь) и заземляющим выводом 9.

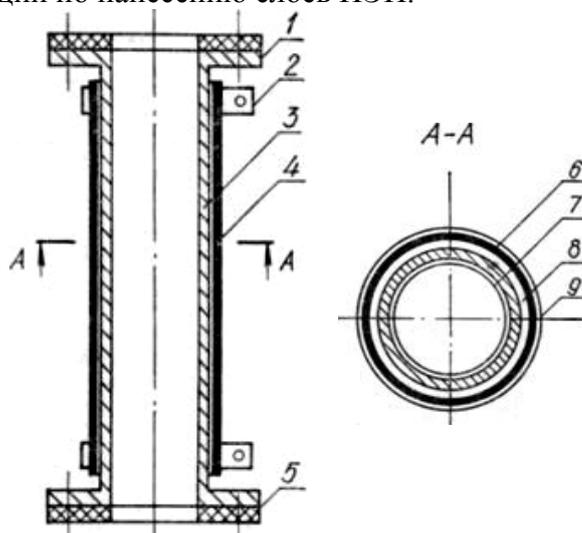


**Рисунок 1 – Конструктивная схема гидробака с ПЭН-элементом:**

1 – корпус гидробака; 2 – нагревательный элемент; 3 – тонкослойная электроизоляция; 4 – герметизирующая стеклоэмаль; 5 – сапун; 6 – заливная горловина; 7 – масляный фильтр; 8 – сливная пробка; 9 – заземляющий вывод; 10 – токоподводящий электрод

Нанесение ПЭН возможно как на внешнюю, так и на внутреннюю поверхности деталей гидросистемы, причем последнее предпочтительнее ввиду более высокого КПД процесса теплопередачи. Управление работой электронагревателя производится терморегулятором.

Таким образом, для предпускового разогрева и поддержания рациональных температур рабочей жидкости в процессе работы машин в условиях пониженных температур окружающего воздуха необходимо применять ПЭН-элементы, которые можно наносить на поверхности деталей гидрооборудования при проведении технических воздействий по обслуживанию и ремонту техники, включив в имеющийся производственный процесс ремонта технологические операции по нанесению слоев ПЭН.



**Рисунок 2 – Схема трубчатого поточного электронагревателя:**

1 - фланец; 2 - токоподводящий хомут; 3 - металлический патрубок; 4 - ПЭН-элемент; 5 - резиновая уплотнительная прокладка; 6 - резистивная пленка; 8 - тонкослойная электроизоляция; 9 - герметизирующая стеклоэмаль

На рисунке 2 представлена возможная конструкция трубчатого поточного электронагревателя [7].

Она содержит металлический патрубок 1, на внешней поверхности которого размещен пленочный электронагреватель, который состоит из тонкослойного изоляционного покрытия 8 и ПЭН-элемента 4. Сверху на ПЭН-элементе – герметизирующая стеклоэмаль 9, повышающая безопасность поражения электрическим током и предохраняющая нагреватель от попадания

влаги. Электронагреватель снабжен токопроводящими электродами 2 в виде хомутов из материала с высокой электропроводностью (латунь) и заземляющим выводом.

Подобная конструкция трубчатого поточного электронагревателя может быть реализована, например, на всасывающем патрубке насоса гидросистемы. При работе машины в условиях пониженных температур окружающего воздуха рабочая жидкость гидросистемы, находящаяся непосредственно внутри всасывающего патрубка разогревается и поступает в насос, создавая разрежение на «входе» насоса и увлекая за собой «холодную» рабочую жидкость. Кроме того, в процессе циркуляции рабочей жидкости происходит дополнительный ее разогрев, что обеспечивает рациональные условия смазки трущихся поверхностей агрегатов гидросистемы, снижая тем самым их изнашивание.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рылякин, Е. Г. Повышение работоспособности тракторных гидросистем терморегулированием рабочей жидкости [Текст]: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е. Г. Рылякин. – Пенза, 2007. – 22 с.
2. Родионов, Ю. В. Производственно-техническая инфраструктура предприятий автомобильного сервиса [Текст]: учеб. пособие / Ю. В. Родионов. – Ростов н/Д: Феникс, 2008. – 439 с.
3. Геодакян, Д. А. Пленочные электронагреватели. Функциональные и конструкционные особенности (обзор) [Текст] / Д. А. Геодакян // Изв. НАН РА и ГИУА. сер. тн. - 2008. - Т. LXI. - № 2. – С. 228-236.
4. Захаров, Ю. А. Совершенствование технологии восстановления посадочных отверстий корпусных деталей проточным электролитическим цинкованием [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ю. А. Захаров. – Пенза, 2001. – 20 с.
5. Захаров, Ю. А. Способы получения ПЭН при ремонте деталей гидравлической системы машин [Текст] / Ю. А. Захаров, Е. Г. Рылякин // Materiály VI mezinárodní vědecko - praktická conference «Věda a technologie: krok do budoucnosti - 2010». - Díl 13. Chemie a chemická technologie. Ekologie. Zeměpis a geologie. Zemědělství. Zvěrolékařství: Praha. Publishing House «Education and Science» s.r.o - 88 stran. - 2010. – С. 47-49.
6. Рылякин, Е. Г. Пленочные электронагреватели [Текст] / Е. Г. Рылякин // Сб. материалов Всероссийской науч.-практ. конф. молодых ученых «Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России». – Пенза: РИО ПГСХА. - 2009. – С. 40-42.
7. Рылякин, Е. Г. Обеспечение теплового режима гидросистемы применением ПЭН-элементов при ремонте машин [Текст] / Е. Г. Рылякин, Ю. А. Захаров // Materiály VI Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Naukowa myśl informacyjnego wieku - 2010» Volume 12. Nauk biologicznych. Ekologia. Geografia i geologia. Rolnictwo. Weterynaria.: Przemysł. Nauka i studia - 104 str. - 2010. – С.66-68.
8. Родионов, Ю. В. Результаты исследований холодной обкатки дизеля Д-144 со статико-динамическим нагружением [Текст] / Ю. В. Родионов, С. В. Тимохин // Мир транспорта и технологических машин. – 2013. - № 2(41). – С.33-41.

### **Рылякин Евгений Геннадьевич**

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»

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

Канд. техн. наук, доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта»

E-mail: triplan1979@mail.ru

### **Захаров Юрий Альбертович**

ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная сельскохозяйственная академия»

Адрес: 440028, Россия, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30

Канд. техн. наук, доцент кафедры «Ремонт машин»

E-mail: albertych1974@mail.ru

---

E. G. RYLYAKIN, YU. A. ZAKHAROV

## **INCREASING OPERABILITY OF THE HYDRAULIC ACTUATOR IN TRANSPORT TECHNOLOGICAL MACHINES DURING LOW TEMPERATURES CONDITIONS**

*The basic reasons which worsen working capacity and define features of functioning of hydraulic units in transport technological machines in a cold season are stated. It is offered to use film*

*electric heaters (FEH) for ensuring rational temperature of working liquid in hydraulic systems of these cars. The main advantages of FEH, their constructive elements and ways of drawing on heat-exchanging surfaces of details of cars, and also some technical solutions for providing a warming up and maintenance of temperature of working liquid in hydraulic systems of transport technological machines in a rational interval in the conditions of winter operation are given.*

**Keywords:** *thermal regulation, working liquid, film electric heaters (FEH), technology of drawing covering, hydraulic system*

## BIBLIOGRAPHY

1. Rylyakin, E. G. Povyshenie rabotosposobnosti traktornykh gidrosistem termoregulirovaniem ra-bochey zhidkosti [Tekst]: Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk / E. G. Rylyakin. - Penza, 2007. - 22 s.
2. Rodionov, YU. V. Proizvodstvenno-tekhnicheskaya infrastruktura predpriyatiy avtomobil'nogo ser-visa [Tekst]: ucheb. posobie / YU. V. Rodionov. - Rostov n/D: Feniks, 2008. - 439 s.
3. Geodakyan, D. A. Plenochnye elektronagrevateli. Funktsional'nye i konstruktsionnye osobennosti (obzor) [Tekst] / D. A. Geodakyan // Izv. NAN RA i GIUA. ser. tn. - 2008. - T. LXI. - № 2. - S. 228-236.
4. Zakharov, YU. A. Sovershenstvovanie tekhnologii vosstanovleniya posadochnykh otverstiy korpusnykh detaley protochnym elektroliticheskim tsinkovaniem [Tekst]: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk / YU. A. Zakharov. - Penza, 2001. - 20 s.
5. Zakharov, YU. A. Sposoby polucheniya PEN pri remonte detaley gidravlicheskoj sistemy mashin [Tekst] / YU. A. Zakharov, E. G. Rylyakin // Materi?ly VI mezin?rodn? v?decko - praktick? conference "V?da a technologie: krok do budouchnosti - 2010". - D?l 13. Chemie a chemick? technologie. Ekologie. Zem?pis a geologie. Zem?d?lstv?. Zv?rol?ka?stv?: Praha. Publishing House "Education and Science" s.r.o - 88 stran. - 2010. - S. 47-49.
6. Rylyakin, E. G. Plenochnye elektronagrevateli [Tekst] / E. G. Rylyakin // Sb. materialov Vserossiyskoy nauch.-prakt. konf. molodykh uchennykh "Vklad molodykh uchennykh v innovatsionnoe razvitie APK Rossii". - Penza: RIO PGSHA. - 2009. - S. 40-42.
7. Rylyakin, E. G. Obespechenie teplovogo rezhima gidrosistemy primeneniem PEN-elementov pri re-monte mashin [Tekst] / E. G. Rylyakin, YU. A. Zakharov // Materia?y VI Mi?dzynarodowej naukow-i-praktycznej konfer-encji "Naukowa my?l informacyjnego wieku - 2010" Volume 12. Nauk biologicznych. Ekologia. Geografia i geologia. Rolnictwo. Weterynaria.: Przemysl. Nauka i studia - 104 str. - 2010. - S.66-68.
8. Rodionov, YU. V. Rezul'taty issledovaniy kholodnoy obkatki dizelya D-144 so statiko-dinamicheskim nagruzheniem [Tekst] / YU. V. Rodionov, S. V. Timokhin // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2013. - № 2(41). - S.33-41.

### **Rylyakin Evgeniy Gennad'evich**

FGBOU VPO «Penza state university of architecture and construction»

Adress: 440028, Russia, Penza, G. Titova st, 28

Ph.D. (Techn.), associate professor "Operation of the motor transport"

E-mail: triplan1979@mail.ru

### **Zakharov Yuriy Al'bertovich**

FGBOU VPO Penza state agricultural academy

Adress: 440028, Russia, Penza, Botanicheskaya, 30

Ph.D. (Techn.), associate professor "Repair of cars"

E-mail: albertych1974@mail.ru

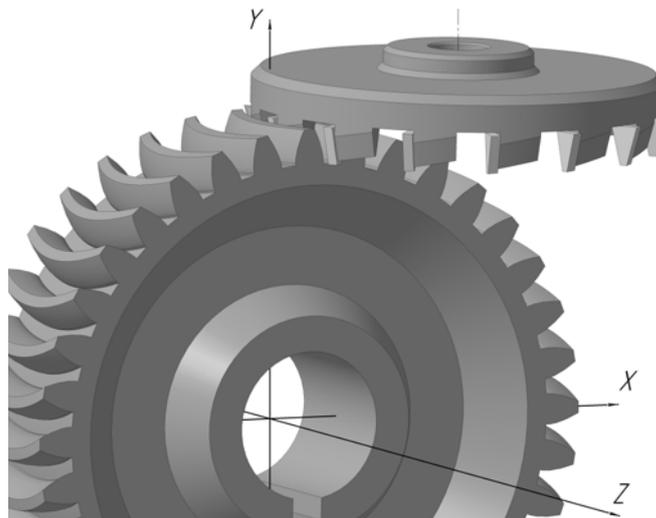
П. С. РУБИН, А. С. ТАРАПАНОВ

## ПРИПУСКИ ПОД ЧИСТОВУЮ ОБРАБОТКУ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС С АРОЧНЫМИ ЗУБЬЯМИ

*Рассмотрены зависимости, позволяющие определять припуски под чистовую обработку цилиндрических колес с арочными зубьями и прогнозировать точность и шероховатость номинальной поверхности.*

**Ключевые слова:** арочный зуб, цилиндрическая передача, резцовая головка, черновая обработка, припуски.

Одним из перспективных направлений повышения эксплуатационных параметров трансмиссий транспортных средств является применение в зубчатых передачах цилиндрических колес с арочными зубьями. Данный тип передач обладает повышенной нагрузочной способностью, долговечностью, пониженным уровнем шума при работе и является продолжением развития шевронных зубчатых колес, превосходит их в плавности хода и простоте обработки.



**Рисунок 1 – Черновая обработка арочного зуба цилиндрического колеса резцовой головкой**

Их применение в трансмиссиях транспортных средств позволит в значительной степени повысить нагрузочную способность и ресурс узлов, снизить виброшумовые показатели, и что особенно важно – снизить массо-габаритные характеристики [3].

Имеются факты применения арочных зубчатых цилиндрических передач. В частности, в главной передаче ведущего моста КамАЗ косозубое зацепление было заменено арочным. Предпосылкой проведения такого комплекса теоретических, конструкторских и технологических работ стал тот факт, что при запланированном среднем ресурсе работы 270 тыс. км до 30% мостов выходят из строя при пробеге менее 150 тыс. км. И в результате проведения комплекса работ по замене косозубой передачи арочной на момент пробега 320 тыс. км. узел продолжал исправно работать, и технический осмотр не выявил превышающего норму износа [3].

В настоящее время известно несколько способов обработки арочных зубьев цилиндрических колес: 1) резцовой головкой для обработки конических колес с круговыми зубьями по методу обката с единичным делением (рис. 1); 2) применение концевой фрезы; 3) применение комплекта резцовых головок с нулевым углом профиля режущего зуба. С точки зрения производительности наиболее рационально применение первого и последнего спосо-

бов [5]. Однако, первый способ, хотя и проще в инструментальном и станочном обеспечении, но не обеспечивает необходимой эвольвентного профиля зуба во всех осевых сечениях.

Перспективным направлением повышения производительности обработки арочных зубьев цилиндрических колес является комбинирование способов чистовой и черновой обработки с различными схемами резания. Так для черновой обработки целесообразно применять зуборезные резцовые головки для конических передач с круговыми зубьями с радиальной подачей, обкатыванием или комбинированной подачей что позволит снизить себестоимость обрабатываемого изделия за счет высокой производительности и низкой стоимости инструмента и оборудования.

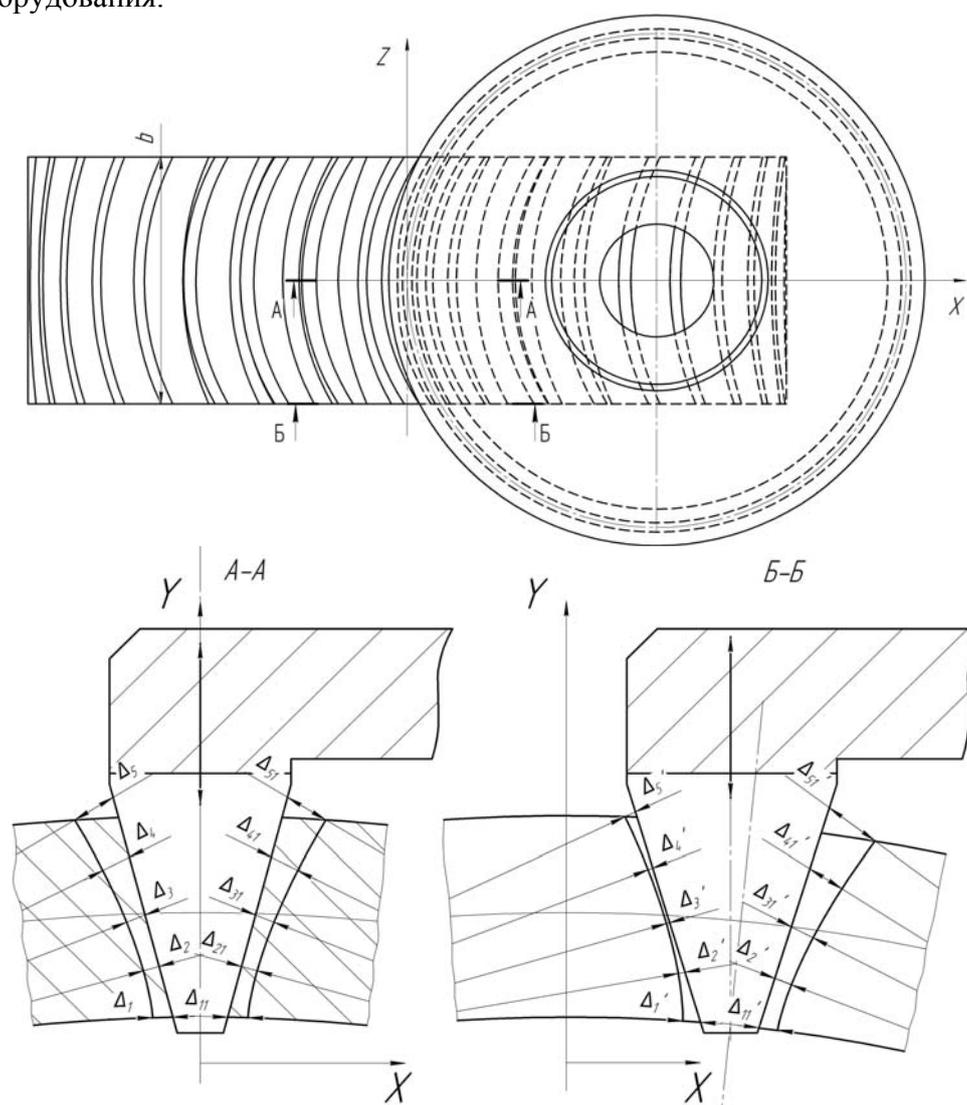


Рисунок 2 – Припуски на чистовую обработку в различных сечениях перпендикулярных оси колеса

Для чистовой обработки применяется способ формообразования рабочей поверхности точкой на вершине угла режущей кромки зуба резцовой головки (рис. 3). Также данную резцовую головку с нулевым углом профиля возможно использовать и при черновой обработке в сочетании с различными способами подачи инструмента и заготовки [6].

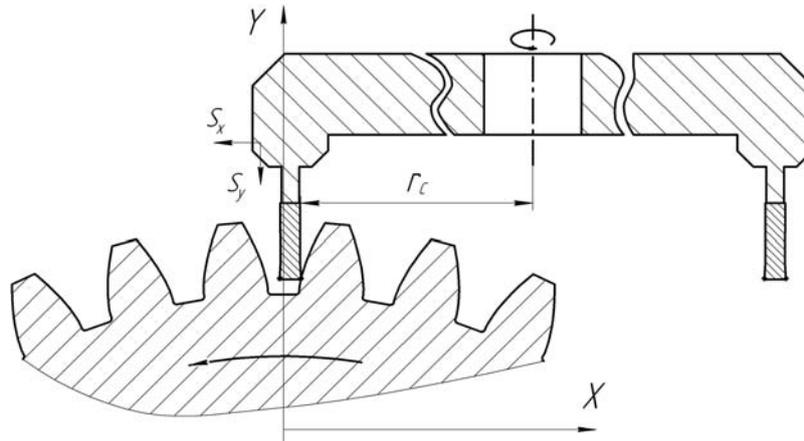


Рисунок 3 – Чистовая обработка рабочей поверхности арочного зуба режущей головкой с нулевым углом профиля режущей кромки[6]

Важным моментом применения двух способов обработки является исследование значения припусков под чистовую обработку, т.к. они напрямую влияют на значения сил резания, и, следовательно, точности и шероховатости обрабатываемой поверхности.

В общем виде геометрию поверхности зуба можно представить следующим образом:

$$\begin{aligned} X &= f(\psi; \varphi), \\ Y &= f(\psi; \varphi), \\ Z &= f(\psi; \varphi), \end{aligned}$$

где  $X, Y, Z$  – координаты точки поверхности арочного зуба,

$\psi$  – угол между инволютой и центром впадины (рис. 4),

$\varphi$  – угол поворота точки поверхности зуба относительно оси  $OX$  в плоскости  $XZ$  (рис.

4).

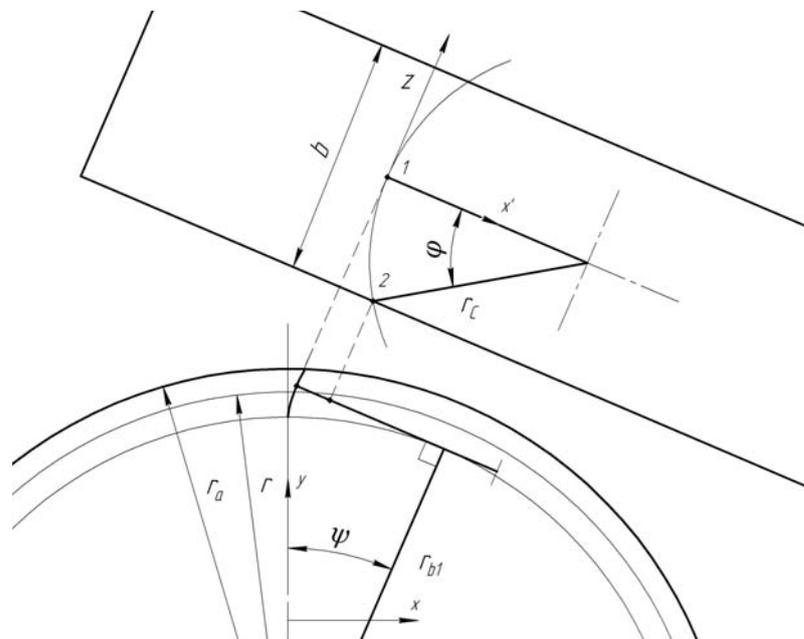


Рисунок 4 – Формирование поверхности арочного зуба точкой

Используя следующие входные параметры: модуль зуба обрабатываемого колеса -  $m$ , число зубьев колеса -  $z$ , угол зацепления -  $\alpha$ , ширину зубчатого колеса -  $b$  и радиус кривизны зуба -  $r_c$  рабочая поверхность обрабатываемого зуба в параметрической форме имеет следующий вид:

$$X = \pm r_{b1} \cdot \sin(\psi \pm \frac{r_c(1 - \cos(\phi))}{r_{b1}} + \frac{s}{2r} - \text{tg}(\alpha) + \alpha) \mp r_{b1} \cdot \psi \cdot \cos(\psi \pm \frac{r_c(1 - \cos(\phi))}{r_{b1}} + \frac{s}{2r} - \text{tg}(\alpha) + \alpha),$$

$$Y = r_{b1} \cdot \cos(\psi \pm \frac{r_c(1 - \cos(\phi))}{r_{b1}} + \frac{s}{2r} - \text{tg}(\alpha) + \alpha) + r_{b1} \cdot \psi \cdot \sin(\psi \pm \frac{r_c(1 - \cos(\phi))}{r_{b1}} + \frac{s}{2r} - \text{tg}(\alpha) + \alpha),$$

$$Z = r_c \cdot \sin(\phi),$$

где  $s$  – ширина зуба (впадины) по делительному радиусу  $s = \frac{\pi m}{2}$ ;

$r$  – радиус делительной окружности  $r = \frac{mz}{2}$ ;

$r_{b1}$  – радиус начальной окружности  $r_{b1} = r \cdot \cos(\alpha)$ ;

$r_a$  – радиус вершины зуба  $r_a = r + m$ .

Для отображения любого сечения  $Z$ , перпендикулярного оси колеса примем:

$$\phi = \arcsin\left(\frac{Z}{r_c}\right),$$

$$Z_{\max} = b / 2.$$

Математическое отображение положения формообразующих точек режущего инструмента имеет следующий вид:

$$X = r_0 - \left(r_0 \pm \frac{\pi m}{k} \pm \Delta h \cdot \text{tg}(\alpha_1)\right) \cdot \cos(\phi),$$

$$Y = \Delta h + r_0,$$

$$Z = \left(r_0 \pm \frac{\pi m}{k} \pm \Delta h \cdot \text{tg}(\alpha_1)\right) \cdot \sin(\phi),$$

где  $\Delta h$  – параметр режущей кромки;

$r_0$  – радиус окружности центрального сечения формообразующего зуба;

$\alpha_1$  – угол наклона профиля режущей кромки;

$k$  – коэффициент ширины режущего зуба по делительному диаметру.

Задача определения значения припуска  $\Delta$  для любых значений углов  $\psi$  и  $\alpha_1$  сводится к решению треугольника по двум углам и стороне  $X-X_1$ .

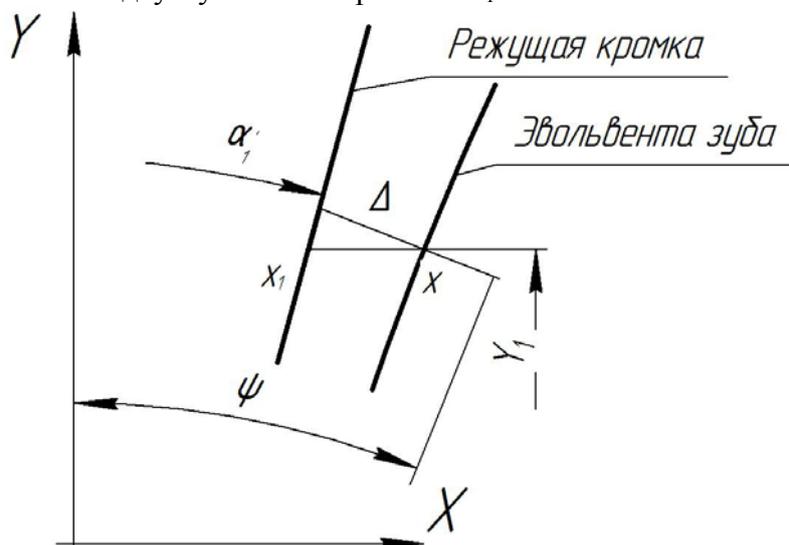


Рисунок 5 – Определение припуска  $\Delta$

В результате приведенных итераций выявлена зависимость отображающая значения припусков по всей высоте зуба в любых сечениях перпендикулярных оси колеса в зависимости от параметров обрабатываемого зуба и режущей головки (рис. 6). Высота зуба на графиках представлена за единицу как безразмерная величина.

Ниже приводятся графики зависимостей припусков на чистовую обработку для двух вариантов входных параметров, представленных в таблице 1.

Таблица 1 – Входные параметры для расчета припусков.

Параметр	Наим.	Значение	
		Вариант 1	Вариант 2
1	2	3	4
Модуль, мм	$m$	8	8
Число зубьев	$z$	36	20
Угол зацепления, град	$\alpha$	20	20
Ширина зубчатого венца, мм	$b$	100	100
Радиус кривизны зуба, мм	$r_c$	100	100
Радиус окружности центрального сечения режущего зуба, мм	$r_o$	100	95
Угол наклона режущей кромки, град	$\alpha_l$	12	20
Коэффициент ширины режущего зуба по делительному диаметру, мм	$k$	6,5	6

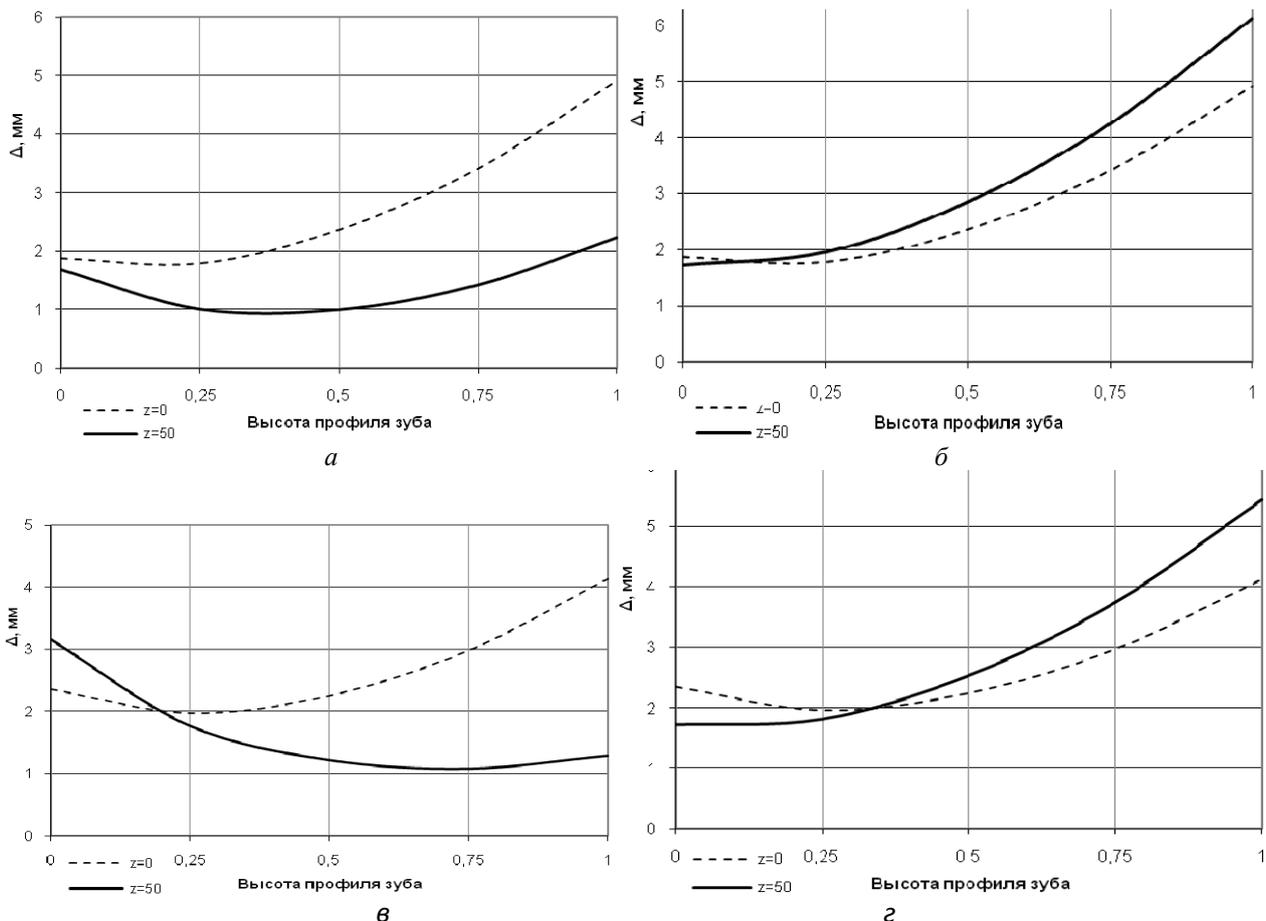


Рисунок 5 - Значения припусков для варианта 1 а – вогнутой (левой) и б – выпуклой (правой) сторон зуба в центральном  $Z=0$  и торцевом  $Z_{max}=b/2$  сечениях, перпендикулярных оси и варианта 2 соответственно - в и г

Таким образом, применение полученной зависимости в дальнейшем позволит оптимизировать припуски на чистовую обработку, прогнозировать значения сил резания для любых начальных параметров, точность при известной жесткости технологической системы, а также шероховатость обрабатываемой поверхности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобков, М. Н. Теоретически аспекты технологии изготовления цилиндрических колес с арочными зубьями: Автореф. дис...д-ра техн. наук / М. Н. Бобков. - ТулГУ, 1998.
2. Пат. 2404030 Российская Федерация. Способ изготовления цилиндрических колес с арочными зубьями [Текст] / Плахтин В. Д., Панков И. Г., Давыдов А. П., Марголит Р. Б., Паршин А. Н., Липатов С. И. – № 2009114308; заявл. 16.04.09; опубл. 20.11.10, Бюл. №32.
3. Рубин, П. С. Перспективы применения цилиндрических колес с арочными зубьями в транспортных средствах [Текст] / П. С. Рубин // Актуальные вопросы инновационного развития транспортного комплекса. - Материалы международной научно-технической конференции, 2011. - Том 1. – Орел: ИПЦ «Госуниверситет – УНПК».
4. Рубин, П. С. Разработка математического отображения схемы формообразования арочных зубьев цилиндрических колес резцовыми головками с нулевым углом профиля режущей кромки [Текст] / П. С. Рубин, А. В. Онищенко // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2012. - №3-3(293). – Орел: «Госуниверситет-УНПК».
5. Рубин, П. С. Перспективы развития способов обработки цилиндрических колес с арочными зубьями [Текст] / П. С. Рубин, А. С. Тарапанов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2012. - №6. – Орел: ИПЦ «Госуниверситет-УНПК».
6. Рубин, П. С. Выбор варианта черновой обработки цилиндрических колес с арочными зубьями [Текст] / П. С. Рубин, О. А. Макалова // «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии», 2013. - №5. – Орел: ИПЦ «Госуниверситет-УНПК».
- 7.

**Рубин Павел Сергеевич**

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»

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

Аспирант кафедры «Конструкторско – технологическое обеспечение машиностроительных производств»

E-mail: paulus\_rub@mail.ru

**Тарапанов Александр Сергеевич**

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»

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

Д-р техн. наук, профессор кафедры «Конструкторско – технологическое обеспечение машиностроительных производств»

E-mail: tarapanov@rambler.ru

---

P. S. RUBIN, A. S. TARAPANOV

## SEAM ALLOWANCES FOR FINISHING CYLINDRICAL WHEELS WITH ARCHED TEETH

*The dependences for defining allowances under finishing cylindrical gears with arched teeth and forecast accuracy and roughness of the surface of the face.*

**Keywords:** *arched tooth, spur gear, cutter head, roughing, finishing allowance.*

**BIBLIOGRAPHY**

1. Bobkov, M. N. Teoreticheski aspekty tekhnologii izgotovleniya tsilindricheskikh koles s arochnymi zub'yami: Avtoref. dis...d-ra tekhn. nauk / M. N. Bobkov. - TulGU, 1998.
2. Pat. 2404030 Rossiyskaya Federatsiya. Sposob izgotovleniya tsilindricheskikh koles s arochnymi zub'yami [Tekst] / Plakhtin V. D., Pankov I. G., Davydov A. P., Margolit R. B., Parshin A. N., Lipatov S. I. - № 2009114308; zayavl. 16.04.09; opubl. 20.11.10, Byul. №32.
3. Rubin, P. S. Perspektivy primeneniya tsilindricheskikh koles s arochnymi zub'yami v transportnykh sredstvakh [Tekst] / P. S. Rubin // Aktual'nye voprosy innovatsionnogo razvitiya transportnogo kompleksa. -Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, 2011. - Tom 1. - Orel: IPTS "Gosuniversitet - UNPK".
4. Rubin, P. S. Razrabotka matematicheskogo otobrazheniya skhemy formoobrazovaniya arochnykh zub'ev tsilindricheskikh koles reztsovymi golovkami s nulevym uglom profilya rezhushchey kromki [Tekst] / P. S. Rubin, A. V. Onishchenko // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii, 2012. - №3-3(293). - Orel: "Gosuniversitet-UNPK".
5. Rubin, P. S. Perspektivy razvitiya sposobov obrabotki tsilindricheskikh koles s arochnymi zub'yami [Tekst] / P. S. Rubin, A. S. Tarapanov // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii, 2012. - №6. - Orel: IPTS "Gosuniversitet-UNPK".
6. Rubin, P. S. Vybora varianta chernovoy obrabotki tsilindricheskikh koles s arochnymi zub'yami [Tekst] / P. S. Rubin, O. A. Makalova // "Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii", 2013. - №5. - Orel: IPTS "Gosuniversitet-UNPK".

**Rubin Pavel Sergeevich**

FGBOU VPO «State University – UNPK»

Address: 302020, Russia, Orel, Naugorskoye Highway 29

The postgraduate of the Department " Design - processing software engineering industries"

E-mail: paulus\_rub@mail.ru

**Tarapanov Alexander Sergeevich**

FGBOU VPO «State University – UNPK»

Address: 302020, Russia, Orel, Naugorskoye Highway 29

The Doctor of Technical Sciences, professor, professor of the Department " Design - processing software engineering industries "

E-mail: tarapanov@rambler.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 62-822

Й. ХРБЧЕК, В. ШИМАК, А. ЯНОТА

## ПРОГНОЗНЫЙ КОНТРОЛЬ РАДИАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ РОТОРА

*В статье рассматривается конструкция системы контроля вибрации при применении ротора, в которой должны учитываться различные параметры такие, как критическая скорость, намагничивающая сила, неустойчивость и т.д. Многие проблемы с нежелательными колебаниями можно избежать при использовании современных методов прогнозного контроля.*

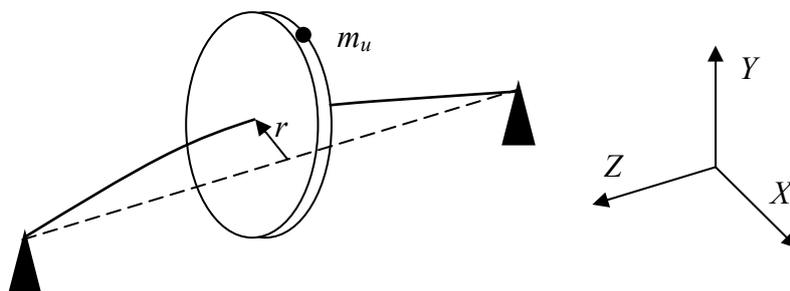
**Ключевые слова:** прогнозный контроль, колебания, ротор

### INTRODUCTION

The goal of this work is the design of predictive vibration control systems for rotors. Vibration control in rotating machines is linked to a critical speed, to an excitation at rotation harmonic or to rotor dynamic instability. The dynamics of system is characterized by natural models. System has a tendency to vibrate at their natural frequencies. The main interesting problems in the dynamical study of rotor systems are the critical speeds. We can design the predictive controller that can use the measured disturbances. By introducing predictive control it will be made possible to greatly reduce the vibration.

### DYNAMIC OF ROTOR SYSTEM

In real machine, very high vibration levels can be reached. Usually largest rotors are operated below the critical speed, but mostly the high-speed rotors are run fast over the critical zone. Even if the real rotors are very different from the simple case of the Jeffcott-rotor, also in this case it is possible to consider eccentricity, by introducing a distribution of eccentricity along the rotor and generalizing the results obtained by means of the simple model. We can consider the Jeffcott-rotor, composed by a strong disk mounted on a symmetrical flexible rotating shaft supported by two rigid bearings. This rotor system has only two degrees of freedom or, if we use a rotating co-ordinate system, one: the radial displacement of the disk. The unavoidable eccentricity of the centre of mass of the disk creates a centrifugal force due to the rotational speed, which deflects the flexible shaft as shown in drawing 1. Due to the deflection the centrifugal force increases: for each rotating speed the centrifugal force will be balanced by the elastic reaction force of the shaft.



*Figure 1 - The Jeffcott-rotor consists of a shaft, a disk, and a mass unbalance*

We can use a complex variable to describe the displacement of the disc centre in the Jeffcott rotor. The displacement in Cartesian coordinate system is:

$$\begin{aligned} y_x &= \operatorname{Re}(r), \\ y_y &= \operatorname{Im}(r), \end{aligned}$$

where  $r$  - is the complex radial displacement of the disk in the XY plane. The equation of motion at a constant speed of rotation is given by:

$$m\ddot{r} + c\dot{r} + kr = m_u r_u \omega^2 e^{i\omega t},$$

where  $m$  - is the mass of the disk;

$c$  - is the damping coefficient;

$k$  - is the spring constant and  $r$  with overhead signs are the first and second time derivatives of radial position;

$m_u$  - is equal to unbalancing mass;

$r_u$  - is the distance of the unbalance from the geometrical centre of the rotor;

$\omega$  - is the rotational speed;

$i$  - is the imaginary unit and  $t$  is time variable.

The undamped critical speed and relative damping can be written as [10]:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \text{ [rad / s]}, \zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}}.$$

The mass unbalance can alternatively be accounted for as the eccentricity, which describes the relative distance between the centre of gravity and the geometrical centre of rotation

$$\varepsilon = \frac{m_u r_u}{m}.$$

In this work the Jeffcott rotor model is used to solve a predictive control problem. The unbalance response can be formulated as a function of the frequency of rotation:

$$G(i\omega) = \frac{\varepsilon\omega^2}{\omega_n^2 - \omega^2 + i2\xi\omega\omega_n},$$

or in the Laplace domain:

$$G(s) = \frac{\varepsilon\omega^2}{s^2 + 2s\xi\omega_n + \omega_n^2},$$

where  $\omega_n$  - is the critical angular frequency.

### SYSTEM ANALYSIS

The step response of a dynamical system consists of the time behaviour of its outputs when its control inputs are Heaviside step functions, for a given initial state. Step response is the time behaviour of the outputs of a system when its inputs change from 0 to unity value in a very short time. Knowing the step response of a Jeffcott-rotor model gives information on the stability of model, and on its ability to reach a stationary state.

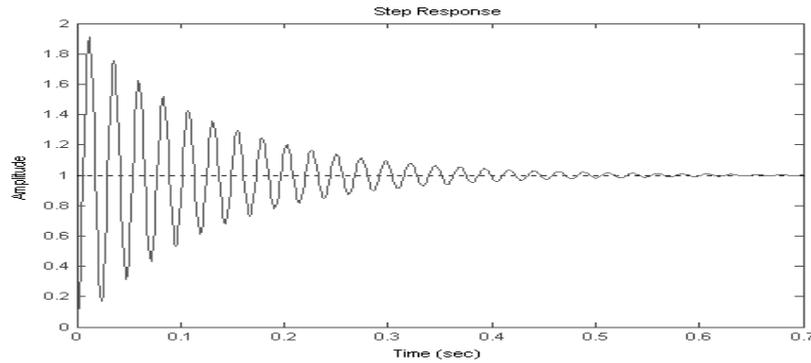


Figure 2 - Simulation-step response of rotor model for  $\zeta = 0.03$

The response of system is highly oscillated, as expected for the damping coefficient  $\zeta = 0.03$ .

A Bode diagram is a combination of a Bode magnitude plot and Bode phase plot. The magnitude is represented using decibels, and the gain in decibels is plotted versus frequency with a logarithmic frequency scale. A plot of magnitude is on the top of the figure 2. The peak that occurs that a tendency toward oscillation will be observed if the input signals contains energy in this frequency range. For example, the response to a step input will contain a large oscillatory component with a frequency of oscillation that is nearly equal to frequency of the peak. If the damping is zero, the gain is infinite at  $\omega = \omega_n$ . This condition is produced if the pair of poles is located exactly on the  $Im$ -axis.

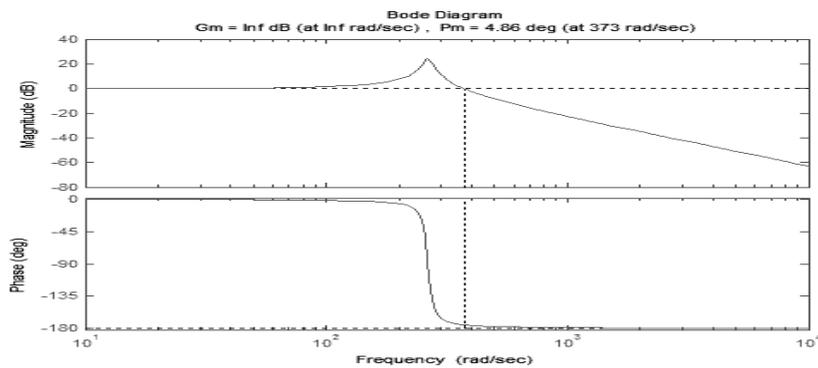


Figure 3 - Bode diagram for Jeffcot-rotor model

### ACTUATOR

The model for actuator is achieved through identification of the actual process. The model is scaled in such way that if a 14 volts control signal is fed into the system the maximum response is 1 kN. The model has 1 input and 1 output. Model is given by transfer function:

$$A(s) = \frac{2474 s + 3.529^6}{s^2 + 1.529 s + 98565}$$

Figure 4 shows the step response of actuator that gives the forces to Jeffcot-rotor.

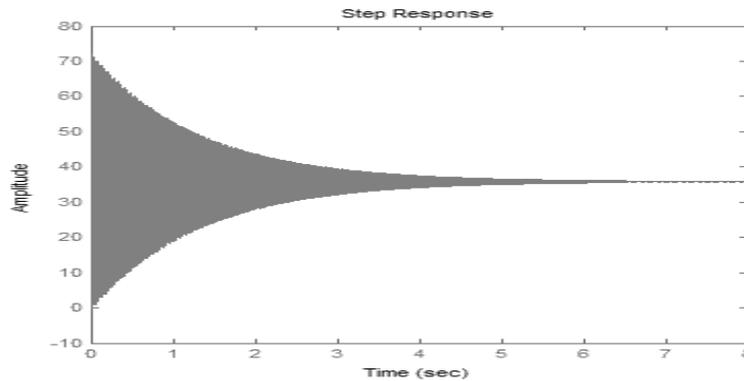


Figure 4 - Step response of the actuator

### MODEL PREDICTIVE CONTROL OF RADIAL ROTOR VIBRATIONS

Model predictive control (MPC) is a control method (or group of control methods) which makes explicit use of a model of the process to obtain the control signal by minimizing an objective function. Control law is easy to implement and requires little computation, its derivation is more complex than that of the classical PID controllers. The main benefit of MPC is its constraint handling capacity: unlike most other control strategies, constraints on inputs and outputs can be incorporated into the MPC optimization [2]. Another benefit of MPC is its ability to anticipate to future events as soon as they enter the prediction horizon. The implementation supposes good knowledge of system for the purpose of model creation using the system identification.

MPC is based on repeated, finite horizon optimization of a plant model. At time  $t$  the current plant state is sampled and a cost minimizing control strategy is computed (via a numerical minimization algorithm) for a time horizon in the future:  $(t, t + T)$ . Only the first step of the control strategy is implemented, then the plant state is sampled again and the calculations are repeated starting from the now current state. The prediction horizon keeps being shifted forward and for this reason MPC is also called receding horizon control [1].

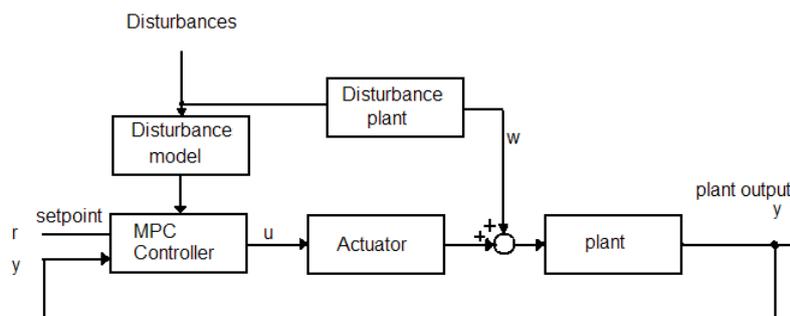


Figure 4 - Closed-loop systems using MPC

Model Predictive Control (MPC) is a control algorithm that uses:

- An internal dynamic model of the process
- A history of past control moves and
- An optimization cost function  $J$  over the prediction horizon, to calculate the optimum control moves.

The design algorithm is based on prior knowledge of the model and is independent of it. It is obvious that the benefits obtained will be affected by the differences existing between the real process and the model used.

Model Predictive Control Toolbox uses linear dynamic modelling tools. We can use transfer functions, State-space matrices, or its combination. We can also include delays, which are in the real system. The MPC control action at time  $k$  is obtained by solving the optimization problem:

$$\min \left\{ \Delta u(k|k), \dots, \Delta u(m-1+k|k), \varepsilon \left[ \sum_{i=0}^{p-1} \left( \sum_{j=1}^{n_z} |w_{i+1,j}^u (y_j(k+i+1|k) - r_j(k+i+1))|^2 \right. \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. + \sum_{i=1}^{n_u} |w_{i,j}^{\Delta u} \Delta u_j(k+i|k)|^2 + \sum_{i=1}^{n_u} |w_{i,j} (u_j(k+i|k) - u_{j\text{target}}(k+i))|^2 \right) + \rho_\varepsilon \varepsilon^2 \right] \right\},$$

Where the subscript "(j)" denotes the j-th component of a vector, "(k+i|k)" denotes the value predicted for time k+i based on the information available at time k; r(k) is the current sample of the output reference, subject to

$$\begin{aligned} u_{j\min}(i) - \varepsilon V_{j\min}^u(i) &\leq u_j(k+i|k) \leq u_{j\max}(i) + \varepsilon V_{j\max}^u(i), \\ \Delta u_{j\min}(i) - \varepsilon V_{j\min}^{\Delta u}(i) &\leq \Delta u_j(k+i|k) \leq \Delta u_{j\max}(i) + \varepsilon V_{j\max}^{\Delta u}(i), \\ y_{j\min}(i) - \varepsilon V_{j\min}^y(i) &\leq y_j(k+i+1|k) \leq y_{j\max}(i) + \varepsilon V_{j\max}^y(i), \\ \Delta u(k+h|k) &= 0, \end{aligned}$$

where

$$\begin{aligned} i &= 0, \dots, p-1, \\ h &= m, \dots, p-1, \\ \varepsilon &\geq 0 \end{aligned}$$

with respect to the sequence of input increments  $\Delta u(k|k), \dots, \Delta u(m-1+k|k)$  and to the slack variable  $\varepsilon$ , and by setting  $u(k)=u(k-1)+\Delta u(k|k)$ , where  $\Delta u(k|k)$  is the first element of the optimal sequence. Note that although only the measured output vector  $y_m(k)$  is fed back to the MPC controller, r(k) is a reference for all the outputs. When the reference r is not known in advance, the current reference r(k) is used over the whole prediction horizon, namely  $r(k+i+1)=r(k)$ .

In Model Predictive Control the exploitation of future references is referred to as anticipative action (or look-ahead or preview). A similar anticipative action can be performed with respect to measured disturbances  $v(k)$ , namely  $v(k+i)=v(k)$  if the measured disturbance is not known in advance (e.g. is coming from a Simulink block) or  $v(k+i)$  is obtained from the workspace. In the prediction,  $d(k+i)$  is instead obtained by setting  $n_d(k+i)=0$ . The  $w^{\Delta u}_{ij}$ ,  $w^u_{ij}$ ,  $w^y_{ij}$ , are nonnegative weights for the corresponding variable. The smaller w, the less important is the behavior of the corresponding variable to the overall performance index. And  $u_{j\min}$ ,  $u_{j\max}$ ,  $\Delta u_{j\min}$ ,  $\Delta u_{j\max}$ ,  $y_{j\min}$ ,  $y_{j\max}$  are lower/upper bounds on the corresponding variables. The constraints on u,  $\Delta u$ , and y are relaxed by introducing the slack variable  $\varepsilon \geq 0$ . The weight  $\rho\varepsilon$  on the slack variable  $\varepsilon$  penalizes the violation of the constraints. The larger  $\rho\varepsilon$  with respect to input and output weights, the more the constraint violation is penalized. The Equal Concern for the Relaxation vectors  $V^u_{\min}, V^u_{\max}, V^{\Delta u}_{\min}, V^{\Delta u}_{\max}, V^y_{\min}, V^y_{\max}$  have nonnegative entries which represent the concern for relaxing the corresponding constraint; the larger V, the softer the constraint.  $V=0$  means that the constraint is a hard one that cannot be violated [3].

## RESULTS

In drawing 6 there are shown the simulation results for our model predictive controller. The output value is the displacement of rotor and it is shown in the first graph. The second graph represents the values of manipulated variable. And the last graph shows the sinusoidal signal which represents the disturbance on critical speed.

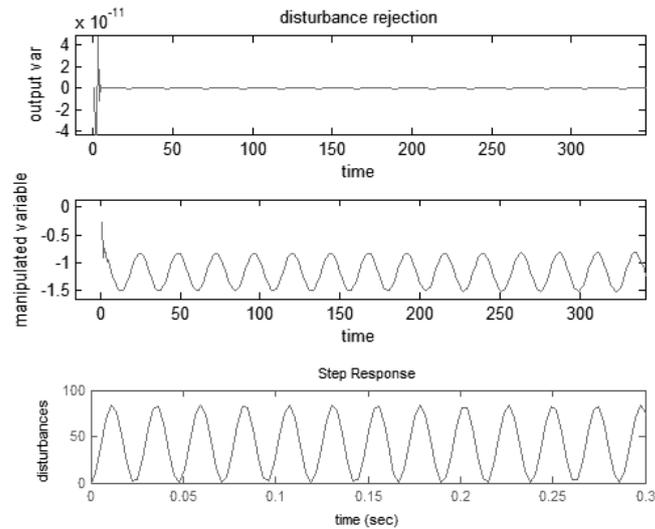


Figure 5 - Output and manipulated variables with using the disturbances model

The second simulation presents the predictive controller where the disturbance has not been taken into the account.

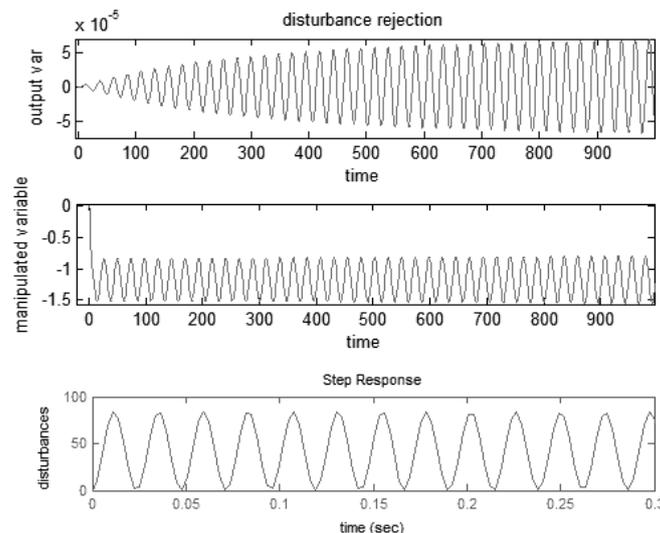


Figure 6 - Output and manipulated variables with different disturbances model

The MPC controller is reducing vibrations only lightly when the disturbances model is not assumed.

### CONCLUSION

A predictive controller has been designed for one dimensional system. This system consists of the actuator, Jeffcott-rotor model and disturbance model. The simulation results are presented. In simulation with the disturbance model inside the controller, disturbances are suppressed perfectly. The model predictive controller is reducing vibrations only lightly when the disturbances model is not assumed; it is similar to the PID controller. The important thing is to determine the disturbance model for the predictive controller according to simulations provided in this work. Model predictive controller is a perfect candidate to be used to dampen rotor vibrations.

### ACKNOWLEDGMENTS

This work has been supported by the Educational Grant Agency of the Slovak Republic (KEGA) Number: 010ŽU-4/2013: Modernization of didactic equipment and teaching methods with a focus on the area of robotics.

## BIBLIOGRAPHY

1. Maciejovski, J.M.: Predictive Control with constrains, 2002, 331p, ISBN: 0-201- 39823-0
2. Camacho, E. F., Bordons, C.: Model Predictive Control. 2nd ed., Springer-Verlag London Limited, 2004, 405 p. ISBN 1-85233-694-3
3. Bemporad A., Morari M. N. Lawrence Ricker. (2010). Model Predictive Control Toolbox. Available from: <http://www.mathworks.com/help/toolbox/mpc>
4. Ivančić, F.: Modeling and Analysis of Hybrid Systems. A Dissertation in Computer and Information Science, University of Pennsylvania, 2003, 254 p.
5. Help MATLAB7
6. Richlet, J. Rault, A. Tesud, and Papon J.: Model Predictive Heuristic Control: Application to Industrial Processes. Automatica, 14(2):413-428, 1987
7. Hrbček, J., Janota, A.: Model predictive control and hybrid systems. In: Zborník 6th European Conference of Young Research and Science Workers in Transport and Telecommunications. s. 119-122. Žilina: June 27–29, 2005. ISBN 80-8070-415-5
8. Haesányi, L., Murgaš, J., Rosinová, D., Kozáková, A.: Teória automatického riadenia, 1998, STU Bratislava, ISBN 80-227-1098-9
9. Lewis, P., Yang, Ch.: Basic Control Systems Engineering, 1997, Prentice-Hall, ISBN 0-13-597436-4
10. Tammi K., Active control of radial rotor vibrations, 2007, VTT, ISBN 987-951-38- 7007-2
11. Liuping, W.: Model Predictive Control System Design and Implementation Using MATLAB, Springer, 2009, pp. 371, ISBN 978-1-84882-330-3
12. BUBNICKI, Z.: Modern Control Theory. Springer, 2005, pp. 422, ISBN 3-540-23951-0

### Йозеф Хрбчек

Университет г. Жилина

Адрес: Словакия, Университет 8215/1, 010 26 Жилина

Кафедра Управления и Информационных Систем, Электротехнический факультет

E-mail: jozef.hrbcek

### Войтех Шимак

Университет г. Жилина

Адрес: Словакия, Университет 8215/1, 010 26 Жилина

Кафедра Управления и Информационных Систем, Электротехнический факультет

E-mail: vojtech.simak

### Алес Янота

Университет г. Жилина

Адрес: Словакия, Университет 8215/1, 010 26 Жилина

Кафедра Управления и Информационных Систем, Электротехнический факультет

E-mail: ales.janota}@fel.uniza.sk

---

J. HRBCEK, V. SIMAK, A. JANOTA

## PREDICTIVE CONTROL OF RADIAL ROTOR VIBRATIONS

*The paper deals with design of the vibration control system in the rotor application where different attributes must be considered such as critical speed, excitation, instability etc. Many problems with undesired vibrations may be avoided when using an advanced predictive control methods.*

**Keywords:** predictive control, vibration, rotor

### Jozef Hrbcek

Department of Control and Information Systems, Faculty of Electrical Engineering

University of Žilina, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovak Republic

E-mail: jozef.hrbcek, vojtech.simak, ales.janota}@fel.uniza.sk

### Vojtech Simak

Department of Control and Information Systems, Faculty of Electrical Engineering

University of Žilina, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovak Republic

E-mail: jozef.hrbcek, vojtech.simak, ales.janota}@fel.uniza.sk

### Ales Janota

Department of Control and Information Systems, Faculty of Electrical Engineering

University of Žilina, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovak Republic

E-mail: jozef.hrbcek, vojtech.simak, ales.janota}@fel.uniza.sk

## БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ И АВТОМОБИЛЬНЫЕ ПЕРЕВОЗКИ

УДК 656.056+656.11+656.13

В. А. ГОЛЕНКОВ, А. Н. НОВИКОВ, А. А. КАТУНИН,  
Ю. Н. БАРАНОВ, Д. Д. МАТНАЗАРОВ

### КОМПЛЕКСНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ ГОРОДА ОРЛА (НА ПРИМЕРЕ НАУГОРСКОГО ШОССЕ)

*Представлены результаты работы по обследованию улично-дорожной сети города Орла на примере Наугорского шоссе. Дана характеристика объекта исследования, проведен анализ количественного и качественного состава транспорта, представлена методика оценки интенсивности загрузки уличной дорожной сети, дано заключение о соответствии Наугорского шоссе нормативным требованиям по пропускной способности.*

**Ключевые слова:** транспортные потоки, организация движения, улично-дорожная сеть, интенсивность движения, пропускная способность.

#### ВВЕДЕНИЕ

Основной проблемой улично-дорожной сети современных городов являются заторы и трудности в движении транспорта. Все это вызывает необходимость оперативного принятия мер по их предотвращению и устранению. Наиболее приемлемый и эффективный - метод оптимизации дорожного движения, на основе комплексного обследования существующей схемы и условий движения.

#### АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ В ДАННОЙ ОБЛАСТИ

В области организации движения ведутся исследования учеными, так Плотников А.М., Григорьева В.С. и др. [1] разработали методику повышения безопасности дорожного движения на одноуровневых малополосных регулируемых пересечениях транспортно-пешеходных потоков с «неуравновешенным» по интенсивности движением встречных транспортных потоков, вывели социально экономический эффект от модернизации такого типа пересечений по указанной методике. Агуреев И.Е., Пышный В.А., разработали методику моделирования загрузки улично-дорожной сети г. Тула. Кретов А.Ю., Митюгин В.А., Пышный В.А., Фролов Н.А. предложили комплексную методику оценки состояния транспортных потоков на улично-дорожной сети [2]. Основой оптимизации дорожного движения должно выступать комплексное обследование существующей улично-дорожной сети.

#### ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ – УЛИЧНО-ДОРОЖНАЯ СЕТЬ Г. ОРЛА, В ЧАСТНОСТИ НАУГОРСКОЕ ШОССЕ

Орёл является крупным транспортным узлом. Здесь сходятся 7 автомобильных магистралей федерального и регионального значения: М2 (Е 105), Р92, Р119, Р120, А142 (Е 93). Формирование Орла как важного транспортного узла обусловлено выгодным географическим положением города на границах экономических районов.

Улично-дорожная сеть Орла существенно отстает от темпов автомобилизации. Большинство дорог построены в 60-е годы прошлого века. По состоянию на 2013 год в городе зарегистрировано более 120 тысяч единиц транспорта [5]. Ежегодный прирост составляет 10 тысяч единиц транспорта. Автомобилизация населения области составила 377 авто/1000 чел. (рис. 1), что является 9-м показателем среди всех регионов России и выше среднего по стране (258 авто/1000 чел.) [6].

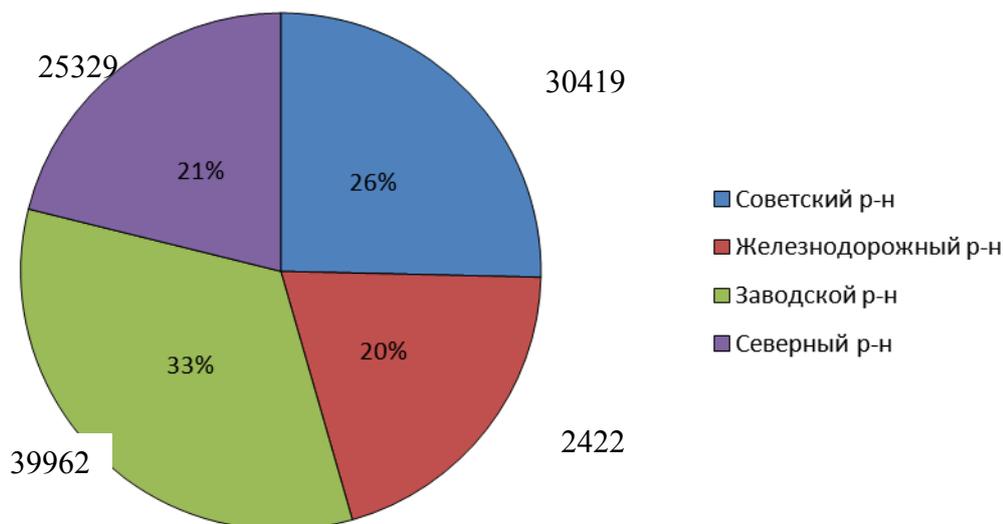


Рисунок 1 - Уровень автомобилизации г.Орла (по состоянию на 2013 г.), автомобилей

### ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Наугорское шоссе находится на северо-западе города Орла и является одной из самых крупных и загруженных улиц в Советском районе города и имеет протяженность до границы города 2,3 км, после чего переходит в дорогу областного значения (рис. 2).

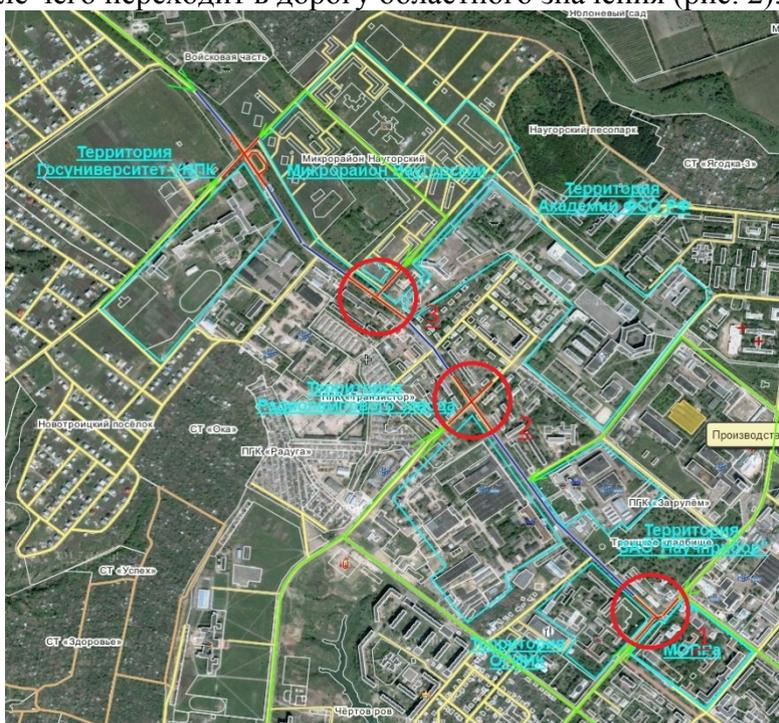


Рисунок 2 – Схема Наугорского шоссе с наиболее загруженными участками  
1 – пересечение с ул. Лескова, 2 – пересечение с ул. Цветаева, 3 – пересечение в районе ТЦ Европа

Наугорское шоссе относится к категории магистральные транспортно-пешеходные улицы районного значения регулируемого движения с пересечениями в одном уровне. Имеет 4 полосы движения, по 2 в каждом направлении с двойной сплошной разделительной линией разметки, минимальная ширина каждой полосы 3,5 м, расчетная скорость движения 70 км/ч, скорость движения транспортного потока 50 км/ч, расчетная пропускная способность одной полосы для движения транспорта согласно нормативным показателям 500 авт/ч. С

учетом коэффициента распределения для второй полосы 0,85 пропускная способность составляет 925 авт/час в каждом направлении [3,4].

Транспортные потоки разделены двойной сплошной линией разметки с разрывами для проезда транспорта на примыкающие территории. Три перекрестка со светофорным регулированием, два из которых несут стратегическую важность для улицы в целом. Шесть перекрестков регулируемых правилами проезда, согласно установленным знакам приоритета. Три пешеходных не регулируемых перехода, четыре пешеходных перехода со светофорным регулированием. Остановки общественного транспорта в количестве 9 шт. без расширительных карманов. На всем протяжении шоссе в темное время суток организовано искусственное освещение. Скорость движения ограничена 40 – 60 км/ч.

Основной поток транспорта движется непосредственно по Наугорскому шоссе. Можно отметить наиболее проблемные места образования затруднений при движении:

1. пересечение с ул.Лескова,
2. пересечение с ул.Цветаева,
3. пересечение в районе ТЦ Европа (рис. 2).

### **ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Определение загруженности улично-дорожной сети города Орла на примере Наугорского шоссе.

Задачи исследования: анализ качественного и количественного состава транспорта на Наугорском шоссе, режимов работы светофорных объектов, схемы организации движения на пересечениях.

### **МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ**

Основой эксперимента являлись инструментальные измерения транспортных потоков с использованием камер наблюдения на наиболее проблемных участках улицы и видеофиксация трафика. Исследование проводилось в трех временных промежутках, с наибольшей загруженностью транспортной сети: в утренние часы с 7 до 9, обеденное время с 12 до 14, конец рабочего дня, с 17 до 19, в середине недели, а также перед выходными днями. Каждому примыканию на перекрестке присваивалось буквенное обозначение, позволяющее идентифицировать направления движения транспорта в таблицах, на схемах и графиках. Полученный видеоматериал обрабатывался, велся подсчет по категориям транспортных средств, в каждом направлении на перекрестке с учетом режима работы светофорного объекта. С использованием коэффициентов приведения различных категорий транспорта к легковому автомобилю вычислялась загруженность и интенсивность движения по каждому направлению на перекрестках. Данные заносились в сводные таблицы и строились графики интенсивности движения.

### **КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ И КАЧЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

По результатам исследования основную долю транспортного потока Наугорского шоссе составляет легковой транспорт с интенсивностью движения 6617 авт/час, что составляет 69,63% от общего числа транспортных средств. Коммерческий транспорт, включающий грузовые автомобили грузоподъемностью до 3т, от 3т до 5т, свыше 5т, а также не маршрутные автобусы, что составляет 15,5% трафика и 1473 авт/час. Соответственно общественный пассажирский транспорт 14,88% и 2827,5 авт/час.

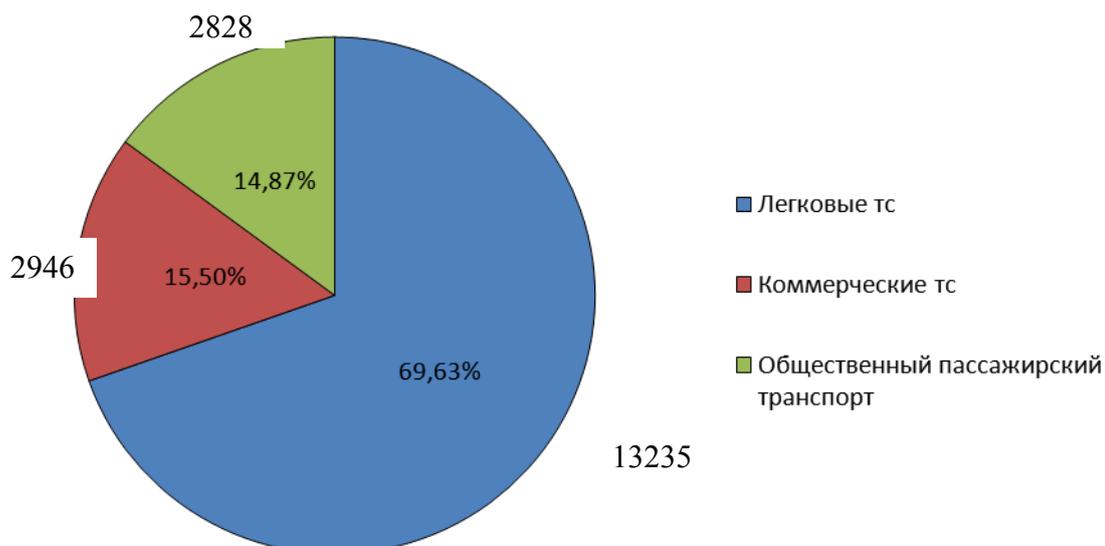


Рисунок 3 – Количественный и качественный состав транспортного потока по Наугорскому шоссе

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

*Наугорское шоссе – ул. Лескова.* Т-образный перекресток, основной поток транспорта направлен в Советский, Железнодорожный, Северный районы, а также загородные направления М2, Р92, Р119, Р120 (рис. 4).

Интенсивность движения на перекрестке для каждого направления в исследуемых промежутках времени представлена на графиках (рис. 5).

Через пересечение за период наблюдения (2 часа) прошло 6718 автомобилей, значение достигнуто в пятницу с 12:00 до 14:00. Пиковая интенсивность движения 3359 авт/час. Постоянно наблюдается затрудненное движение или затор при выезде с шоссе в результате не соответствия режима работы светофорного объекта, а так же интенсивности движения транспорта на пересечении.

Альтернативный маршрут проезда, через Ипподромный переулок, разгружает данный перекресток.

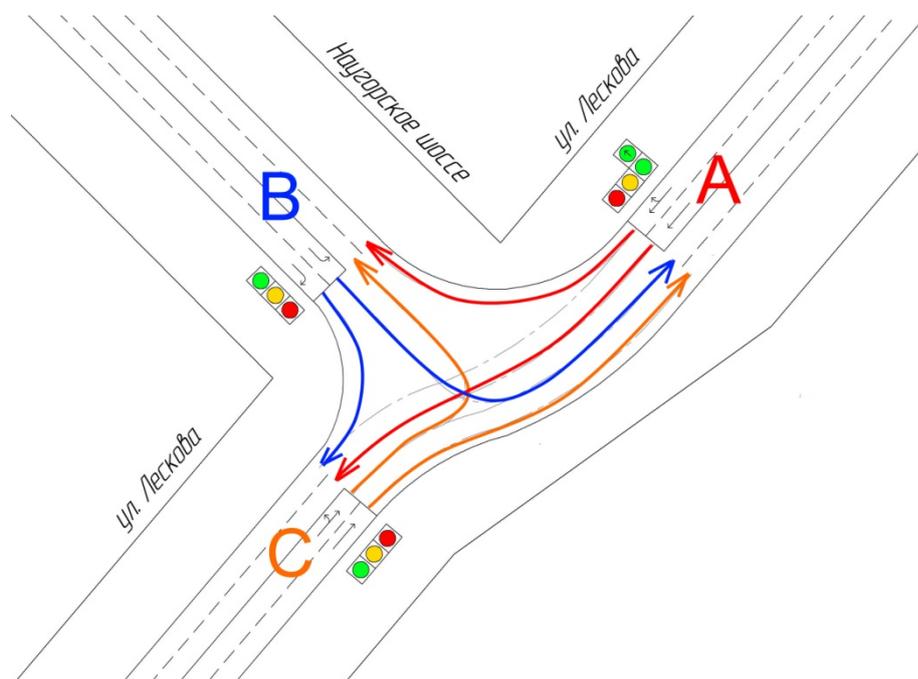


Рисунок 4 – Схема пересечения Наугорское шоссе – ул. Лескова

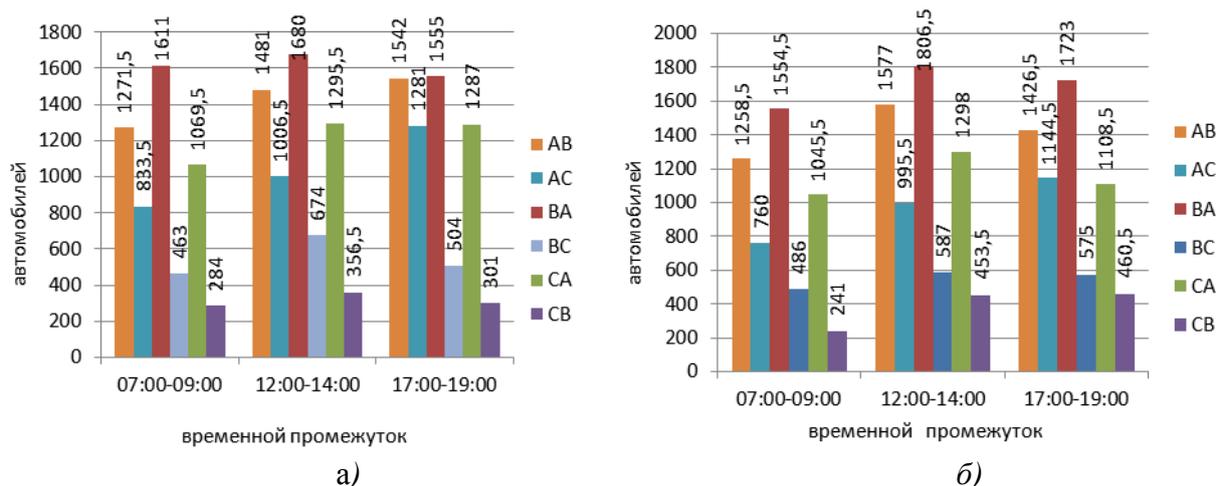


Рисунок 5 – Пиковые интенсивности движения через пересечение Наугорское шоссе – ул.Лескова  
 а - понедельник – четверг, б - пятница

Наугорское шоссе – ул.Цветаева. Самый загруженный перекресток Наугорского шоссе (рис. 6). Максимальное количество автомобилей наблюдается в конце рабочей недели, в пятницу с 17:00 до 19:00 и составляет 7627 автомобилей (рис. 7). Пиковая интенсивность движения составляет 3813 авт/час. Основной поток транспорта движется в утренний и обеденный период по направлению в город, а в вечерние часы на выезд. Затор наблюдается в обе стороны движения по шоссе, а также при выезде с ул. Цветаева. Это так же связано с не соответствием режима работы светофорного объекта и интенсивности движения транспорта на пересечении.

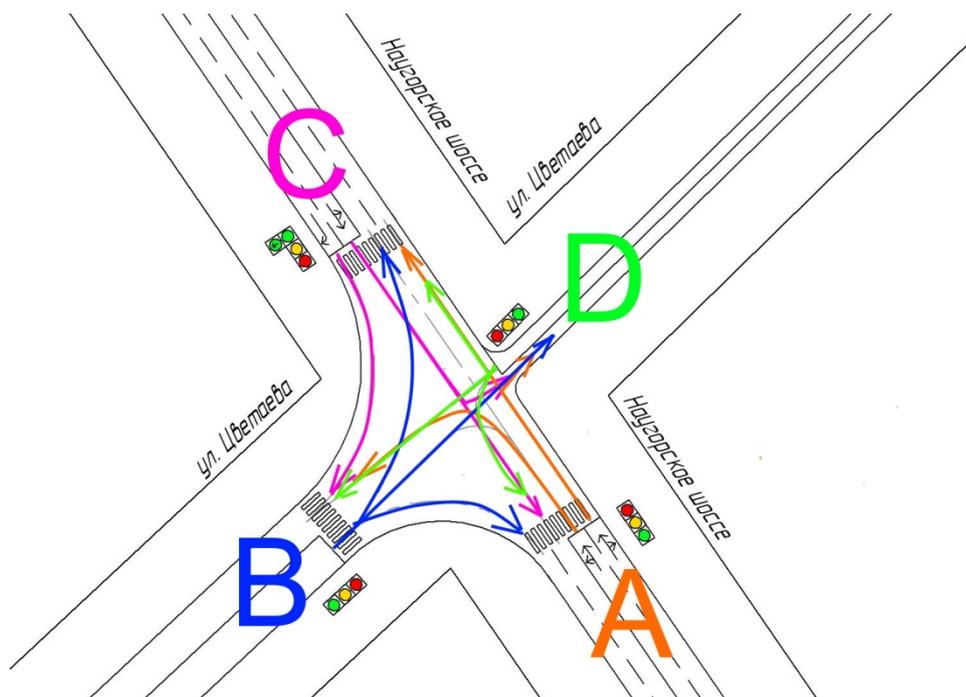
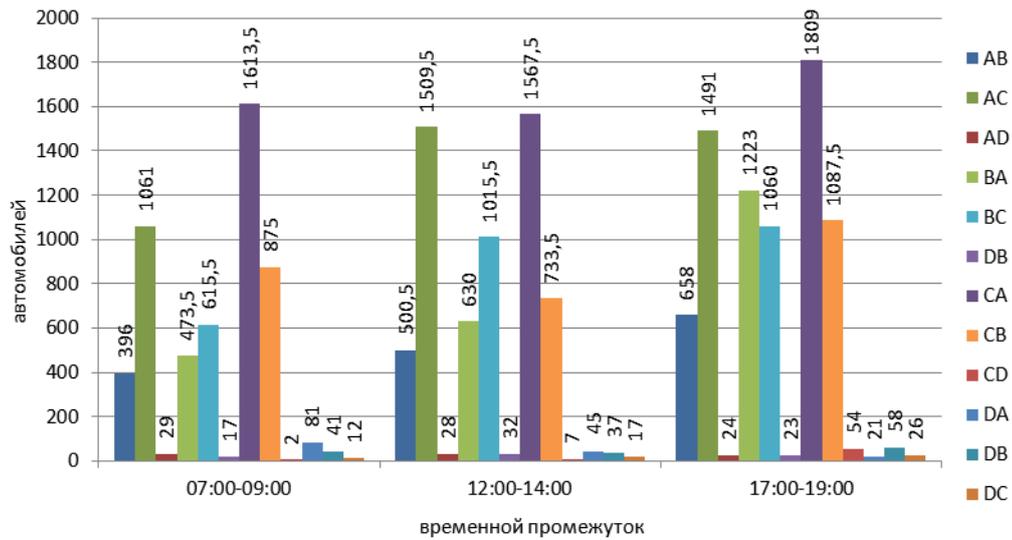
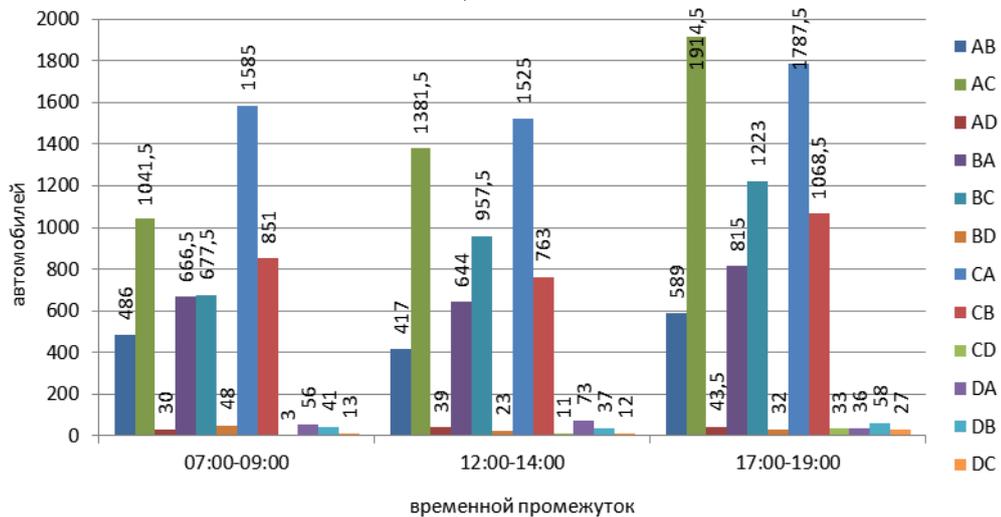


Рисунок 6 – Схема пересечения Наугорское шоссе – ул. Цветаева



а)



б)

Рисунок 7 – Пиковые значения интенсивности движения через пересечение Наугорское шоссе – ул.Цветаева  
а - понедельник - четверг, б – пятница

Светофорный объект на Наугорском шоссе в районе ТЦ Европа. Один из сложных участков улично-дорожной сети города имеющий два перекрестка, между которыми расположен пешеходный переход и остановочные павильоны общественного транспорта по обе стороны проезжей части. Имеет два отдельно стоящих светофорных комплекса с синхронизированным режимом работы. Один из перекрестков является выездом со стоянки ТЦ Европа и микрорайона Наугорский, второй служит подъездом к торговому центру и выездом на дублирующий проезд (рис. 8).

За период наблюдения на пересечении зафиксировано 7216 автомобилей. Интенсивность движения 3608 авто/час. Максимальные значения интенсивности движения наблюдаются в пятницу с 12:00 до 14:00 (рис.9).

Затруднения в движении наблюдаются во всех направлениях. Причиной является остановка общественного транспорта непосредственно на полосе движения, ввиду отсутствия остановочных заездов.

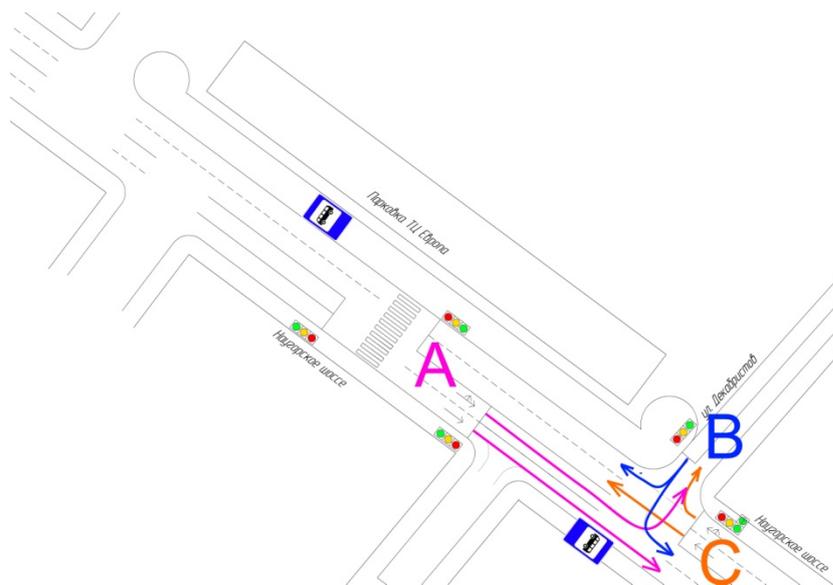
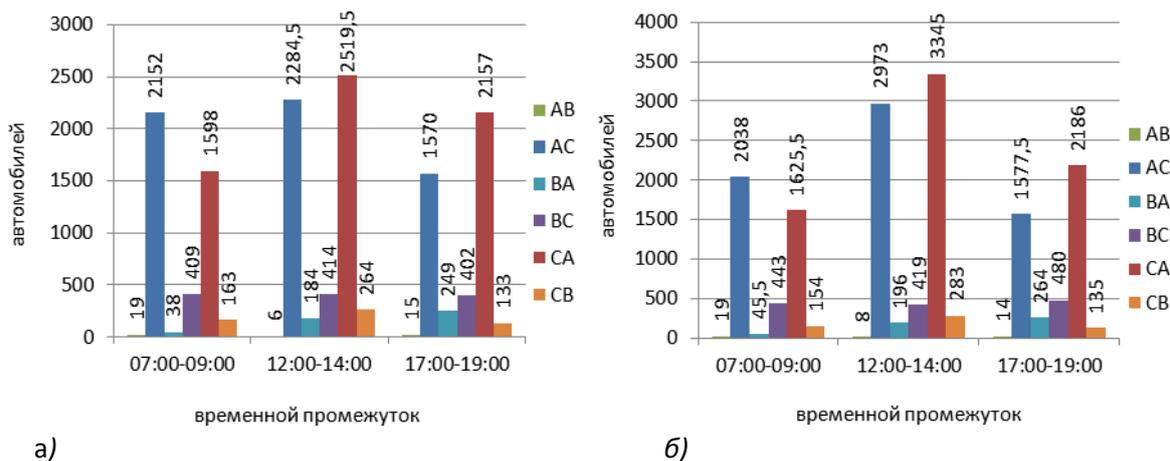


Рисунок 8 – Схема проезжей части в районе ТЦ Европа



а) Рисунок 9 – Пиковые значения интенсивности движения через пересечение в районе ТЦ Европа  
а - понедельник - четверг, б – пятница

## ВЫВОДЫ

Интенсивность движения в часы пик, согласно наблюдениям, достигает 1273 авт/час на две полосы движения. Нормативная пропускная способность 925 авт/час. Нормативная пропускная способность улицы не соответствует интенсивности транспортного потока. Перегруженность составила 27,4 %.

Для оптимизации и повышения пропускной способности улицы необходимо следующее: 1) оптимизация работы светофоров; 2) расширение проезжей части за счет создания парковочных мест, заездных карманов и прочее; 3) оснащение проезжей части техническими средствами и разметкой; 4) обеспечение маршрутами альтернативного проезда.

На примере Наугорского шоссе отработана методика обследования улично-дорожной сети города, определения интенсивности дорожного движения и анализ транспортной ситуации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агуреев, И. Е. Моделирование загрузки улично-дорожной сети г.Тула [Текст] / И. Е. Агуреев, В. А. Пышный // Известия ТулГУ. Технические науки. - 2013. - С. 127-129.

2. Плотников, А. М. Повышение эффективности управления дорожным движением на регулируемых перекрестках [Текст] / А. М. Плотников, В. С. Григорьева // Наука и техника в дорожной отрасли. - 2013. - №3 - С. 5 – 8.
3. СНиП 2.05.02-85. Автомобильные дороги. Утв. постановлением Госстроя России от 30 июня 2003 г. № 132.
4. СНиП 2.07.01-89. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Утв. постановлением Госстроя России от 25 августа 1993 г. N 18-32.
5. Электронный ресурс: [www.orel-region.ru](http://www.orel-region.ru).
6. Электронный ресурс: [www.autostat.ru](http://www.autostat.ru).
7. 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. В. Кулев, М. М. Савин // Мир транспорта и технологических машин. – 2013. - № 4(43). –С. 77 – 85.
8. 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 – 91.
9. 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. 69-75.
10. Новиков, А. Н. Исследование пассажиропотоков и транспортной подвижности населения в городе Орле [Текст] / А. Н. Новиков, С. Ю. Радченко, А. Л. Севостьянов и др. // Мир транспорта и технологических машин и оборудования. – 2011. - № 4(35). – С. 69-78.

**Голенков Вячеслав Александрович**  
ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК»  
Адрес: г. Орел, Наугорское шоссе, 29  
Д-р техн. наук, профессор, Президент  
E-mail: [unpk@ostu.ru](mailto:unpk@ostu.ru)

**Новиков Александр Николаевич**  
ФГБОУ ВПО «Госуниверситет»  
Адрес: Россия, 302030, г. Орел, ул. Московская, д. 77  
Д-р техн. наук, профессор, зав.кафедрой «Сервис и ремонт машин»  
E-mail: [srmostu@mail.ru](mailto:srmostu@mail.ru)

**Баранов Юрий Николаевич**  
ФГБОУ ВПО «Госуниверситет»  
Адрес: Россия, 302030, г. Орел, ул. Московская, д. 77  
Д-р техн. наук, профессор кафедры «Сервис и ремонт машин»  
E-mail: [srmostu@mail.ru](mailto:srmostu@mail.ru)

**Катунин Андрей Александрович**  
ФГБОУ ВПО «Госуниверситет»  
Адрес: Россия, 302030, г. Орел, ул. Московская, д. 77  
Канд. техн. наук, доцент кафедры «Сервис и ремонт машин»  
E-mail: [srmostu@mail.ru](mailto:srmostu@mail.ru)

**Матназаров Дмитрий Дамирович**  
ФГБОУ ВПО «Госуниверситет»  
Адрес: Россия, 302030, г. Орел, ул. Московская, д. 77  
Ассистент кафедры «Сервис и ремонт машин»  
E-mail: [srmostu@mail.ru](mailto:srmostu@mail.ru)

---

V. A. GOLENKOV, A. N. NOVIKOV, A. A. KATUNIN,  
Yu. N. BARANOV, D. D. MATNAZAROV

## COMPREHENSIVE SURVEY OF THE ROAD NETWORK CITY EAGLE (FOR EXAMPLE NAUGORSKOYE HIGHWAY)

*The results of work on the survey of the road network as an example of Eagle Naugorskoye highway. The characteristics of the object of research, the analysis of quantitative and qualitative composition of transport, provides a methodology to assess the intensity of load street network, given an opinion on compliance with regulatory requirements Naugorskoye highway bandwidth.*

**Keywords:** traffic flows, traffic management, street and road network, traffic, bandwidth.

## BIBLIOGRAPHY

1. Agureev, I. E. Modelirovanie zagruzki ulichno-dorozhnoy seti g.Tula [Tekst] / I. E. Agureev, V. A. Pyshnyy // Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki. - 2013. - S. 127-129.
2. Plotnikov, A. M. Povyshenie effektivnosti upravleniya dorozhnym dvizheniem na reguliruemyykh perekrestkakh [Tekst] / A. M. Plotnikov, V. S. Grigor`eva // Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli. - 2013. - №3 - S. 5 - 8.
3. SNiP 2.05.02-85. Avtomobil`nye dorogi. Utv. postanovleniem Gosstroya Rossii ot 30 iyunya 2003 g. № 132.
4. SNiP 2.07.01-89. Gradostroitel`stvo. Planirovka i zastroyka gorodskikh i sel`skikh poseleniy. Utv. postanovleniem Gosstroya Rossii ot 25 avgusta 1993 g. N 18-32.
5. Elektronnyy resurs: www.orel-region.ru.
6. Elektronnyy resurs: www.autostat.ru.
7. Novikov, A. N. Obsledovanie passazhiropotokov na sezonnykh marshrutakh goroda Orla [Tekst] / A.N. Novikov, A. L. Sevost`yanov, A. A. Katunin, M. V. Kulev, A. V. Kulev, M. V. Kulev, M. M. Savin // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2013. - № 4(43). -S. 77 - 85.
8. 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 - 91.
9. Novikov, A. N. Analiz stepeni zagruzki marshrutnoy transportnoy seti goroda rla [Tekst] / A. N. Novikov, A. L. Sevost`yanov, A. A. Katunin, A. V. Kulev // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2012. - № 4(39). - S. 69-75.
10. Novikov, A. N. Issledovanie passazhiropotokov i transportnoy podvizhnosti naseleniya v gorode Orle [Tekst] / A. N. Novikov, S. YU. Radchenko, A. L. Sevost`yanov i dr. // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin i oborudovaniya. - 2011. - № 4(35). - S. 69-78.

**Golenkov Vyacheslav Aleksandrovich**

FGBOU VPO "State University-ESPC"  
Address: Eagle Naugorskoe Highway 29  
Dr. Sc., Professor, President of the  
E-mail: unpk@ostu.ru

**Novikov Aleksandr Nikolaevich**

FGBOU VPO " State University "  
Address: Russia, 302030, Eagle Street . Moskovskaya 77  
Dr. tehn. Sciences, Professor, Head of Department " service and repair of machines "  
E-mail: srmostu@mail.ru

**Baranov Yuriy Nikolaevich**

FGBOU VPO " State University "  
Address: Russia, 302030, Eagle Street . Moskovskaya 77  
Dr. tehn., professor of "Service and repair of machinery "  
E-mail: srmostu@mail.ru

**Katunin Andrey Aleksandrovich**

FGBOU VPO " State University "  
Address: Russia, 302030, Eagle Street . Moskovskaya 77  
Candidate . tehn., assistant professor of "Service and repair of machinery "  
E-mail: srmostu@mail.ru

**Matnazarov Dmitry Damirovich**

FGBOU VPO " State University "  
Address: Russia, 302030, Eagle Street . Moskovskaya 77  
Assistant of the Department " service and repair of machines "  
E-mail: srmostu@mail.ru

УДК 656.135.073

К. С. ПОДШИВАЛОВА, С. Ф. ПОДШИВАЛОВ, И. С. ГЕРАСИМОВА

## ПАРАМЕТРЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ

*Разработана модель, описывающая процесс функционирования интегрированной системы доставки грузов с учетом дискретного характера транспортной работы. Приводятся ее основные технико-эксплуатационные показатели.*

**Ключевые слова:** модель, перевозка, груз, эффективность.

В современных условиях снижение себестоимости продукции связано с сокращением транспортных затрат, что возможно при создании интегрированных систем доставки грузов.

В отличие от известных технологий [1], интегрированная система доставки грузов (ИСДГ) включает АТП, несколько центральных баз, периферийные пункты погрузки и разгрузки, соединенные между собой маятниковыми, кольцевыми и радиальными ветвями, перевозка грузов по которым может осуществляться по маршрутам разных типов: развозочным, сборным и развозочно-сборным при помашинной и партионной отправке (рис. 1).

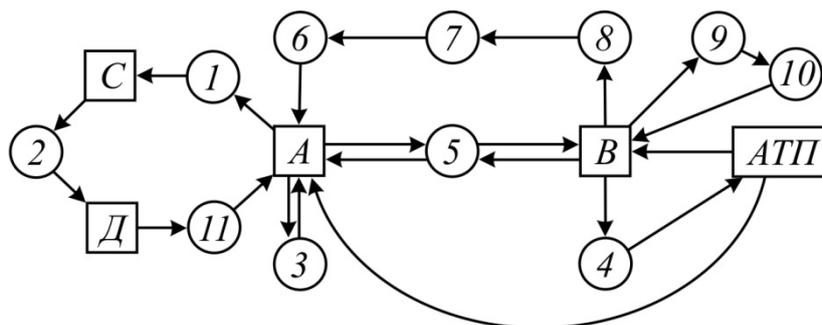


Рисунок 1 - Интегрированная система доставки грузов

Возможны следующие варианты схем движения: А-1-С, С-2-Д, Д-11-А, В-4-АТП, В-5-А, А-5-В – радиальные с помашинной доставкой; А-3-А – маятниковая с помашинной доставкой; В-9-10-В – кольцевая с партионной доставкой; В-8-7-6-А – радиальная с партионной доставкой; А-АТП и В-А – радиальные между базами и АТП. При этом маршруты могут быть разных типов.

Формулировка задачи заключается в следующем. Известна транспортная сеть с дислокацией АТП, центральных баз и периферийных пунктов, а также объем груза, который требуется разгрузить или загрузить, грузоподъемность транспортных средств, скорость движения, временные параметры технологического процесса перевозки и время в наряде каждого автомобиля. Требуется рассчитать показатели для ИСДГ за смену.

Справедливы следующие гипотезы:

- решена задача маршрутизации при партионной и помашинной доставке грузов [2];
- решена задача поиска наименьшего количества автомобилей в системе;
- транспортная работа имеет дискретный характер;
- погрузка и разгрузка грузов осуществляется без очередей;
- объем перевозимого груза на маршруте не превышает грузоподъемности автомобиля;
- объемы погруженного и разгруженного груза равны;
- суммарный объем перевозимого груза не превышает пропускной способности центральных баз;
- время автомобиля в наряде не превышает время работы в системе.

Расчет показателей функционирования ИСДГ производим методом прямого счета от одного автомобиля и маршрута к системе в целом, позволяющих находить их по общей методике независимо от типа маршрутов [3].

Для  $i$ -го автомобиля длину  $j$ -ого маршрута находим по формуле:

$$L_{ij} = \sum_1^{\Gamma} \ell_{ij}^{ze} + L_{ij}^x + L_{ij}^o, \quad (1)$$

где  $\ell_{ij}^{ze}$  – длина грузового звена;

$\Gamma$  – количество грузовых звеньев;

$L_{ij}^o$  – нулевой пробег.

В формуле (1) холостой пробег складывается из:

$$L_{ij}^x = \sum_1^v \ell_{ij}^x + \ell_{ij}^{nep}, \quad (2)$$

где  $\ell_{ij}^x$  – длина холостого звена;

$v$  – количество холостых звеньев;

$\ell_{ij}^{nep}$  – длина ветви при переезде на другую центральную базу.

При определении величины  $\ell_{ij}^{nep}$  возможны два варианта. В первом случае автомобиль движется с конечного пункта разгрузки на другую базу погрузки. Во втором варианте, например при развозочно-сборном маршруте, пунктом разгрузки может выступать сама исходная база. При обслуживании клиентов с одной базы, когда имеет место комбинированная система перевозки грузов,  $\ell_{ij}^{nep} = 0$  [3]. Таким образом,  $\ell_{ij}^{nep}$  представляет разновидность холостого пробега.

Время на маршруте определяется по выражению:

$$t_{ij} = t_{ij}^{\partial\theta} + t_{ij}^{np}. \quad (3)$$

В формуле (3) время движения равно:

$$t_{ij}^{\partial\theta} = \frac{L_{ij}}{V_T}, \quad (4)$$

где  $V_T$  – техническая скорость.

Время простоя в выражении (3) есть

$$t_{ij}^{np} = \sum_1^{\Pi} t_{ij}^{noz} + \sum_1^k t_{ij}^{paz} + \sum_1^{\Pi} t_{ij}^{3.noz} + \sum_1^k t_{ij}^{3.paz}, \quad (5)$$

где  $t_{ij}^{noz}$  – время погрузки груза;

$t_{ij}^{paz}$  – время разгрузки груза;

$t_{ij}^{3.noz}$  – время заезда на пункт разгрузки;

$t_{ij}^{3.paz}$  – время заезда на пункт погрузки;

$K$  – количество пунктов разгрузки;

$\Pi$  – количество пунктов погрузки.

Масса груза:

$$Q_{ij} = \sum_{\xi=1}^{\Pi} q_{ij\xi}^{noz} = \sum_{\varphi=1}^P q_{ij\varphi}^{paz}, \quad (6)$$

где  $q_{ij\xi}^{noz}$  – масса груза, погруженная в автомобиль в  $\xi$  пункте;

$q_{ij\varphi}^{paz}$  – масса груза, разгруженного из автомобиля в  $\varphi$  пункте.

Транспортная работа:

$$P_{ij}^{mp} = \sum_{\eta=1}^{\Gamma} \left( M_{j\eta} \cdot \ell_{ij}^{re} \right), \quad (7)$$

где  $M_{j\eta}$  – масса груза в транспортном средстве на  $\eta$ -ом  $\eta$ -ом грузовом звене, которая находится по формуле:

$$M_{ij} = Q_{ij\eta}^{noz} - Q_{ij\eta}^{paz}. \quad (8)$$

В формуле (8) масса груза, погруженного в автомобиль до  $\eta$ -ого грузового звена:

$$Q_{ij\eta}^{noz} = \sum_{\omega=1}^{\omega} q_{ij\eta}^{noz} = q_1^{noz} + q_2^{noz} + \dots + q_{\eta}^{noz}, \quad (9)$$

где  $\omega$  – количество пунктов погрузки до рассматриваемого  $\eta$ -ого грузового звена;

$q_{\eta}^{noz}$  – масса груза, загруженного в автомобиль в  $\eta$ -ом пункте.

Масса груза, разгруженного из транспортного средства до  $\eta$ -ого грузового звена в выражении (8):

$$Q_{ij\eta}^{paz} = \sum_{\eta=1}^{\xi} q_{ij\eta}^{paz} = q_1^{paz} + q_2^{paz} + \dots + q_{\eta}^{paz}, \quad (10)$$

где  $\xi$  – количество пунктов разгрузки до рассматриваемого  $\eta$ -ого грузового звена;

$q_{\eta}^{paz}$  – масса груза, которую требуется доставить потребителю в  $\eta$ -ый пункт разгрузки.

Работу, затрачиваемую на передвижение автомобиля без груза, определяем по формуле:

$$P_{ij}^{avt} = G_{ij} \cdot L_{ij}, \quad (11)$$

где  $G_{ij}$  – снаряженная масса автомобиля.

Общая работа на перемещение груза и автомобиля равна:

$$P_{ij} = P_{ij}^{mp} + P_{ij}^{avt}. \quad (12)$$

Показатели для  $i$ -го транспортного средства в системе за смену находим, путем суммирования их по всем маршрутам.

Переходим к оценке эффективности организации перевозочного процесса для  $i$ -го автомобиля. В настоящее время основными показателями функционирования автотранспортных средств является выработка в тоннах или тонно-километрах. Это является основным противоречием классической методики и, следовательно, эти показатели не могут объективно отражать эффективность организации перевозок на маршруте [4]. Поэтому необходимо разработать новый критерий эффективности организации маршрутов передвижения.

Приведём выражение (13) к виду:

$$\frac{P}{P^{авт}} = 1 + \frac{P^{мп}}{P^{авт}}. \quad (13)$$

Таким образом, чем больше транспортной работы приходится на единицу работы автомобиля, тем процесс перевозки будет происходить эффективнее. Для характеристики величины этого отношения в формуле (13) предлагается использовать коэффициент относительной транспортной работы:

$$K^{мп} = \frac{P^{мп}}{P^{авт}}. \quad (14)$$

Формулу (14) преобразуем к виду:

$$K^{мп} = K^Q \gamma \beta, \quad (15)$$

где  $\beta$  – коэффициент использования пробега;

$\gamma$  – динамический коэффициент использования грузоподъемности [1];

$K^Q$  – коэффициент удельной грузоподъемности, равный:

$$K^Q = Q_a / G_{сн}, \quad (16)$$

где  $Q_a$  – грузоподъемность;

$G_{сн}$  – снаряженная масса автомобиля.

Предлагаемый коэффициент  $K^{мп}$  является удобной безразмерной величиной, так как не зависит от скорости, времени и длины маршрута. Отметим, что наибольшее его значения достигается на маятниковом маршруте с обратным груженым пробегом при  $\gamma \beta = 1$ :

$$K^{мп} = K^Q. \quad (17)$$

Выражение (17) подтверждает правильность выбранного подхода. С увеличением коэффициента удельной грузоподъемности эффективность перевозки возрастает. Данное обстоятельство подтверждается практикой, так как целесообразно перевозить наибольшее количество груза на автомобиле меньшей массы.

Таким образом, разработана единая методика расчета, позволяющая определять показатели перевозки грузов по различным типам маршрутов при партионной и помашинной его отправки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вельможин, А. В. Технология, организация и управление грузовыми автомобильными перевозками [Текст]: учебник для вузов / А. В. Вельможин, В. А. Гудков, Л. Б. Миротин. - Волг.гос. тех. ун-т. – Волгоград. - 1999. – 296 с.
2. Подшивалова, К. С. Проектирование рациональной схемы движения грузопотоков в интегрированной системе доставки грузов [Текст] / К. С. Подшивалова, С. Ф. Подшивалов, Ю. В. Родионов // Автотранспортное предприятие, 2013. - №3. - С. 51-56.

3. Николин, В. И. Грузовые автомобильные перевозки [Текст] / В. И. Николин, Е. Е. Витвицкий, С. М. Мочалин. – Омск: Изд. «Вариант-Сибирь», 2004. - 480 с.
4. Подшивалова, К. С. Повышение эффективности перевозок мелкопартионных грузов автомобильным транспортом [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук / К. С. Подшивалова. – Волгоград, 2007. - с.16.

**Подшивалова Кристина Сергеевна**

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»  
Адрес: 440028, Россия, г. Пенза, ул. Титова, 28  
Канд. техн. наук, доцент кафедры «Организация и безопасность движения»  
E-mail: sharm-08@bk.ru

**Подшивалов Сергей Федорович**

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»  
Адрес: 440028, Россия, г. Пенза, ул. Титова, 28  
Канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительная механика»  
E-mail: podshivalov.s.f@mail.ru

**Герасимова Ирина Сергеевна**

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»  
Адрес: 440028, Россия, г. Пенза, ул. Титова, 28  
Студентка гр. ОБД-41  
E-mail: dekauto@pguas.ru

---

K. S. PODSHIVALOVA, S. F. PODSHIVALOV, I. S. GERASIMOVA

**PARAMETERS FOR THE FUNCTIONING OF THE SYSTEM  
INTEGRATED FREIGHT**

*A model describing the process of functioning of the integrated system of cargo delivery, taking into account the discrete nature of the transport operation. It provides basic performance indicators.*

**Keywords:** model, transportation, cargo, efficiency.

**BIBLIOGRAPHY**

1. Vel'mozhin, A. V. Tekhnologiya, organizatsiya i upravlenie gruzovymi avtomobil'nymi perevozkami [Текст]: uchebnik dlya vuzov / A. V. Vel'mozhin, V. A. Gudkov, L. B. Mirotin. - Volg.gos. tekhn. un-t. - Volgograd. - 1999. - 296 s.
2. Podshivalova, K. S. Proektirovanie ratsional'noy skhemy dvizheniya gruzopotokov v integrirovannoy sisteme dostavki gruzov [Текст] / K. S. Podshivalova, S. F. Podshivalov, YU. V. Rodionov // Avtotransportnoe predpriyatie, 2013. - №3. - S. 51-56.
3. Nikolin, V. I. Gruzovye avtomobil'nye perevozki [Текст] / V. I. Nikolin, E. E. Vitvitskiy, S. M. Mochalin. - Омск: Изд. "Variant-Sibir", 2004. - 480 с.
4. Podshivalova, K. S. Povyshenie effektivnosti perevozk melkopartiionnykh gruzov avtomobil'nyim transportom [Текст]: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk / K. S. Podshivalova. - Volgograd, 2007. - s.16.

**Podshivalova Christina Sergeevna**

FGBOU VPO "Penza State University of Architecture and Construction"  
Address: 440028, Russia, Penza city, Titova, 28  
Candidate . tehn. , assistant professor of "Organization and safety"  
E-mail: sharm-08@bk.ru

**Podshivalov Sergey Fedorovich**

FGBOU VPO "Penza State University of Architecture and Construction"  
Address: 440028, Russia, Penza city, Titova, 28  
Candidate . tehn. , assistant professor of "Structural Mechanics"  
E-mail: podshivalov.s.f@mail.ru

**Gerasimova Irina Sergeevna**

FGBOU VPO "Penza State University of Architecture and Construction"  
Address: 440028, Russia, Penza city, Titova, 28  
Student gr. HBS -41  
E-mail: dekauto@pguas.ru

## ПРИМЕНЕНИЕ РАЗРАБОТАННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПОИСКА ЭФФЕКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ДОСТАВКЕ СВЕКЛЫ НА ЗАВОДЫ

*Рассмотрены особенности построения имитационной модели на основе системы GPSS World; приведены примеры результатов моделирования; представлены возможности проведения эксперимента на модели для поиска оптимальных решений.*

**Ключевые слова:** модель, имитационное моделирование, автомобильный транспорт, система массового обслуживания, GPSS, оптимизация.

В результате проведенных исследований была составлена концептуальная модель процессов уборки и транспортировки корнеплодов на свеклоприемный пункт. После составления модели необходимо перейти к ее реализации с помощью выбранных средств, а именно системы GPSS World. Для тех, кто не знаком с системой имитационного моделирования GPSS, скажем, что программирование здесь имеет существенные отличия от знакомого большинству процедурного программирования. Однако именно такие системы как GPSS позволяют проводить моделирование протекания процессов в системах с ярко выраженной стохастической компонентой.

Языком моделирования в ней является язык GPSS, улучшенный встроенным языком программирования низкого уровня PLUS. Язык GPSS построен в предположении, что модель сложной системы можно представить совокупностью элементов и логических правил их взаимодействия в процессе функционирования моделируемой системы. При исследовании реализована блочно-ориентированная концепция структуризации моделируемого процесса, разработанная с ориентацией на описание систем массового обслуживания (СМО). Протекание моделируемого процесса соответствует потоку заявок (рис. 1), проходящего через обслуживающие устройства (ОУ), очереди, ключи и другие элементы СМО. Заявки (транзакты) конкурируют между собой за место в ОУ, образуют очереди перед ОУ, если они заняты. Дуги на блок-схеме – потенциальные потоки заявок между ОУ. Существуют истоки и стоки этих заявок. В этом случае блок-схема модели описывает маршруты движения заявок в системе.



Рисунок 1 - Структура элементарной СМО

Динамическим элементом модели в GPSS является транзакт – абстрактный объект, соответствующий заявкам, который перемещается между статическими элементами, воспроизводя различные события реального моделируемого объекта. В процессе работы модели накапливается статистика, автоматически выводимая по завершении процесса моделирования. Статические элементы модели – это источники транзактов, устройства, очереди и другие. Их расположение в модели определяется блоками. Обслуженная заявка (транзакт) покидает устройство обслуживания и покидает систему (поглотитель заявок), либо движется дальше в соответствии с логикой работы системы.

Реальный и, как правило, сложный процесс функционирования СМО, моделируемый в GPSS, следует представлять в виде последовательности фаз обслуживания, выполняемых

различными устройствами (рис. 2). Причем эти многофазные системы могут иметь сложную структуру (сеть блоков).

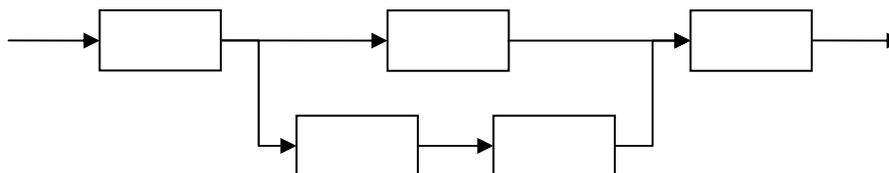


Рисунок 2 - Сеть массового обслуживания

Таким образом, модель GPSS состоит из сети блоков, представляющих необходимые действия или задержки транзактов, которые последовательно проходят через блоки. Транзакты перемещаются в системном времени и пространстве, переходя от одного блока модели к другому и воздействуя на них. Транзакты возникают и уничтожаются, могут расщепляться и сливаться. Входя в блок, транзакт вызывает определяемую этим блоком подпрограмму, которая обрабатывает соответствующее событие. Далее транзакт пытается войти в следующий блок.

Необходимо напомнить, что в качестве заявки (в терминах GPSS World – транзакта) в модели было принята обработка 1 т свеклы.

Для иллюстрации здесь приведен фрагмент исходного текста программы на языке GPSS, соответствующий уборке свеклы одним комбайном (рисунок).

```

GENERATE 0.9,0.1 ; Скорость сбора, т/мин
GATE SV Kombain,Uda ; Проверка готовности комбайна к сбору
ENTER Kombain ; Сбор
GATE SF Kombain ; Задержка до заполнения бункера
SUNAVAIL Kombain ; Комбайн переходит к разгрузке
; (не доступен для сбора)
ADVANCE 5,0.5 ; Подготовка к выгрузке
SEIZE Razgr ;
ADVANCE 0.15,0.05 ; Темп выгрузки из комбайна, мин/т
RELEASE Razgr ;
LEAVE Kombain ;
ENTER Burt ; Наполнение бурта
SAVEVALUE Sbor+,1 ; Объем сбора, т
GATE SE Kombain,PrPogr ; Проверка выгрузки бункера
ADVANCE 4,0.5 ; Подготовка к сбору
SAVAIL Kombain ; Переход комбайна к состоянию готовности
  
```

Рисунок 3 - Фрагмент листинга программы

При этом в системе GPSS имеется возможность не только получать итоговые обобщенные результаты моделирования, но и организовать их текущее отображение (рисунок, 5рисунок). На представленных рисунках хорошо видно, как проявляются случайные процессы в моделируемой системе.

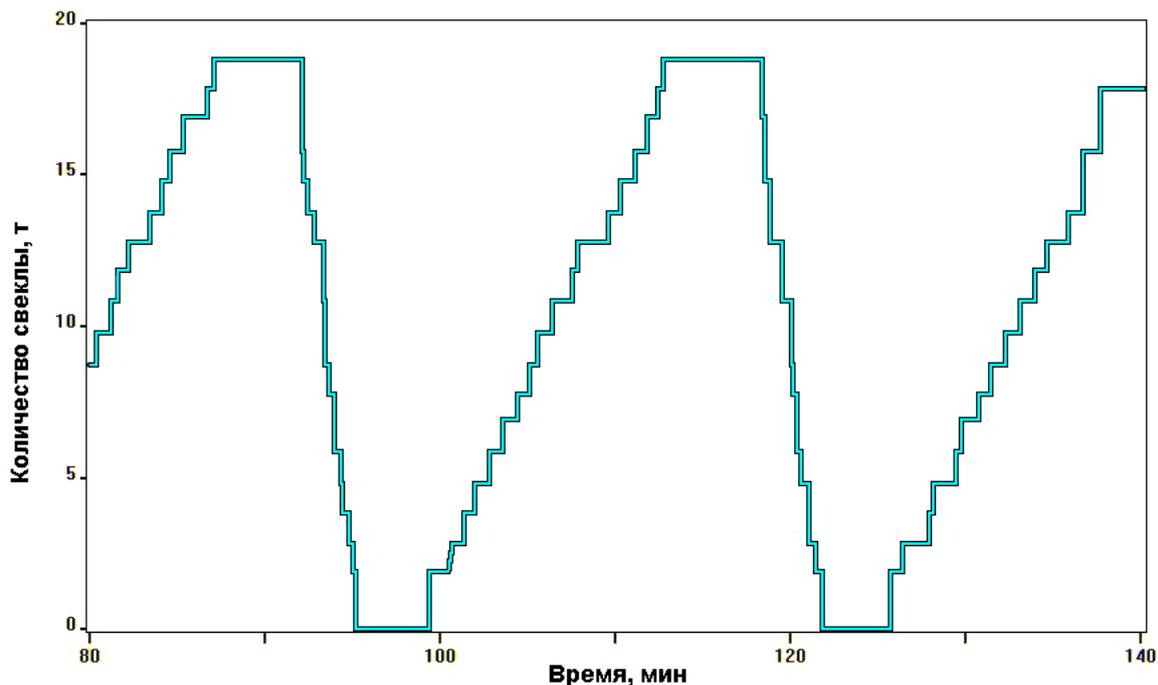


Рисунок 4 - Имитация процесса заполнения и выгрузки бункера комбайна (фрагмент)

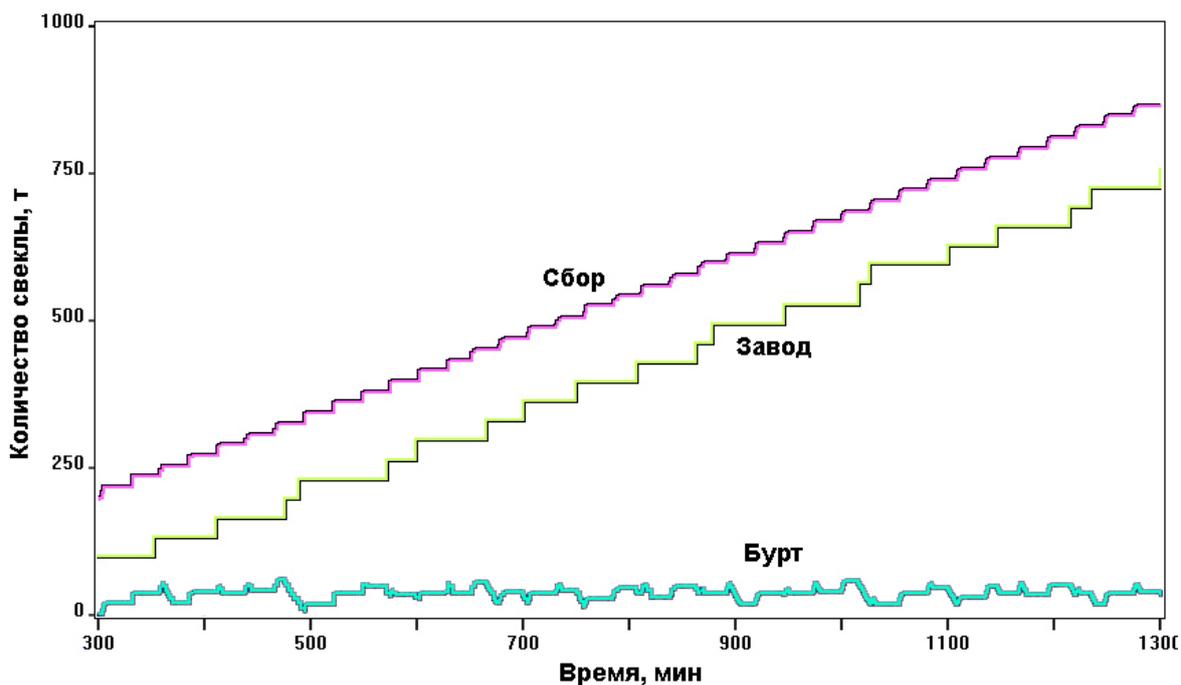


Рисунок 5 - Имитация процесса сбора свеклы (один комбайн и один погрузчик) и перевозки ее тремя автомобилями (фрагмент)

После проработки модельного представления технологических особенностей уборки и перевозки свеклы встает вопрос о выходных показателях модели и об их оптимизации. Наиболее просто было улучшать работу рассматриваемой системы с точки зрения затрат времени на выполнение всей работы. Однако такой подход имеет существенные недостатки. Он предполагает увеличение количества технических средств каждого наименования в рассматриваемой системе и соответственно непропорциональное повышение затрат в сторону увеличения. С другой стороны стремление уменьшить количество технических средств каждого наименования увеличивает сроки уборки. Это в свою очередь приводит к потерям при долгом нахождении свеклы в земле и в бурте. Фактически это снижает имеющуюся урожайность.

Еще одним выходным показателем функционирования исследуемой системы является расход топлива в натуральном выражении. Изменение расхода топлива связано не только с уменьшением количества технических средств, но с учетом их технических характеристик. При учете расхода топлива удается учесть также и негативное экологическое воздействие.

Рассмотренные выходные технико-эксплуатационные показатели функционирования системы не могут обязательно дать хорошую оценку оптимизации. Наиболее разумно свести все выходные показатели в одну целевую функцию, связанную с учетом затрат. Тем более, как известно из экономики, стоимость – это то, что сводит разнородные объекты и процессы воедино, приводит все к общему знаменателю.

На основе системного подхода разработана комплексная целевая функция, которая в целом выглядит следующим образом:

$$C = C_{уб} + C_{пог} + C_{тр} + C_{эк} + C_{пот},$$

где  $C_{уб}$  – затраты, связанные с работой комбайнов по сбору свеклы и выгрузкой ее в бурт;

$C_{пог}$  – затраты, связанные с работой погрузчика;

$C_{тр}$  – затраты на транспортирование свеклы на свеклоприемный пункт;

$C_{эк}$  – стоимость экологического вреда, наносимого при функционировании рассматриваемой системы;

$C_{пот}$  – стоимость потерь урожая свеклы.

В частности затраты на транспортировку свеклы автомобилями определяются традиционными способами с учетом всех основных статей затрат, таких как топливо, зарплата водителей, амортизация и пр. Все остальные затраты также детально проработаны с учетом множества их особенностей.

При моделировании необходимо иметь в виду, что у модели имеется множество входных параметров, часть из которых является управляемыми, т.е. могут быть изменены при организации процессов функционирования. Среди них важнейшими являются количество и производительность комбайнов, погрузчиков и автотранспортных средств. Эти количества должны быть согласованными между собой, чтобы не происходило разбалансирования реализации процессов на разных этапах функционирования системы.

Таким образом, была получена имитационная модель функционирования рассматриваемой уборочно-транспортной системы, в которой учтено большое число ее особенностей. В модели имеются учитываемые входные параметры (например, размер поля) и управляемые параметры (факторы). На основе изменения управляемых параметров и соответствующего прогона модели можно получить различные значения целевой функции. После этого можно выбрать наиболее экономически эффективный вариант организации работ в рассматриваемой системе, а по сути – лучшую ее структуру.

Не факт, что среди рассмотренных вариантов будет самый лучший (оптимальный), поскольку найти его вручную или интуитивно практически невозможно для такой сложной задачи. Кроме того, не известно точно насколько адекватна построена модель и какова степень соответствия получаемых результатов действительности. Поэтому заключительным этапом имитационного моделирования является эксперимент, проводимый над моделью. Проведение экспериментов позволяет исследовать особенности построенной модели.

Эксперимент на модели содержит несколько реализаций и предполагает оценивание по данным совокупности (выборки). Ясно, что (по закону больших чисел), чем больше число реализаций, тем получаемые оценки все больше приобретают статистическую устойчивость.

Итак, в случае со стохастической системой необходимо осуществлять сбор и оценивание статистических данных на выходе имитационной модели, для этого проводить серию прогонов и статистическую обработку результатов моделирования.

В результате экспериментирования с моделью можно получить большое количество выходных данных, которые должны быть структурированы и интерпретированы так, чтобы их можно было использовать для принятия решений по результатам моделирования. Для правильной интерпретации полученных от модели выходных данных необходимо организовать эксперименты с моделью. Организация эксперимента – это разработка плана проведения экспериментов, который дает возможность при минимальных затратах сделать статистически значимые выводы или найти наилучшее решение. Научной основой для экспериментирования является известная теория планирования эксперимента.

Еще одним достоинством выбранной системы моделирования GPSS World являются встроенные средства экспериментирования на основе вышеназванной теории. GPSS обеспечивает проведение таких экспериментов, как:

- отсеивающий эксперимент или скрининг-эксперимент – используются для определения наиболее важных факторов и их взаимодействий, влияющих на моделируемую систему (дисперсионный анализ);

- оптимизирующий эксперимент – позволяют определить оптимальные уровни факторов (регрессионный анализ).

Автоматические генераторы экспериментов позволяют задать и провести эксперимент соответствующего типа. С их помощью, заполняя поля диалоговых окон, можно быстро задать условия проведения эксперимента. Это и было выполнено в проводимом исследовании. В результате проведенного скрининг-эксперимента (рисунок ) с помощью встроенной процедуры ANOVA выявлена значимость всех факторов и их первых взаимодействий. Тем самым доказана адекватность построенной модели и возможность ее использования для последующей оптимизации.

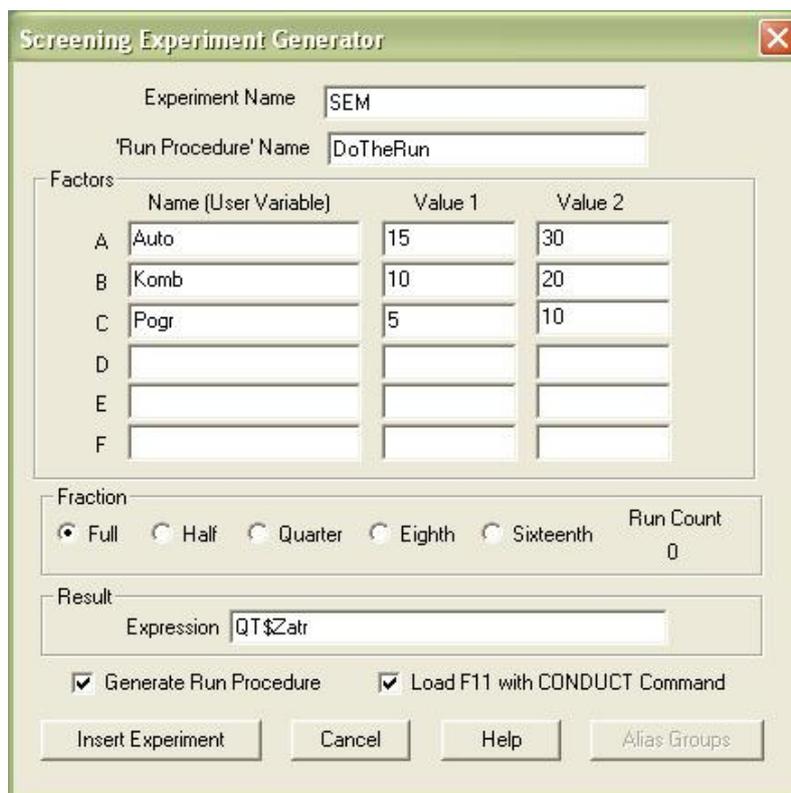


Рисунок 6 - Организация скрининг-эксперимента

Второй вид факторного эксперимента использовался для определения экстремальных значений на поверхности отклика. В этом случае серия факторных экспериментов планируется так, чтобы достичь экстремума (в нашем случае – минимума затрат) на поверхности отклика. Он основывается на регрессионном анализе.

Оптимизирующий эксперимент учитывал следующие особенности функционирования системы:

- расстояние от места погрузки сахарной свеклы до места разгрузки на сахарном заводе равно 12 км, из них 3 км грунтовой дороги. Учитывая скорость движения загруженного ТС по грунтовой дороге  $V_r = 15$  км/ч, по дороге с асфальтобетонным покрытием  $V_r = 25$  км/ч, при расчете времени холостой езды  $T_x$ , рабочая скорость  $V_x$  выше  $V_r$  на 10...15%. Принимаем  $v_x = 17$  км/ч по грунтовой дороге и  $v_x = 29$  км/ч по дороге с асфальтобетонным покрытием для всех автомобилей;

- время разгрузки  $T_{раз}$  сахарной свеклы на заводе для выбранных транспортных средств примерно одинаковое и составит 12 мин, время загрузки  $T_{зар}$  определяется с учетом технических параметров свеклопогрузчика ROPA и хронометражных наблюдений;

- затраты времени  $T_{сер}$  на сервисное и бытовое обслуживание ТС для всех ТС можно принять одинаковыми;

- потребное количество свеклопогрузчиков – 3 ед.;

- производительность свеклопогрузчика ROPA  $\Pi_{тех} = 350$  т/ч. Учитывая коэффициент внутрисменного использования машин  $K_b = 0,7$ , производительность эксплуатационная  $\Pi_{э,ч} = 245$  т/ч.

Наиболее эффективными транспортными средствами, используемыми для перевозки сахарной свеклы в данных условиях, являются SCANIA P380 грузоподъемностью 47 т (с прицепом), КамАЗ-6520-60 грузоподъемностью 33,75 т (с прицепом).

Таблица 1 - Технологический цикл транспортирования свеклы

Марка авто	Затраты времени (ч) на выполнение операций							Число ездов в сутки (Z)
	холостой езды ( $T_x$ )	ожидание загрузки ( $T_{ож}$ )	погрузка ( $T_p$ )	езды с грузом ( $T_r$ )	разгрузки ( $T_{раз}$ )	сервисного и бытового обслуживания ( $T_{серв}$ )	езды всего ( $T_{езд}$ )	
SCANIA	0,49	0,12	0,2	0,56	0,2	0,5	2,07	11
КамАЗ	0,49	0,11	0,15	0,56	0,2	0,5	2,01	11

Таблица 2 - Расчет суточной производительности ТС

Марка автомобиля	Объем перевозок, $V_c$ , т в сутки	Потребное кол-во а/м, n, ед.	Суточная выработка, т
SCANIA	517	19	9823
КамАЗ	371	27	10017

Разработанная модель позволяет решать и частные задачи. Например, при заданном количестве комбайнов и имеющихся условиях уборки свеклы (урожайность, площади и пр.) можно определить потребное оптимальное количество погрузчиков и автомобилей заданной грузоподъемности (рис. 7).

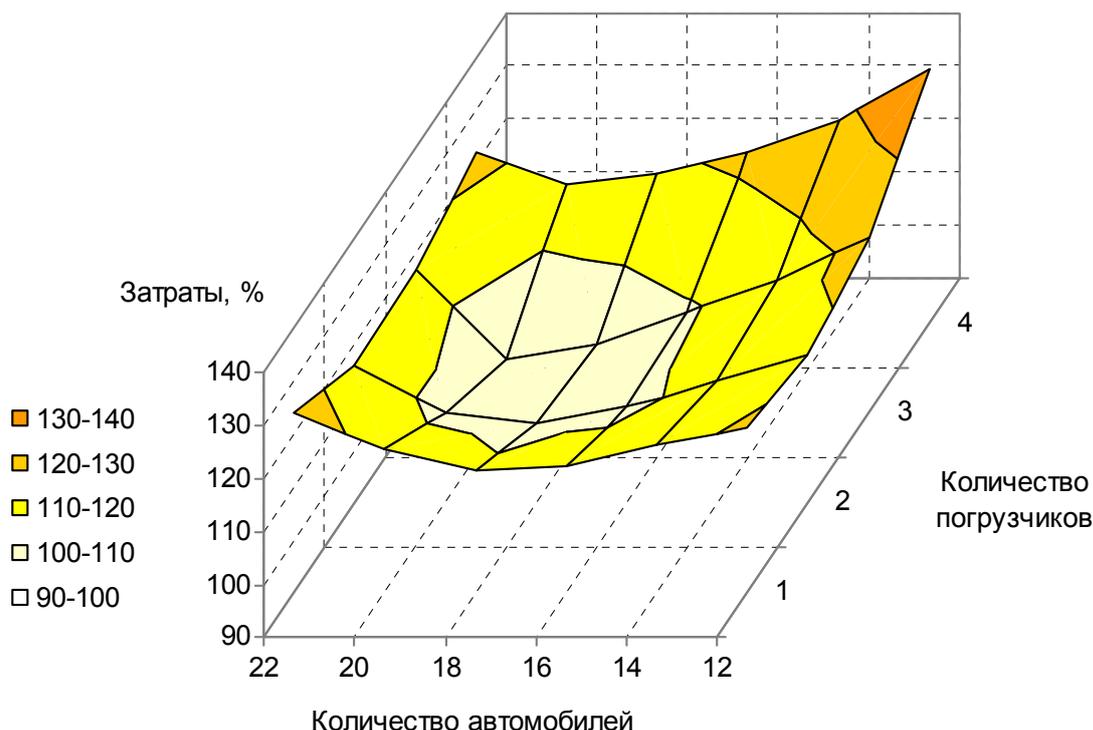


Рисунок 7 - График поверхности целевой функции при оптимизирующем эксперименте

В результате проведенных работ исследованы особенности протекания производственных процессов уборки и транспортировки корнеплодов на свеклоприемный пункт, разработана имитационная модель и методика ее применения для нахождения оптимальных организационных решений при функционировании рассматриваемой уборочно-транспортной системы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корчагин, В. А. Научные основы эксперимента на транспорте [Текст]: учеб. пособие / В. А. Корчагин, И. В. Жилин – Изд-во ЛГТУ, Липецк, 2003. - 176 с.
2. Корчагин, В. А. Случайные процессы на транспорте [Текст]: учеб. пособие / В. А. Корчагин, В. И. Сорокин, И. В. Жилин, П. Г. Коваленко. - Издательство ЛГТУ, Липецк, 1999. - 192 с.
3. Кудрявцев, Е. М. K88 GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем [Текст] / Е. М. Кудрявцев. – М.: ДМК Пресс, 2004. - 320 с.
4. Рыжиков, Ю. И. Имитационное моделирование. Теория и технологии [Текст]. - СПб.: КОРОНА принт; М.: Альтекс-А, 2004. - 384 с.
5. GPSS World. URL: <http://www.minutemansoftware.com/> (Дата обращения: 21.03.2013).
6. Корчагин, В. А. Моделирование процессов уборки и транспортировки корнеплодов на свеклоприемный пункт [Текст] / В. А. Корчагин, И. В. Жилин, О. П. Киселева // Мир транспорта и технологических машин. – 2013. - № 3(42). – с.82-89.

### Корчагин Виктор Алексеевич

ФГБОУ ВПО "Липецкий государственный технический университет"

Адрес: Россия, 398600, г. Липецк, ул. Московская, д. 30

Д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой управления автотранспорта

E-mail: kaf-uat@stu.lipetsk.ru.

### Жилин Игорь Викторович

ФГБОУ ВПО "Липецкий государственный технический университет"

Адрес: Россия, 398600, г. Липецк, ул. Московская, д. 30

Канд. техн. наук, доцент кафедры управления автотранспорта

E-mail: zhilininiv@ya.ru.

**Киселёва Ольга Павловна**

ФГБОУ ВПО "Липецкий государственный технический университет"

Адрес: Россия, 398600, г. Липецк, ул. Московская, д. 30

Аспирант кафедры управления автотранспорта

E-mail: kaf-uat@stu.lipetsk.ru.

V. A. KORCHAGIN, I. V. ZHILIN, O. P. KISELEVA

## MODELING OF THE PROCESSES OF HARVEST AND TRANSPORT THE ROOTS TO THE FIRM OF SUGAR BEET PROCESSING

*Considered are the peculiarities of construction of simulation models based on a system of GPSS World; the paper contains examples of simulation results; features of conduction of the experiment on the model for the search of optimal solutions.*

**Keywords:** model, simulation, road transport, system of mass service, GPSS, optimization.

### BIBLIOGRAPHY

1. Korchagin, V. A. Nauchnye osnovy eksperimenta na transporte [Tekst]: ucheb. posobie / V. A. Korchagin, I. V. Zhilin - Izd-vo LGTU, Lipetsk, 2003. - 176 s.
2. Korchagin, V. A. Sluchaynye protsessy na transporte [Tekst]: ucheb. posobie / V. A. Korchagin, V. I. Sorokin, I. V. Zhilin, P. G. Kovalenko. - Izdatel'stvo LGTU, Lipetsk, 1999. - 192 s.
3. Kudryavtsev, E. M. K88 GPSS World. Osnovy imitatsionnogo modelirovaniya razlichnykh sistem [Tekst] / E. M. Kudryavtsev. - M.: DMK Press, 2004. - 320 s.
4. Ryzhikov, YU. I. Imitatsionnoe modelirovanie. Teoriya i tekhnologii [Tekst]. - SPb.: KORONA print; M.: Al'teks-A, 2004. - 384 s.
5. GPSS World. URL: <http://www.minutemansoftware.com/> (Data obrashcheniya: 21.03.2013).
6. Korchagin, V. A. Modelirovanie protsessov uborki i transportirovki korneplodov na sveklopri-emnyy punkt [Tekst] / V. A. Korchagin, I. V. Zhilin, O. P. Kiseleva // Mir transporta i tekhnologicheskikh ma-shin. - 2013. - № 3(42). - s.82-89.

#### **Korchagin Victor Alekseevich**

FGBOU VPO "Lipetsk state technical University"

Adress: Rossia, 398600, Lipetsk, ul. Moscovskaya, bld. 30

Doctor of technical Sciences, Professor, head of the Department of management of road transport

E-mail: kaf-uat@stu.lipetsk.ru

#### **Zhilin Igor Victorovich**

FGBOU VPO "Lipetsk state technical University"

Adress: Rossia, 398600, Lipetsk, ul. Moscovskaya, bld. 30

Cand. Tech. Sci., доцент of the Department of management of road transport

E-mail: zhilniv@ya.ru

#### **Kiseleva Olga Pavlovna**

FGBOU VPO "Lipetsk state technical University"

Adress: Rossia, 398600, Lipetsk, ul. Moscovskaya, bld. 30

Post-graduate student of the Department of management of road transport

E-mail: kaf-uat@stu.lipetsk.ru

УДК 656.13

И. Е. ИЛЬИНА, М. Г. БОГАТКИНА, С. А. ЕВСТРАТОВА

## **ИССЛЕДОВАНИЯ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ КАНДИДАТОВ В ВОДИТЕЛИ НА ТРЕНАЖЕРЕ ТА-2**

*Использование психофизиологических тренажеров при обучении водителей позволяет тренировать избирательность и концентрацию внимания, память на образы и символы, ассоциативные процессы, распределение внимания, повышение эмоциональной устойчивости и большое количество других показателей. Проведенные исследования показали, что результаты существенно различаются при тестировании женщин и мужчин, имеющих стаж вождения и только проходящих подготовку.*

**Ключевые слова:** Обучение, вождение, тренажер, водитель, автомобиль, дорога, автошкола

Водитель является оператором системы «Водитель – автомобиль – дорога». Трудовые процессы в основном сводятся к операциям по приему и переработке оперативной информации, принятию решений, управляющих действий и контролю за их исполнением.

Основной объем информации водитель получает от непосредственного восприятия дорожной обстановки и участников дорожного движения, на втором месте – показаний приборов контроля. Водителю приходится выполнять большое число действий по управлению автомобилем, часть из которых оказывается ошибочной из-за дефицита времени на переработку информации.

Особенно большой дефицит времени возникает в опасных и неожиданных ситуациях. Сложность деятельности водителя состоит также в неопределенности, поступающей к нему информации. Он почти никогда не может точно предвидеть поведение других участников движения и развития дорожной обстановки. Таким образом, деятельность водителя протекает в условиях дефицита времени, утомления, информационной нагрузки и сознания возможной опасности и ответственности (психический стресс).

Успешное выполнение деятельности водителем требует определенного уровня развития психологических качеств.

В настоящее время соотношение мужчин водителей по сравнению с женщинами равно приблизительно четыре к одному. На сегодняшний день больше половины учащихся автошкол – женщины. Согласно наблюдениям инструкторов, мужчины водители гораздо хуже поддаются обучению. Уже на первом вождении они стараются показать свои знания и навыки, которые, зачастую не являются правильными.

Женщины-водители более послушны, аккуратны, но из-за более развитого инстинкта самосохранения, они испытывают страх и стараются всех пропустить, прижаться ближе к краю проезжей части, и в связи с этим создают помехи другим участникам дорожного движения. Женщина-водитель имеет свои особенности (в первую очередь – психологического характера) по сравнению с водителем – мужчиной.

В соответствии с статистическими данными женщины в среднем учатся водить автомобиль на 40 % дольше, чем мужчины. Около 46 % мужчин сдают экзамен на получение права управления транспортными средствами с первого раза. С другой стороны, женщины являются гораздо более законопослушными и аккуратными водителями. Они проявляют более высокую осмотрительность, чем мужчины, лучше них могут предчувствовать возникновение опасности на дороге, а также намного реже идут на любой риск, будь он оправданным или неоправданным.

Еще одна особенность женской психологии заключается в том, что женщины работают более стабильно, безопасно и надежно в то время, когда они находятся в безопасной ситуации. При наличии тех или иных отклонений от стандартных условий (возникновение непредвиденных обстоятельств, сложной дорожной обстановки и т. п.) стабильность и надежность их вождения заметно снижается, если вообще не сводится к нулю. Но в любом случае большинство проведенных независимых исследований однозначно свидетельствуют: если брать в целом, то женщины управляют автомобилем с меньшим риском и с меньшим количеством ошибок, нежели мужчины.

Применительно к вождению автомобиля можно сказать, что основное преимущество женщин в том, что по их вине непредвиденные, опасные и аварийные ситуации на дороге возникают намного реже, чем по вине мужчин. С другой стороны, мужчины намного эффективнее и изобретательнее умеют выходить из таких ситуаций.

Психологические особенности женщин и мужчин проявляются еще при обучении в автошколе. Как правило, женщины очень ответственно относятся к теоретическим занятиям. Они заучивают, чуть – ли не наизусть, Правила дорожного движения и устройство автомобиля. Впоследствии они водят машину ответственней, чем мужчины, хотя и не так виртуозно. Что касается мужчин, то они по своей психологии больше склонны к техническим вопросам и практическим занятиям, а значение теоретического материала (в частности – Правил дорожного движения) явно недооценивают.

У женщины значительно более широкое периферийное зрение по сравнению с мужчиной.

Как утверждает статистика, большинство аварий случается именно из-за того, что водители не видят опасности, которая находится как раз сбоку от их машины. Особенность женского зрения в том, что по сравнению с мужчинами среднестатистическая женщина – водитель значительно лучше умеет пользоваться боковыми зеркалами в машине. Способность наблюдать обстановку впереди и при этом следить за тем, что происходит сбоку, очень важна.

Мужчина способен очень четко и ясно видеть предметы, расположенные прямо перед собой, причем на значительно большем расстоянии. Исходя из вышесказанного, мужчина за рулем автомобиля скорее, чем женщина, заметит препятствие, находящееся впереди (сломавшуюся машину, аварийный участок дороги и т. д.).

Еще одна разница между мужским и женским зрением заключается в том, что у мужчин утомляемость глаз гораздо выше, поскольку его зрение приспособлено для смотрения вдаль. При необходимости же увидеть какой-то объект вблизи (зеркало бокового или заднего вида, движущиеся рядом машины, какие-то предметы в салоне автомобиля и т. д.) оно должно постоянно перефокусироваться. Поэтому у мужчины глаза во время вождения устают больше, чем у женщины.

### **Результаты тестирования**

На психофизиологическом тренажёре ГА-2, предназначенного для повышения уровня профессионально важных психофизиологических качеств водителей, было проведено тестирование группы кандидатов в водители по восьми методикам. В данной работе представлены результаты тестирования по 4 методикам: методика 1 «Тренировка избирательности и концентрация внимания», методика 2 «Тренировка ассоциативных процессов», методика 3 «Тренировка памяти на образы», методика 4 «Тренировка памяти на символы».

#### **Методика 1 «Тренировка избирательности и концентрация внимания»**

Задание заключается в нахождении в таблицах заранее заданного числа на определенном фоне. Для прохождения теста отводится определенное количество времени.

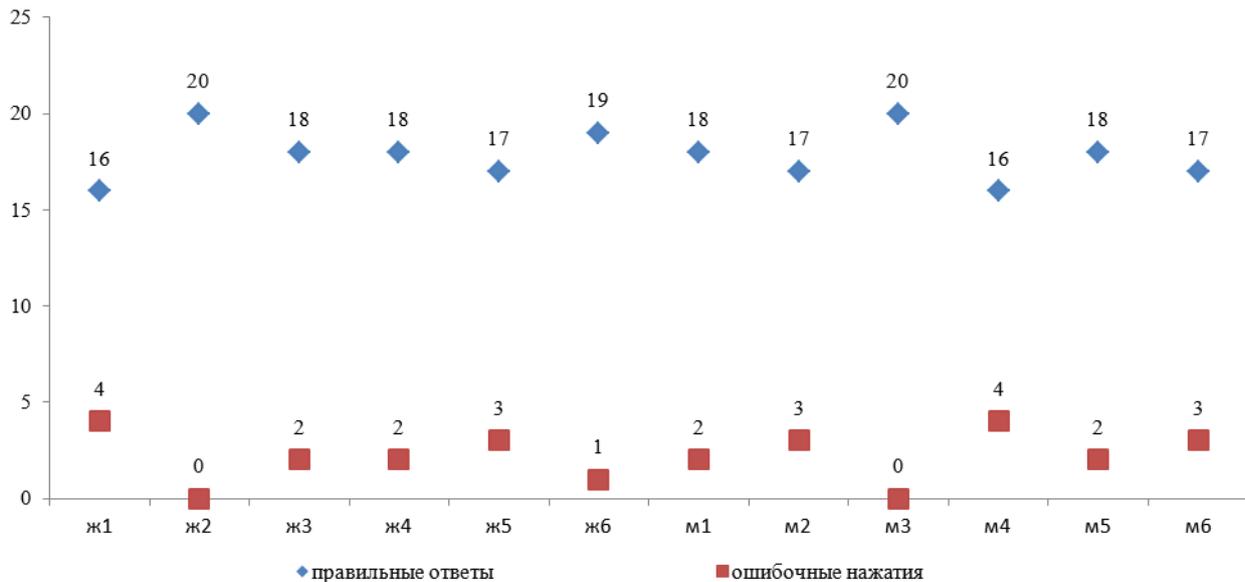


Рисунок 1 - Методика «Тренировка избирательности и концентрация внимания»

Результаты данного теста показывают, что избирательность и концентрация внимания не зависят от полового признака. В то же время наблюдается, что у кандидатов в водители довольно невысокий процент идеального результата (20 правильных ответов из 20-ти).

**Методика 2 «Тренировка ассоциативных процессов»**

Задание заключается в определении и удалении повторяющихся карт. Задание прекращается в случае выявления всех повторяющихся карт или в случае, если количество ошибок больше заданного значения.

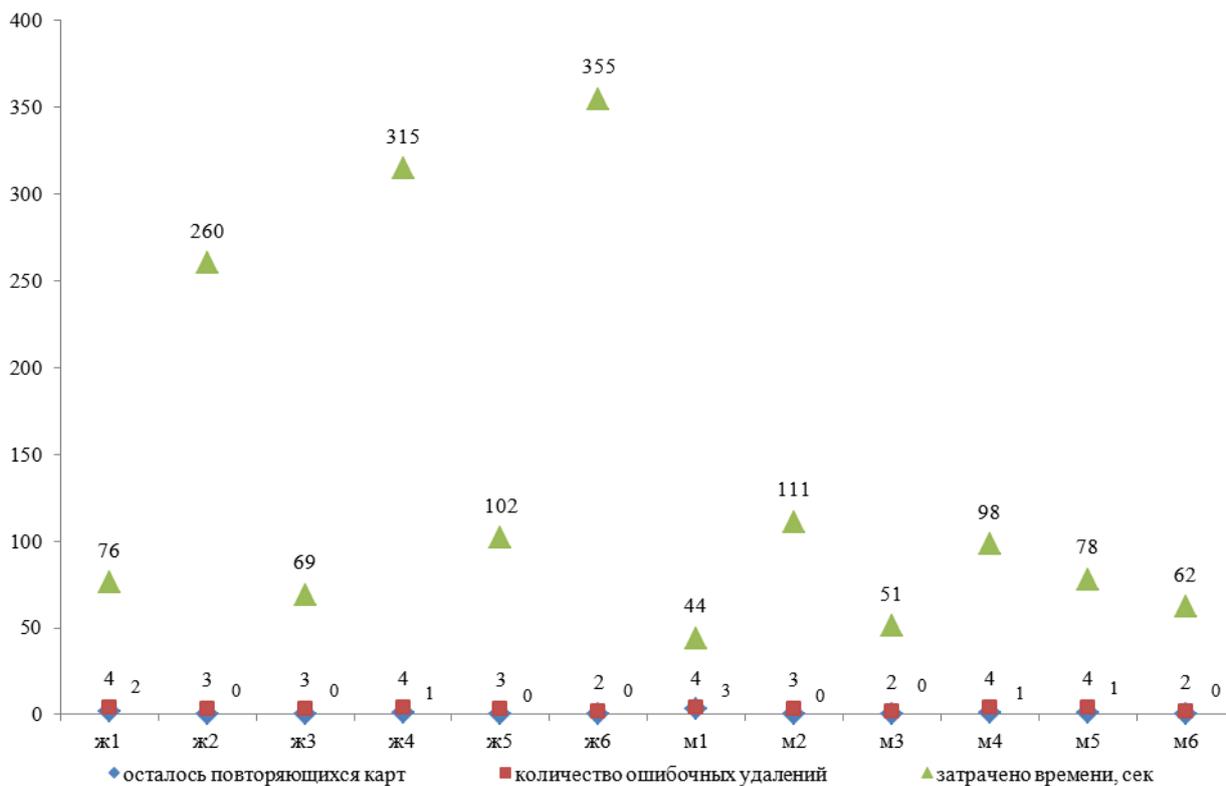


Рисунок 2 - Методика «Тренировка ассоциативных процессов»

По результатам этого теста можно сделать вывод о том, что женщины тратят больше времени на выполнение задания, чем мужчины. Обуславливается это тем, что женщины, как правило, очень ответственно относятся к заданиям, более послушны, аккуратны, но у них есть существенный недостаток: в силу более развитого инстинкта самосохранения, они испытывают страх. Мужчины же в плане вождения более агрессивны и чаще идут на риск, затрачивая меньшее количество времени на выполнение какого-либо действия.

### Методика 3 «Тренировка памяти на образы»

Память – это способность усваивать, сохранять и воспроизводить информацию. Профессия водителя требует твердых знаний Правил дорожного движения, прочных двигательных навыков безопасного управления автомобилем, запоминания маршрутов движения. Поэтому памяти водителя должны быть присущи такие свойства, как достаточный объем, продолжительность. Скорость и точность запоминания.

В деятельности водителя приходится решать разнообразные задачи по управлению автомобилем в меняющихся дорожных ситуациях. Мышление здесь протекает, как правило, не в словесной форме, а на основе образов восприятия и действия (двигательных действий). Поэтому мышление водителя является практическим по своему содержанию, наглядно-действенным и оперативным, т.е. протекающим при дефиците времени и постоянно меняющихся условиях деятельности. Мышление водителя связано с оперативной оценкой ситуации и выбором ответных действий, с прогнозированием развития ситуации, с поддержанием безопасного и экономичного режима движения автомобиля и решением других практических задач.

Задание заключается в запоминании и воспроизведении расположения различных картинок в ограниченном промежутке времени.

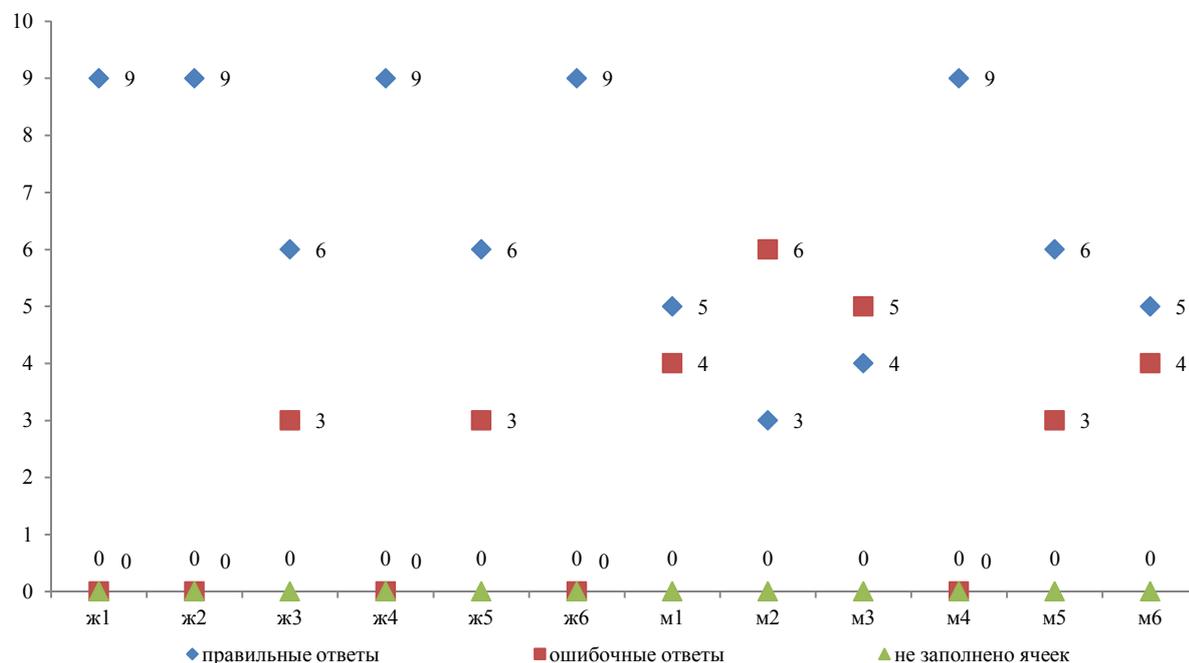


Рисунок 3 - Методика «Тренировка памяти на образы»

Результаты теста показывают, что у женщин память на образы развита лучше, чем у мужчин.

Применительно к вождению автомобиля можно сказать, что основное преимущество женщин в том, что по их вине непредвиденные, опасные и аварийные ситуации на дороге возникают намного реже, чем по вине мужчин.

#### Методика 4 «Тренировка памяти на символы»

Задание заключается в запоминании ранее предложенных символов и выборе их из таблицы при ограниченном времени.

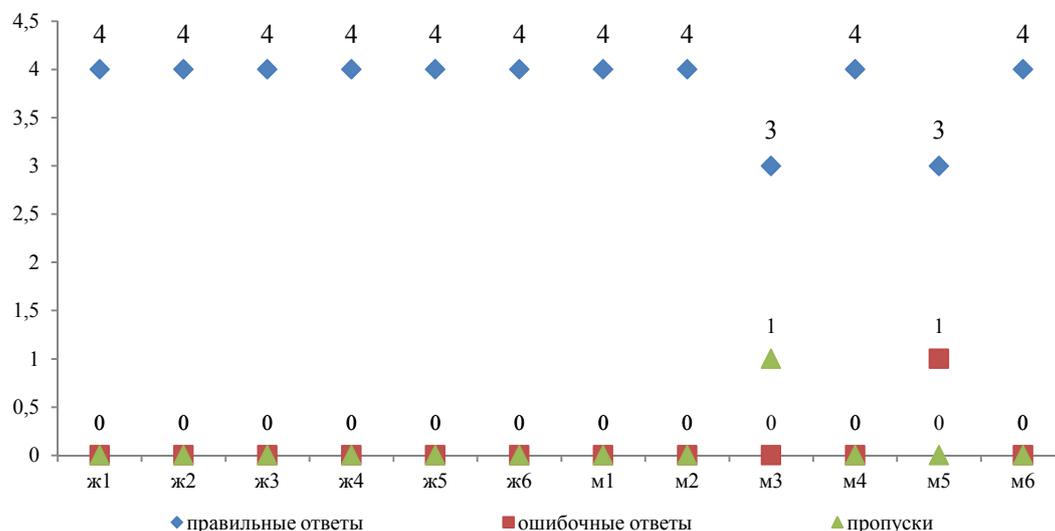


Рисунок 4 - Методика «Тренировка памяти на символы»

Женщины проявляют более высокую осмотрительность и ответственность к выполнению заданий, нежели мужчины. Ошибки у мужчин происходят по причине слишком большой самоуверенности и переоценки своих возможностей, а также возможностей техники.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ильина, И. Е. Использование авторенажеров в обучении водителей категории «В» [Текст] / И. Е. Ильина, В. В. Лянденбургский, А. И. Звижинский, С. А. Евстратова // Мир транспорта и технологических машин. -2013. - №1. - С. 105-111.
- 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 // Научное ведение. – 2013. - №1. – С. 1-12.
- Лянденбургский, В. В. Надежностная и квалификационная модель системы «Обслуживающий персонал - автотранспортное средство» [Текст] / В. В. Лянденбургский, А. С. Ветохин // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств. Материалы III международной научно-технической конференции. - 2004. - Часть II. – С. 112-116.
- Лянденбургский, В. В. Управление обучением профессиональным навыкам с помощью математических моделей / В. В. Лянденбургский, А. С. Ветохин // Инновационные технологии обучения инженеров-строителей. Материалы XXXII научно-методической конференции. -2002. – С. 83-87.
- Лянденбургский В.В., Ветохин А.С., Антонов Ю.А., Бутузов А.М. Проблемы подготовки водителей на автомобильном транспорте и пути их решения [Текст] / В. В. Лянденбургский, А. С. Ветохин, Ю. А. Антонов, А. М. Бутузов // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств. Материалы I международной научно-технической конференции. - 2000. - Часть I. – С. 138-142.
- Лянденбургский, В. В. Роль и совершенствование технических средств в повышении эффективности учебного процесса по техническим дисциплинам Инновационные технологии организации обучения инженеров строителей [Текст] / В. В. Лянденбургский, А. С. Ветохин, А. А. Грабовский // XXXI Научн. метод. конф., Пенза: ПГАСА. – 2000. – С. 126-133.
- Лянденбургский, В.В. Автотранспортная эргономика [Текст] / В. В. Лянденбургский, А. С. Ветохин, А. И. Звижинский. - Пенза: Пенз. гос. арх.-строит. академия, 2007. – 247 с.
- Тренажер психофизиологический ТА-2 [Электронный ресурс]. – www.neugosom.ru (дата обращения: 16.03.2013).

**Ильина Ирина Евгеньевна**

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»

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

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

Email: iie.1978@yandex.ru

**Богаткина Марина Геннадьевна**

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»

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

Студент

Email: dekauto@pguas.ru

**Евстратова Светлана Александровна**

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»

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

Студент

Email: dekauto@pguas.ru

I. E. ILYINA, M. G. BOGATKINA, S. A. EVSTRATOVA

**RESEARCH PSYCHOPHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF DRIVERS ON THE SIMULATOR TA-2**

*Use of psychophysiological simulator sintraining of drivers makes it possible to exercis selectivity and concentration of attention, memory for images and symbols, associative processes, the distribution of attention, in crease emotional stability, and a large number of other indicators. Studies have shown that here sults differsign if icantlyw hentesting for women and men with experience of driving and only trainees.*

**Keywords:** Training, driving, simulator, the driver, the car, the road driving school.

**BIBLIOGRAPHY**

1. Il'ina, I. E. Ispol'zovanie avtorenazherov v obuchenii voditeley kategorii "V" [Tekst] / I. E. Il'ina, V. V. Lyandenburskiy, A. I. Zvizhinskiy, S. A. Evstratova // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. -2013. - №1. - S. 105-111.
2. 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 // Nauko-vedenie. - 2013. - №1. - S. 1-12.
3. Lyandenburskiy, V. V. Nadezhnostnaya i kvalifikatsionnaya model' sistemy "Obsluzhivayushchiy personal - avtotransportnoe sredstvo" [Tekst] / V. V. Lyandenburskiy, A. S. Vetokhin // Problemy kachestva i ekspluatatsii avtotransportnykh sredstv. Materialy III mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. - 2004. - Chast' II. - S. 112-116.
4. Lyandenburskiy, V. V. Upravlenie obucheniem professional'nym navykam s pomoshch'yu matematicheskikh modeley / V. V. Lyandenburskiy, A. S. Vetokhin // Innovatsionnye tekhnologii obucheniya inzhenerov-stroiteley. Materialy HHHH nauchno-metodicheskoy konferentsii. -2002. - S. 83-87.
5. Lyandenburskiy V.V., Vetokhin A.S., Antonov YU.A., Butuzov A.M. Problemy podgotovki voditeley na avtomobil'nom transporte i puti ikh resheniya [Tekst] / V. V. Lyandenburskiy, A. S. Vetokhin, YU. A. Antonov, A. M. Butuzov // Problemy kachestva i ekspluatatsii avtotransportnykh sredstv. Materialy I mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. - 2000. - Chast' I. - S. 138-142.
6. Lyandenburskiy, V. V. Rol' i sovershenstvovanie tekhnicheskikh sredstv v povyshenii effektivnosti uchebnogo protsessa po tekhnicheskim distsiplinam Inovatsionnye tekhnologii organizatsii obucheniya inzhenerov-stroiteley [Tekst] / V. V. Lyandenburskiy, A. S. Vetokhin, A. A. Grabovskiy // XXXI Nauchn. metod. konf., Penza: PGASA. - 2000. - S. 126-133.
7. Lyandenburskiy, V.V. Avtotransportnaya ergonomika [Tekst] / V. V. Lyandenburskiy, A. S. Vetokhin, A. I. Zvizhinskiy. - Penza: Penz. gos. arkh.-stroit. akademiya, 2007. - 247 s.
8. Trenazher psikhofiziologicheskoy TA-2 [Elektronnyy resurs]. - www.neurocom.ru (data obrashche-niya: 16.03.2013).

**Ирина Ирина Евгеньевна**

ФГБОУ ВПО "Пенза State University of Architecture and Construction"

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

Candidate . tehn. , assistant professor of "Organization and safety"

Email: iie.1978 @ yandex.ru

**Богаткина Марина Геннадьевна**

ФГБОУ ВПО "Пенза State University of Architecture and Construction"

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

Student

Email: dekauto@pguas.ru

**Евстратова Светлана Александровна**

ФГБОУ ВПО "Пенза State University of Architecture and Construction"

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

Student

Email: dekauto@pguas.ru

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ ФОНДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ВЫПУСКНИКОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН И КОМПЛЕКСОВ»

*Качество современного инженерного образования измеряется в терминах результатов обучения. Оценка результатов обучения – важнейший элемент аккредитации образовательной программы и совершенствования инженерного образования. В статье рассматриваются методологические аспекты разработки фондов оценочных средств для оценивания результатов обучения в государственной аттестации выпускников бакалаврской подготовки по направлению «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» при выполнении и защите выпускной квалификационной работы (ВКР). Рассмотрена структура фондов для оценивания государственного междисциплинарного экзамена и оценки ВКР. На примере ВКР четырех направлений показано соотношение содержания разделов совокупным ожидаемым результатам обучения. Предложен алгоритм оценивания уровня сформированных компетенций по когнитивному компоненту на основе анализа пояснительной записки и графической части ВКР..*

**Ключевые слова:** результаты обучения, инженерное образование, аккредитация, оценка, компетенция, фонды оценочных средств, выпускная квалификационная работа.

В соответствии с законом «Об образовании в Российской Федерации» основные профессиональные образовательные программы (ОПОП) бакалаврской подготовки направления «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», реализуемые по федеральному государственному образовательному стандарту (ФГОС), обязаны проходить государственную аккредитацию и могут получать профессионально-общественную аккредитацию.

Результаты ОПОП, определяемые как знания, умения, владения и способности, которые студенты должны приобрести к моменту окончания обучения, становятся центральным звеном аккредитации образовательных программ в области эксплуатации автомобильной техники.

При этом важно отметить, что результаты программы, используемые при аккредитации, должны, с одной стороны, соответствовать национальным (образовательным и профессиональным) рамкам квалификаций, ФГОСу и аккредитационным критериям национальных профессиональных общественных организаций (прежде всего АИОР - Ассоциации инженерного образования России), а, с другой стороны, не должны противоречить международным стандартам, применяемым к результатам инженерных программ. Первые гарантируют, что у выпускников российских вузов не возникнет проблем с приобретением профессиональных квалификаций внутри страны, а последние гарантируют выпускникам возможность выполнения своих профессиональных обязанностей во всем мире (мобильность) [1, 2].

Анализ показывает, что содержательная часть компетенций в ФГОС – 3 достаточно хорошо согласуется с требованиями критерия 5 АИОР, требованиями международных стандартов *EUR-ACE* и *FEANI*, а также *CDIO Syllabus v2 (2011)* в части требований к компетенциям бакалавров. В связи с этим можно считать, что если ОПОП соответствует в полной мере требованиям государственной аккредитации, то она также будет соответствовать критериям национальных и международных аккредитационных агентств, проводящих профессионально-общественную аккредитацию инженерных программ.

Для обеспечения надлежащего качества ОПОП в вузе и каждом подразделении (кафедре, научно-исследовательской лаборатории и др.), в рамках функционирования системы менеджмента качества, должен существовать механизм оценивания результатов обучения

студентов по программе, в целом, отдельным модулям и дисциплинам, включающий в т.ч. локальные нормативные акты, учебно-методическую документацию и документы, подтверждающие их достижение. Данные, получаемые при помощи этого механизма, должны использоваться не только для аккредитации, но, в первую очередь, для совершенствования программы и учебного процесса.

Оценивание результатов обучения студентов по ОПОП осуществляется по регламенту текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

Как известно, текущий контроль в семестре проводится с целью обеспечения своевременной обратной связи, для коррекции обучения, активизации самостоятельной работы студентов. Результаты текущего контроля подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

Промежуточная аттестация предназначена для объективного подтверждения и оценивания достигнутых результатов обучения после завершения изучения дисциплины (модуля), прохождения практики, выполнения курсового проекта (работы), а также для оценивания эффективности организации учебного процесса. Промежуточная аттестация по дисциплинам или модулям дисциплин проводится в форме зачетов и экзаменов. Зачет и экзамен как специально организованные процедуры могут не проводиться, если принятой в вузе балльно-рейтинговой системой предусматривается оценивание результатов обучения при промежуточной аттестации путем суммирования итогов работы студента, полученных в двух контрольных точках текущего контроля.

Государственная итоговая аттестация (ГИА) проводится на завершающем этапе обучения. Она даёт объективную оценку результатов обучения выпускников по ОПОП и выполняет функции показателя готовности выпускника самостоятельно решать профессиональные инженерные задачи. ГИА проводится в форме государственного (междисциплинарного) экзамена, если это предусмотрено вузом, и защиты выпускной квалификационной работы (ВКР).

Оценивание как процесс определения и анализа достигнутых результатов обучения студентов с точки зрения их соответствия требованиям, изложенным в ФГОС, ОПОП включает [3]: постановку целей; выбор методов, адекватных целям оценивания и характеру результатов обучения; анализ полученных результатов; принятие решений.

Оценивание как система «преподаватели (комиссия) – студент» должна иметь следующие характеристики [3]: открытость и прозрачность, объективность и адекватность, использование только прямых методов оценки, возможность дифференциации качества достижения студентами запланированных результатов, профессиональная направленность, мотивация студентов и преподавателей.

Для проведения оценки результатов обучения студентов по ОПОП в текущем контроле, промежуточной аттестации по дисциплинам и учебным модулям, а также в итоговой аттестации на кафедрах должны быть разработаны фонды оценочных средств (ФОС).

ФОС по дисциплине или модулю дисциплин, а также по государственному (междисциплинарному) экзамену представляет собой совокупность контрольно-измерительных материалов (КИМ) и комплекта методических материалов, нормирующих процедуры оценивания результатов обучения (знания, умения, владения и уровень приобретенных компетенций).

В этом случае ФОС как система оценивания состоит из трех частей:

- а) структурированного перечня объектов оценивания - результатов обучения,
- б) комплекта КИМ: стандартизированных средств (анкеты, тесты), типовых заданий (задачи, ситуационные задания и др.), творческих заданий (описание проблемных ситуаций, исследовательские, конструкторские и др. задания, - с обязательными критериями оценок,

в) методического оснащения оценочных процедур, включающего материалы, описывающие правила, алгоритм и условия проведения оценочных процедур, характеристику используемого инструментария и методов, а также инструкций для участников и др.

В ФОС для государственного экзамена вместо части «б» входит программа экзамена и совокупность заданий, предназначенных для предъявления студенту (выпускнику) на экзамене;

В ФОС ВКР входят:

- спецификация, определяющая объекты оценивания, процедуру выполнения и защиты ВКР;
- требования к ВКР;
- методические рекомендации по организации выполнения ВКР;
- методические указания по написанию ВКР;
- методические материалы, определяющие процедуру и критерии оценивания качества ВКР;
- методические материалы, определяющие процедуру защиты и критерии оценивания качества защиты ВКР;
- формы ведомости оценки сформированных компетенций по результатам анализа ВКР;
- формы ведомости оценки защиты ВКР;
- форма отзыва на ВКР;
- форма рецензии на ВКР (если внешнее рецензирование предусмотрено в вузе).

Рассмотрим некоторые методологические аспекты оценивания результатов освоения ОПОП на примере оценки качества выполнения и защиты ВКР.

В настоящее время нет единых норм и требований к содержанию, объему и структуре ВКР. Эти требования должны определяться конкретным высшим учебным заведением, исходя из особенностей принятой ОПОП и требований ФГОС ВПО в части контроля и оценки сформированных общекультурных (ОК) и профессиональных (ПК) компетенций.

Такая концепция позволяет в полной мере каждому вузу сформировать требования к ВКР, содержащие не только общие обязательные требования ФГОС ВПО к оценке ОК и ПК, но и учитывающие такие факторы, как региональная и отраслевая направленность ООП, потребности регионального, национального и международного рынков труда, запросы работодателей, и др.

В то же время нам представляется значимым, чтобы для вузов, входящих в систему УМО вузов Минобрнауки РФ по образованию в области транспортных машин и транспортно-технологических комплексов, структура, объем и содержательное наполнение ВКР, а также требования к оценке реализованных выпускниками компетенций были в максимальной степени унифицированы. Это позволит не только продолжить практику проведения смотров - конкурсов ВКР на единой нормативной базе, но и в максимальной мере использовать в учебно-методическом обеспечении ГИА творческий потенциал вузов, осуществлять межвузовский взаимообмен методическими разработками, совершенствовать методическую базу, более объективно оценивать уровень вуза в процессе аккредитационной экспертизы.

В соответствии с требованиями проекта Положения о порядке проведения ГИА по программам бакалавриата ВКР представляет собой самостоятельно выполненную обучающимся письменную работу, содержащую решение задачи либо результаты анализа проблемы, имеющей значение для соответствующей области профессиональной деятельности. В связи с этим, обобщенные направления ВКР должны быть максимально приближенными к видам профессиональной деятельности бакалавра по ФГОС. Например:

1. Организация, проектирование и реконструкция предприятий и их структурных подразделений, систем и объектов автосервиса и автотранспортного комплекса.
2. Разработка и совершенствование технологических процессов основного производства предприятий автосервиса и автотранспортного комплекса.
3. Разработка новых образцов и модернизация существующего оборудования, оснастки и технологических и инженерных систем предприятий автосервиса и автотранспортного комплекса.

4. Исследование конструкции, рабочих процессов, технологии технического обслуживания и ремонта транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования, технологического оборудования, технологических и инженерных систем предприятий автосервиса и автотранспортного комплекса.

В рамках каждого направления все типовые ВКР должны иметь одинаковую структуру и однотипное наименование составных частей (разделов, подразделов), что позволяет закрепить за каждым разделом ВКР унифицированную группу оцениваемых компетенций из общего списка компетенций раздела «Б 6 – ГИА» в ФГОСе (табл. 1).

Таблица 1 - Соотнесение содержания разделов ВКР совокупным ожидаемым результатом образования.

Варианты возможных разделов основной части ВКР	Закрепленные за ГИА компетенции по ФГОС
Общий раздел. Аналитический раздел	ОК-12, ОК-13, ПК-21, ПК-27, ПК-34
Организационно-технический раздел. Раздел - Организация производства. Организационно-управленческий раздел. Раздел - технологическое проектирование предприятия (или что-то подобное). Организация производства. Организационно-управленческий раздел. Организация автосервиса.	ОК-12, ОК-13, ПК-3, ПК-4, ПК-8, ПК-21, ПК-39
Технологический раздел	ОК-12, ОК-13, ПК-3, ПК-4, ПК-8, ПК-15, ПК-21, ПК-38, ПК-39
Раздел - Технологическое оборудование и оснастка. Конструкторский раздел. Проектно-конструкторский раздел.	ОК-10, ОК-12, ОК-13, ПК-2, ПК-8
Научно-исследовательский раздел	ОК-10, ОК-12, ОК-13, ПК-8
Экономический раздел	ОК-12, ОК-13, ПК-4, ПК-21, ПК-27, ПК-30, ПК-34
Раздел – Безопасность жизнедеятельности и экология	ОК-12, ОК-13, ПК-28, ПК-39
Раздел – Инженерное обеспечение предприятий. Раздел – Инженерные сети, сооружения и оборудование	ОК-10, ОК-12, ОК-13, ПК-8, ПК-39

Если часть компетенций, указанных в таблице 1, по решению вуза должна быть оценена на государственном междисциплинарном экзамене, то эти компетенции могут не закрепляться за ВКР. Однако не будет ошибкой оценивать конечные результаты обучения по уровню сформированности одних и тех же компетенций как на госэкзамене, так и при выполнении и защите ВКР

Оценка уровня приобретенных компетенций при освоении ОПОП в ГИА должна производиться на основе анализа качеств личности выпускника, отображающих способности наиболее универсально использовать и применять полученные знания, умения и опыт, владеть приемами, способами и методиками, действовать и принимать решения в условиях выполнения и защиты ВКР. Иначе говоря, оценка компетенций должна включать оценку когнитивного, результативного и поведенческого аспектов деятельности студента на завершающем этапе учебного процесса.

К когнитивному компоненту компетенции относятся дескрипторы: знания, умения и владения, проявленные студентом при выполнении и оформлении пояснительной записки и графической части ВКР; техническая грамотность доклада и ответов на вопросы при защите ВКР. К поведенческому компоненту - активность на консультациях; самостоятельность принимаемых решений; ответственность за сроки выполнения ВКР; аргументированность доклада и ответов на вопросы при защите ВКР; пунктуальность и аккуратность при выполнении ВКР.

Процесс оценки качества выполненной пояснительной записки ВКР может быть представлен следующим алгоритмом.

1. В ФОС устанавливаются все единичные компетенции из перечня компетенций, закрепленных за ВКР, которые студент должен проявить при написании и оформлении пояснительной записки.

2. В ФОС определяются когнитивные дескрипторы каждой компетенции, подлежащие оценке.

3. В ФОС разрабатывается методика оценки уровня сформированности единичной компетенции, в т.ч.:

– устанавливаются конкретные разделы пояснительной записки, включая список использованной литературы; в которых должна быть проявлена компетенция;

– устанавливаются объекты оценки;

– определяются критерии оценки уровня сформированности дескрипторов компетенции;

– принимается шкала оценок (характеристика и значение оценки).

4. Лицами, осуществляющими контроль качества пояснительной записки (руководитель ВКР, консультанты по разделам ВКР, техноконтролер, рецензент (если он предусмотрен), члены экзаменационной комиссии), на основании анализа представленного студентом материала пояснительной записки по принятым в ФОС критериям и шкале оценок определяется фактическая оценка сформированной единичной компетенции как единичный конечный результат обучения.

5. Экзаменационной комиссией в процессе защиты ВКР определяется интегрированная оценка качества выполнения и защиты ВКР. Эта оценка выводится на основании принятых в ФОС критериев оценивания результатов обучения как итоговой оценки по сумме оценок единичных компетенций и шкалы итоговых оценок.

Процесс оценки качества выполненной графической части ВКР, а также оценки уровня сформированных студентом когнитивных дескрипторов компетенций, выявленного в процессе защиты ВКР может быть произведен по аналогичному алгоритму. Этот алгоритм должен быть прописан в ФОС.

Оценка поведенческих компонентов компетенций, которые проявил студент как в процессе освоения ОПОП в целом, так и в процессе ГИА, должна быть дана в характеристике деканата, отзыве руководителя ВКР и заключении консультантов по отдельным разделам ВКР.

К оценке уровня сформированных студентом компетенций в процессе освоения ОПОП на этапе ГИА (выполнение и защита ВКР) должны быть привлечены все лица, непосредственно задействованные в ГИА и контактирующие со студентом – руководитель ВКР, консультанты по отдельным разделам ВКР, нормоконтролер, техноконтролер, рецензент (если внешнее рецензирование ВКР предусматривается), члены экзаменационной комиссии.

Для каждого участника процесса оценки должны быть подготовлены методические материалы – проектные таблицы оценки компетенций, - и ведомости фактических оценок.

Пример фрагментов проектной таблицы оценки уровня единичной компетенции на основе анализа пояснительной записки ВКР, выполненной студентом, приведен в таблицах 2-4.

Таблица 2 - Объекты оценки результата реализации отдельных компетенций при выполнении пояснительной записки ВКР

Код компетенции	Содержание компетенции	Область ВКР, в которой должна быть проявлена компетенция	Объекты оценки (дескриптор компетенции)
ОК - 12	Владеет основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, имеет навыки работы с компьютером как средством управления информацией	Все разделы ВКР, включая список литературы	Владение информационной базой по теме ВКР. Знание нормативных требований к оформлению списка литературы и библиографических ссылок и умение применять их в ВКР. Использование различных компьютерных программ и редакторов при составлении пояснительной записки ВКР
ПК - 3	Умеет разрабатывать техническую документацию и методические материалы, предложения и мероприятия по осуществлению технологических процессов эксплуатации, ремонта и сервисного обслуживания транспортных и транспортно-технологических машин различного назначения, их агрегатов, систем и элементов	Технологический раздел	Знание общетехнических и отраслевых нормативных требований и правил оформления технической документации по осуществлению технологических процессов эксплуатации, ремонта и сервисного обслуживания транспортных и транспортно-технологических машин различного назначения, их агрегатов, систем и элементов и умение применять их в ВКР. Умение разрабатывать предложения и мероприятия по осуществлению технологических процессов эксплуатации, ремонта и сервисного обслуживания транспортных и транспортно-технологических машин различного назначения, их агрегатов, систем и элементов (Технический уровень и глубина проработки предложений и мероприятий).

Таблица 3 - Проектные данные для оценки одного дескриптора компетенции ОК-12

Дескриптор компетенции	Критерий оценки	Шкала оценки	
		Характеристика оценки	Значение оценки
Владение информационной базой по теме ВКР	Наличие в списке литературы современных научных, технических, учебных источников (книги и статьи из технических журналов), патентов, действующих нормативно-правовых и нормативно-технических актов, Интернет и иных электронных ресурсов	Список литературы содержит: - информационную базу по всем разделам ВКР; - не менее 30 наименований научных, технических, учебных книг и статей из технических журналов, патентов, действующих нормативно-правовых и нормативно-технических актов, Интернет и иных электронных ресурсов со сроком давности не более пяти лет; - авторские статьи и (или) патенты	отлично
		Список литературы содержит: - информационную базу по всем разделам ВКР; - менее 30 наименований научных, технических, учебных книг и статей из технических журналов, патентов, действующих нормативно-правовых и нормативно-технических актов, Интернет и иных электронных ресурсов со сроком давности не более пяти лет;	хорошо
		Список литературы содержит: - информационную базу по всем разделам ВКР; - менее 30 наименований технических, учебных книг и статей из технических журналов, действующих нормативно-правовых и нормативно-технических актов, со сроком давности не более пяти лет;	удовлетворительно
		Список литературы содержит: - информационную базу не по всем разделам ВКР; - только учебных книги и методические пособия со сроком давности как менее пяти лет, так и более пяти лет;	неудовлетворительно

На основании оценок уровня сформированности единичных компетенций, полученных в результате анализа пояснительной записки и графической части и модели поведения студента в ходе выполнения ВКР, а также в процессе защиты ВКР экзаменационная комиссия, используя разработанные в ФОС правила, схему и шкалу оценок, выводит конечную общую оценку результатов обучения по ОПОП и оформляет свое решение соответствующим протоколом.

Таблица 4 - Проектные данные для оценки одного дескриптора компетенции ПК - 3

Дескриптор компетенции	Критерий оценки	Шкала оценки	
		Характеристика оценки	Значение оценки
1	2	3	4
Умение разрабатывать предложения и мероприятия по осуществлению технологических процессов эксплуатации, ремонта и сервисного обслуживания транспортных и транспортно-технологических машин различного назначения, их агрегатов, систем и элементов (Технический уровень и глубина проработки предложений и мероприятий).	Соответствие разработанных студентом предложений и мероприятий по осуществлению технологических процессов эксплуатации, ремонта и сервисного обслуживания транспортных и транспортно-технологических машин различного назначения, их агрегатов, систем и элементов современному уровню развития науки, технологии и техники.	Предложения и мероприятия базируются на - глубоком и всестороннем знании конструкции объектов обслуживания и ремонта; - глубоком и всестороннем анализе существующих технологических процессов; - глубоком и всестороннем анализе достижений науки и технологии; - использовании авторских статей и (или) патентов; - использовании результатов НИР автора. Предложения и мероприятия - организационно, технически, технологически осуществимы в условиях реального производства (есть обоснование); - предусматривают использование современного технологического оборудования; - дают положительный экономический эффект. Описание предложений и мероприятий выполнено технически грамотно	отлично
		Предложения и мероприятия базируются на - хорошем знании конструкции объектов обслуживания и ремонта; - всестороннем анализе существующих технологических процессов; - анализе достижений науки и технологии; Предложения и мероприятия - организационно, технически, технологически осуществимы в условиях реального производства (есть обоснование); - предусматривают использование современного технологического оборудования; - дают положительный экономический эффект. Описание предложений и мероприятий выполнено технически грамотно	хорошо
		Предложения и мероприятия базируются на - удовлетворительном знании конструкции объектов обслуживания и ремонта; - не глубоком анализе существующих технологических процессов;	удовлетворительно

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4
		<p>Предложения и мероприятия                      - организационно, технически, технологически осуществимы в условиях реального производства, но обоснование отсутствует;                      - предусматривают использование имеющегося на предприятии технологического оборудования;                      - экономический эффект не просчитан.                      Описание предложений и мероприятий выполнено с отдельными незначительными техническими и терминологическими ошибками.</p>	
		<p>Предложения и мероприятия базируются на неудовлетворительном знании конструкции объектов обслуживания и ремонта;                      Анализ существующих технологических процессов отсутствует;                      Организационные, технические технологические вопросы реализации предложений и мероприятий не рассмотрены.                      Предусматривается использование устаревшего технологического оборудования;                      - экономический эффект не просчитан.                      Описание предложений и мероприятий выполнено с грубыми техническими и терминологическими ошибками.</p>	неудовлетворительно

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Özgüler, A. В. Результаты обучения: основной элемент аккредитации образовательной программы инженерного образования [Текст]/ А. В. Özgüler, М. У. Erçil. А. Е. Payzin, В. Е. Platin // Инженерное образование, 2013. - №12. – С. 32 – 41.
2. Похолков, Ю. П. Развитие системы независимой профессионально-общественной аккредитации инженерных образовательных программ в России в период с 2000 по 2013 год [Текст] / Ю. П. Похолков // Инженерное образование, 2013. - №12. – С. 50-57.
3. Стандарты и Руководства по обеспечению качества основных образовательных программ подготовки бакалавров, магистров и специалистов по приоритетным направлениям развития Национального исследовательского Томского политехнического университета: стандарт ООП ТПУ [Текст] / Под редакцией профессора А.И. Чучалина // Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – С 205.

**Сапронов Юрий Георгиевич**

Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) ФГБОУ ВПО «Донской государственный технический университет»

Адрес: Россия, 346500, Ростовская область, г. Шахты, ул. Шевченко, д. 147

Канд. техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Техническая эксплуатация автомобилей»

E-mail: asobd@sssu.ru

Y. G. SAPRONOV

### METHODOLOGICAL ASPECTS OF DEVELOPMENT FUNDS FOR THE ASSESSMENT OF LEARNING OUTCOMES OF DIRECTION

## «EXPLOITATION OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MACHINES AND COMPLEXES»

*The quality of modern engineering education is defined in terms of learning outcomes. The assessment of learning outcomes is an important element of the education program accreditation and the improvement of engineering education. The paper deals with methodological aspects in developing the funds of assessment tools to assess the learning outcomes at the state final certification for the bachelor degree in "Exploitation of transport and technological machines and complexes" when developing and defending the final qualifying project (FQP). The structure of the funds for the evaluation of the state interdisciplinary exam and assessment of the FQP. For example FQP four directions shown correlation of the content of parts of the total expected learning outcomes. The algorithm of estimating the level of formed competence cognitive component on the basis of the analysis of the explanatory note and the graphical part of the FQP.*

**Keywords:** learning outcomes, engineering education, accreditation, assessment, competence, funds of assessment tools, final qualifying project.

### BIBLIOGRAPHY

1. Özgüler, A. V. Rezul'taty obucheniya: osnovnyy element akkreditatsii obrazovatel'noy programmy inzhenernogo obrazovaniya [Tekst] / A. B. Özgüler, M. Y. Erçil. A. E. Payzın, B. E. Platin // Inzhenernoe obrazovanie, 2013. - №12. - S. 32 - 41.
2. Pokholkov, YU. P. Razvitie sistemy nezavisimoy professional'no-obshchestvennoy akkreditatsii inzhenernykh obrazovatel'nykh programm v Rossii v period s 2000 po 2013 god [Tekst] / YU. P. Pokholkov // Inzhenernoe obrazovanie, 2013. - №12. - S. 50-57.
3. Standarty i Rukovodstva po obespecheniyu kachestva osnovnykh obrazovatel'nykh programm podgotovki bakalavrov, magistrov i spetsialistov po prioritetnym napravleniyam razvitiya Natsional'nogo issledovatel'skogo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta: standart OOP TPU [Tekst] / Pod redaksiyey professora A.I. Chuchalina // Tomsk: Izd-vo TPU, 2012. - S 205.

**Sapronov Yuri Georgievich**

Institute of the service sector and enterprise (branch) Dstu

Address: Russia, 346500, Rostov Region, Mines str. Shevchenko Street 147

Candidate. tehn. Sciences, Professor, Head. Chair "Maintenance Car"

E-mail: asobd@sssu.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. 535.34

А. С. АНТОНОВ, Г. Г. ИШАНИН

## **ГАЗОАНАЛИЗАТОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДИОКСИДА АЗОТА В ВЫБРОСАХ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

*В работе рассмотрен новый газоанализатор для измерения диоксида азота в выбросах автотранспортных средств основанный на методе оптической адсорбционной спектроскопии. Приведены технические характеристики источника излучения. Рассмотрено несколько видов приемников оптического излучения с выбором подходящих приемников к данному газоанализатору. Приведена схема и принцип работы данного газоанализатора с описанием его преимуществ.*

**Ключевые слова:** метод оптической адсорбционной спектроскопии.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Современные газоанализаторы, используемые для измерения диоксида азота ( $\text{NO}_2$ ) в выбросах автотранспортных средств, обладают рядом недостатков:

- Газоанализаторам, основанные на методе хемилюминесцентной реакции оксида азота с озоном, необходим генератор озона; для анализа диоксида азота требуется конвертер, обеспечивающий нагрев пробы (до 350 градусов), который обеспечит переход двуокиси азота в оксид азота. Это влечет за собой дополнительное время, уменьшающее быстродействие анализатора и увеличивающее энергопотребление [1,2].

- Газоанализаторы, основанные на методе электрохимии, имеют низкую селективность, требуют периодическую корректировку показаний по мере расхода ресурса сенсора (средний срок службы сенсора не более трех лет) [2].

Отсюда можно сделать вывод о необходимости разработки оптико-электронного газоанализатора диоксида азота ( $\text{NO}_2$ ), обладающего высокой селективностью, быстродействием, низким энергопотреблением, с большим ресурсом работы.

Рассмотрим разработанный газоанализатор, основанный на методе оптической адсорбционной спектроскопии, теоретически удовлетворяющий всем выше сказанным условиям.

### **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ**

В газоанализаторе, основанном на методе оптической адсорбционной спектроскопии, измеряется изменение интенсивности зондирующего излучения, прошедшего через поглощающую газовую среду. Газовая среда выступает в роли фильтра поглощающего излучение источника с определенной длиной волны, которая подбирается согласно анализируемому газу [3]. На рисунке 1 показаны спектры поглощения газов в выбросах автотранспортных средств.

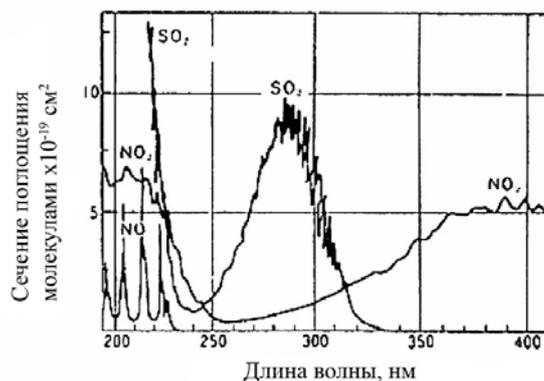


Рисунок 1 - Спектры поглощения газов в выбросах автотранспортных средств

Из рисунка 1 видно, что диоксид азота ( $\text{NO}_2$ ) имеет поглощение на длинах волн 350 – 450 нм (ближний ультрафиолет (УФ) – видимый спектр). Данные отрезок спектра поглощения выбраны из-за отсутствия поглощения другими газами. Наилучшее поглощение диоксида азота на выбранном отрезке длин волн достигается от 380 до 400 нм, что следует учитывать при подборе источника излучения.

Метод определения основан на законе Бугера-Ламберта-Бера:

$$I = I_0 \cdot \exp(-\sigma[C] \cdot l), \quad (1)$$

где  $I_0$  и  $I$  – интенсивность излучения на длине волны 390 нм на входе и выходе из оптической кюветы, в которой находится поглощающая среда, (диоксид азота);

$\sigma$  – сечение поглощения молекулами диоксида азота на длине волны 390 нм (для молекулы диоксида азота  $\sigma = 6 \cdot 10^{-19} \text{ см}^2$ );

$l$  – длина оптического пути поглощения, (см);

$[C]$  – концентрация диоксида азота в газовой смеси, (молек./см<sup>3</sup>).

### ИСТОЧНИК ИЗЛУЧЕНИЯ

Источник излучения подбирается в зависимости от анализируемого газа. Источник должен обладать узкой спектральной полосой излучения подходящей под наилучшее сечение поглощения молекулами выбранного газа. Для поставленной задачи, наилучшим выбором будет излучающий диод, технические характеристики которого приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Технические характеристики диода

Параметры	Минимальная	Обычная	Максимальная	СИ
Мощность	6,0	-	9,0	мВт
Длина волны	385	390	395	нм
Угол излучения	15			Град.
Ток	-	20	-	мА
Напряжение	3,2	-	4,2	В

### ПРИЕМНИК ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Согласно выбранному источнику излучения были рассмотрены четыре приемника оптического излучения (ПОИ), фотодиоды:

Первый фотодиод, работающий в УФ и видимом диапазоне длин волн: 200 – 400 нм. Температурный диапазон работы, фотодиода, находится в пределах от 0 до +60 °С. Данный

температурный диапазон не позволяет использовать фотодиод при отрицательных температурах из-за чего применение его для переносного газоанализатора является невозможным.

Второй фотодиод, работает в диапазоне от 240 до 410 нм, температурный диапазон в пределах от -20 до +80 °С. На рисунке 2 приведена зависимость чувствительности фотодиода от длины волны.

Согласно рисунку 2, чувствительность второго фотодиода, на длине волны выбранного источника, является высокой, но не оптимальной.

Третий фотодиод, работает в диапазоне от 350 до 1100 нм, температурный диапазон в пределах от -25 до +85 °С. На рисунке 3 приведена зависимость чувствительности фотодиода от длины волны.

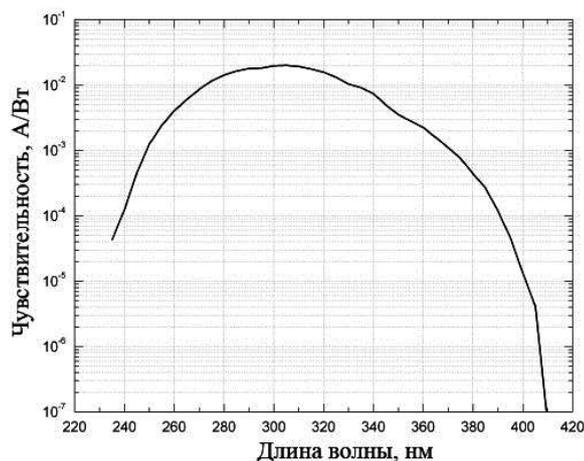


Рисунок 2 - Второй фотодиод, зависимость чувствительности фотодиода от длины волны излучения

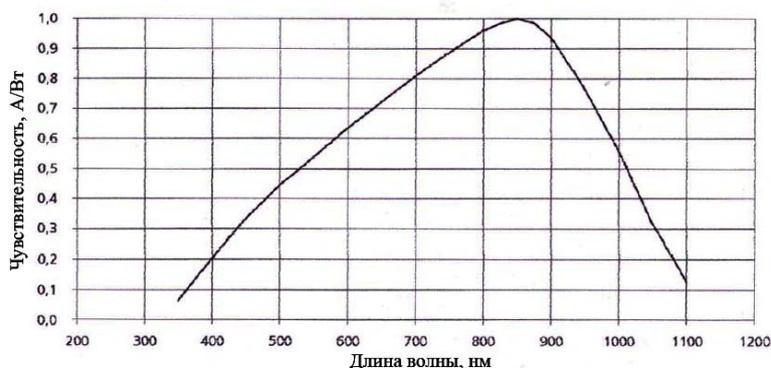


Рисунок 3 - Третий фотодиод, зависимость чувствительности фотодиода от длины волны излучения

Согласно рисунку 3, чувствительность третьего фотодиода, на длине волны выбранного источника, практически минимальна.

В качестве приемника излучения для выбранного источника, был взят четвертый фотодиод, работающий в диапазоне длин волн: 190 – 570 нм. Температурный диапазон работы, фотодиода, находится в пределах от -40 до +125 °С. Чувствительность фотодиода на длине волны источника (390 нм) практически достигает максимального значения. На рисунке 4 приведена зависимость чувствительности фотодиода от длины волны. Немало важным фактором является то, что данный фотодиод обладает относительно низким уровнем шума. На длине волны 440 нм шум, в зависимости от мощности, составляет  $1.1 \cdot 10^{-14} \text{ Вт}/\sqrt{\text{Гц}}$ .

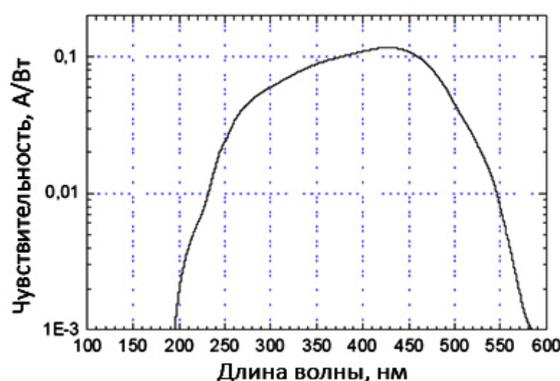


Рисунок 4 - Зависимость чувствительности фотодиода от длины волны излучения

Для исключения дрейфа источника излучения так же понадобится второй, опорный приемник. В качестве опорного приемника был выбран схожий по характеристикам фотодиод:

- Диапазон длин волн: 190 – 570 нм
- Уровень шума, на длине волны 440 нм:  $7.7 \cdot 10^{-15} \text{ Вм}/\sqrt{\text{Гц}}$
- Температурный диапазон работы: от -40 до +125 °С

Основным отличием между фотодиодами является площадь приемника, которая составляет для основного приемника 1,4 мм<sup>2</sup>, для опорного 0,9 мм<sup>2</sup>.

### ПРИНЦИП РАБОТЫ ГАЗОАНАЛИЗАТОРА

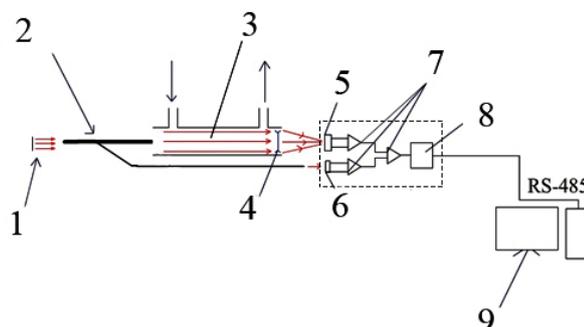


Рисунок 3 – Схема газоанализатора:

- 1 – источник излучения, 2 – волоконно-оптический разветвитель, 3 – камера измерения (кювета), 4 – линза, 5 – основной приемник оптического излучения, 6 – опорный приемник оптического излучения, 7 – блок усилителей, 8 – контроллер, 9 – компьютер.

Газоанализатор функционирует по следующему принципу: Исследуемый газ транспортируется через кювету (3). Излучение от источника излучения (1) проходит через волоконно-оптический разветвитель (2), который делит излучение на два потока. Первый поток проходит через кювету (3), на выходе из которой установлена линза (4), собирающая излучение на основном приемнике оптического излучения (5). Второй поток напрямую попадает на опорный приемник (6). Сигналы с приемников поступают на блок усилителей (7), где автоматически происходит компенсация дрейфа источника излучения. Далее сигнал передается на контроллер (8), который связан с компьютером (9) с помощью RS-485 интерфейса.



Для измерения оксидов азота (NO<sub>x</sub>) к газоанализатору достаточно добавить озонатор, необходимый для перехода оксид азота (NO) в диоксид азота (NO<sub>2</sub>).

## ВЫВОД

Благодаря применению узкополосного источника излучения отпадает необходимость применения фильтров или монохроматора, для выделения нужной области спектра излучения. С помощью внедрения волоконно-оптического разветвителя можно напрямую принимать излучение от источника на опорный приемник без применения опорной кюветы. Так как основной и опорный приемники оптического излучения находятся рядом, в одном блоке, температурным дрейфом одного относительно другого можно пренебречь. С учетом равенства диаметра волоконно-оптического разветвителя и диаметра кюветы, можно принять, что излучение полностью покрывает объем кюветы, благодаря чему можно отказаться от системы линз, формирующих параллельный пучок на входе в кювету. В связи с применением диода в качестве источника излучения и фотодиодов в качестве приемников оптического излучения данный газоанализатор обладает малым энергопотреблением. За счет волоконно-оптического разветвителя источник можно установить под углом от кюветы, что позволяет более свободно компоновать расположение элементов газоанализатора.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артищева, Н. В. Хемилюминесцентная реакция окиси азота и озона и ее аналитическое применение [Текст] / Н. В. Артищева, С. А. Крапивина, В. А. Ершов // Научно-исследовательские работы членов всесоюзного химического общества имени Д.И. Менделеева. - 1979. - С. 116 – 117.
2. Агафонов, И. Л. Методы анализа неорганических газов [Текст] / И. Л. Агафонов, А. Аманназаров, Г. С. Бескова; под ред. В. М. Немца. – СПб: Химия, 1993. – 560 с.
3. Алов, Н. В. Аналитическая химия и физико-химические методы анализа [Текст] / Н. В. Алов и др.; под ред. А. А. Ищенко. – СПб: Академия, 2010. - Том 2. – 416 с.
4. Ишанин, Г. Г. Обзор основных методов определения двуоксида азота в выбросах автотранспортных средств [Текст] / Г. Г. Ишанин, А. С. Антонов // Мир транспорта и технологических машин. – 2013. - №4(43). – С. 125-130.

### **Ишанин Геннадий Григорьевич**

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»

Адрес: 197101, Россия, г. Санкт-Петербург, Кронверкский проспект, д.49

Д-р техн. наук, профессор кафедры «Оптико-электронных приборов и систем»

E-mail: Ishanin@mail.ru

### **Антонов Александр Сергеевич**

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»

Адрес: 197101, Россия, г. Санкт-Петербург, Кронверкский проспект, д.49

Аспирант кафедры «Оптико-электронных приборов и систем»

E-mail: antsasha@mail.ru

---

G. G. ISHANIN, A. S. ANTONOV

## **GAS DETECTOR FOR MEASURING NITROGEN DIOXIDE VEHICLE EMISSIONS**

*The paper considers new gas analyzer for measurement of nitrogen dioxide emissions sah vehicles based on the method of optical adsorption spectroscopy . The technical characteristics of the radiation source. We consider several types of receivers of optical radiation with a choice of suitable receivers to data -tion gas analyzer . Shows a diagram of the principle of operation of this analyzer with the description of its benefits.*

**Keywords:** optical absorption spectroscopy method.

**BIBLIOGRAPHY**

1. Artishcheva, N. V. Hemilyuminestsennaya reaktsiya okisi azota i ozona i ee analiticheskoe primenenie [Tekst] / N. V. Artishcheva, S. A. Krapivina, V. A. Ershov // Nauchno-issledovatel'skie raboty chlenov vsesoyuzno-go khimicheskogo obshchestva imeni D.I. Mendeleeva. - 1979. - S. 116 - 117.
2. Agafonov, I. L. Metody analiza neorganicheskikh gazov [Tekst] / I. L. Agafonov, A. Amannazarov, G. S. Beskova; pod red. V. M. Nemtsa. - SPb: Himiya, 1993. - 560 s.
3. Alov, N. V. Analiticheskaya khimiya i fiziko-khimicheskie metody analiza [Tekst] / N. V. Alov i dr.; pod red. A. A. Ishchenko. - SPb: Akademiya, 2010. - Tom 2. - 416 s.
4. Ishanin, G. G. Obkhor osnovnykh metodov opredeleniya dvouksida azota v vybrosakh avtotransportnykh sredstv [Tekst] / G. G. Ishanin, A. S. Antonov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2013. - №4(43). - S. 125-130.

**Ishanin Gennady Grigor'evich**

FGBOU VPO "St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics» (SPbNIU IFMO )

Address: 197101, Russia, g. St. Petersburg, Kronverksky Prospect , 49 .

Dr. Sc. Sciences, Department of "Optical- Electronic Devices and Systems"

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

**Antonov Alexander Sergeevich**

FGBOU VPO "St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics» (SPbNIU IFMO )

Address: 197101 , Russia, g. St. Petersburg, Kronverksky Prospect , 49 .

PhD student, Department of "Optical- Electronic Devices and Systems"

E-mail: [antsasha@mail.ru](mailto:antsasha@mail.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](http://www.gu-unpk.ru)  
E-mail: [unpk@ostu.ru](mailto: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(4862)734362, +7(4862)434890  
[www.gu-unpk.ru](http://www.gu-unpk.ru)  
E-mail: [srmostu@mail.ru](mailto:srmostu@mail.ru)

Технический редактор, корректор,  
компьютерная верстка И. В. Акимочкина

Подписано в печать 25.12.2013

Формат 70x108 1/16.

Усл. печ. л. 8,3

Тираж 500 экз.

Заказ № 143/14П1

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической базе Госуниверситета-УНПК  
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.