

**Редакционный совет:**

**Голенков В.А.** д-р техн. наук, проф.,  
председатель  
**Пилипенко О.В.** д-р техн. наук, проф.,  
**Радченко С.Ю.** д-р техн. наук, проф.,  
зам. председателя  
**Астафичев П.А.** д-р юр. наук, проф.,  
**Борзенков М.И.** канд. техн. наук, доц.,  
**Иванова Т.Н.** д-р техн. наук, проф.,  
**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.,

**Редакционная коллегия:**

**Агуреев И.Е.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Бажинов А.В.** д-р техн. наук, проф. (Украина)  
**Басков В.Н.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Бондаренко Е.В.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Браннольте У.** д-р техн. наук, проф. (Германия)  
**Бялы В.** д-р техн. наук, проф. (Польша)  
**Венцель Е.С.** д-р техн. наук, проф. (Украина)  
**Власов В.М.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Глаголев С.Н.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Горовиц В.Б.** д-р техн. наук, проф. (США)  
**Демич М.** д-р техн. наук, проф. (Сербия)  
**Корчагин В.А.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Макарова И.В.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Мартюченко И.Г.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Митусов А.А.** д-р техн. наук, проф. (Казахстан)  
**Нордун 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

<b>Н. А. Федин, С. С. Рябов</b> Анализ математической модели процесса накопления продуктов износа в моторном масле и обоснование номенклатуры основных сопряжений двигателя, диагностируемых методом спектрального анализа масла.....	3
<b>И. В. Макарова, Р. Г. Хабибуллин, Л. М. Габсалихова, Э. И. Беляев, И. И. Валиев</b> Анализ перспектив и рисков применения альтернативных видов топлива на автомобильном транспорте.....	12
<b>С. А. Сериков, Ю. Н. Бороденко, А. А. Дзюбенко</b> Использование логических правил при выборе стратегии управления силовой установкой гибридных автомобилей.....	23
<b>С. Ю. Радченко, Д. О. Дорохов, А. А. Кисловский</b> Перспективы применения технологии комплексного локального деформирования для упрочнения подшипников скольжения коленчатого вала.....	35
<b>Ю. Н. Баранов, Н. Е. Сакович, В. И. Самусенко</b> Разработка тормозного устройства для повышения тормозных качеств автотранспортных средств.....	47
<b>В. М. Манойло</b> Регулирование процесса подачи рабочего смеси положением поворотной заслонки дроссельного узла системы воздухообеспечения транспортного двигателя.....	53

### Технологические машины

<b>Ю. М. Ляшенко, Е. А. Ревякина, А. Ю. Ляшенко</b> Погрузочные органы с роликовой рабочей поверхностью погрузочно – транспортных комплексов карьеров нерудных материалов.....	60
<b>Ю. Н. Каманин</b> Практические рекомендации по проектированию гидравлических устройств ударного действия для работы в условиях пониженных температур.....	71
<b>В. Е. Климов</b> Разработка и прочностной расчет конструкции навесной рамы комбинированной дорожной машины.....	77
<b>Р. А. Ределин</b> Результаты математического моделирования работы отбойно-гидравлического молота при различных температурных условиях.....	83
<b>А. В. Курьелев, Е. Г. Рылякин</b> Система регулирования температуры рабочей жидкости в гидроприводе транспортно-технологических машин.....	89

### Безопасность движения и автомобильные перевозки

<b>П. Пржибыл, А. Н. Новиков, А. А. Катунин</b> Автомобильные перевозки как наука.....	96
<b>С. В. Дорохин</b> Методика расчета допустимой скорости движения по криволинейной траектории.....	110
<b>Ю. Чарский, П. Шатра</b> Предложение принципов для реконструкции дорог I/2 и 1/12 в чешской республике к стандарту 2+1.....	118

### Образование и кадры

<b>И. Е. Ильина, Е. С. Куприянова, Д. А. Кротова</b> Применение тренажера та-2 для оценки психофизиологических особенностей кандидатов в водители.....	128
--	-----

### Экономика и управление

<b>Т. Л. Лукьянчикова</b> Системный подход к стратегии мотивации персонала предприятий транспортной инфраструктуры.....	136
<b>Д. Л. Оболенцев</b> Частно-государственное партнерство в транспортной инфраструктуре.....	145



The scholarly  
journal  
A quarterly review

№ 3(46) 2014

July - September

# 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.,*  
**O.V. Pilipenko** *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. Kirichuk** *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)*  
**V.M. Vlasov** *Doc. Eng., Prof. (Russia)*  
**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)*  
**I.V. Makarova** *Doc. Eng., Prof. (Russia)*  
**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. Eng., 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

- N. A. Fedin, S. S. Ryabov** The analysis mathematical model of the process of wear products accumulation in motor oil and nomenclature substitution of basic engine coupling, being diagnosed by spectrum analysis method of oil..... 3
- I. V. Makarov, R. G. Khabibullina, I. M. Gabsalikhova, E. I. Belyaev, I. I. Valiev** Analysis of the prospects and risks of alternative fuels for road transport..... 12
- S. A. Serikov, Y. N. Borodenko, A. A. Dziubenko** Use of logical rules for choosing of hybrid vehicles power unit control strategy ..... 23
- S. Yu. Radchenko, D. O. Dorokhov, A. A. Kislovskaya** Prospects for the use of technology integrated local strain hardening for slide bearings crankshaft..... 35
- J. N. Baranov, N. E. Sakovich, V. I. Samusenko** Development of a braking device to raise brake qualities of vehicles..... 47
- V. M. Manoilo** The model of regulating the working fluid flow process by means of the butterfly in the neck of the throttle device of the vehicle engine air supply system..... 53

### Technological Machinery

- Y. M. Lyashenko, E. A. Revyakina, A. Yu. Lyashenko** Machine working bodies with roller surface loading - transport complex pit aggregates..... 60
- Y. N. Kamanin** Practical design guidelines hydraulic devices percussion for operation in low temperatures ..... 71
- V. E. Klimov** Development and design strength calculations mounted frame combined road vehicles..... 77
- R. A. Redelin** The results of mathematical modeling working hydraulic breaker hammer under different temperature conditions..... 83
- A. V. Kurylev, E. G. Rylyakin** The thermal regulation system of working liquid in a hydraulic actuator of transport technological machines..... 89

### Road safety and road transport

- P. Pribyl, A. N. Novikov, A. A. Katunin** Transportation as a science..... 96
- S. V. Dorohin** The calculation of the speed limit along a curved path..... 110
- J. Čarský, P. Šatra** Proposal of guidelines for reconstruction of i/2 and 1/12 roads in the czech republic to 2+1 standard..... 118

### Education and Personnel

- I. E. Ilyina, E. S. Kupriyanova, D. A. Krotova** Use of the simulator ta-2 for the assessment of psycho-physiological peculiarities of candidates for drivers..... 128

### Economics and Management

- T. L. Lukyanchikova** The system approach to the strategy of motivation of the personnel of the enterprises of a transport infrastructure..... 136
- D. L. Obolentsev** Public private partnership in transport infrastructure..... 145

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ, РЕМОНТ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ**

УДК 621.43:628.892.2

Н. А. ФЕДИН, С. С. РЯБОВ

**АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА НАКОПЛЕНИЯ ПРОДУКТОВ ИЗНОСА В МОТОРНОМ МАСЛЕ И ОБОСНОВАНИЕ НОМЕНКЛАТУРЫ ОСНОВНЫХ СОПРЯЖЕНИЙ ДВИГАТЕЛЯ, ДИАГНОСТИРУЕМЫХ МЕТОДОМ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА МАСЛА**

*В статье рассмотрены составляющие уравнения процесс накопления продуктов в моторном масле двигателя внутреннего сгорания, факторы влияющие на накопления продуктов износа, расчетные зависимости. Обоснованы основные детали сопряжении, диагностируемых методом спектрального анализа масла.*

**Ключевые слова:** двигатель, обкатка, продукты износа, моторное масло, ресурс, анализ масла.

Основная масса продуктов износа накапливается в картерном масле, фильтрах и удаляется с израсходованным маслом. Процесс накопления продуктов износа в моторном масле достаточно точно описывается системой уравнений (1), (2), (3), (4), которые по существу представляют собой математическую модель этого процесса.

$$A = [A_0 - A_1 (1 - e^{-c_1 t})] (1 + K_1^{\beta_1} P_e), \tag{1}$$

$$B + [B_0 - B_1 (1 - e^{-c_2 t})] (1 + K_2^{\beta_2} P_e), \tag{2}$$

где  $A_0$  – начальная скорость поступления продуктов износа в масло, кг/ч;

$A_1$  – величина изменения скорости поступления продуктов износа в масло в период приработки, кг/ч;

$e$  – основание натурального логарифма;

$c_1, c_2$  – коэффициенты, характеризующие интенсивность процесса приработки, ч<sup>-1</sup>;

$K_1, K_2$  – коэффициенты, характеризующие изменение концентрации продуктов износа в масле в зависимости от среднего эффективного давления, МПа  <sup>$\frac{1}{\beta_1(\beta_2)}$</sup> ;

$\beta_1, \beta_2$  – показатели степени;

$P_e$  – среднее эффективное давление, МПа;

$B_0$  – начальный расход масла, кг/ч;

$B_1$  – величина изменения расхода масла в период приработки, кг/ч.

$$0,01 Vy = 0,01y_0 + \int_0^t A dt - 0,01 \int_0^t (Q\varphi + B)y dt. \tag{3}$$

$$y t = f(t) + \lambda \int_0^t K(t)y(t) dt, \tag{4}$$

Проанализируем составляющие уравнений (1), (2), (3), (4) с целью установить величины, наиболее существенно зависящие от качества ремонта.

а) Начальная интенсивность очистки масла полнопоточной центрифугой ( $Q\varphi_0$ )

Методы определения качества очистки масла центрифугой довольно сложны, трудоемки, не всегда обеспечивают необходимую точность результатов. Можно находить экспериментальным путем зависимость концентрации механических примесей в масле от времени работы двигателя, которая затем сопоставляется с аналогичными теоретическими кривыми,

построенными для различных значений интенсивности очистки. Однако методом можно пользоваться лишь в том случае, если известны скорость поступления продуктов износа в масло, расход масла и грязеемкость ротора центрифуги. Поскольку значения этих величин обычно неизвестны, предлагаемый метод нельзя считать пригодным для экспериментальных исследований в производственных условиях.

Определение интенсивности очистки в лабораторных условиях на безмоторных установках с введением искусственного загрязнителя в масле также приводит к значительным ошибкам (в 3–4 раза), обусловленным в основном различием фракционного состава и природы частиц загрязнений в искусственно приготовленном и естественно работавшем масле. Наиболее оперативный и достоверный метод определения начальной интенсивности очистки масла непосредственно на двигателях, работающих в естественных условиях, описывается с помощью данного выражения:

$$Q\varphi_0 = \frac{200g}{(y_0 + y_k)t} = \frac{200g_{\text{вкл}}\varepsilon}{(y_0 + y_k)t} \sim \frac{200 g_{\text{вкл}}\varepsilon}{yt}, \quad (5)$$

где  $g_{\text{вкл}}$  – масса влажных отложений в центрифуге, кг;  
 $\varepsilon = \frac{g_3}{g_{\text{вкл}}}$  коэффициент, учитывающий долю механических примесей в осадке ротора центрифуги.

Интенсивность очистки моторного масла полнопоточной центрифугой при обкатке можно принять постоянной ( $Q\varphi = Q\varphi_0 = \text{const}$ ), так как рассматривается небольшой период работы. Интенсивность очистки масла зависит от эффективности средств очистки, влияние которых можно проследить, используя уравнение (6):

$$y = y_0 e^{-\frac{Q\varphi+B}{V}t} + \frac{100A}{Q\varphi+B} \left(1 - e^{-\frac{Q\varphi+B}{V}t}\right). \quad (6)$$

Приняв  $y_0=0$ :

$$y = \frac{100A(t)}{Q\varphi+B(t)} \left(1 - e^{-\frac{Q\varphi+B(t)}{V}t}\right), \quad (7)$$

где функции  $A(t)$  и  $B(t)$  описаны уравнениями (1) и (2). Эффективность очистки масла удобно оценивать параметром  $\frac{y(t)}{S}$ , где  $S$  – отношение количества продуктов износа, поступивших в систему смазки за время  $t$ , к содержащемуся в ней в этот момент количеству масла.

При работе без долива масла

$$S = \frac{At}{V_0}, \quad (8)$$

При работе с непрерывным доливом масла

$$S = \frac{At}{V_0 + Bt}, \quad (9)$$

где  $V_0$  – начальный объем масла;

$B$  – количество доливаемого масла.

Установлено, что основная масса (80–90 %) железа, снятого с деталей двигателя при их изнашивании, задерживается в фильтре тонкой очистки и только незначительная часть попадает в картерное масло. Например, в масле двигателей ЯМЗ-238НБ за 240 мото-ч работы накапливается от 10,8 до 30,1 % железа, в фильтрах – от 39,8 до 69,2 %, удаляется с маслом от 11,1 до 45,7 % железа от общего поступления.

Всё это подтверждает влияние интенсивности очистки масла маслоочистителями на процесс накопления продуктов износа в моторном масле. Рассматривая концентрацию продуктов износа в моторном масле как показатель качества ремонта при периодических кратковременных испытаниях, следует отметить, что интенсивность очистки за этот период практически не меняется при стендовой обкатке.

б) Начальная концентрация продуктов износа в масле ( $y_0$ )

При соблюдении правил хранения и перевозки масла значения  $y_0$  мало изменяются и не могут заметно повлиять на процесс накопления продуктов износа в масле и очистителях. Ве-

личину  $y_0$  составляют в основном продукты износа, которые остаются после технологической обкатки.

в) Количество масла, залитого в систему смазки ( $V_T$ )

Количество масла в системе смазки получим по выражению

$$V_T = V_0 - \int_0^t B dt + \sum_{i=1}^n \Delta V_i, \quad (10)$$

где  $\Delta V_i$  – количество периодически доливаемого масла, кг.

При выводе уравнения (6) процесса накопления продуктов износа в масле принималось, что в процессе работы двигателя количество масла в системе смазки не изменяется. Израсходованная часть масла компенсировалась непрерывным доливом и на процесс накопления продуктов износа влияло незначительно.

Решение указанной задачи при  $V_T \neq \text{const}$  (без долива свежего масла) имеет смысл лишь до тех пор, пока его количество в системе смазки больше или равно минимальному значению, обеспечивающему надежную смазку деталей и узлов двигателя.

Влияние количества масла в системе на процесс накопления в нём механических примесей исследовалось Никифоровым О.А., Непогодьевым А.В. и другими исследователями. Установлено, что с изменением объема масла в системе меняется как скорость поступления загрязнений, так и эффективность очистки масла. Первое объясняется тем, что при неизменной производительности масляного насоса меняется частота поступления масла в горячие зоны двигателя, второе – изменением интенсивности циркуляции масла через фильтры. В результате характер нарастания концентрации примесей, с изменением объема залитого в систему масла будет зависеть от изменившегося при этом соотношения скоростей поступления и удаления загрязнений. При малоэффективных средствах очистки объем масла в системе рекомендуется увеличивать, поскольку концентрация примесей в этом случае уменьшается.

г) Расход масла ( $B$ ) в основном определяется техническим состоянием цилиндропоршневой группы, конструкцией двигателя и вязкостью масла. Кроме того, расход масла имеет случайные отклонения, обусловленные технологией изготовления или ремонта двигателей. Поскольку эти отклонения случайные, то расход масла должен рассматриваться как случайная величина, изменяющаяся во времени. В период приработки расход масла зависит от внешних воздействий, режима работы и скорости изнашивания деталей двигателя.

Исследования ученых, проведенные в ГОСНИТИ, теоретически обосновали и экспериментально подтвердили возможность использования квазидетерминированной модели для описания изменения расхода масла в период приработки тракторного двигателя (на примере Д-50). Было выявлено, что расход масла в период приработки изменяется по экспоненте:

$$B = B_0 - B_1(1 - e^{-C_2 t}), \quad (11)$$

где для Д-50  $C_2 = 0,071 - 0,092$ .

По мере приработки деталей двигателя расход масла стабилизируется на определенном уровне. Дополнительно необходимо учитывать и нагрузочные режимы, с учётом которых часовой расход масла в период приработки может быть установлен по уравнению (2).

д) Скорость поступления продуктов износа в масло ( $A$ ) в период приработки зависит от многих факторов: качества ремонта, зазоров в сопряжениях цилиндропоршневой и кривошипно-шатунной групп, режима работы двигателя, физико-химических характеристик масла, температурного режима системы смазки и т.д.

Исследования показывают, что между скоростью поступления железа в систему смазки и расходом топлива двигателей

Д-50 существует прямолинейная связь:

$$A_{Fe} = aG_T + b, \quad (12)$$

где  $G_T$  – расход топлива;  
 $a, b$  – коэффициенты.

С увеличением частоты вращения скорость изнашивания сопряжений деталей возрастает, что вызвано повышением температуры сопряжений деталей цилиндрической поршневой группы, а также ростом динамических нагрузок и работой сил трения. В настоящее время экспериментально доказано, что  $A(t)$  в период приработки двигателей зависит от нагрузочных режимов. Анализируя скорость поступления продуктов износа в масло в процессе приработки, с учетом воздействия нагрузочных режимов, она более точно описывается зависимостью:

$$A(t)=[A_0 - A_1(1 - e^{-c_1 t})](1 + K_1^{b_1} P_e). \quad (13)$$

При рассмотрении расчётных зависимостей процесса накопления продуктов износа в масле выявлено, что скорость их поступления играет важную роль, при этом концентрация может изменяться от 60 до 160 г/т в зависимости от  $A(t)$ .

Таким образом, рассмотрев составляющие уравнения накопления продуктов износа в моторном масле в период приработки, можно сделать вывод, что концентрация продуктов износа в наибольшей степени зависит от скорости их поступления в моторное масло и от расхода масла на угар.

В процессе работы двигателя продукты изнашивания деталей в виде частиц различных размеров смываются маслом с поверхностей трений и попадают в картер. При использовании спектрального метода для диагностирования технического состояния выбирают изнашивающиеся детали, омываемые маслом и содержащие в своем материале химический элемент, характерный лишь для этих деталей. По наличию характерных элементов Al, Cr, Fe, Sn, Pb, Cu и др. устанавливают номенклатуру изнашивающихся деталей (поршни, поршневые кольца, гильзы цилиндра, подшипники коленчатого вала и др.). Поскольку содержание отдельных элементов в масле очень мало, важно учитывать чувствительность аппаратуры, применяемой при определении того или иного элемента. Если концентрация ум элемента в масле при интенсивном изнашивании за промежуток времени  $t_1$  окажется больше наименьшей концентрации  $y_p$ , обнаруживаемой прибором, то этот элемент можно выбрать в качестве характерного.

$$y_m > y_p. \quad (14)$$

Поэтому условие (14) является одним из важных при обосновании номенклатуры диагностируемых деталей двигателя. Из деталей, входящих в состав двигателя СМД-62, были выделены те продукты изнашивания, которые вымываются из узлов трения и циркулируют в системе смазки. В таблице 1 приведены перечень этих деталей и характерные для химического состава элементы.

Таблица 1 - Характерные элементы деталей двигателя СМД-62

Наименование деталей	Характерные элементы						
	Cr	Ni	Cu	Sn	Pb	Al	Fe
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Поршни						0	
2 Втулки верхней головки шатуна			0				
3. Вкладыш коленчатого вала				+		0	
4. Втулки шестерни топливного насоса			0			+	
5. Подшипник распределительного вала			0	+	+		
6. Подшипник ТК Р			0	+	+		
7. Втулки маслонасоса			0	+	+		
8. Верхние компрессионные кольца	0						
9. Клапан впускной	+						0

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
10. Клапан выпускной	+	+					0
11. Гильзы, кольца, поршневые пальцы, детали механизма газораспределения, опоры распределительного вала		-					0

0 – концентрация элемента свыше 20 %;

+ – концентрация элемента до 20 %.

Анализ показывает, что такие элементы, как фосфор, сера, марганец, титан, магний, бор, вольфрам и молибден, содержащиеся в сплавах в небольших количествах в виде добавок или примесей, можно сразу исключить из рассмотрения. Углерод также не может служить характерным элементом, так как входит в состав масла; то же и кремний, который попадает в большом количестве в масло вместе с пылью и в большей степени характеризует состояние уплотнений и работу системы воздуха очистки.

Таким образом, в качестве характерных элементов при диагностировании двигателя СМД-62 могут быть предварительно выбраны следующие элементы: хром, никель, олово, свинец, алюминий, железо (табл.1).

Из таблицы 1 также видно, что один и тот же элемент характерен одновременно для нескольких деталей. Практически нет такого элемента, который входил бы в состав только одной детали. Поэтому при оценке технического состояния деталей необходимо учитывать не только концентрацию одного элемента, но и их сочетаний, а также знать, какая доля элемента попадает в масло от каждой изнашиваемой детали, для чего в первую очередь необходимо определить скорости изнашивания деталей.

Скорость изнашивания деталей для данного двигателя можно определить экспериментально. Однако известно, что текущая скорость изнашивания – величина случайная и не всегда правильно отражает действительную картину, а проведение эксперимента требует значительных средств и времени. Поэтому для установления средних скоростей изнашивания деталей обычно используют данные по износу деталей однотипных двигателей, а также результаты статистической обработки данных, полученных при эксплуатационных и контрольных испытаниях трактора на МИС. Концентрацию продуктов износа рассчитывают по формуле

$$y = \frac{g}{g_n + g_y}, \quad (15)$$

где  $g$  – скорость поступления продуктов износа в систему смазки, кг/ч;

$g_n$  – приведенная интенсивность циркуляции масла в маслоочистителе, кг/ч;

$g_y$  – интенсивность угара масла, кг/ч.

При нормальных условиях работы двигателя можно принять интенсивность очистки масла центрифугой и расход масла на угар постоянными. Для нашего случая в среднем

$$g_n = 0,1 \text{ кг/ч и } g_y = 0,3 \text{ кг/ч.}$$

Скорость поступления элементов в масло составит:

$$g_A = \sum_{i=1}^n g_{Ai}, \quad (16)$$

где

$$g_{Ai} = \gamma_i \times s_i \times p_i \times \Pi_{Ai} \times 10^{-6} \left[ \frac{\text{кг}}{\text{ч}} \right], \quad (17)$$

здесь  $\gamma_i$  – скорость изнашивания  $i$ -й детали, мкм/ч;

$s_i$  – площадь трущейся поверхности  $i$ -й детали, м<sup>2</sup>;

$\rho_i$  – плотность материала детали, кг/м<sup>3</sup>;

$\Pi_{Ai}$  – содержание элемента А в *i* – й детали, %.

Площадь поверхностей трения определяли по размерам, указанным в рабочих чертежах деталей. В табл.2 (по данным исследований ГОСНИТИ) приведены содержание характерных элементов в сплаве деталей, диапазоны скоростей изнашивания и диапазоны скоростей поступления элементов в масло при их установившихся значениях обкатанного двигателя. Концентрацию основного элемента подсчитывали как разность между 100 % и суммарным содержанием (в %) остальных компонентов.

Номенклатуру регистрируемых элементов определяли исходя из условия (14) по возможной в масле суммарной концентрации элемента и чувствительности определения элементов. По данным ГОСНИТИ, такие элементы, как Si, Pb, Sn, Fe, Al, Cu, надежно обнаруживаются при концентрации их в масле не менее 6 г/т, а Cr – 3 г/т (при работе на фотоэлектрической установке МФС-3).

На основании расчетных данных в качестве характерных выбраны следующие элементы: Al, Cr, Fe, Cu, Sn.

Учитывая концентрацию элемента в масле, обусловленную изнашиванием нескольких деталей, можно установить перечень деталей, состояние которых поддается контролю методом спектрального анализа, и элементы, характерные для этих деталей (табл.3).

Таблица 2 - Определение скорости поступления элементов в масло

	Диапазон скоростей изнашивания, мкм/ч	Площадь поверхн. трения, м <sup>2</sup>	Плотность материала детали $\rho \times 10^3$ кг/м <sup>3</sup>	Содержание элемента в сплаве, %	Диапазон скоростей поступления элементов в масло, $g \times 10$ мг/ч
Поршни	0,0227– 0,0887	0,022323	2,72	Al-81,3	0,11–0,44
Кольца:					
верхние	0,03–0,1272	0,001428	5,0	Cr -100	0,02–0,09
компрессионные и маслосъемные	0,0057–1,1	0,003266	7,0	Fe-90,7	0,01–2,3
Втулка верхней головки шатуна	0,0033–0,0197	0,0065	8,8	Al-9,0 Cu-88,8	0,001–0,01 0,02–0,1
Вкладыши коленчатого вала:	0,0029–0,0292	0,009608	2,7	Al-92 Sn -6,0	0,007–0,07 0,0005–0,005
шатунные				Cu-7,0 Ni -1,0	0,00007–0,0007 0,00007–0,0007
коренные	0,0033–0,035	0,0465	2,7	Al-79,0 Sn-20,0 Cu-1,0	0,008–0,087 0,002–0,022 0,0001–0,0014
Подшипник рас-пред. вала	0,002	0,009734	8,8	Cu-85,0 Sn-5,0 Pb-5,0 Zn-5,0	0,015 0,0009 0,0009 0,0009
Гильза	0,00039–0,125	0,09062	7,0	Fe-92,4	0,23–7,33

Таблица 3 - Перечень деталей двигателя СМД-62, проверяемых спектральным методом, и их характерные элементы по данным ГОСНИТИ.

Наименование детали	Элементы				
	Al	Cr	Cu	Sn	Fe
Поршень	+				
Вкладыши коленчатого вала	+			+	
Втулка верхней головки шатуна			+		
Подшипник распред.вала			+	+	
Верхние компрессионные кольца		+			
Гильза, коленчатый и распределительный вал, поршневые кольца, шестерни					+

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев, М. А. Качество моторного масла и надежность двигателей [Текст] / М. А. Григорьев, Б. М. Бунаков, В. А. Долецкий. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 232 с.
2. Федин, Н. А. Качество отремонтированных двигателей [Текст] / Н. А. Федин // Известия вузов. Строительство – Новосибирск. - 2000. - № 1. - С. 81-84.
3. Федин, Н. А. Исследование результатов диагностирования моторного масла для оценки качество отремонтированных двигателей [Текст] // Материалы 1 международной научно-технической конференции . - 2000. - Ч2. - Пенза: ПГАСА. - С. 65-68.
4. Федин, Н.А. Оценка качества отремонтированных двигателей [Текст]: моногр. / Н. А. Федин, Т. Г. Федина. – Пенза: ПГУАС, 2010. – 132 с.
5. Коваль, И. А. Дизель СМД-60 и его модификации. Техническое описание и института по эксплуатации [Текст] / И. А. Коваль. – Харьков: Прапор, 1980. – 176 с.
6. Костецкий, Б. И. Трение, смазки и износа в машинах [Текст] / Б. И. Костецкий. – Киев: Техника, 1970. – 396 с.
7. Артемьев, Ю. Н. Качество ремонта и надежность машин в сельском хозяйстве [Текст] / Ю. Н. Артемьев. – М.: Колос, 1981. - 239 с.
8. Венцель, С. В. Применение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания [Текст] / С. В. Венцель. – М.: Химия, 1979. – 249 с.
9. Биргер, И. А. Техническая диагностика [Текст] / И. А. Биргер. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.
10. Величкин, И. Н. Ускоренная оценка стойкости деталей дизелей против абразивного износа [Текст] / И. Н. Величкин [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 1981. – № 10. – С.5–7.
11. Величкин, И. Оценка технического состояния цилиндро-поршневой группы без разборки двигателя [Текст] / И. Величкин, Н. Хоменко // Техника в сельском хозяйстве. – 1976. – № 7. – С.67–69.
12. Венцель, С. В. Применение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания [Текст] / С. В. Венцель. – М.: Химия, 1979. – 240 с.
13. Волков, С. И. Структура и анализ показателей качества ремонта автотракторных двигателей [Текст] / С. И. Волков. – М.: ЦНИИТЭИ, 1975. – 64 с.
14. Гмурман, В. Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике [Текст] / В. Е. Гмурман. – М.: Высш. шк., 1975. – 333 с.
15. ГОСТ 15467–79. Управление качеством. Термины и определения [Текст]. – Взамен ГОСТов 15467–70, 16431–70, 17341–71, 17102–71; Введ. 01.07.79. – 25 с.
16. Федин, Н. А. Наполнение продуктов износа в моторном масле двигателей внутреннего сгорания [Текст] / Н. А. Федин, С. С. Рябов // Мир транспорта и технологических машин: Орел, Госуниверситет – УНИК. – 2014. – С. 21-25.
17. ГОСТ 16468–79. Надежность изделий машиностроения. Система сбора и обработки информации. Основные положения [Текст]. – Взамен ГОСТ 16468–70; Введ. 01.01.80. – 8 с
18. ГОСТ 17510–79. Надежность изделий машиностроения. Система сбора и обработки информации. Планирование наблюдений [Текст]. – Взамен ЭГОСТ 17510–72; Введ. 01.01.80. – 19 с.
19. Григорьев, М. А. Износ и долговечность автомобильных двигателей [Текст] / М. А. Григорьев, Н. Н. Пономарёв. – М.: Машиностроение, 1976. – С. 15–17.
20. Ждановский, Н. С. Диагностика автотракторных двигателей с использованием электронных приборов [Текст] / Н. С. Ждановский, В. А. Аллилуев, В. М. Михлин. – Ленинград–Пушкин: ЛСХИ, 1973. – 127 с.

**Федин Николай Алексеевич**

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»

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

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

E-mail: ngig@pguas.ru

**Рябов Сергей Сергеевич**

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»

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

Студент гр. ЭТМК-11

E-mail: sergryaboff@mail.ru

---

N. A. FEDIN, S. S. RYABOV

**THE ANALYSIS MATHEMATICAL MODEL OF THE PROCESS OF WEAR PRODUCTS ACCUMULATION IN MOTOR OIL AND NOMENCLATURE SUBSTANTIATION OF BASIC ENGINE COUPLING, BEING DIAGNOSTICATED BY SPECTRUM ANALYSIS METHOD OF OIL**

*The equation constituents of the process of wear products accumulation in motor oil, of internal-combustion engine, the factors having an influence on accumulation of wear products, the calculation dependences are considered in the article. The basic details of coupling, being diagnosed by spectrum analysis method of oil are substantiated.*

**Keywords:** engine, breaking in, wear products, motor oil, resource, oil analysis.

**BIBLIOGRAPHY**

1. Grigor`ev, M. A. Kachestvo motornogo masla i nadezhnost` dvigateley [Tekst] / M. A. Grigor`ev, B. M. Bunakov, V. A. Doletskiy. - M.: Izd-vo standartov, 1984. - 232 s.
2. Fedin, N. A. Kachestvo otremonirovannykh dvigateley [Tekst] / N. A. Fedin // Izvestiya vuzov. Stroitel`stvo - Novosibirsk. - 2000. - № 1. - S. 81-84.
3. Fedin, N. A. Issledovanie rezul`tatov diagnostirovaniya motornogo masla dlya otsenki kachestvo otremonirovannykh dvigateley [Tekst] // Materialy 1 mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii . -2000. - CH2. - Penza: PGASA. - S. 65-68.
4. Fedin, N.A. Otsenka kachestva otremonirovannykh dvigateley [Tekst]: monogr. / N. A. Fedin, T. G. Fedina. - Penza: PGUAS, 2010. - 132 s.
5. Koval`, I. A. Dizel` SMD-60 i ego modifikatsii. Tekhnicheskoe opisanie i instituta po ekspluata-tsii [Tekst] / I. A. Koval`. - Har`kov: Prapor, 1980. - 176 s.
6. Kostetskiy, B. I. Trenie, smazki i iznosa v mashinakh [Tekst] / B. I. Kostetskiy. - Kiev: Tekhnika, 1970. - 396 s.
7. Artem`ev, YU. N. Kachestvo remonta i nadezhnost` mashin v sel`skom khozyaystve [Tekst] / YU. N. Artem`ev. - M.: Kolos, 1981. - 239 s.
8. Ventseľ, S. V. Primenenie smazochnykh masel v dvigatelyakh vnutrennego sgoraniya [Tekst] / S. V. Ventseľ. - M.: Himiya, 1979. - 249 s.
9. Birger, I. A. Tekhnicheskaya diagnostika [Tekst] / I. A. Birger. - M.: Mashinostroenie, 1978. - 240 s.
10. Velichkin, I. N. Uskorennaya otsenka stoykosti detaley dizeley protiv abrazivnogo iznosa [Tekst] / I. N. Velichkin [i dr.] // Traktory i sel`khoz mashiny. - 1981. - № 10. - S.5-7.
11. Velichkin, I. Otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya tsilindro-porshnevoy gruppy bez razborki dvigatelya [Tekst] / I. Velichkin, N. Homenko // Tekhnika v sel`skom khozyaystve. - 1976. - № 7. - S.67-69.

12. Ventseľ, S. V. Primenenie smazochnykh masel v dvigatelyakh vnutrennego sgoraniya [Tekst] / S. V. Ventseľ. - M.: Himiya, 1979. - 240 s.
13. Volkov, S. I. Struktura i analiz pokazateley kachestva remonta avtotraktornykh dvigateley [Tekst] / S. I. Volkov. - M.: TSNIITEI, 1975. - 64 s.
14. Gmurman, V. E. Rukovodstvo k resheniyu zadach po teorii veroyatnostey i matematicheskoy statistike [Tekst] / V. E. Gmurman. - M.: Vyssh. shk., 1975. - 333 s.
15. GOST 15467-79. Upravlenie kachestvom. Terminy i opredeleniya [Tekst]. - Vzamen GOSTov 15467-70, 16431-70, 17341-71, 17102-71; Vved. 01.07.79. - 25 s.
16. Fedin, N. A. Napolnenie produktov iznosa v motornom masle dvigateley vnutrennego sgoraniya [Tekst] / N. A. Fedin, S. S. Ryabov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin: Orel, Gosuniversitet - UNIK. - 2014. - S. 21-25.
17. GOST 16468-79. Nadezhnost` izdeliy mashinostroeniya. Sistema sbora i obrabotki informatsii. Osnovnye polozheniya [Tekst]. - Vzamen GOST 16468-70; Vved. 01.01.80. - 8 s
18. GOST 17510-79. Nadezhnost` izdeliy mashinostroeniya. Sistema sbora i obrabotki informatsii. Planirovaniye nablyudeniy [Tekst]. - Vzamen EGOST 17510-72; Vved. 01.01.80. - 19 s.
19. Grigor`ev, M. A. Iznos i dolgovechnost` avtomobil`nykh dvigateley [Tekst] / M. A. Grigor`ev, N. N. Ponomariov. - M.: Mashinostroenie, 1976. - S. 15-17.
20. ZHdanovskiy, N. S. Diagnostika avtotraktornykh dvigateley s ispol`zovaniem elektronnykh priborov [Tekst] / N. S. ZHdanovskiy, V. A. Alliluev, V. M. Mikhlin. - Leningrad-Pushkin: LSHI, 1973. - 127 s.

**Fedin Nikolay Akekseevich**

FGBOU VPO "Penza State University of Architecture and Construction"

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

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

E-mail: ngig@pguas.ru

**Ryabov Sergey Sergeevich**

FGBOU VPO "Penza State University of Architecture and Construction"

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

Student gr. ETMK-11

E-mail: sergryaboff@mail.ru

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

*Подписной индекс журнала:*

*16376 («Пресса России»)*

*Подписка через редакцию:*

*(с любого месяца)*

*Информация о подписке на нашем сайте*

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

*Тел. +7 (4862) 43-48-90*

УДК 629.331

И. В. МАКАРОВА, Р. Г. ХАБИБУЛЛИН,  
Л. М. ГАБСАЛИХОВА, Э. И. БЕЛЯЕВ, И. И. ВАЛИЕВ

## АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ И РИСКОВ ПРИМЕНЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ

*В статье приводится обзор основных направлений перехода к использованию альтернативных видов топлива на автомобильном транспорте. Представлен анализ предпосылок перехода общественного транспорта и транспорта коммунальных служб на использование сжатого природного газа. Рассмотрены преимущества использования природного газа, а также приведены и проанализированы сдерживающие факторы перехода. Выполнен качественный анализ рисков, характерных для проектов по расширению сети автомобильных газонаполнительных компрессорных станций и развитию сервиса.*

**Ключевые слова:** автомобильный транспорт, энергопотребление, низкоуглеродные виды топлива, газомоторное топливо, анализ рисков.

### ВЕДЕНИЕ

Транспорт традиционно является стратегическим приоритетом геополитического, социального и экономического развития государств, представляя собой важнейшую составную часть производственной и социальной инфраструктуры, а его устойчивое и эффективное функционирование – необходимое условие успешного развития экономики, обеспечения национальной безопасности и повышения уровня жизни населения. Поскольку транспорт является ключевым сектором в контекстах энергетической и экологической безопасности, на протяжении последних десятилетий во всем мире не теряет своей актуальности вопрос о поиске альтернативных видов моторного топлива.

Вторая не менее серьезная проблема, связанная с ростом автомобилизации, - негативное воздействие автотранспорта на окружающую среду: загрязнение воздуха выхлопными газами и мельчайшими твердыми частицами; загрязнение грунтовых вод токсичными стоками с автодорог, автомоек и стоянок автотранспорта; шумовое загрязнение; потеря городского жизненного пространства (до 50% площади современных городов отводится на дороги, парковки, гаражи и заправочные станции) и разрастание пригородов, которые поглощают места обитания диких животных и сельскохозяйственные земли. Являясь одним из основных потребителей энергии, транспортный сектор вносит существенный вклад в объем выбросов парниковых газов в атмосферу, наряду с промышленными предприятиями, выбрасывает чёрный дым и зеленовато-жёлтый диоксид, которые повышают риск ранней смерти [1]. Даже сравнительно низкая концентрация этих веществ в атмосфере вызывает от 4 до 22 процентов смертей до сорока лет, а загрязнение воздуха повышает вероятность рождения детей с пороками развития [2].

### ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ В ТРАНСПОРТНОМ СЕКТОРЕ

На рисунке 1 приведены данные BP Statistical Review of World Energy 2013 [3] о мировом потреблении энергии, значительную долю в объемах которой составляют углеводороды. При сохранении объемов добычи нефти, которая относится к невозобновляемым источникам энергии, в таких же масштабах, как и сейчас, в скором будущем ее запасы будут полностью исчерпаны. Более экономичный и экологически чистый транспорт является ключевым элементом концепции перехода к низкоуглеродной экономике, являющейся одним из приоритетных направлений формирования устойчивого развития социально-экономической системы России, способствующих переходу к «зеленому» росту, снижению нагрузки на окружающую среду, повышению эффективности использования природных ресурсов.

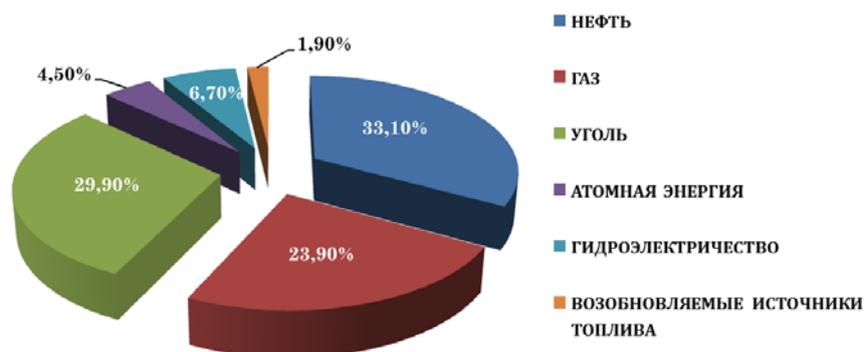


Рисунок 1 - Мировое потребление энергии

Растущий уровень автомобилизации вынуждает мировое сообщество к поиску решений по снижению негативного влияния автотранспорта на окружающую среду: ужесточаются требования к экологической безопасности автомобилей, вводятся жесткие стандарты Евро-4, Евро-5, разработаны Евро-6.

Работы по снижению энергопотребления и, соответственно, объемов выбросов от транспортного сектора ведутся, в основном, в двух направлениях:

- новые технические и технологические решения, направленные на повышение качества топлива, переход на низкоуглеродные виды топлива, изменение способа получения энергии, принципиально новые виды энергосиловых установок, а также применение новых материалов и конструктивных решений для снижения веса транспортного средства.
- организационно-управленческие решения, направленные на повышение эффективности эксплуатации транспортных средств, в том числе за счет организации их качественно и своевременного сервиса и ремонта, предупреждения отказов, повышения эксплуатационной надежности и безопасности.

Поскольку в крупных городах в городском цикле движения автобуса, при частых остановках и торможениях, двигатель работает не в оптимальном режиме, значительная часть топлива сжигается впустую, выбросы в атмосферу угарного газа, двуокиси углерода, других вредных веществ и твердых частиц превышают экологические нормы работы транспортных средств. Эффективным решением по экономии топлива и снижению выброса вредных веществ является комбинированная (гибридная) энергетическая система - гибридный привод. Создание гибридных автобусов является мировой тенденцией в автобусостроении. В этом направлении работают многие мировые производители. США и Канада являются крупнейшими потребителями гибридных автобусов, в основном дизель-электрических. Власти Нью-Йорка перешли на закупку гибридного транспорта, аргументируя это тем, что при сходных экологических показателях дизель-электрические автобусы более экономичны, имеют существенные преимущества в эксплуатации и комфорте, не требуют дополнительной инфраструктуры. В ряде европейских стран выразили заинтересованность во внедрении гибридов в схему пассажирских перевозок.

По словам экспертов, в РФ экологичный транспорт эффективен, прежде всего, в городских условиях. Так, по мнению заместителя гендиректора Центрального научно-исследовательского автомобильного и автомоторного института (НАМИ) Анатолия Эйдинова, "именно такой транспорт должен быть внедрен в крупных городах: автобусы с комбинированной энергоустановкой, электробусы, грузовые автомобили с КЭУ, легкий коммерческий транспорт с гибридными двигателями" [4].

Рассматривая возможности применения альтернативных видов топлива на автомобильном транспорте, следует учитывать перспективный спрос у потребителей. Поскольку потребитель не всегда готов отказаться от привычных транспортных средств, следует при-

менять перспективные двигатели на тех сегментах рынка, где государство наиболее эффективно может сформировать спрос, используя различные методы стимулирования. Авторы статьи [5] рассматривают в качестве альтернативного топлива биодизельное. Авторы считают, что следует принимать во внимание не только технические параметры, но также учитывать экономические, социальные и стратегические аспекты современного общества. Так, по мнению авторов, на макроэкономическом уровне, наряду с сокращением зависимости макроэкономических параметров от внешних факторов, развитие промышленного производства биодизеля обеспечит занятость населения, дополнительный приток в сельское хозяйство финансовых средств и экономическое развитие сельских районов.

Объективные предпосылки роста в последние годы интереса к газу как моторному топливу - более высокие энергетические и экологические характеристики по сравнению с нефтяными топливами. Из всех массово используемых моторных топлив и технологий природный газ обеспечивает наиболее безопасные выбросы отработавших газов, оказывает меньшее воздействие на смазочные масла (на 30-40%). Так, перевод автомобилей с бензина на газ позволяет снизить в среднем в пять раз выбросы вредных веществ, а шумовое воздействие - вдвое. Кроме того, газ не содержит основного загрязнителя бензина - серы, поэтому даже самый очищенный бензин стандарта «Евро-5» не может и близко сравниться по чистоте сгорания с газовым топливом. Немаловажным фактором является более стабильная, по сравнению с нефтью, цена на газ и более высокая экономичность: при более низкой (в два раза ниже, чем у дизельного топлива) его цене, энергоотдача почти одинаковая - 0,95:1.

Природный газ, как моторное топливо, используется в нескольких формах: сжатый природный газ (СПГ), сжиженный природный газ (СПГ) и попутный природный газ (ППГ) [6, 7]. При этом транспортные средства на СПГ уже используются по всему миру, причем разработаны технологии его получения, хранения и использования. При этом в мире существует около четырех миллионов транспортных средств на СПГ. Сжатый природный газ в качестве моторного топлива широко распространен в странах с собственными запасами природного газа. Такие транспортные средства выделяют только небольшие количества углекислого газа и имеют высокое октановое число, поэтому они подходят для использования в качестве топлива в общественном транспорте [8]. В некоторых странах для общественного транспорта используется СПГ. Так согласно проведенным исследованиям [9], в Японии, Италии и Канаде 7% автобусов используют в качестве моторного топлива СПГ, а некоторые европейские страны планируют использовать двигатели на СПГ для снижения нагрузки на окружающую среду. Тем не менее, наиболее актуальными вопросами, нуждающимися в дальнейших исследованиях, являются организация получения природного газа [10], его распределение и безопасность использования.

По мнению зарубежных специалистов, на ближайшие годы СПГ и СПГ являются единственной реальной альтернативой бензину и дизельному топливу. Большинство известных зарубежных автопроизводителей налажен серийный выпуск более чем 180 моделей газомоторных автомобилей, среди которых 112 моделей легковых автомобилей, 35 грузовиков, 38 автобусов. Наиболее широко газомоторные автомобили представлены европейскими производителями (126 моделей).

Благодаря своей низкой стоимости (стоимость СПГ составляет около 50% от стоимости бензина, СПГ - 75%), природный газ вызывает все больший интерес потребителей, а га-

место в мире по числу автомобилей на СПГ (1,3 млн.) и делит 17-18 места с США по числу автомобилей на КППГ (около 100 тыс.). Помимо этого, стимулирующим фактором перехода на газомоторное топливо следует считать тот факт, что в России предусмотрены программы государственной поддержки перевода общественного транспорта на газовое топливо. Председатель Правительства РФ Дмитрий Медведев, выступая на совещании по развитию автомобильной промышленности на среднесрочную перспективу, озвучил идею перехода страны на газомоторное топливо [11], а 13.05.2013 г. подписал Постановление о массовом (не менее 50%) переводе на газовое топливо общественного транспорта.

При использовании метана в качестве моторного топлива, продукты неполного сгорания практически не образуются, поскольку всегда есть избыток кислорода. Окислы азота образуются в меньшем количестве, так как температура сгорания бедных смесей значительно ниже. Пристеночный слой камеры сгорания при использовании бедных газо-воздушных смесей содержит меньший объем топлива, чем при более богатых бензино-воздушных. Таким образом, при правильно отрегулированном метановом газовом двигателе, выбросы в атмосферу угарного газа сокращаются в 5-10 раз по сравнению с бензиновым, окислов азота выделяется в 1,5-2,0 раза меньше, а углеводородов - в 2-3 раза меньше. Кроме того, при использовании метана значительно снижается выделение так называемых парниковых газов. Содержание углерода по весу в составе метана - 75%, а в составе бензина - 85%, поэтому при полном сгорании природного газа двуокиси углерода ( $\text{CO}_2$ ) образуется на 13% меньше, чем при сгорании бензина.

Так, учитывая, что среднегодовой пробег автомобиля КАМАЗ составляет 80 000 км, а среднегодовой расход топлива при расходе 40 л на 100 км составляет 32 000 литров, можно оценить насколько снизятся выбросы токсичных веществ в атмосферу в год при эксплуатации одного автомобиля при переводе его на газовое топливо. Высокая экологическая эффективность данного вида топлива подтверждается и тем фактом, что количество токсичных выбросов, выделяемых газовыми двигателями КАМАЗ, значительно меньше, чем допускаются нормативами Евро-4: NMHC (неметановых углеводородов) - в 1,9 раза;  $\text{CH}_4$  (метана) - в 3,2 раза; CO (оксида углерода) - в 200 раз; NOx (оксидов азота) - в 1,6 раза. Такие автомобили, используемые коммунальными службами, а также в качестве развозных в городском цикле, позволят снизить вредное воздействие автотранспорта на окружающую среду [12].

#### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА**

Для снижения объемов выбросов в городах применяют управленческие решения, как по регулированию плотности транспортных потоков, так и по оптимизации парка транспортных средств. Для решения этих вопросов применяют меры государственного регулирования, а также создают интеллектуальные транспортные системы.

Для регулирования видо-возрастной структуры парков проводят его обновление или замену транспортных средств на более экологичные. В этом отношении наиболее перспективные группы - логистические и автотранспортные компании, которые при соответствующем государственном стимулировании могут обновлять парк оптимальным для решения экологических проблем способом.

Авторы исследования [13] по результатам анализа затрат на создание условий для перехода к использованию автобусов на альтернативном топливе различных типов, приходят к выводу, что наиболее важной предпосылкой для такого перехода является готовность городов и автобусных операторов применять такие новые технологии. Лицо, принимающее решение, должно чувствовать важность экологических преимуществ таких транспортных средств, поскольку, с чисто экономической точки зрения, эти автобусы более затратны. Оценка эффективности транспорта может осуществляться с помощью такого показателя, как энергоэффективность по формуле:

$$\text{ЭЭ}(\%) = \frac{100}{Y \times T},$$

где  $Y$  - удельный расход топлива (кг/кВт×ч);

$T$  - теплотворная способность топлива (удельная теплота сгорания) (кВт×ч/кг). При этом данный показатель может регламентироваться государством [14].

Автор статьи [15] для оценки эффективности транспорта выделяет два основных направления: топливная экономичность и эффективность парка. При этом топливная экономичность - форма тепловой эффективности, зависящая от уникальных параметров двигателя, аэродинамического сопротивления, веса и сопротивления качению транспортного средства, в то время как эффективность парка описывает использование топлива группой транспортных средств, что можно повысить как улучшением характеристик отдельного автомобиля, так и оптимизацией маршрута или модификацией поведения.

В качестве потенциальных владельцев транспорта на альтернативном топливе, авторы выделяют следующие группы:

- Города и школы
  - Школьные автобусы
  - Полицейские управления и отделы пожарной охраны
  - Общественный транспорт
- Компании по прокату автомобилей
- Федеральные и государственные агентства
- Коммерческие юридические лица
- Фирмы грузоперевозки
- Почта и службы доставки, такие как USPS, федеральный Экспресс, и Объединенная служба доставки посылок (UPS)

Актуальность такого выбора авторы мотивируют тем, что согласно статистическим данным воздействие на окружающую среду крупных парков выше, чем личных транспортных средств ввиду большого ежегодного пробега. Пробег личного автомобиля составляет в среднем 12 000 миль/год, тогда как средний автомобиль в парке проходит 23 000 миль/год. Кроме того, доля новых автомобилей в парке значительна, поскольку их обновление происходит чаще, чем у индивидуальных владельцев.

### **ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕВОДА АВТОТРАНСПОРТА НА АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ТОПЛИВА**

Поскольку транспортные средства на альтернативном топливе имеют отличия от традиционных, то существует ряд проблем, возникающих при расширении их доли в численности парка. Главным сдерживающим фактором при стимулировании перехода к экологичному транспорту является неподготовленность инфраструктуры к массовому использованию такой техники. Для беспроблемной эксплуатации и поддержания работоспособности автомобилей с альтернативными источниками топлива необходимо создание сети заправочных станций и автосервисных предприятий для обслуживания автомобилей данного модельного ряда.

Поскольку для России наиболее перспективным является использование в качестве альтернативного топлива природного газа, то необходима качественная оценка возможностей и рисков для реализации мероприятий по продвижению их на рынок. Одним из эффективных инструментов для такой оценки является SWOT-анализ (табл. 1). На первом этапе анализа выделяются факторы внешней среды и внутренние условия и возможности для реализации разрабатываемой стратегии расширения рынка.

Матрица оценок внутренних и внешних факторов формируется экспертным методом (табл. 1). При этом сильным и слабым сторонам экспертами присваивается оценка  $A_i$  по шкале от 0 до 4 (максимальному баллу соответствует значимое проявление фактора). Для оценки внешних факторов используются два параметра:

- вероятность достижения события  $p_j$  по шкале от 0 до 1, где единице соответствует максимальная вероятность появления события;
- значимость фактора  $K_j$ , характеризующая степень влияния фактора по шкале от 0 до 4, где максимальным баллам соответствует высокая степень влияния.



Рисунок 2 - Факторы, учитываемые при проведении SWOT-анализа (газовые автобусы)

Таблица 1 - Матрица оценок по факторам SWOT-анализа

			Сильные стороны				Слабые стороны				
			1	2	3	4	1	2	3	4	
			Оценки $A_i$ [0;4]				Оценки $A_i$ [0;4]				
Возможно сти	1	$p_j[0;1] \times K_j[0;4]$	0,8×3	2,4	9,6	7,2	4,8	4,8	7,2	9,6	2,4
	2		0,5×3	1,5	6	4,5	3	3	4,5	6	1,5
	3		0,5×3	1,5	6	4,5	3	3	4,5	6	1,5
	4		0,5×3	1,5	6	4,5	3	3	4,5	6	1,5
Угрозы	1	$p_j[0;1] \times K_j[0;4]$	0,5×2	1	4	3	2	2	3	4	1
	2		0,3×1	0,3	1,2	0,9	0,6	0,6	0,9	1,2	0,3
	3		0,3×2	0,6	2,4	1,8	1,2	1,2	1,8	2,4	0,6
	4		0,3×1,5	0,45	1,8	1,35	0,9	0,9	1,35	1,8	0,45

Для определения сильных и слабых сторон деятельности, потенциальных внешних угроз и благоприятных возможностей составляется матрица взаимного влияния факторов. Их оценку в баллах по отношению к данным стратегически важных конкурентов дают выбранные эксперты. Для каждой пары факторов вводится балльная оценка их взаимодействия  $a_{ij}$ , (от -1 до 1): при прямой (обратной) зависимости оценка положительная (отрицательная) и чем сильнее зависимость, тем выше оценка по модулю. Результат представлен в таблице 2.

Таблица 2 - Матрица оценок по взаимодействию факторов SWOT-анализа

			Сильные стороны				Слабые стороны			
			1	2	3	4	1	2	3	4
Возможно сти	1	+1	-1	+0,5	-1	-1	-1	-1	-1	-1
	2	+1	+1	+1+	+1	+1	+1	+1	+1	0
	3	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1
	4	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
Угрозы	1	+1	+1	+1	0	+1	0	+1	+1	+1
	2	0	-1	-1	+1	-1	-1	-1	-1	-1
	3	+1	-1	+1	+1	0	+1	+1	+1	+1
	4	+1	+1	+1	+1	-1	-1	0	+1	+1

Оценки формируют комплексные параметры  $A_{ij}$ :

$$A_{ij} = p_j \times K_j \times A_i \times a_{ij}, \quad (1)$$

где  $A_i$  – балльная оценка сильной (слабой) стороны компании;

$K_j$  – степень влияния возможности или угрозы;  
 $p_j$  – вероятность проявления фактора внешней среды;  
 $a_{ij}$  – степень взаимодействия факторов парного анализа.

Оценивается степень значимости каждого фактора с точки зрения формирования стратегии:

$$W = \sum A_{ij} \quad (2)$$

Результаты вычислений представлены в итоговой SWOT-матрице (табл. 3).

Таблица 3 - Итоговая SWOT-матрица

		Сильные стороны					Слабые стороны				
		1	2	3	4	$\sum A_{ij}$	1	2	3	4	$\sum A_{ij}$
Возможности	1	2,4	-9,6	3,6	-4,8	-8,4	-4,8	-7,2	-9,6	-2,4	-24
	2	1,5	6	4,5	3	15	3	4,5	6	0	13,5
	3	0	0	0	-3	-3	-3	-4,5	-6	-1,5	-15
	4	1,5	6	4,5	3	15	3	4,5	6	1,5	15
	$\sum A_{ij}$	5,4	2,4	12,6	-1,8		-1,8	-2,7	-3,6	-2,4	
Угрозы	1	1	4	3	0	8	2	0	4	1	7
	2	0	-1,2	-0,9	0,6	-1,5	-0,6	-0,9	-1,2	-0,3	-3
	3	0,6	-2,4	1,8	1,2	1,2	0	1,8	2,4	0,6	4,8
	4	0,45	1,8	1,35	0,9	4,5	-0,9	-1,35	0	0,45	-1,8
	$\sum A_{ij}$	2,05	2,2	5,25	2,7		0,5	-0,45	5,2	1,75	

Итоговая SWOT-матрица содержит суммы взвешенных оценок. Выбор в пользу наиболее значимого с точки зрения стратегии квадранта делается исходя из максимальных по модулю количественных оценок.

По итогам SWOT-анализа составляется матрица стратегических мероприятий: **SO** – мероприятия, которые необходимо провести, чтобы использовать сильные стороны для увеличения возможностей компании; **WO** – мероприятия, которые необходимо провести, преодолевая слабые стороны и используя представленные возможности; **ST** – мероприятия, которые используют сильные стороны организации с целью предотвращения угроз; **WT** – мероприятия, которые минимизируют слабые стороны для предотвращения угроз.

Матрица стратегических мероприятий, способствующих выходу гибридных автобусов на рынок, показана в таблице 8, газовых автобусов в таблице 9.

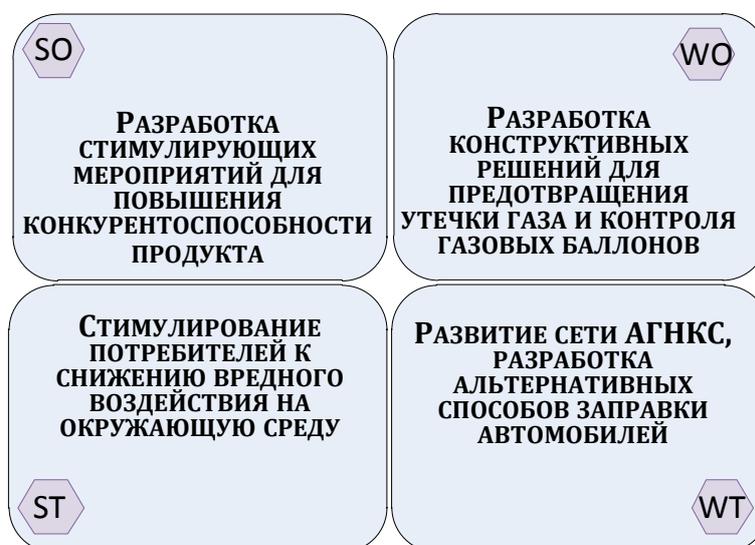


Рисунок 3 - Матрица стратегических мероприятий по отношению к конкурентной среде

### АНАЛИЗ РИСКОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЗОМОТОРНОЙ ТЕХНИКИ В СТАВРОПОЛЬСКОМ КРАЕ

Риски, которые могут возникнуть при расширении парка ГБА КАМАЗ, исследовались на примере Ставропольского края. При этом учитывалось, что для беспрепятственной

эксплуатации расширяющегося парка потребуются соответствие мощности АГНКС и сервисной сети растущим потребностям парка ГБА. Ставропольский край был выбран по той причине, что регион является курортным - на территории Ставропольского края создана особая экономическая зона туристско-рекреационного типа «Гранд СпаЮца» (Постановление № 71 Правительства РФ от 3.02.2007 г.), в связи с чем, к нему предъявляются повышенные требования по состоянию окружающей среды. При этом общая численность парка автотехники КАМАЗ в данном регионе составляет 17 261 единиц.

Автобусный парк Ставропольского края на конец 2012 г. составил 20,6 тыс.ед., причем парк характеризуется значительной изношенностью (примерно 80% численности парка), что требует его обновления [16].

Анализ рисков осуществляется методом экспертных оценок. При этом учитывается мнение 10 экспертов, хорошо знакомых с существом проблемы. Каждому эксперту предоставляется перечень рисков ситуаций, и предлагается оценить вероятность их наступления по следующей системе оценок: 0 – риск рассматривается как маловероятный; 25 – риск, скорее всего, не реализуется; 50 – о наступлении события ничего определенного сказать нельзя; 75 – риск, скорее всего, проявится; 100 – риск наверняка реализуется. Вес показателя: 1 – без последствий; 2 – последствия незначительны; 3 – последствия серьезные, но не критические; 4 – критический уровень последствий.

Оценки экспертов анализируются на непротиворечивость по следующим правилам:

1)  $\max|A_i - B_i| \leq 50, i=1...n$ , где  $A_i, B_i$  оценки двух экспертов в отношении  $i$ -ого риска, то есть максимальная разница между оценками экспертов по любому фактору должна быть не больше 50;

2)  $\sum \frac{|A_i - B_i|}{n} \leq 25$ . Используется для согласования оценок экспертов в среднем. Для этого оценки суммируются по модулю, и делятся на число рисков. Если между экспертами обнаружены противоречия, они обсуждаются на совещаниях для выработки согласования по данному вопросу. Вероятность возникновения и значимость рисков, затем отражается на диаграммах (картах) рисков (рис.4).

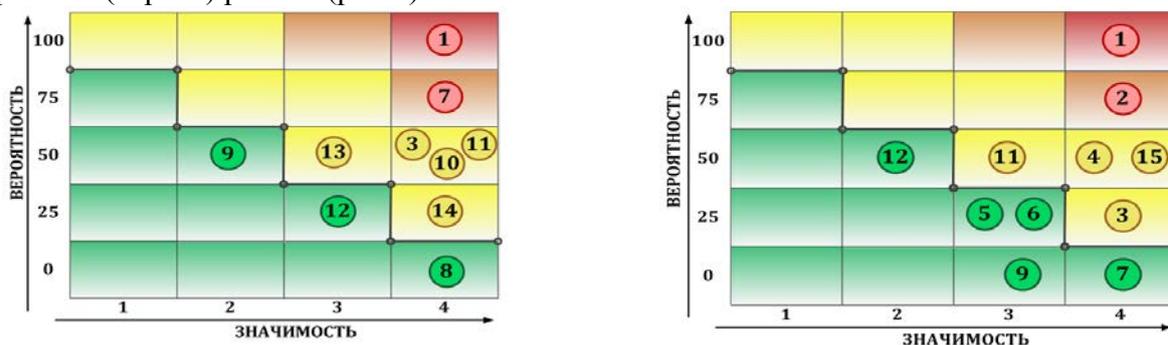


Рисунок 4 - Карты рисков

а) расширения сети АГНКС; б) – расширения сервисной сети для ГБА

Для контроля наиболее критичных видов риска были выделены KPI – (Key Performance Indicator), позволяющие при достижении отклонением максимального уровня предпринимать соответствующие меры по реализации стратегии выхода из рисков ситуации. Значения этих показателей при пессимистичном сценарии развития, выраженном в отклонении численности парка ГБА КАМАЗ на 50% от прогнозной, следующие: NPV – чистая приведенная стоимость - снизится с 6 943 до 513 тыс.руб.; PBP – дисконтированный срок окупаемости - увеличится с 10,55 лет и превысит горизонт планирования (> 18 лет); IRR - внутренняя норма рентабельности - уменьшится с 25,9% до 15,1% [17].

Поскольку проведенный качественный анализ рисков свидетельствует о достаточной

критичности риска, связанного с изменением динамики роста численности парка ГБА КАМАЗ (маркетинговый риск), а снижение данного показателя может привести к значительным потерям, при разработке стратегии необходимо предусмотреть соответствующие стимулирующие мероприятия для расширения численности парка ГБА КАМАЗ. С одной стороны, это – отмена всех субсидий и дотаций на компенсацию ГСМ для муниципальных АТП, а с другой – продвижение и реализация газомоторных автомобилей и автобусов, а также запасных частей и газобаллонного оборудования, через имеющуюся дилерско-сервисную сеть КАМАЗ, стимулирование дилеров к созданию постов и участков для сервисного обслуживания ГБА [18].

### ВЫВОДЫ

Решение проблем по снижению воздействия автотранспорта на окружающую среду может быть достигнуто за счет использования альтернативных источников топлива. Несмотря на очевидные экологические и экономические преимущества использования природного газа в качестве газомоторного топлива, имеются сдерживающие факторы для реализации проектов перевода автомобильного транспорта на газ, а также риски, которые могут возникнуть при реализации подобного рода проектов. Поэтому необходим комплекс стимулирующих мер государства для их поддержки.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Давыдов, Н. А. Экологические проблемы дизельных двигателей и возможные способы их решения [Текст] / Н. А. Давыдов, В. Б. Джерихов // Мир транспорта и технологических машин. – ФГБОУ ВПО «Государственный университет-УНПК». – 2013. – №1(40). С. 121-130.
2. Загрязнение воздуха в России – URL: <http://www.dishisvobodno.ru/zagryaznenie-vozdukha-v-rossii.html>. Дата обращения: 17.08.2013.
3. BP Statistical Review of World Energy. June 2013. Available at: [http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/statistical-review/statistical\\_review\\_of\\_world\\_energy\\_2013.pdf](http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/statistical-review/statistical_review_of_world_energy_2013.pdf)
4. Волобуев, А. Гибриды вытесняют общественный транспорт. URL: <http://top.rbc.ru/economics/29/06/2012/657494.shtml> (дата обращения - 20.01.2014).
5. Mihaela Bukljas Skocibusic, Natalija Jolic, and Zdravko Bukljas Economic and Social Aspects of Applying Biodiesel Fuel in Road Transport Systems Telematics. Communications in Computer and Information Science Volume 104, 2010, pp 243-252
6. Johnson, E. 2003. LPG: A secure, cleaner transport fuel? A policy recommendation for Europe. Energy Policy 31:1573–1577.
7. Zhuang, Q., Yodotani, J., and Kato, M. 2005. Accurate measurement method for the residues in liquefied petroleum gas (LPG). Fuel 84:443–446.
8. Sperling et al (1995) The target market for methanol fuel [Text] / D. Sperling, W. Setiawan, D. Hungerford // Transportation Research Part A, 29A (1) (1995), p. 33–45.
9. Sperling, D., 1995. Future Drive - Electric Vehicles and Sustainable Transportation. Island Press, Washington, DC.
10. R. A. Dawe & S. Thomas A Large Potential Methane Source—Natural Gas Hydrates // Energy Sources, Part A, 29:217–229, 2007.
11. Медведев предложил перевести все автомобили в стране на газ. – URL: <http://www.tsg66.ru/novosti/v-mire/medvedev-zadumal-pereves-vse-avtomobili-v-strane-na-gaz.html>. Дата обращения: 15.06.2013.
12. Сулейманов, И. Ф. Натурные исследования транспортных потоков и применение инструментальных методов для оценки качества атмосферного воздуха [Текст] / И. Ф. Сулейманов, Г. В. Маврин, В. Г. Маврин, Э. И. Беляев, Р. Г. Хабибуллин, И. В. Макарова // Мир транспорта и технологических машин. – ФГБОУ ВПО «Государственный университет-УНПК». – 2013. – №4 (43). – С 116-124.
13. Pascal van der Straten, Bart W. Wiegman & A.B.Schelling. Enablers and Barriers to the Adoption of Alternately Powered Buses. Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal. Volume 27, Issue 6, 2007. pages 679-698.
14. Постановление Правительства Республики Казахстан от 15 августа 2012 года № 1048 Об установлении требований по энергоэффективности транспорта Источник: ИС Парagraф WWW <http://online.zakon.kz>.
15. Alicia A. Reich. Transportation Efficiency. Strategic Planning for Energy and the Environment. Volume 32, Issue 2, 2012. pages 32-43
16. Постановление Правительства Российской Федерации 03.02.2007 N 71 "О создании на территории Ставропольского края особой экономической зоны туристического и развлекательного типа" [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_65969/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_65969/).
17. Makarova, I. Dealer-service center competitiveness increase using modern management methods / I. Makarova, R. Khabibullin, A. Belyaev, E. Belyaev // Journal "Transport Problems". – Poland – Silesian University of Technology, Faculty of Transport. – 2012. – Volume 7, Issue 2. – pp. 53-59.
18. Перспектива разработки автомобилей КАМАЗ с газовым двигателем. [http://tomskautogaz.ru/upload/health/files/RariTENK\\_\\_\\_perspektiva\\_razvitija](http://tomskautogaz.ru/upload/health/files/RariTENK___perspektiva_razvitija).

**Макарова Ирина Викторовна**

Набережночелнинский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Адрес: 423812, Россия, г. Набережные Челны, пр.Сююмбике, 10А  
Д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Сервис транспортных систем»  
E-mail: kamIVM@mail.ru

**Хабибуллин Рифат Габдулхакович**

Набережночелнинский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Адрес: 423812, Россия, г. Набережные Челны, пр.Сююмбике, 10А  
Д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Сервис транспортных систем»  
E-mail: hrg\_kamri@mail.ru

**Габсалихова Лариса Мухаматзакиевна**

Набережночелнинский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Адрес: 423812, Россия, г. Набережные Челны, пр.Сююмбике, 10А  
Канд. техн. наук, доцент кафедры «Сервис транспортных систем»  
E-mail: muhametdinoval@mail.ru

**Беляев Эдуард Ирекович**

Набережночелнинский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Адрес: 423812, Россия, г. Набережные Челны, пр.Сююмбике, 10А  
Канд. техн. наук, доцент кафедры «Сервис транспортных систем»  
E-mail: bomund@mail.ru

**Валиев Ильшат Ильдарович**

Набережночелнинский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Адрес: 423812, Россия, г. Набережные Челны, пр.Сююмбике, 10А  
Аспирант кафедры «Сервис транспортных систем»  
E-mail: il090988@yandex.ru

---

I. V. MAKAROVA, R. G. KHABIBULLIN  
L. M. GABSALIKHOVA, E. I. BELYAEV, I. I. VALIEV

## ANALYSIS OF THE PROSPECTS AND RISKS OF ALTERNATIVE FUELS FOR ROAD TRANSPORT

*In article the review of the basic directions of transition to use of fuel alternative kinds for vehicles in cities is led. The analysis of public transport transition preconditions, and also transport of public utilities on gas fuel is resulted. Use of natural gas advantages and also deterrents of such transition are resulted and analyzed. The qualitative analysis of risks, characteristic for projects on expansion of a network automobile gas-filling compressor stations and to development of service.*

**Keywords:** motor transport, power consumption, low-carbon types of fuel, gas motor fuel, risk analysis.

### BIBLIOGRAPHY

1. Davydov, N. A. Ekologicheskie problemy dizel'nykh dvigateley i vozmozhnye sposoby ikh resheniya [Tekst] / N. A. Davydov, V. B. Dzherikhov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - FGBOU VPO "Gosuniversitet-UNPK". - 2013. - №1(40). S. 121-130.
2. Zagryaznenie vozdukha v Rossii - URL: <http://www.dishisvobodno.ru/zagryaznenie-vozdrukha-v-rossii.html>. Data obrashcheniya: 17.08.2013.
3. BP Statistical Review of World Energy. June 2013. Available at: [http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/statistical-review/statistical\\_review\\_of\\_world\\_energy\\_2013.pdf](http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/statistical-review/statistical_review_of_world_energy_2013.pdf)
4. Volobuev, A. Gibridy vytesnyayut obshchestvennyy transport. URL: <http://top.rbc.ru/economics/29/06/2012/657494.shtml> (data obrashcheniya - 20.01.2014).

5. Mihaela Bukljas Skocibusic, Natalija Jolic, and Zdravko Bukljas Economic and Social Aspects of Applying Biodiesel Fuel in Road Transport Transport Systems Telematics. Communications in Computer and Information Science Volume 104, 2010, pp 243-252
6. Johnson, E. 2003. LPG: A secure, cleaner transport fuel? A policy recommendation for Europe. Energy Policy 31:1573-1577.
7. Zhuang, Q., Yodotani, J., and Kato, M. 2005. Accurate measurement method for the residues in liquefied petroleum gas (LPG). Fuel 84:443-446.
8. Sperling et al (1995) The target market for methanol fuel [Text] / D. Sperling, W. Setiawan, D. Hungerford // Transportation Research Part A, 29A (1) (1995), p. 33-45.
9. Sperling, D., 1995. Future Drive - Electric Vehicles and Sustainable Transportation. Island Press, Washington, DC.
10. R. A. Dawe & S. Thomas A Large Potential Methane Source-Natural Gas Hydrates // Energy Sources, Part A, 29:217-229, 2007.
11. Medvedev predlozhlil perevesti vse avtomobili v strane na gaz. - URL: <http://www.tsg66.ru/novosti/v-mire/medvedev-zadumal-pereves-vse-avtomobili-v-strane-na-gaz.html>. Data obrashche-niya: 15.06.2013.
12. Suleymanov, I. F. Naturnye issledovaniya transportnykh potokov i primeneniye instrumental'nykh metodov dlya otsenki kachestva atmosfernogo vozdukha [Tekst] / I. F. Suleymanov, G. V. Mavrin, V. G. Mavrin, E. I. Belyaev, R. G. Habibullin, I. V. Makarova // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - FGBOU VPO "Gosuniversitet-UNPK". - 2013. - №4 (43). - S 116-124.
13. Pascal van der Straten, Bart W. Wiegman & A.B.Schelling. Enablers and Barriers to the Adoption of Alternatively Powered Buses. Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal. Volume 27, Issue 6, 2007. pages 679-698.
14. Postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Kazakhstan ot 15 avgusta 2012 goda № 1048 Ob ustanovlenii trebovaniy po energoeffektivnosti transporta Istochnik: IS Paragraf WWW <http://online.zakon.kz>.
15. Alicia A. Reich. Transportation Efficiency. Strategic Planning for Energy and the Environment. Volume 32, Issue 2, 2012. pages 32-43
16. Postanovlenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii 03.02.2007 N 71 "O sozdanii na territorii Stavropol'skogo kraya osoboy ekonomicheskoy zony turisticheskogo i razvlekatel'nogo tipa". [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_65969/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_65969/).
17. Makarova, I. Dealer-service center competitiveness increase using modern management methods / I. Makarova, R. Khabibullin, A. Belyaev, E. Belyaev // Journal "Transport Problems". - Poland - Silesian University of Technology, Faculty of Transport. - 2012. - Volume 7, Issue 2. - pp. 53-59.
18. Perspektiva razrabotki avtomobiley KAMAZ s gazovym dvigatelem. [http://tomskautogaz.ru/upload/health/files/RariTEHK\\_\\_\\_perspektiva\\_razvitija](http://tomskautogaz.ru/upload/health/files/RariTEHK___perspektiva_razvitija).

**Makarova Irina Viktorovna**

Naberezhnochelninsky Institute (branch) of the Federal State Autonomous education institution of higher education "Kazan (Volga Region) Federal University of Medicine"  
Address: 423812, Russia, Naberezhnye Chelny, pr.Syuyumbike 10A  
Dr. tehn. , Professor, Professor of "Service of transport systems"  
E-mail: kamIVM@mail.ru

**Habibullin Rifat Gabdulhakovich**

Naberezhnochelninsky Institute (branch) of the Federal State Autonomous education institution of higher education "Kazan (Volga Region) Federal University of Medicine"  
Address: 423812, Russia, Naberezhnye Chelny, pr.Syuyumbike 10A  
Dr. tehn. Sciences, Professor, Head of the "Service of transport systems"  
E-mail: hrg\_kampi@mail.ru

**Gabsalihova Larissa Muhamatzakievna**

Naberezhnochelninsky Institute (branch) of the Federal State Autonomous education institution of higher education "Kazan (Volga Region) Federal University of Medicine"  
Address: 423812, Russia, Naberezhnye Chelny, pr.Syuyumbike 10A  
Candidate. tehn. Associate Professor, Department "Tools Transport Systems"  
E-mail: muhametdinoval@mail.ru

**Belyaev Edward Irekovich**

Naberezhnochelninsky Institute (branch) of the Federal State Autonomous education institution of higher education "Kazan (Volga Region) Federal University of Medicine"  
Address: 423812, Russia, Naberezhnye Chelny, pr.Syuyumbike 10A  
Candidate. tehn. Associate Professor, Department "Tools Transport Systems"  
E-mail: bomund@mail.ru

**Valiev Il'shat Ildarovich**

Naberezhnochelninsky Institute (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education "Kazan (Volga Region) Federal University"  
Address: 423812, Russia, Naberezhnye Chelny, pr.Syuyumbike 10A  
Graduate student of "Service of transport systems"  
E-mail: il090988@yandex.ru

УДК 629.3.038, 621.33

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

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛОГИЧЕСКИХ ПРАВИЛ ПРИ ВЫБОРЕ СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ ГИБРИДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

*Проведен сравнительный анализ вариантов построения систем управления гибридной силовой установкой и способов реализации оптимизирующих алгоритмов, построенных на основе логических правил. Приведены результаты исследований ведущих производителей.*

**Ключевые слова:** гибридная силовая установка, система автоматического управления, электропривод, тяговая аккумуляторная батарея, нечеткое логическое управление, нейроконтроллер, вентильный электродвигатель.

Актуальность проблемы и сложность вопросов, связанных с построением и оптимизацией систем автоматического управления (САУ) гибридными силовыми установками (ГСУ) обсуждались в [1]. В частности отмечалось, что в настоящее время используются несколько подходов к построению САУ ГСУ, различающиеся принципами реализации стратегии управления при решении задач перераспределения мощности между силовыми агрегатами гибридного автомобиля в процессе его движения. Показано, что наиболее распространенной практикой при решении поставленных задач, является выбор стратегии ГСУ на основе логических правил и таблично заданных законов регулирования [2, 3, 4, 5, 6, 7–10].

Правила и законы управления задаются разработчиками САУ путем сочетания эвристических методов и анализа результатов вычислительных экспериментов. Логика функционирования САУ может также задаваться при помощи базы нечетких правил и использовать ту или иную систему нечеткого вывода. Возможно применение искусственных нейронных сетей (ИНС) для аппроксимации законов регулирования или отдельных характеристик агрегатов [2, 10, 11, 12, 13]. В рамках данной статьи рассмотрим варианты построения и способы реализации оптимизирующих алгоритмов на примерах гибридных установок ведущих производителей.

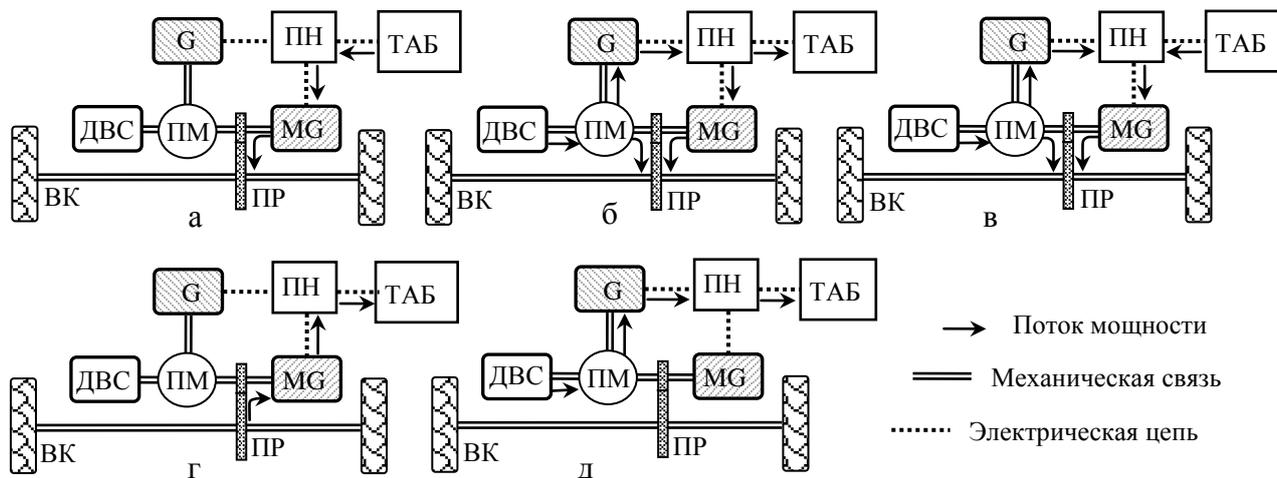
1. Принцип управления на основе логических правил используется в САУ ГСУ большинства выпускаемых в настоящее время гибридных автомобилей. Рассмотрим работу системы управления одной из наиболее совершенных ГСУ – Hybrid Synergy Drive (HSD), созданной специалистами компании Toyota Motor для автомобилей серии Prius. Такой же ГСУ оснащены автомобили Highlander и Camry. Модификации HSD установлены на полноприводном гибридном внедорожнике Lexus RX400h, а также переднеприводном автомобиле Lexus GS450h [2, 3, 8, 9].

Перераспределение мощности между трансмиссией, основным и вспомогательным двигателями и контуром рекуперации энергии обеспечивается при помощи планетарного механизма с электронным вариатором. Для переключения кинематической схемы ГСУ, каждое звено планетарного механизма управляется компьютером по средствам ленточного тормоза. При этом производится выбор и подключение ведущего звена. Скорости вращения шестерен планетарного механизма системы HSD связаны соотношением  $\omega_S = 3,6 \cdot \omega_h - 2,6 \cdot \omega_R$ , где  $\omega_S$ ,  $\omega_h$  и  $\omega_R$  – скорости вращения солнечной шестерни, водила сателлитов и коронной шестерни соответственно [7].

Основываясь на данных о режиме движения, степени нажатия педалей акселератора и тормоза, а также степени заряженности (state of charge – SOC) тяговой аккумуляторной бата-

реи (ТАБ) система энергетического контроля осуществляет управление ГСУ на нескольких режимах (рис. 1).

Режим электропривода (рис. 1, а) обеспечивается при старте и движении автомобиля с малыми скоростями и нагрузками.



**Рисунок 1 – Режимы работы гибридной силовой установки:**  
 а – электропривода; б, в – гибридного привода; г – рекуперации энергии; д – подзарядки ТАБ

Электрическая машина MG в режиме двигателя, получает энергию от батареи через преобразователь напряжения ПН и передает крутящий момент на ведущие колеса ВК через понижающий редуктор ПР. В случае низкой температуры окружающей среды или разряженной ТАБ, в работу вступает ДВС.

Режим гибридного привода обеспечивается на повышенных скоростях. При этом, мощность ДВС через планетарный механизм ПМ передаётся на ведущие колеса и генератор. Преобразованная электрическая энергия с генератора, используется для заряда ТАБ и питания электродвигателя (рис.1, б). При значительных нагрузках на колесе, ТАБ переводится в режим источника энергии для увеличения мощности электропривода (рис.1, в). Перераспределение мощности между MG и ДВС для поддержания заданного тягово-скоростного режима автомобиля, осуществляется из условия обеспечения максимальной экономичности и экологической безопасности ДВС.

В режиме рекуперации энергии ДВС отключен, а электрическая машина MG в режиме генератора производит заряд ТАБ (рис.1, г). При остановках автомобиля ДВС автоматически заглушается. Если при этом регистрируется недостаточная степень заряженности ТАБ, производится ее подзарядка за счет энергии ДВС (рис.1, д). На рисунке 2 приведена схема расчета режимов силовых агрегатов, реализуемая системой управления ГСУ автомобиля Lexus GS450h [2].

Ключевым элементом данной системы является контроллер цепи высокого напряжения (HV ECU). По положению педали акселератора, селектора управления коробкой передач и по значению скорости движения автомобиля HV ECU вычисляет требуемое значение крутящего момента ГСУ и реализует его наилучшим образом, сочетая возможности ДВС и электрических машин MG1 и MG2. При этом регулирование крутящего момента и скорости вращения ДВС осуществляется из условия минимума расхода топлива и токсичных выбросов.

Для получения необходимой мощности от ДВС контроллер HV ECU выдает запрос в блок управления двигателем на необходимую частоту вращения коленчатого вала и значение крутящего момента. Блок управления ДВС реализует поступившие требования через регулирование положения дроссельной заслонки, цикловой подачи топлива, угла опережения зажигания и фаз газораспределения. Недостающая мощность ГСУ обеспечивается электродвигателем MG2, который получает энергию от генератора MG1, или от ТАБ.

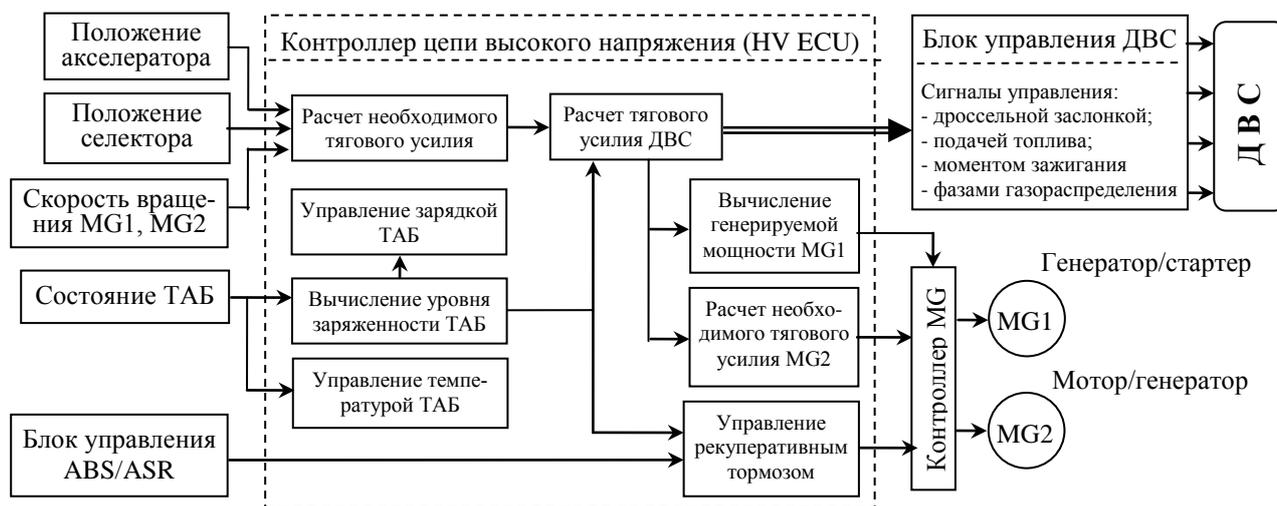


Рисунок 2 – Схема расчета режимных характеристик ГСУ автомобиля Lexus GS450h

Контроллер HV ECU осуществляет мониторинг SOC высоковольтной ТАБ по нескольким параметрам (уровню напряжения, силе тока заряд/разряд, температуре аккумуляторов). Если SOC ниже допустимого уровня, контроллер увеличивает мощность ДВС, обеспечивая заряд ТАБ генератором MG1. В процессе движения автомобиля батарея циклически разряжается на MG2 при разгоне и заряжается при рекуперативном торможении.

Температурное состояние ТАБ регистрируется четырьмя датчиками, сигналы с которых используется контроллером HV ECU для управления вентилятором охлаждения. Если SOC ниже нормы либо температура батареи или электрических машин выше нормы, HV ECU ограничивает формирование тягового усилия. Если ведущие колеса теряют сцепление с дорогой, HV ECU ограничивает момент MG2, чтобы не перегружать планетарный редуктор и исключить избыток генерации энергии MG1.

Во время торможения блок управления антиблокировочной/противопробуксовочной системы (ABS/ASR) на основании сигналов давления в главном тормозном цилиндре и хода педали тормоза вычисляет значения полного и рекуперативного тормозных моментов. После этого запрос на рекуперативное торможение поступает в HV ECU, который переводит MG2 в генераторный (тормозной) режим. В свою очередь, ABS/ASR система обеспечивает тормозной момент за вычетом рекуперативной доли.

2. Результаты исследований специалистов технического центра корпорации Toyota в северной Америке (Toyota Technical Center, A division of Toyota Motor Engineering and Manufacturing North America – ТЕМА), посвященные применению искусственных нейронных сетей в системе управления ГСУ автомобиля Toyota Prius приведены в [14]. В указанной работе, вначале, при помощи симулятора гибридного автомобиля Prius, обучается нейросетевая модель автомобиля (рис. 3), которая впоследствии используется для off-line обучения нейроконтроллера (здесь и далее обозначения оригиналов).

Качество обучения нейроконтроллера проверяется с использованием HEV Prius – симулятора. При дальнейшем функционировании системы управления параметры нейронных сетей не изменяются. Отсутствие адаптации весовых коэффициентов в процессе функционирования САУ объясняется тем, что это привело бы к потере долговременной памяти системы в случае возникновения кратковременной неисправности, а также возможностью возникновения бифуркаций при адаптации в существенно-нелинейных системах.

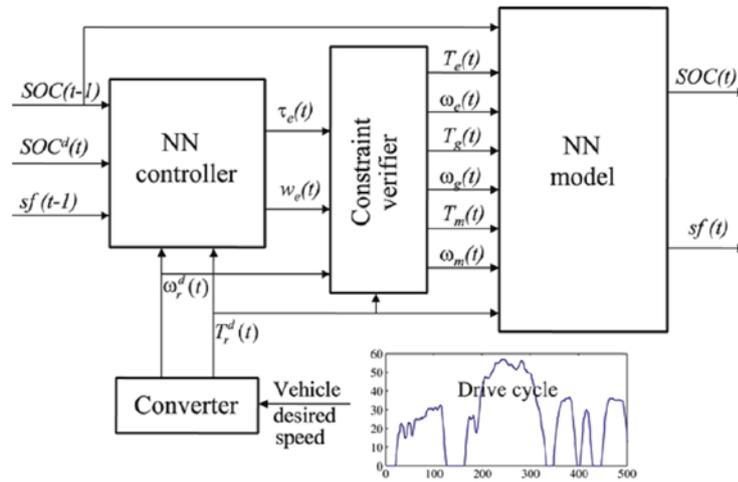


Рисунок 3 – Схема обучения нейроконтроллера

Преобразователь (Converter) определяет требуемые значения скорости  $\omega_r^d$  и момента вращения  $T_r^d$  коронной шестерни планетарного редуктора для обеспечения желаемой скорости автомобиля (Vehicle desired speed), которая определяется ездовым циклом (Drive cycle). Верификатор ограничений (Constraint verifier) обеспечивает определение скоростей и моментов вращения ДВС ( $\omega_e$ ,  $T_e$ ), тягового электродвигателя ( $\omega_m$ ,  $T_m$ ) и генератора ( $\omega_g$ ,  $T_g$ ) с учётом ограничений планетарного механизма. Целевая функция оптимизации управления предполагает минимизацию расхода топлива при сохранении степени заряженности ТАБ в заданном диапазоне при движении в ездовом цикле (здесь и далее в обозначениях авторов):

$$\text{cost}(t) = \lambda_1 \cdot sf^2(t) + \lambda_2 [SOC^d(t) - SOC(t)]^2,$$

где  $sf$  – расход топлива (fuel rate);

$SOC$  – фактическая степень заряженности ТАБ;

$SOC^d$  – желаемая степень заряженности ТАБ;

$\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  – весовые коэффициенты.

Значения весовых коэффициентов, в этом случае, задаются по условию:  $\lambda_1 = 1$ ,  $\lambda_2 = 10$  если  $SOC \geq SOC^d$ ;  $\lambda_1 = 1$ ,  $\lambda_2 = 50$  если  $SOC < SOC^d$ .

Нейроконтроллер (NN controller) представляет собой трёхслойный рекурсивный персептрон, имеющий 5 входов, 10 нейронов в скрытом слое и два выходных нейрона. В каждый момент времени  $t$  на вход нейронной сети подаётся пятикомпонентный вектор  $[\omega_r^d(t), T_r^d(t), sf(t-1), SOC^d(t), SOC(t-1)]$ . На основании данного входного вектора нейронная сеть определяет нормированные значения крутящего момента ДВС  $\tau_e$  и скорости вращения коленчатого вала  $w_e$ , которые впоследствии преобразовываются в реальные сигналы управления ГСУ в блоке Constraint verifier.

Процесс обучения нейросетевой модели (NN model) и нейроконтроллера рассматривается как задача оптимальной фильтрации с использованием фильтра Калмана. При этом весовые коэффициенты нейронной сети интерпретировались как вектор состояния динамической системы. Нейросетевая модель обучалась в течение 3000 эпох на массиве данных, содержащем пары сигналов вход – выход от 20 различных ездовых циклов, сгенерированных Prius – симулятором. Обучение нейроконтроллера производилось в течение 1200 эпох.

Для оценки эффективности предлагаемого метода нейроуправления был проведен сравнительный анализ показателей качества управления оригинального автомобиля Prius и оснащенного рассматриваемой системой. По результатам испытаний на многих ездовых циклах можно заключить, что нейроконтроллер в среднем обеспечивает уменьшение расхода топлива на 17% и сокращает диапазон колебаний SOC батареи на 35%. В работе также указано, что предлагаемый метод косвенно обеспечивает минимизацию выбросов токсичных веществ в силу их высокой корреляции с расходом топлива.

Вместе с тем, можно утверждать, что введение в целевую функцию оптимизации нейроконтроллера параметров экологической безопасности в явном виде могло бы улучшить эксплуатационные характеристики системы. Автор ничего не говорит о структурной оптимизации нейронных сетей модели и нейроконтроллера, хотя структура сети существенно влияет на качество её функционирования. Недостатком метода следует также признать отсутствие адаптации стратегии управления к изменениям режима движения.

3. В [11, 15, 16] изложены результаты исследований специалистов Оклендского университета (Electrical and Systems Engineering Department, School of Engineering and Computer Sciences, Oakland University, USA) и центра исследований и разработок корпорации "Дженерал моторс" (General Motors Research and Development Center, USA), посвящённые использованию нечёткой системы управления автомобилями с параллельной схемой ГСУ.

В данной САУ нечёткий контроллер, реализующий алгоритм нечёткого вывода Сугено-Такаги (Sugeno–Takagi), определяет требуемое соотношение мощностей между ДВС и тяговым электродвигателем на основе информации об управляющем воздействии со стороны водителя, степени заряженности ТАБ, текущей скорости тягового электродвигателя, передаточного отношения трансмиссии, скорости автомобиля. База правил логического вывода содержит 44 правила. Исходя из характеристик ДВС, база правил настраивалась на режим экономии топлива либо снижения токсичных выбросов путём ручной коррекции выходных переменных соответствующих правил.

В состав ГСУ автомобиля с общей массой 1100 кг. входят: ДВС мощностью 55 кВт; тяговый электродвигатель номинальной мощностью 20 кВт и максимальной мощностью 40 кВт; литий-ионная ТАБ мощностью 40 кВт и ёмкостью 2 кВт·ч. Передача крутящего момента на ведущие колеса обеспечивается трансмиссией ТРБ с бесступенчатым изменением передаточного отношения (рис. 4, а).



**Рисунок 4 – Структурные схемы гибридной силовой установки:**

*а – с бесступенчатой трансмиссией; б – с электронным управлением коробкой передач*

Параметры ГСУ выбирались из условия удовлетворения требований к эксплуатационным характеристикам автомобиля (табл. 1), сформулированных в совместной исследовательской программе правительства США и основных авто-производителей: «Партнёрство для нового поколения автомобилей» (Partnership for New Generation Vehicles – PNGV).

Таблица 1 – Ограничения PNGV эксплуатационных свойств автомобиля

Условия	Ограничения
0 – 97 км/ч	≤ 12 с
0 – 137 км/ч	≤ 23 с
64 – 97 км/ч	≤ 5,3 с
Дистанция, преодолеваемая за 5 с	≥ 42,7 м
Максимальное ускорение	≥ 5,2 м/с <sup>2</sup>
Максимальный преодолеваемый уклон дороги в течение 20 мин при скорости 89 км/ч, дополнительной массе 272 кг	≥ 6,5 %
Максимальная скорость	≥ 161 км/ч

Изначально PNGV критерии применялись к пятиместным легковым автомобилям с расходом топлива 2,94 л/100 км [11]. Предлагаемая концепция управления предполагает определенную стратегию обеспечения требуемой мощности ГСУ (рис. 5).

Использование генераторного режима при работе ДВС определяется степенью заряженности ТАБ. При этом, оптимизация рабочего режима ГСУ осуществляется путем смещения рабочей точки ДВС в зону с более высоким КПД.



Рисунок 5 – Стратегия управления мощностью гибридной силовой установки

Степень заряженности ТАБ поддерживается в диапазоне SOC = 0,6 – 0,87. При необходимости, подзарядка осуществляется только в диапазоне оптимальных скоростей ротора электродвигателя при малых токах.

Проверка эффективности предложенной системы управления ГСУ осуществлялась путём моделирования движения автомобиля в городском (Federal Urban Driving Schedule – FUDS) и загородном (Federal Highway Driving Schedule – FHDS) ездовых циклах. При этом нечёткий контроллер настраивался для экономии топлива либо для сокращения выбросов NO<sub>x</sub> в отработавших газах. Результаты испытаний приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты моделирования нечёткого управления ГСУ

Ездовой цикл	Настройка контроллера	Расход топлива, л/100 км	Содержание HC, г/км	Содержание CO, г/км	Содержание NO <sub>x</sub> , г/км
FHDS	Экономия топлива	2,6	0,0285	0,2986	0,1673
	Сокращение выбросов NO <sub>x</sub>	3,0	0,0220	0,0410	0,1126
FUDS	Экономия топлива	2,9	0,0201	0,1313	0,1834
	Сокращение выбросов NO <sub>x</sub>	3,6	0,0179	0,0302	0,1303

Полученные результаты показывают, что настройка нечёткого контроллера на экологический режим позволяет снизить выбросы NO<sub>x</sub> более чем на 10 %. При настройке контроллера на режим экономии топлива, расход топлива снижается более чем на 25 %. Недостатками предлагаемого подхода к управлению ГСУ являются невозможность учёта более одного критерия оптимальности и отсутствие адаптации к дорожной ситуации.

4. Метод синтеза нечёткой системы управления силовой установкой гибридного автомобиля с параллельной схемой построения, разработанный в университете Чунцин (Chong-

qing University, China) рассмотрен в [17]. Данный метод предполагает определение наиболее эффективного перераспределение крутящего момента между ДВС и электроприводом на основе анализа управляющего воздействия со стороны водителя, степени заряженности ТАБ и скорости вращения ротора электродвигателя.

В работе рассматривается ГСУ (рис.4, б), включающая четырёхцилиндровый бензиновый ДВС с рабочим объёмом 1,4 л и максимальной мощностью 50 кВт; асинхронный электродвигатель переменного тока с номинальной мощностью 20 кВт и максимальной мощностью 40 кВт; литий-ион-фосфатная ТАБ с номинальным напряжением 300 В и ёмкостью 10 А·ч; пятиступенчатая коробка передач с электронным управлением (Electronic control automatic transmission – ECAT). Общая масса автомобиля составляет 1050 кг.

Параметры ГСУ выбирались в соответствии с требованиями Национального стандарта Китайской народной республики: «Гибридные автомобили, мощностные характеристики, методы проверки» (National Standard of the People’s Republic of China: Hybrid electric vehicles – Power performance – Test method) GB/T 19752-2005 (табл. 3).

Работа нечёткого контроллера подчинена трём принципам. Во-первых, степень заряженности ТАБ не должна снижаться слишком низко. Во-вторых, управляющие воздействия со стороны водителя от педалей акселератора и тормоза удовлетворяются постоянно, за исключением случаев, когда они вступают в противоречие с первым принципом. В-третьих, оптимизация общего КПД силовой установки осуществляется в том случае, если это не противоречит первому и второму принципам.

Таблица 3 – Требования к эксплуатационным свойствам автомобиля согласно стандарту GB/T 19752-2005

Условия	Требования
Максимальная скорость	110 км/ч
Время разгона 0 – 50 км/ч	5 с
Время разгона 0 – 100 км/ч	13 с
Скорость при уклоне дороги 4 %	80 км/ч
Скорость при уклоне дороги 12 %	65 км/ч
Способность к старту при уклоне дороги	30 %
Максимальный уклон дороги	30 %

Оптимизация общего КПД достигается за счёт соответствующего выбора рабочих точек ДВС и электродвигателя на основании анализа степени заряженности ТАБ, тягово-скоростного режима движения автомобиля и соответствующих карт эффективности компонентов ГСУ. Принципы управление ГСУ в ездовом цикле проиллюстрированы на рисунке 6.

При стационарных условиях движения (фрагмент CD) часть мощности ДВС отводится для подзарядки ТАБ. Ускорение автомобиля DE, обеспечивается совместным включением ДВС и электропривода. В период торможения EF реализуется рекуперация энергии.

При параллельном включении ДВС и электропривода (фрагменты CD и DE) требуемый момент вращения ГСУ  $T_{req}$ , задаваемый положением акселератором, определяется суммой приведенных моментов вращения электропривода  $T_{em}$  и ДВС  $T_{ice}$ . При этом,  $T_{em}$  может быть отрицательным или положительным. Перераспределение мощности между ДВС и электроприводом производится путём смещения рабочей точки ДВС к линии оптимальных режимов (рис. 7). На рисунке:  $T_{ice-max}$  – внешняя скоростная характеристика ДВС;  $T_{ice-opt}$  – характеристика наивысшего КПД;  $T_{ice-off}$  – минимальный крутящий момент, соответствующий отключению ДВС. Область «EM assistance» – соответствует совместной работе электропривода и ДВС, а «Active charge» – отбору мощности ДВС для зарядки ТАБ.

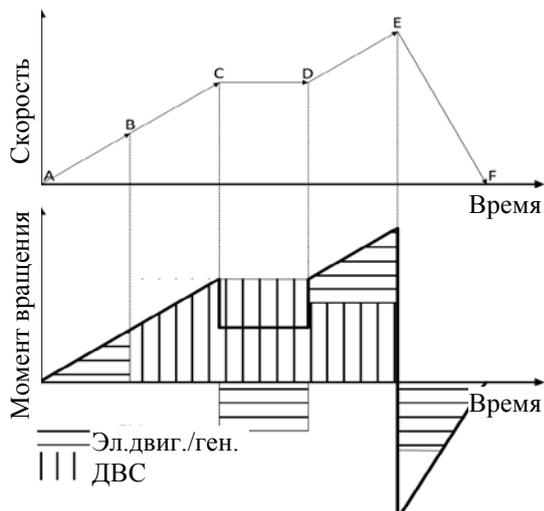


Рисунок 6 – Принципы управления ГСУ

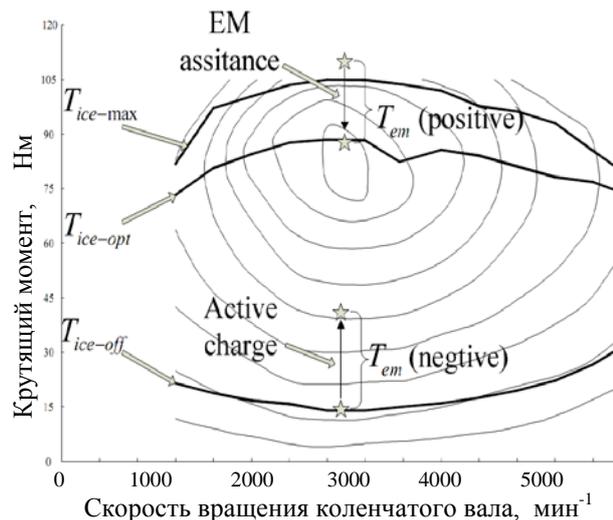


Рисунок 7 – Принципы оптимизации режима ДВС

Рассмотренные принципы управления ГСУ реализованы в виде базы правил нечёткого вывода в нечётком контроллере (Fuzzy Logic Controller – FLC), который является основной частью системы управления (рис. 8).

Интерпретатор команд водителя (Driver Command Interpreter – DCI) преобразует сигналы, поступающие с педалей акселератора и тормоза в сигнал требуемого момента вращения ГСУ  $T_{req}$ .

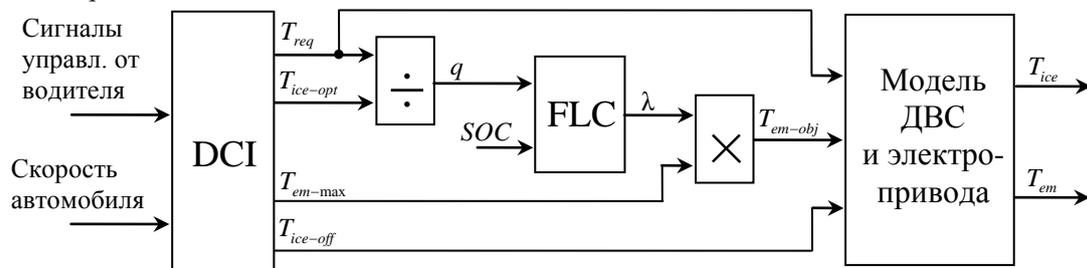


Рисунок 8 – Структурная схема системы управления гибридной силовой установкой

Для этого сигнал, пропорциональный степени нажатия педали акселератора, умножается на максимальный крутящий момент ДВС  $T_{req-max}$ , соответствующий его текущему скоростному режиму. Момент  $T_{req-max}$  определяется с учётом передаточного отношения трансмиссии ЕСАТ и соответствует передаче, обеспечивающей максимальный  $T_{req-max}$  при данной скорости. На входы FLC подаётся частное от деления  $q = T_{req}/T_{ice-opt}$ , а также степень заряженности ТАБ –  $SOC$ . На основании этой информации методом нечёткого вывода определяется оптимальное значение момента вращения тягового электропривода в нормализованном виде  $\lambda$ . Реальное значение момента вращения электропривода находится из выражения  $T_{em-obj} = \lambda \cdot T_{em-max}$ , где  $T_{em-max}$  – максимально возможный момент электропривода при данной скорости вращения ротора. Последний блок структурной схемы вычисляет окончательные значения моментов вращения ДВС и электропривода. В большинстве случаев  $T_{em} = T_{em-obj}$  и  $T_{ice} = T_{req} - T_{em}$ . Однако, имеются два исключения: если  $T_{em-obj} > 0$  и  $T_{req} - T_{em-obj} < T_{ice-off}$ , то  $T_{ice} = 0$  и  $T_{em} = T_{req}$ ; если  $T_{req} - T_{em-obj} > T_{ice-max}$ , то  $T_{ice} = T_{ice-max}$  и  $T_{em} = T_{em-obj}$ .

Предлагаемая система управления ГСУ была промоделирована при помощи автомобильного симулятора ADVISOR (Advanced Vehicle Simulator) в среде MatLab/Simulynk. Данный симулятор разработан в Национальной лаборатории возобновляемых источников энергии (National Renewable Energy Laboratory), США [18, 19]. Моделирование производилось при начальной степени заряженности ТАБ  $SOC_{init} = 0,65$ . Для оценки эффективности ГСУ определены КПД основных её компонентов  $\eta$  и расход топлива  $FC$  при движении в европейском ездовом цикле (New European Driving Cycles – NEDC):  $\eta_{ice} = 0,244$ ;  $\eta_{em} = 0,875$ ;  $\eta_{bat} = 0,907$ ;  $\eta = 0,796$ ;  $FC = 5,58 \text{ л}/100 \text{ км}$ . Недостатком предложенного подхода является отсутствие адаптации управления к изменяющемуся режиму движения, а также оптимизация без учёта требований экологической безопасности.

5. На кафедре автомобильной электроники Харьковского национального автомобильно-дорожного университета создан экспериментальный гибридный автомобиль с ГСУ параллельного типа на базе переднеприводного автомобиля «Таврия-пикап» ЗАЗ-11024-08 с ДВС МеМЗ-307 мощностью 52 кВт [3, 20 – 24]. Целью разработки являлось создание технологии конверсии недорогого автомобиля с механической коробкой передач в гибридный автомобиль. В качестве вспомогательного двигателя ГСУ применён оригинальный вентильный электродвигатель (ВЭД) с электромагнитным возбуждением номинальной мощностью 7 кВт и максимальной мощностью 15 кВт. В качестве накопителя энергии ГСУ используются герметизированные свинцово-кислотные аккумуляторные батареи с обездвиженным электролитом (сравнительно низкая стоимость). Максимальная энергия, запасаемая в ТАБ массой 132 кг, составляет 4,4 кВт·ч, а энергия, доступная в тяговом режиме, 2,2 кВт·ч, предусмотрено сетевое зарядное устройство.

Система управления силовой установкой гибридного автомобиля обеспечивает закон управления, который упрощённо может быть описан следующим образом: старт с места, начало движения и разгон до скорости 30÷40 км/час осуществляются при помощи электротяги при наличии достаточного запаса энергии в ТАБ; при скорости более 30÷40 км/час либо при недостаточном запасе энергии в ТАБ движение осуществляется при помощи ДВС. В процессе торможения САУ обеспечивает рекуперацию излишков кинетической и потенциальной энергии автомобиля, осуществляя подзарядку ТАБ. При недостатке электромагнитного тормозного момента от ВЭД, подключается гидравлическая система торможения.

Разработанная САУ обеспечивает движение автомобиля на электротяге, когда рычаг коробки передач находится в нейтральном положении, и на ДВС, когда включена передача. При переходе с электропривода на ДВС происходит автоматический запуск последнего, а при выключении передачи, ДВС останавливается. При движении на ДВС или накатом САУ отключает обмотку возбуждения ВЭД, что существенно уменьшает сопротивление движению обусловленное электротрансмиссией.

При автоматическом пуске ДВС во время движения автомобиля обеспечивается стабилизация оборотов электродвигателя, предшествовавших режиму пуска. После пуска ДВС, ВЭД немедленно отключается. Дополнительно, САУ блокирует включение заднего хода электропривода при движении автомобиля вперед. Переключение направления вращения ВЭД возможно только после полной остановки автомобиля.

Режим рекуперативного торможения включается при отходе педали тормоза от упора. При этом происходит подтормаживание ВЭД в режиме генератора (аналогично принудительному холостому ходу ДВС). При полностью заряженной батарее ВЭД в режиме генератора нагружен на подогреватель охлаждающей жидкости. Это позволяет поддерживать температурный режим ДВС в состоянии ожидания пуска.

В процессе испытаний экспериментального автомобиля в городском цикле расход бензина снизился в три раза в сравнении с базовой моделью. При этом полного заряда ТАБ

достаточно для пробега по городу в гибридном режиме около 44 км. и в режиме электромобиля до 16 км. Время автономной зарядки ТАБ составляет 8÷12 ч.

По результатам анализа, проведенного в статье, можно сделать выводы об эффективности использования методов логического управления ГСУ. К достоинствам логического подхода можно отнести сравнительную простоту реализации законов управления. К тому же, намечены пути совершенствования САУ при использовании нейросетевых технологий. Наряду с этим, как недостатки отдельных рассмотренных САУ следует отметить их ограничения, связанные с настройкой нечетких систем только на один критерий оптимизации и отсутствие адаптации стратегии управления к изменениям режима движения автомобиля.

Материал, посвященный вопросам применения адаптивных алгоритмов при выборе стратегии управления ГСУ, будет представлен в последующей публикации настоящего издания.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сериков, С. А. Управление силовой установкой гибридных автомобилей [Текст] / С. А. Сериков, Ю. Н. Бороденко, А. А. Дзюбенко // Мир транспорта и технологических машин. – 2014. – № 1(44). – С. 36-44.
2. Гібридні автомобілі / О.В. Бажинов, О.П. Смирнов, С.А. Серіков, А.В. Гнатов, А.В. Колесніков; під ред. О.В. Бажинова – Харків: ХНАДУ, 2008. – 327 с.
3. Синергетичний автомобіль. Теорія і практика / [Бажинов О.В., Смирнов О.П., Серіков С.А., Двядненко В.Я.] – Харків: ХНАДУ, 2011. – 236 с.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Автотехцентр HYBRIDS.ru. Ресурс, посвященный гибридным силовым установкам. <http://hybrids.ru/GrahamPriusFiles/FramePage5.htm>
8. Hermance, D. (1999). «Toyota hybrid system». presented at the SAE TOPTEC Conf., Albany, NY, May 1999.
9. Hermance, Dave, "Toyota Hybrid System Concept and Technologies," presentation at SAE Future Transportation Technology Conference, Orange County, CA, October 1999.
10. 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 – Vol.1.4- No.2- Fall and Winter 2007, p. 43 – 52.
11. 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.
12. B. M. Brahma, "Intelligent control strategies for hybrid vehicles using neural network and fuzzy logic", Elect. Eng; ohio state univ. ,coluombos, 1997, 98 p.
13. 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.
14. Danil V. Prokhorov. «Toyota Prius HEV neurocontrol and diagnostics». Neural Networks, Vol. 21, Iss. 2–3, March–April 2008, pp. 458–465
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. K. Wipke, M. Cuddy, D. Bharathan, S. Burch, V. Johnson, A. Markel, S. Sprik. Advisor 2.0: A Second-Generation Advanced Vehicle Simulator for Systems Analysis / National Renewable Energy Laboratory. Technical report. – NREL/TP-540-25928 – 1999, 11 с.
19. T. Markel, A. Brooker, T. Hendricks, V. Johnson, K. Kelly, B. Kramer, M. O’Keefe, S. Sprik, K. Wipke. ADVISOR: a systems analysis tool for advanced vehicle modeling / Journal of Power Sources 110 (2002) 255–266 pp.
20. Бажинов, А. В. Повышение экономичности и экологической безопасности транспортных средств с гибридными силовыми установками [Текст] / А. В. Бажинов, В. Я. Двядненко, С. А. Сериков // Міжвузівський збірник наукових праць «Наукові нотатки» (за галузями знань «Машинобудування та металообробка», «Інженерна механіка», «Металургія та матеріалознавство») Луцького національного технічного університету. – 2010. – Вип. 28. – С.40–45.
21. Бажинов, А. В. Система управления гибридной силовой установки с тяговым электроприводом на

базе вентильного двигателя с электромагнитным возбуждением [Текст] / А. В. Бажинов, В. Я. Двадненко, С. А. Сериков // Вісник СХУ ім. Володимира Дала. – 2010. – №7 (149). – С.61–66.

22. Двадненко, В. Я. Двухзонное управление тяговым вентильным электроприводом гибридного автомобиля [Текст] // В. Я. Двадненко, С. А. Сериков // Праці Луганського відділення Міжнародної Академії інформатизації. – 2011. – №1 (23). – С. 23–28.

23. Бажинов, А. В. Пути снижения стоимости подзаряжаемого гибридного автомобиля [Текст] / А. В. Бажинов, В. Я. Двадненко, С. А. Сериков, Е. А. Серикова, О. П. Смирнов // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр.- Вип. 134/2012. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – Севастополь. - 2012. – С. 36–39.

24. Двадненко, В. Я. Особенности двухзонного регулирования вентильного электропривода гибридного автомобиля [Текст] / В. Я. Двадненко, С. А. Сериков // 75-я Международная научно-техническая конференция ААИ «Перспективы развития автомобилей. Развитие транспортных средств с альтернативными энергоустановками». – 2011.

**Сериков Сергей Анатольевич**

ХНАДУ «Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет»

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

Канд. техн. наук, 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

## USE OF LOGICAL RULES FOR CHOOSING OF HYBRID VEHICLES POWER UNIT CONTROL STRATEGY

*A comparative analysis of variants of construction control systems of hybrid power plant and ways to implement the optimizing algorithms that are based on logical rules. The results of researches leading manufacturers are presented.*

**Keywords:** hybrid power setting, automatic control system, electric drive, storage batteries, fuzzy logic control, neurocontrol, brushless electric motor.

### BIBLIOGRAPHY

1. Serikov, S. A. Upravlenie silovoy ustanovkoy gibridnykh avtomobiley [Tekst] / S. A. Serikov, YU. N. Borodenko, A. A. Dzyubenko // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2014. - № 1(44). - S. 36-44.
2. Gibridni avtomobili / O.V. Bazhinov, O.P. Smirnov, S.A. Serikov, A.V. Gnatov, A.V. Kolesnikov; pid. red. O.V. Bazhinova - Harkiv: HNADU, 2008. - 327 s.
3. Sinergetichniy avtomobil'. Teoriya i praktika / [Bazhinov O.V., Smirnov O.P., Serikov S.A., Dvadnenko V.YA.]. - Harkiv: HNADU, 2011. - 236 s.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Avtotekhtsentr HYBRIDS.ru. Resurs, posvyashchionnyy gibridnym silovym ustanovkam. <http://hybrids.ru/GrahamPriusFiles/FramePage5.htm>
8. Hermance, D. (1999). "Toyota hybrid system". presented at the SAE TOPTEC Conf., Albany, NY, May 1999.
9. Hermance, Dave, "Toyota Hybrid System Concept and Technologies," presentation at SAE Future Transportation Technology Conference, Orange County, CA, October 1999.

10. Arezoo D. Abdollahi, S.K.Nikravesh, 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.
11. 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.
12. B. M. Brahma, "Intelligent control strategies for hybrid vehicles using neural network and fuzzy logic", Elect. Eng; ohio state univ. ,coluombos, 1997, 98 p.
13. 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.
14. Danil V. Prokhorov. "Toyota Prius HEV neurocontrol and diagnostics". Neural Networks, Vol. 21, Iss. 2-3, March-April 2008, pp. 458-465
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. K. Wipke, M. Cuddy, D. Bharathan, S. Burch, V. Johnson, A. Markel, S. Sprik. Advisor 2.0: A Second-Generation Advanced Vehicle Simulator for Systems Analysis / National Renewable Energy Laboratory. Technical report. - NREL/TP-540-25928 - 1999, 11 c.
19. T. Markel, A. Brooker, T. Hendricks, V. Johnson, K. Kelly, B. Kramer, M. O'Keefe, S. Sprik, K. Wipke. ADVISOR: a systems analysis tool for advanced vehicle modeling / Journal of Power Sources 110 (2002) 255-266 pp.
20. Bazhinov, A. V. Povyshenie ekonomichnosti i ekologicheskoy bezopasnosti transportnykh sredstv s gibridnymi silovymi ustanovkami [Tekst] / A. V. Bazhinov, V. YA. Dvadnenko, S. A. Serikov // Mizhvuziv's'kiy zbirnik naukovikh prats` "Naukovi notatki" (za galuziyami znan` "Mashinobuduvannya ta metaloobrobka", "Inzhe-nerna mekhanika", "Metalurgiya ta materialoznavstvo") Luts'kogo natsional'nogo tekhnichnogo universitetu. - 2010. - Vip. 28. - S.40-45.
21. Bazhinov, A. V. Sistema upravleniya gibridnoy silovoy ustanovki s tyagovym elektroprivodom na baze ventil'nogo dvigatelya s elektromagnitnym vzbuzhdeniem [Tekst] / A. V. Bazhinov, V. YA. Dvadnenko, S. A. Serikov // Visnik SNU im. Volodimira Dalya. - 2010. - №7 (149). - S.61-66.
22. Dvadnenko, V. YA. Dvukhzonovoe upravlenie tyagovym ventil'nym elektroprivodom gibridnogo avtomobilya [Tekst] // V. YA. Dvadnenko, S. A. Serikov // Pratsi Lugans'kogo viddilennya Mizhnarodnoi Akademii informatizatsii. - 2011. - №1 (23). - S. 23-28.
23. Bazhinov, A. V. Puti snizheniya stoimosti podzaryazhaemogo gibridnogo avtomobilya [Tekst] / A. V. Bazhinov, V. YA. Dvadnenko, S. A. Serikov, E. A. Serikova, O. P. Smirnov // Visnik SevNTU: zb. nauk. pr.- Vip. 134/2012. Seriya: Mashinopriladobuduvannya ta transport. - Sevastopol`. - 2012. - S. 36-39.
24. Dvadnenko, V. YA. Osobennosti dvukhzonovogo regulirovaniya ventil'nogo elektroprivoda gibridno-go avtomobilya [Tekst] / V. YA. Dvadnenko, S. A. Serikov // 75-ya Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya AAI "Perspektivy razvitiya avtomobiley. Razvitie transportnykh sredstv s al'ternativnymi energo-ustanovkami". - 2011.

**Serikov Sergey Anatolevich**

KhNAHU «Kharkov national automobile and highway University»  
Address: 61002, Ukraine, g. 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, g. 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, g. Kharkov, street Petrovsky, 25  
Assistant professor, cand. eng. sc. of the Department «Automobile electronic»

УДК 621.787.4

С. Ю. РАДЧЕНКО, Д. О. ДОРОХОВ, А. А. КИСЛОВСКИЙ

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ КОМПЛЕКСНОГО ЛОКАЛЬНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА

*В статье рассмотрены область применения и основные проблемы подшипниковых элементов в транспортном машиностроении и автомобилях. Рассмотрены пути решения этих проблем. Дано развернутое описание технологии комплексного локального деформирования как одного из решений.*

**Ключевые слова:** подшипники; автотранспорт; комплексное локальное деформирование; упрочнение.

### ВВЕДЕНИЕ

Повышение надежности и долговечности машин является одной из главных проблем современного машиностроения. Экономическое значение этой проблемы очевидно. Долговечность машины зависит от ресурса ее составных элементов. Среди последних важное место занимают подшипниковые узлы, являющиеся распространенными элементами конструкции автомобилей.

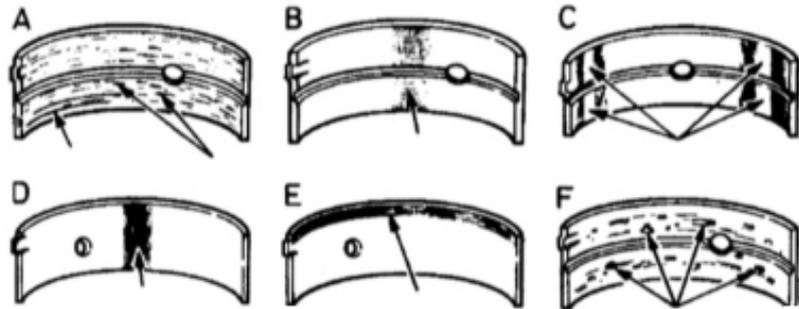
Подшипники скольжения нашли широкое применение в узлах автомобилей: коренные и шатунные шейки коленчатого вала вращаются в подшипниках скольжения. Обеспечение данных подшипников высокими эксплуатационными свойствами – актуальная проблема, так как высокий процент неисправностей приходится на двигатель как энергетический элемент любых машин, и значительная часть отказов от общего количества отказов составляют неисправности коренных и шатунных подшипников коленчатого вала (рис. 1).



*Рисунок 1 – Изношенные подшипники скольжения*

Выход подшипников из строя может происходить в результате износа из-за недостатка смазки, попадания грязи или посторонних частиц, перегрузок двигателя, развития коррозии и прочих неблагоприятных воздействий. Наиболее характерные дефекты приведены на рисунке 2.

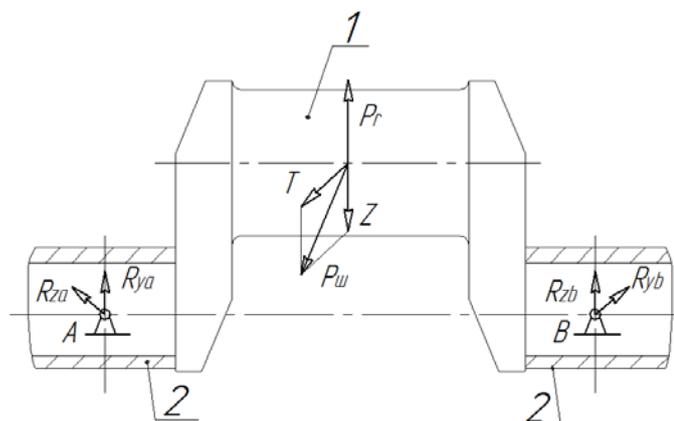
В современных двигателях сопряжения «шейки-подшипники» коленчатого вала работают в условиях гидродинамического режима смазки на основных расчетных режимах работы двигателя, это основной желаемый режим трения. Скорость износа резко увеличивается, когда двигатель работает в режимах с так называемым «масляным голоданием» – при пуске, на малых оборотах при большой нагрузке. Согласно статистическим данным, коренные подшипники работают в более благоприятных условиях, чем шатунные, испытывающие действие наибольших циклических нагрузок от соответствующего им поршня. Установлено, что на штатных режимах работы современных ДВС из всех возможных видов изнашивания существенным является только усталостный износ, развивающийся на рабочих поверхностях подшипниковых узлов, как правило, при граничном трении [1].



**Рисунок 2 – Примеры износа вкладышей подшипников коленчатого вала:** А – поцарапаны инородными частицами – видны крупницы, погружившиеся в рабочий слой вкладыша; В – недостаток масла – верхний слой стерт; С – вкладыши неправильно расположены при установке – имеются блестящие (отполированные) участки; D – шейка сведена на конус – верхний слой снят со всей поверхности; E – износ края вкладыша; F – неисправность “усталости” – образовались кратеры или карманы [2]

Главной особенностью подшипников скольжения является то, что они работают в условиях динамических деформаций шеек вала и вкладышей под действием знакопеременных меняющихся нагрузок. Так, например, изменение диаметрального размера подшипника при действии максимальных сил инерции превышает половину величины рабочего зазора. Радиальная деформация эквивалентна динамическому изменению кривизны рабочей поверхности подшипника. Это, как правило, приводит к увеличению толщины масляного слоя и, следовательно, к повышению запаса несущей способности подшипника; с другой стороны – вызывает дополнительные динамические напряжения в материале антифрикционного слоя, снижающие запас усталостной прочности. Силы гидродинамического давления и деформация изгиба поршневой и кривошипной головки шатуна создают в материале антифрикционного слоя подшипников сложное напряженное состояние. Силы давления вызывают знакопостоянные пульсирующие напряжения сжатия, деформация изгиба – появление тангенциальных знакопеременных напряжений. Таким образом, антифрикционный слой испытывает плоское напряженное состояние, компоненты которого изменяются во времени по сложным законам. В этом случае наступление опасного состояния антифрикционного слоя материала подшипников скольжения может быть вызвано различными значениями главных напряжений в зависимости от их взаимосвязи между собой. Каждой взаимосвязи будут соответствовать определенные опасные значения главных напряжений, при которых наступит опасное состояние антифрикционного слоя материала, связанное с возникновением больших начальных технологических остаточных напряжений или поверхностных усталостных трещин. Появление последних вызывает качественно иные гидродинамические силы, создающие расклинивающий эффект, ускоряющий процесс разрушения подшипника.

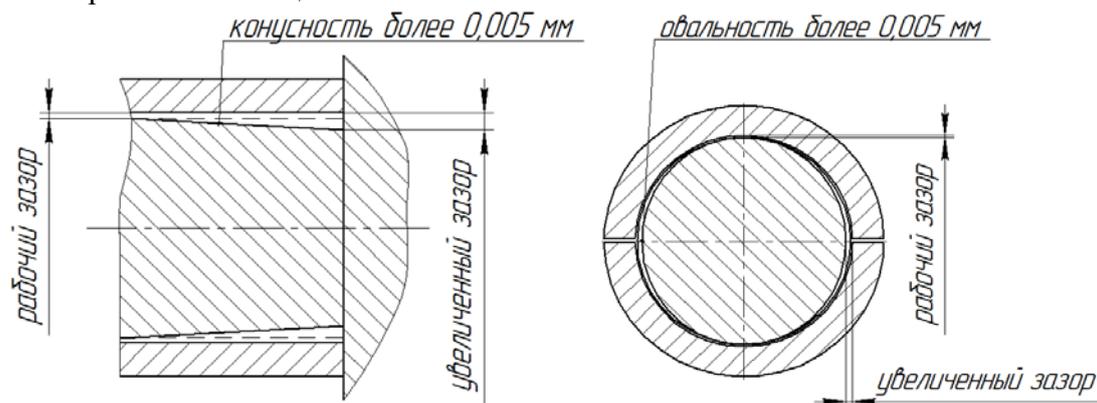
Коленчатый вал передает крутящий момент и воспринимает нагрузки, создаваемые силами давления газов и инерции поступательно движущихся и вращающихся масс. Эти силы определяют наличие в валах циклически действующих сжимающих и растягивающих нагрузок и переменных скручивающих и изгибающих моментов. Составляющие силы  $P_{ин}$  (рис. 3), производной от суммы сил давления газов и инерции, тангенциальная  $T$  и радиальная  $Z$  и их реакции на коренных подшипниках изгибают шатунную шейку, щеки кривошипа и коренные шейки. Вращающиеся массы кривошипа коленчатого вала, смещенные относительно оси вращения, а также массы части шатуна, отнесенной к оси шатунной шейки коленчатого вала, создают силу инерции вращающихся масс  $P_r$ . Эта сила вместе с силой  $Z$  нагружает подшипники коленчатого вала. Переменные нагрузки обуславливают возникновение крутильных колебаний, которые также воздействуют на подшипники.



**Рисунок 3 – Силы и моменты, действующие на коленчатый вал:**

1 – коленчатый вал; 2 – подшипники скольжения;  $Z$ ,  $T$  – нормальная и касательная составляющие к оси вала силы  $P_{ш}$ ;  $R_{zA}$ ,  $R_{yA}$ ,  $R_{zB}$ ,  $R_{yB}$  – составляющие реакций  $R_A$ ,  $R_B$ , возникающих в подшипниковых опорах А и В соответственно;  $P_r$  – сила инерции вращающихся масс

Подшипники коленчатого вала подвержены повышенному износу в связи с действием на них вышеперечисленных сил. По мере изнашивания подшипников и шеек коленчатого вала поперечное сечение может стать эллиптическим, а цилиндричность поверхностей переходит в конусность (рис. 4), что ведет к увеличению зазоров. В связи с этим облегчается протекание через подшипники масла, поэтому давление в масляной магистрали понижается. Обычно минимально допустимое давление при номинальной частоте вращения коленчатого вала равно  $0,7\text{—}1,0 \text{ кгс/см}^2$ . При более низком давлении в шатунные подшипники поступает недостаточное количество масла, что вызывает резкое ухудшение смазки гильз цилиндров, поршней и поршневых колец.



**Рисунок 4 – Последствия износа коленчатого вала и его подшипников**

С увеличением зазоров и с понижением давления в магистрали вследствие недостаточного слоя масла и наличия больших переменных нагрузок на шейки коленчатого вала происходит сближение трущихся поверхностей шеек и вкладышей. Растет интенсивность внутреннего нагрева масляной пленки, что влечет за собой чрезмерное снижение вязкости масла и, следовательно, еще большее сближение трущихся поверхностей. При чрезмерно тонком масляном слое находящиеся в нем механические примеси вызывают усиленное абразивное изнашивание трущихся поверхностей. В этом случае также возрастает вероятность разрыва масляной пленки и соприкосновения шероховатостей, в результате которого происходит молекулярно-механическое (контактное) изнашивание шеек и вкладышей.

По мере увеличения зазоров в подшипниках коленчатого вала и в верхних головках шатунов наряду с нарушением условий жидкостного трения возрастают динамические

нагрузки, постепенно приобретая ударный характер. Такие нагрузки вызывают дополнительные напряжения на деталях, могущие привести к авариям.

Существует несколько путей решения вышеперечисленных проблем.

Во-первых, это замена дорогих и дефицитных цветных металлов более легкими и дешевыми полимерными материалами, что приведет к снижению удельной материалоемкости и стоимости изделий. Полимерные материалы характеризуются высокими технологическими свойствами, коррозионной стойкостью, хорошей сцепляемостью к различным по своей природе материалам, хорошей обрабатываемостью, высокой демпфирующей способностью.

С помощью полимерных материалов наиболее просто устранить зазоры в соединениях колец подшипников и посадочных мест и обеспечить относительные перемещения сопрягаемых металлических поверхностей через промежуточную среду. Слои полимерного материала исключают контакт поверхностей металлических деталей, предотвращает их износ и обеспечивает значительное повышение долговечности неподвижного соединения.

При восстановлении неподвижных соединений полимерными материалами слой полимера между кольцом подшипника и посадочным местом играет роль упругой прокладки, деформация которой вместе с кольцом подшипника может способствовать более равномерному распределению нагрузки между телами качения и повышению долговечности подшипника качения [3, 4].

Но вместе с этим, подшипники скольжения, изготовленные из полимерных материалов, не могут полностью заменить обычные подшипники скольжения по ряду причин, из которых главными являются: низкая грузоподъемность, значительное сопротивление вращению и ограниченность применения при высоких скоростях скольжения из-за низкой теплопроводности и выделения большого количества тепла вследствие трения на контакте. Теплоустойчивость применяемых для подшипников скольжения материалов находится в пределах 80-100°C. И если учесть, что вследствие низкой теплопроводности полимеров тепло, выделяющееся при трении, накапливается на границе трения поверхностей, то возникает опасность перегрева и выхода из строя подшипника.

Во-вторых, это использование возможностей процессов напыления и наплавки порошковых материалов, финишного плазменного упрочнения, плазменной закалки и плазменной модификации, обеспечивающих повышенную работоспособность пар трения [5].

Эффект от реализации таких процессов достигается за счет изменения физико-механических свойств новых или восстановленных рабочих поверхностных слоев: уменьшения коэффициента трения, увеличения микротвердости, создания сжимающих остаточных напряжений, залечивания микродефектов, образования на поверхности диэлектрического и коррозионностойкого пленочного покрытия с низким коэффициентом теплопроводности, химической инертностью и специфической топографией поверхности.

Однако, и у этих методов есть недостатки: изменение химического состава основного и наплавленного материала вследствие окисления легирующих элементов и основы металла; возможность структурных превращений в основном металле, в частности, образование крупнозернистой структуры, новых хрупких фаз; возникновение деформаций в наплавленных изделиях за счет значительного термического воздействия; снижение характеристик сопротивления усталости наплавленных изделий; образование больших растягивающих напряжений в поверхностном слое детали; ограниченный выбор сочетаний основного и наплавленного металлов; ухудшение антифрикционных свойств.

В связи с вышеперечисленными недостатками традиционных способов упрочнения перспективным является деформационное упрочнение с применением прогрессивных методов обработки металлов давлением. В частности, применение технологии комплексного локального деформирования (КЛД) [6-25].

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Способы КЛД позволяют производить упрочнение наружной поверхности втулок с градиентом механических свойств по сечению; создавать структуры, которые, с одной стороны, позволяют достигать максимальных значений механических свойств на поверхности изделий, с другой – обеспечить их контролируемое изменение от внешнего диаметра к внутреннему (или центру заготовки в случае обработки осей или валов). Одно из основных преимуществ данного метода – возможность обработки бронз, которые невозможно подвергать обычным способам упрочнения обработки металлов давлением, а также термическим операциям ввиду сложного химического состава.

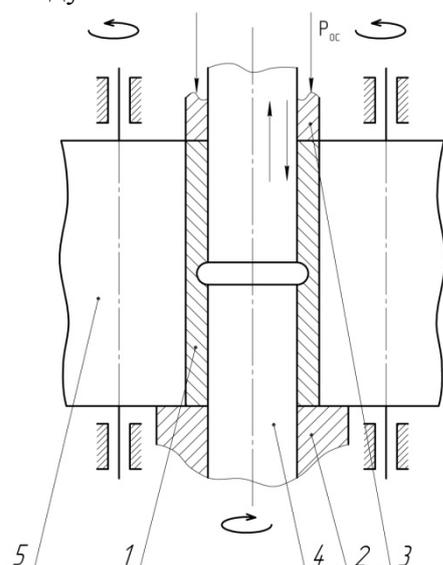


Рисунок 5 - Схема многоциклового комплексного локального нагружения с приложением осевой силы для упрочнения изделия от внутренней поверхности: 1 - заготовка, 2 - упор, 3 - прижим, 4 - дорн, 5 - валковая матрица [6]

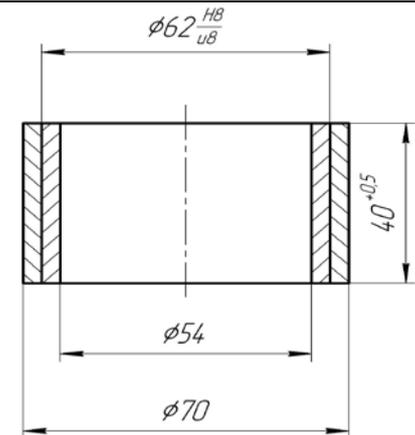
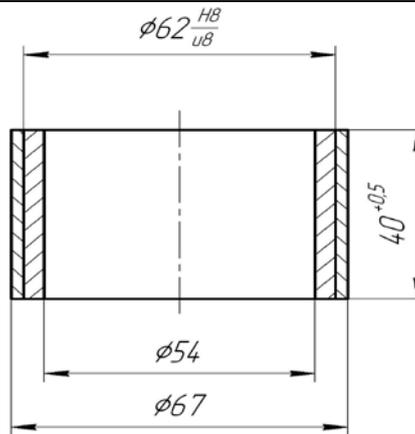
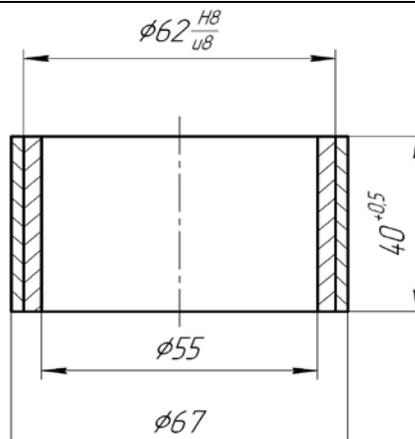
Обработка осуществляется следующим образом (рис. 5): заготовку 1 устанавливают на вращающийся упор 2, к торцу прикладывают сжимающую силу  $P_{ос}$ , создающую осевое напряжение, не достигающее предела текучести, посредством прижима 3. Заготовке сообщают крутящий момент, затем внутреннюю поверхность формируют многократным возвратно-поступательным осевым перемещением раздающего пуансона-дорна 4, имеющего участок с большим диаметром, а наружную поверхность – обкаткой с обжимом в роликовой матрице 5, после чего разводят ролики, отводят прижим и извлекают готовую втулку [6].

Примерная технология изготовления биметаллического подшипника скольжения  $\varnothing 66 \times 58 - 40$  мм, обработанного по схеме многоциклового КЛД, выглядит следующим образом (рис. 6):

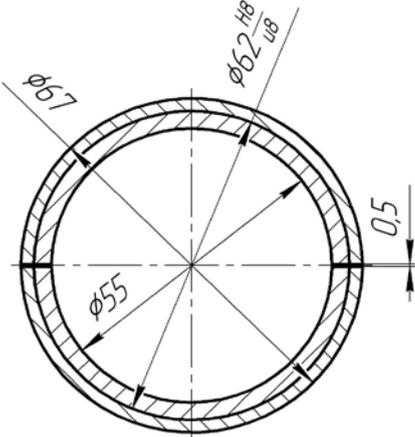
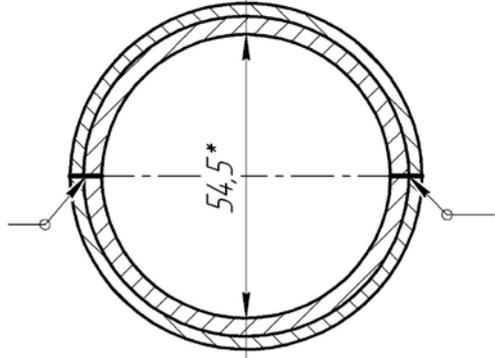
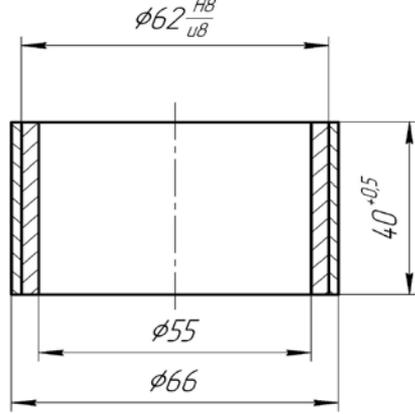
Таблица 1 – Технология изготовления биметаллического подшипника

Наименование операции	Операционный эскиз
1	2
1. Изготовление элемента трения (материал 1, например, АК12 ГОСТ 1583-93) с размерами $\varnothing 62u8 \times 54 - 40^{+0,5}$ мм;	
2. Изготовление оболочки (материал 2, наиболее дешевый, например, Сталь 3 ГОСТ 380-94) с размерами $\varnothing 70 \times 62H8 - 40^{+0,5}$ мм;	

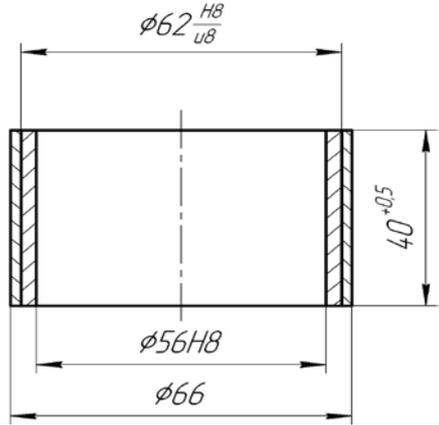
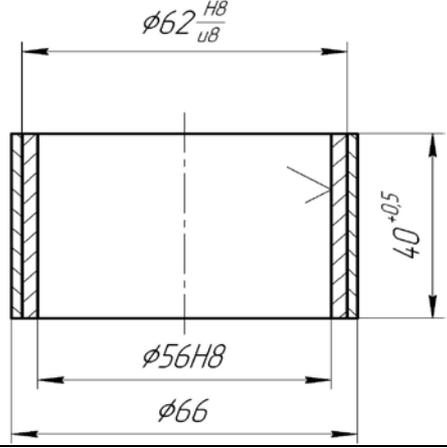
Продолжение таблицы 1

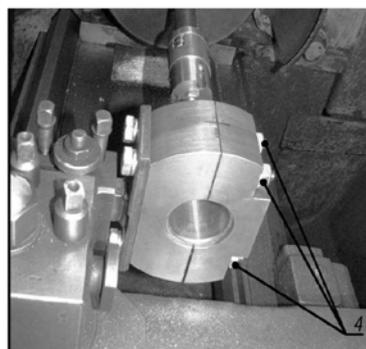
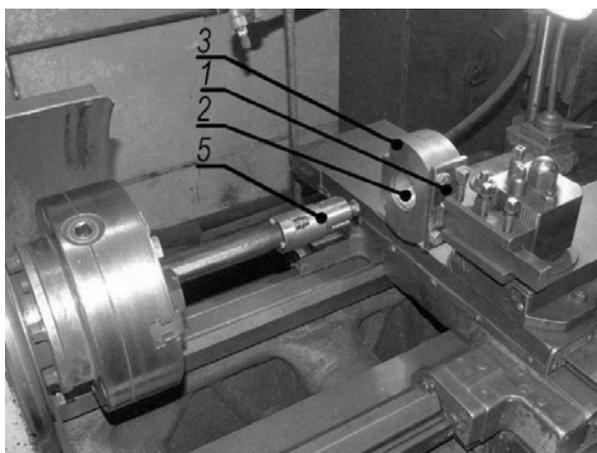
1	2
<p>3. Запрессовка элемента трения в оболочку, наибольший допустимый расчетный натяг соединения  <math>\delta_{\max} = 54,6</math> мкм</p>	 <p>Technical drawing of a sleeve with dimensions: outer diameter <math>\phi 62 \frac{H8}{u8}</math>, inner diameter <math>\phi 54</math>, length <math>40^{+0.05}</math>, and total diameter <math>\phi 70</math>.</p>
<p>4. Наружное точение материала 2 до <math>\phi 67</math> на токарно-винторезном станке.</p>	 <p>Technical drawing of a sleeve with dimensions: outer diameter <math>\phi 62 \frac{H8}{u8}</math>, inner diameter <math>\phi 54</math>, length <math>40^{+0.05}</math>, and total diameter <math>\phi 67</math>.</p>
<p>5. Черновое растачивание отверстия в материале 1 до <math>\phi 55</math>.</p>	 <p>Technical drawing of a sleeve with dimensions: outer diameter <math>\phi 62 \frac{H8}{u8}</math>, inner diameter <math>\phi 55</math>, length <math>40^{+0.05}</math>, and total diameter <math>\phi 67</math>.</p>

Продолжение таблицы 1

1	2
<p>6. Резка на две половины. Эта операция необходима, чтобы исключить овальность и зазор двух половин подшипника при их последующей посадке на вал.</p>	
<p>7. Сваривание половин втулки для последующей обработки (сварка производится по торцам)</p>	
<p>8. Наружное точение материала 2 до <math>\phi 66</math> на токарно-винторезном станке.</p>	

Окончание таблицы 1

1	2
<p>9. Растачивание отверстия в материале 1 до <math>\varnothing 56H8^{+0,1}</math> на токарно-винторезном станке.</p>	 <p>Technical drawing showing a cylindrical part with dimensions: outer diameter <math>\varnothing 62 \frac{H8}{u8}</math>, inner diameter <math>\varnothing 56H8</math>, total length <math>\varnothing 66</math>, and a sectioned end with length <math>40^{+0,05}</math>.</p>
<p>10. Обработка многоцикловым КЛН от внутренней поверхности биметаллической втулки на токарно-винторезном станке со специальной оснасткой (рис. 6) [6-18];</p>	<p>см. рис. 6</p>
<p>11. Шлифование отверстия в материале 1 на круглошлифовальном станке.</p>	 <p>Technical drawing showing a cylindrical part with dimensions: outer diameter <math>\varnothing 62 \frac{H8}{u8}</math>, inner diameter <math>\varnothing 56H8</math>, total length <math>\varnothing 66</math>, and a sectioned end with length <math>40^{+0,05}</math>. A chamfer is indicated on the inner diameter.</p>
<p>12. Разделение втулки на две равные половины путем удаления сварки</p>	



**Рисунок 6 – специальная оснастка для токарно-винторезного станка мод. 1К62 для упрочнения изделий от внутренней поверхности:**

1 – контейнер, 2 – заготовка, 3 – крышка, 4 – затяжные гайки, 5 – обкатник

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанная технология позволяет создать новый продукт – биметаллический подшипник скольжения. При этом важно отметить, что технологическое удорожание производства будет компенсировано возрастанием срока эксплуатации. Кроме того, несущая способность полученных изделий будет существенно выше исходных используемых материалов на баббитной, никелевой или алюминиевых основах. Стоит отметить, что указанный способ легко автоматизируется и может быть внедрен на любом машиностроительном предприятии, единственной затратной позицией будет являться конструирование и изготовление специальной оснастки. В целом, по указанной технологии могут быть изготовлены и подшипники скольжения, используемые в других отраслях, в частности, в станкостроении. Принципиально диаметральные размеры получаемых подшипников скольжения ограничены только парком имеющегося оборудования на конкретном предприятии.

В результате можно говорить о новом направлении в КЛД – создании биметаллических подшипников скольжения с повышенной надежностью и долговечностью, при этом преимущественным использованием будет являться узел «коленчатый вал» в автомобиле.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдонькин, Ф. Н. Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей [Текст] / Ф. Н. Авдонькин. М.: Транспорт, 1985. - 215 с.
2. Лебедев, В. М. Износостойкость трибосопряжений деталей машин [Текст] / В. М. Лебедев. - СПб.: \*Изд-во СПбГТУ, 1995. - 133 с.
3. Белый, В. А. Трение и износ материалов на основе полимеров [Текст] / В. А. Белый и др. - МН.: Наука и техника, 1976. – 432 с.
4. Барсуков, Р. Х. Исследование антифрикционных свойств полимерных композиций, изготовленных на базе эпоксидных смол [Текст]: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / Барсуков Р. Х.; Ростов н/Д, 1972. - 20 с.
5. Лашенко, Г. И. Плазменное упрочнение и напыление [Текст] / Г. И. Лашенко М.: Экотехнология, 2003. – 61 с.
6. Голенков, В. А. Разработка конструкции экспериментальной установки для получения изделий с градиентными субмикро- и наноструктурными состояниями вещества на основе валковой штамповки [Текст] / В. А. Голенков, С. Ю. Радченко, Д. О. Дорохов // Известия ОрелГТУ. Серия: «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии». – 2008-2/270(545). - С.53-55.
7. Голенков, В. А. Перспективы применения технологии «валковая штамповка» для получения градиентных субмикро - и наноструктурных материалов [Текст] / В. А. Голенков, С. Ю. Радченко, Д. О. Дорохов // Известия ТулГУ. Технические науки. - Вып. 2. – Тула: Изд-во ТулГУ. – 2008. – С.123-128.

8. Голенков, В. А. Формирование градиентных субмикро- и наноструктурных состояний комплексным локальным нагружением очага деформации [Текст] / В. А. Голенков, С. Ю. Радченко, Д. О. Дорохов // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2009. – №3. – С. 54-56.
9. Голенков, В. А. Создание градиентных структур на основе метода валковой штамповки [Текст] / В. А. Голенков, С. Ю. Радченко, О. В. Дорофеев, Д. О. Дорохов // Известия ОрелГТУ. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии». – № 3/275(561). – Орел: ОрелГТУ. – 2009. – С.42-46.
10. Голенков, В. А. Математическое моделирование упрочняющей валковой штамповки [Текст] / В. А. Голенков, С. Ю. Радченко, Д. О. Дорохов // Известия ОрелГТУ. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии», № 4/276(575). – Орел: ОрелГТУ. – 2009. – С.54-58.
11. Голенков, В. А. Применение комплексного локального нагружения при формировании градиентных механических свойств [Текст] / В. А. Голенков, С. Ю. Радченко, О. В. Дорофеев, Д. О. Дорохов // Заготовительные производства в машиностроении. – №10 – 2009. – С. 22-25.
12. Голенков, В. А. Классификация процессов комплексного локального деформирования [Текст] / В. А. Голенков С. Ю. Радченко, Д. О. Дорохов, И. М. Грядун // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2010. – № 6. – С. 85-89.
13. Голенков, В. А. Анализ видов упрочняющей обработки пластическим деформированием [Текст] / В. А. Голенков С. Ю. Радченко, Д. О. Дорохов, И. М. Грядун // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2011. – № 1. – С. 59-62.
14. Голенков, В. А. Научно-технологическая обработка давлением с комплексным локальным нагружением очага деформации [Текст] / В. А. Голенков С. Ю. Радченко, Д. О. Дорохов // Научно-технологические проблемы в машиностроении. – 2011. – № 3. – С. 31-37.
15. Дорохов, Д. О. Управляемое формирование механических свойств в изделиях методом комплексного локального деформирования [Текст] / Д. О. Дорохов // Известия ОрелГТУ. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии». – Орел: ОрелГТУ, № 4(288). – Орел, ОрелГТУ. – 2011г. – С 31-37.
16. Голенков, В. А. К вопросу о повышении эксплуатационных характеристик полых осесимметричных деталей машин методами интенсивной пластической деформации [Текст] / В. А. Голенков, С. Ю. Радченко, Д. О. Дорохов, И. М. Грядун // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2012. – № 6. – С. 71-77.
17. Голенков, В. А. Создание градиентных наноструктур в осесимметричных изделиях [Текст] / В. А. Голенков С. Ю. Радченко, Д. О. Дорохов, И. М. Грядун // Наноинженерия. – 2012. – № 5. – С. 18-22.
18. Радченко, С. Ю. Экспериментальное исследование упрочняющей обработки внутренней поверхности вкладышей подшипников скольжения в условиях комплексного локального нагружения очага деформации [Текст] / С. Ю. Радченко, Д. О. Дорохов, И. М. Грядун // Мир транспорта и технологических машин. – 2013. – № 3 (42). – С. 67-76.
19. Голенков, В. А. Математическая модель упрочняющей обработки внутренней поверхности деталей типа втулок интенсивной пластической деформацией в условиях комплексного локального нагружения очага деформации [Текст] / В. А. Голенков, С. Ю. Радченко, Д. О. Дорохов, И. М. Грядун, П. Г. Морев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2013. – № 5. – С. 40-47.
20. Голенков, В. А. Методика исследования влияния геометрии формообразующего инструмента на упрочнение деталей машин методами комплексного локального деформирования [Текст] / В. А. Голенков, С. Ю. Радченко, Д. О. Дорохов, А. А. Кисловский // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2014. – № 2. – С. 97-105.
21. Голенков, В. А. Научные основы упрочнения комплексным локальным деформированием [Текст] / В. А. Голенков, С. Ю. Радченко, Д. О. Дорохов, Г. П. Короткий. – М.: ООО «Издательство Машиностроение». – Орел: Госуниверситет-УНПК. – 2013. – 122 с.
22. Пат. 2340423 РФ, В 24 В 39/04. Способ получения металлических втулок/В.А. Голенков, В. Г. Малинин, С. Ю. Радченко, Г. П. Короткий, Д. О. Дорохов; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «ОрелГТУ». № 2007110990/02; заявл. 26.03.2007; опубл. 10.12.2008, Бюл. № 13.
23. Пат. 2387514 РФ, В21D 51/02. Способ получения металлических втулок с градиентной субмикро- и нанокристаллической структурой/В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «ОрелГТУ». № 2008146756/02; заявл. 26.11.2008; опубл. 27.04.2010, Бюл. № 12.
24. Пат. 2389580 РФ, В21D 51/02. Способ получения металлических втулок с градиентной субмикро- и нанокристаллическим состоянием материала / В. А. Голенков, С. Ю. Радченко, Д. О. Дорохов; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «ОрелГТУ». № 2008146754/02; заявл. 26.11.2008; опубл. 20.05.2010, Бюл. № 14.
25. Пат. 2462327 РФ, МПК В21Н1/22. Способ получения металлических втулок с градиентно-упрочнённой структурой / В. А. Голенков, С. Ю. Радченко, И. М. Грядун (RU). №2010153917/02; Заявлено 27.12.2010; Опубл. 27.09.2012, Бюл. №27.

**Радченко Сергей Юрьевич**

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет — УНПК»

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

Д-р техн. наук, профессор, проректор  
E-mail: sur@ostu.ru

**Дорохов Даниил Олегович**

Мценский филиал ФГБОУ ВПО «Госуниверситет — УНПК»  
Адрес: Россия, г. Мценск, Карла Маркса, 45  
Канд. техн. наук, доцент  
E-mail: ddostu@mail.ru

**Кисловский Александр Алексеевич**

Мценский филиал ФГБОУ ВПО «Госуниверситет — УНПК»  
Адрес: Россия, г. Мценск, Карла Маркса, 45  
Аспирант  
E-mail: thethe99@mail.ru

S. YU. RADCHENKO, D. O. DOROKHOV, A. A. KISLOVSKAYA

## PROSPECTS FOR THE USE OF TECHNOLOGY INTEGRATED LOCAL STRAIN HARDENING FOR SLIDE BEARINGS CRANKSHAFT

*The article discusses the scope and main problems bearing element in the transport machinery and vehicles. The ways of solving these problems. Given a detailed description of technology of complex local deformation as one of the solutions.*

**Keywords:** bearings, transport, complex local deformation, hardening

### BIBLIOGRAPHY

1. Avdon`kin, F. N. Teoreticheskie osnovy tekhnicheskoy ekspluatatsii avtomobiley [Tekst] / F. N. Avdon`kin. M.: Transport, 1985. - 215 s.
2. Lebedev, V. M. Iznosostoykost` tribosopryazheniy detaley mashin [Tekst] / V. M. Lebedev. - SPb.: \* Izd-vo SPbGTU, 1995. - 133 s.
3. Belyy, V. A. Trenie i iznos materialov na osnove polimerov [Tekst] / V. A. Belyy i dr. - MN.: Nauka i tekhnika, 1976. - 432 s.
4. Barsukov, R. H. Issledovanie antifriktsionnykh svoystv polimernykh kompozitsiy, izgotovlennykh na baze epoksidnykh smol [Tekst]: Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk / Barsukov R. H.; Rostov n/D, 1972. - 20 s.
5. Lashchenko, G. I. Plazmennoe uprochnenie i napylenie [Tekst] / G. I. Lashchenko M.: Ekotekhnologiya, 2003. - 61 s.
6. Golenkov, V. A. Razrabotka konstruksii eksperimental`noy ustanovki dlya polucheniya izdeliy s gradientnymi submikro- i nanostrukturnymi sostoyaniyami veshchestva na osnove valkovoy shtampovki [Tekst] / V. A. Golenkov, S. YU. Radchenko, D. O. Dorokhov // Izvestiya OrelGTU. Seriya: "Fundamental`nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii". - 2008-2/270(545). - S.53-55.
7. Golenkov, V. A. Perspektivy primeneniya tekhnologii "valkovaya shtampovka" dlya polucheniya gradientnykh submikro- i nanostrukturnykh materialov [Tekst] / V. A. Golenkov, S. YU. Radchenko, D. O. Dorokhov // Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki. - Vyp. 2. - Tula: Izd-vo TulGU. - 2008. - S.123-128.
8. Golenkov, V. A. Formirovanie gradientnykh submikro- i nanostrukturnykh sostoyaniy kompleksnym lokal`nym nagruzheniem ochaga deformatsii [Tekst] / V. A. Golenkov, S. YU. Radchenko, D. O. Dorokhov // Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya. - 2009. - №3. - S. 54-56.
9. Golenkov, V. A. Sozdanie gradientnykh struktur na osnove metoda valkovoy shtampovki [Tekst] / V. A. Golenkov, S. YU. Radchenko, O. V. Dorofeev, D. O. Dorokhov // Izvestiya OrelGTU. Seriya "Fundamental`nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii". - № 3/275(561). - Orel: OrelGTU. - 2009. - S.42-46.
10. Golenkov, V. A. Matematicheskoe modelirovanie uprochnyayushchey valkovoy shtampovki [Tekst] / V. A. Golenkov, S. YU. Radchenko, D. O. Dorokhov // Izvestiya OrelGTU. Seriya "Fundamental`nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii", № 4/276(575). - Orel: OrelGTU. - 2009. - S.54-58.
11. Golenkov, V. A. Primenenie kompleksnogo lokal`nogo nagruzheniya pri formirovanii gradientnykh mekhanicheskikh svoystv [Tekst] / V. A. Golenkov, S. YU. Radchenko, O. V. Dorofeev, D. O. Dorokhov // Zagotovitel`nye proizvodstva v mashinostroenii. - №10 - 2009. - S. 22-25.
12. Golenkov, V. A. Klassifikatsiya protsessov kompleksnogo lokal`nogo deformirovaniya [Tekst] / V. A. Golenkov S. YU. Radchenko, D. O. Dorokhov, I. M. Gryadunov // Fundamental`nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. - 2010. - № 6. - S. 85-89.

13. Golenkov, V. A. Analiz vidov uprochnyayushchey obrabotki plasticheskim deformirovaniem [Tekst] / V. A. Golenkov S. YU. Radchenko, D. O. Dorokhov, I. M. Gryadunov // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. - 2011. - № 1. - S. 59-62.

14. Golenkov, V. A. Naukoemkaya tekhnologiya obrabotki davleniem s kompleksnym lokal'nym nagruzheniem ochaga deformatsii [Tekst] / V. A. Golenkov S. YU. Radchenko, D. O. Dorokhov // Naukoemkie tekhnologii v mashinostroyenii. - 2011. - № 3. - S. 31-37.

15. Dorokhov, D. O. Upravlyаемое formirovanie mekhanicheskikh svoystv v izdeliyakh metodom kompleksno-go lokal'nogo deformirovaniya [Tekst] / D. O. Dorokhov // Izvestiya OrelGTU. Seriya "Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii". - Orel: OrelGTU, № 4(288). - Orel, OrelGTU. - 2011g. - S 31-37.

16. Golenkov, V. A. K voprosu o povyshenii ekspluatatsionnykh kharakteristik polykh osesimmetrichnykh detaley mashin metodami intensivnoy plasticheskoy deformatsii [Tekst] / V. A. Golenkov, S. YU. Radchenko, D. O. Dorokhov, I. M. Gryadunov // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. - 2012. - № 6. - S. 71-77.

17. Golenkov, V. A. Sozdanie gradientnykh nanostruktur v osesimmetrichnykh izdeliyakh [Tekst] / V. A. Golenkov S. YU. Radchenko, D. O. Dorokhov, I. M. Gryadunov // Nanoinzheneriya. - 2012. - № 5. - S. 18-22.

18. Radchenko, S. YU. Eksperimental'noe issledovanie uprochnyayushchey obrabotki vnutrenney poverkhnosti vkladyshey podshipnikov skol'zheniya v usloviyakh kompleksnogo lokal'nogo nagruzheniya ochaga deformatsii [Tekst] / S. YU. Radchenko, D. O. Dorokhov, I. M. Gryadunov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2013. - № 3 (42). - S. 67-76.

19. Golenkov, V. A. Matematicheskaya model' uprochnyayushchey obrabotki vnutrenney poverkhnosti detaley tipa vtulok intensivnoy plasticheskoy deformatsiei v usloviyakh kompleksnogo lokal'nogo nagruzheniya ochaga deformatsii [Tekst] / V. A. Golenkov, S. YU. Radchenko, D. O. Dorokhov, I. M. Gryadunov, P. G. Morev // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. - 2013. - № 5. - S. 40-47.

20. Golenkov, V. A. Metodika issledovaniya vliyaniya geometrii formoobrazuyushchego instrumenta na uprochnenie detaley mashin metodami kompleksnogo lokal'nogo deformirovaniya [Tekst] / V. A. Golenkov, S. YU. Radchenko, D. O. Dorokhov, A. A. Kislovskiy // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. - 2014. - № 2. - S. 97-105.

21. Golenkov, V. A. Nauchnye osnovy uprochneniya kompleksnym lokal'nym deformirovaniem [Tekst] / V. A. Golenkov, S. YU. Radchenko, D. O. Dorokhov, G. P. Korotkiy. - M.: OOO "Izdatel'stvo Mashinostroyeniye". - Orel: Gosuniversitet-UNPK. - 2013. - 122 s.

22. Pat. 2340423 RF, B 24 B 39/04. Sposob polucheniya metallicheskh vtulok/V.A. Golenkov, V. G. Malinin, S. YU. Radchenko, G. P. Korotkiy, D. O. Dorokhov; zayavitel' i patentoobladatel' GOU VPO "OrelGTU". № 2007110990/02; zayavl. 26.03.2007; opubl. 10.12.2008, Byul. № 13.

23. Pat. 2387514 RF, B21D 51/02. Sposob polucheniya metallicheskh vtulok s gradientnoy submikro- i nanokristallicheskoy strukturoy/V.A. Golenkov, S.YU. Radchenko, D.O. Dorokhov; zayavitel' i patentoobladatel' GOU VPO "OrelGTU". № 2008146756/02; zayavl. 26.11.2008; opubl. 27.04.2010, Byul. № 12.

24. Pat. 2389580 RF, B21D 51/02. Sposob polucheniya metallicheskh vtulok s gradientnoy submikro- i nanokristallicheskim sostoyaniem materiala / V. A. Golenkov, S. YU. Radchenko, D. O. Dorokhov; zayavitel' i patentoobladatel' GOU VPO "OrelGTU". № 2008146754/02; zayavl. 26.11.2008; opubl. 20.05.2010, Byul. № 14.

25. Pat. 2462327 RF, MPK B21H1/22. Sposob polucheniya metallicheskh vtulok s gradientno-uprochnionnoy strukturoy / V. A. Golenkov, S. YU. Radchenko, I. M. Gryadunov (RU). №2010153917/02; Zayavleno 27.12.2010; Opubl. 27.09.2012, Byul. №27.

**Radchenko Sergey Yurevich,**

The Federal State Higher Education Professional Institution «State University –Education-Scientific-Production Complex», Orel

Doctor of technical science. professor, prorector,

E-mail: sur@ostu.ru,

**Dorokhov Daniel Olegovich**

Federal State Budget financed Educational Institution of Higher Education “State university - educational - scientific – production complex” Mtsensk Branch, Mtsensk

Candidate of technical science, docent

E-mail: ddostu@mail.ru,

**Kislovsky Alexander Alekseevich**

Federal State Budget financed Educational Institution of Higher Education “State university - educational - scientific – production complex” Mtsensk Branch, Mtsensk

post-graduate student

E-mail: thethe99@mail.ru

Ю. Н. БАРАНОВ, Н. Е. САКОВИЧ, В. И. САМУСЕНКО

## РАЗРАБОТКА ТОРМОЗНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОРМОЗНЫХ КАЧЕСТВ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

*Разработано тормозное устройство, в котором высокие тормозные качества достигаются применением набора подвижных и неподвижных дисков взаимодействующих между собой при торможении. Работоспособность предложенного тормозного устройства подтверждена результатами экспериментальных исследований.*

**Ключевые слова:** безопасность движения, тормозное устройство, подвижный диск, неподвижный диск, регулятор зазоров, фрикционный элемент.

Анализ обеспечения безопасности дорожного движения в Российской Федерации показывает, что число дорожно-транспортных происшествий на дорогах страны остается стабильно высоким. За период с 1999 по 2013 год в Российской Федерации произошло 2703592 ДТП, в которых погибло 369138 человек и 2778669 человек получили травмы различной степени тяжести, при этом около 22% травмированных стали инвалидами. По данным официальной статистики ежедневно на дорогах страны погибает в среднем 100 человек, более 60% погибших в ДТП люди в возрасте до 45 лет. Общая смертность среди пострадавших в ДТП, в 12 раз выше, чем у лиц, которые получили травму при других несчастных случаях [1,2].

Социально-экономические потери оцениваются специалистами от 2,4 до 2,6% валового внутреннего продукта. В ценах 2006 года ущерб от ДТП составил 476437 млн. руб., в том числе от гибели людей 229068 млн. руб., ранения 65633 млн. руб.

Анализ причин дорожно-транспортных происшествий показывает, что основными из них являются: недисциплинированность водителей, нарушение ими Правил дорожного движения (ПДД), плохие дорожные условия, отказы и неисправности автотранспортных средств (АТС), около 50% ДТП происходят из-за неудовлетворительной работы тормозных систем, при этом неисправности автотранспортных средств приводят к наиболее тяжким дорожно-транспортным происшествиям. Такие ДТП ежегодно уносят жизни до 1000 человек, а ущерб от них до 10 млрд. рублей [3,4].

Проблема снижения числа дорожно-транспортных происшествий является сложной и многоплановой. На ее решение направлены Федеральный закон №196 – ФЗ от 10. 12. 1995 года “О безопасности дорожного движения” разработана Федеральная целевая программа “Повышение безопасности дорожного движения на 2013 – 2020 годы”, в которых указаны основные требования при изготовлении и эксплуатации автотранспортных средств, предложена система организационных, инженерно-технических мероприятий по предупреждению аварийности на дорогах. Выполнение научно-технических программ способствовало снижению темпов роста числа ДТП, по сравнению с предшествующими периодами, но не решило многих проблем дорожно-транспортного травматизма, абсолютные цифры и относительные показатели которого остаются очень высокими.

В настоящее время на 1000 россиян приходится более 200 автомобилей и, как показывает опыт развитых стран, Россия находится в стадии взрывного роста автомобилизации (сегодня рост автомобилей в стране составляет 10% в год или 1.3 млн. единиц). Поэтому, прогнозируя развитие ситуации, есть все основания полагать, что, несмотря на принимаемые меры, в ближайшие годы возможен рост количества дорожно-транспортных происшествий, числа пострадавших в них людей.

Увеличение массы и мощности грузовых автомобилей, все более высокие требования, предъявляемые к тормозным системам изготовителями и пользователями транспортом, а так же все более жесткие условия соответствующих стандартов, создают сложную проблему –

обеспечение безопасности дорожного движения, которую трудно решить при помощи колодочных тормозов.

Проводимые фирмой *Mintex Don* международные конференции по проблемам совершенствования тормозных систем грузовых автомобилей, отмечается, что несмотря на ряд проблем стоящих перед создателями дисковых тормозных механизмов (высокая энергонагруженность) их применение предпочтительнее в следствие таких преимуществ, как стабильность эффективности при изменении температуры, начальной скорости торможения [5-7].

Нами разработана конструкция дискового тормоза для автотранспортных средств большой грузоподъемности (рис. 1) [8].

Тормозное устройство состоит из корпуса 7, блока цилиндров 9, набора подвижных 13 и неподвижного 14 диска. На цилиндрической поверхности корпуса выполнены пазы 15, в которые входят шлицы неподвижного 14 и прижимного 12 дисков.

На корпусе 7 имеются шлицы, для установки блока цилиндров 9. На цилиндрической части корпуса тормоза и блока цилиндров сделаны проточка и кольцевая канавка для стопорных полуколец 8, закрытых крышкой 5. Блок цилиндров 9 представляет собой фасонный диск с 16 резьбовыми гнездами, в которые ввернуты гильзы. В восьми из них размещены поршни 2, в восьми других – регуляторы зазоров 10. Полости цилиндров соединены между собой кольцевым каналом 4. Шлицевыми выступами подвижные диски входят в пазы 7 тормозного барабана.

При вращении колеса подвижные диски вращаются совместно с тормозным барабаном, и колесом, при этом, имея возможность перемещаться в осевом направлении по пазам. На поверхности подвижных и неподвижных дисков наклепаны накладки из фрикционного материала. Поверхности фрикционных накладок образуют между собой фрикционные пары трения.

Тормозной механизм работает следующим образом. При подаче давления рабочее тело через штуцер 3 подается в кольцевой канал 4 к поршням 2, которые начинают двигаться, перемещая прижимной диск 12 в осевом направлении. При этом пакет дисков сжимается, на фрикционных поверхностях возникают силы трения и, следовательно, тормозной момент, пропорциональный давлению в приводе тормозной системы.

Зубчатый венец 6, установленный на тормозном барабане, предназначен для зацепления с шестерней датчика антиблокировочной системы (АБС), разработанного для данного тормоза.

Охлаждение тормоза осуществляется набегающим потоком воздуха, через технологические отверстия в тормозном барабане.

Методика расчета тормозного механизма предполагает определение тормозного момента, развиваемого тормозом, и его соответствие тормозному моменту, развиваемому автотранспортным средством при максимальном замедлении.

Тормозной момент дискового тормоза:

$$M_T = z\mu R_{cp} P,$$

где  $z$  – число пар поверхности трения,  $z = 4$ ;

$\mu$  – коэффициент трения,  $\mu = 0,45$ ;

$R_{cp}$  – радиус действия сил трения, эквивалентный действию всех элементарных сил трения на площади контакта:  $R_{cp} = (R_n + R_b) / 2$ ;

$R_n, R_b$  – наружный и внутренний радиус диска  $m$  (рис. 2);

$P$  – осевое усилие,  $H$ .

Для более точного определения среднего радиуса, используем формулу:

$$R_{cp} = R_{cp} \delta_\phi,$$

где  $\delta_\phi$  – коэффициент формы фрикционного элемента.

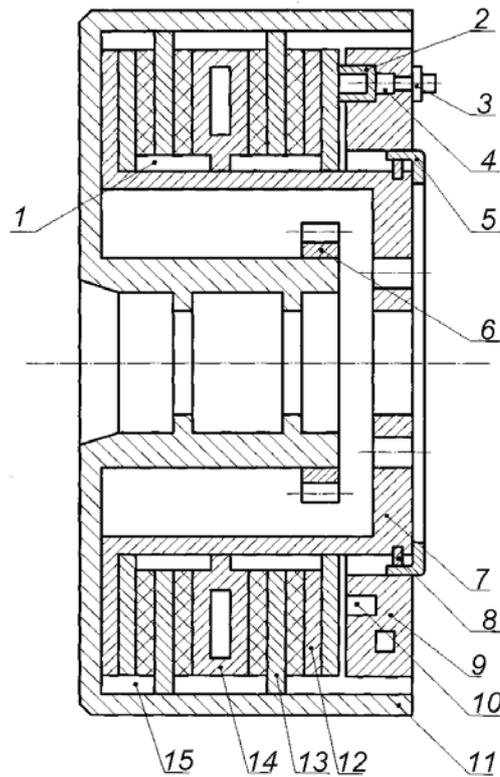


Рисунок 1 - Тормозное устройство

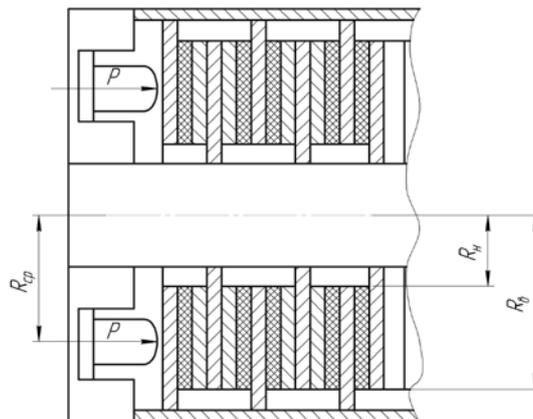


Рисунок 2 - Схема сил P и параметров тормозного механизма

В предлагаемом тормозе можно использовать фрикционные элементы в виде кольцевого сектора, круга или овала (рис. 3). Для расчетов возьмем фрикционный элемент в виде кольцевого сектора.

Для накладки в виде кольцевого сектора коэффициент  $\delta_\phi$  зависит от соотношения радиусов

$$a = \frac{R_b}{R_n} < 1$$

Для расчетов примем  $R_n = 0,21$  м,  $R_b = 0,16$  м,  $R_n - R_b < 0,6$ .

Отсюда  $a = 0,16/0,21 = 0,79$ , тогда  $\delta_\phi = 1,021$ .

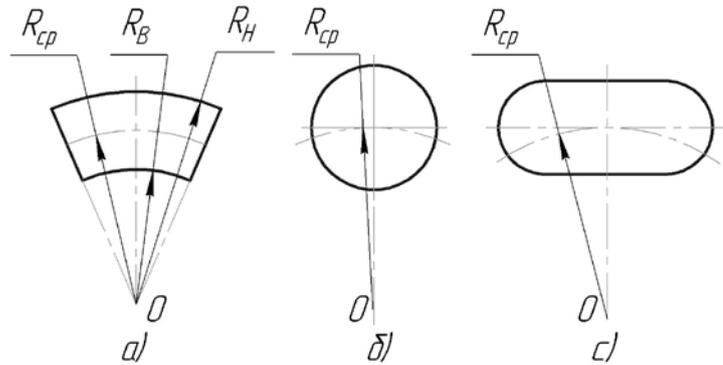


Рисунок 3 – Формы фрикционных элементов:  
а – кольцевой сектор; б – круг; с – овал

Осевое усилие  $P$  в предлагаемом тормозе создается усилием восьми цилиндров. Для пневматического привода

$$P = 0,25 p \pi \sum_{i=1}^n d_{ци}^2,$$

где  $p$  – давление в пневмосистеме,  $p = 0,9$  МПа;

$d_{ци}$  – диаметр цилиндра,  $d_{ци} = 0,07$  м.

Отсюда

$$P = 0,25 \times 3,14 \times 0,9 \times 10^6 \times 8 \times 0,07^2 = 27689,8 \text{ Н.}$$

Тогда  $R_{cp} = [(R_H + R_B)/2] \delta_\phi = [(0,21 + 0,16)/2] \times 1,021 = 0,189$  м.

Отсюда тормозной момент равен

$$M_T = z \mu R_{cp} P = 4 \times 0,45 \times 0,189 \times 27689,8 = 9420,07 \text{ Нм}$$

Тормозной момент, развиваемый автотранспортным средством при экстренном торможении,

$$M_I = (G_z \phi R_k) / 2,$$

где  $G_z$  – масса автотранспортного средства, приходящаяся на переднюю ось при торможении:

$$G_z = G_1 + \frac{G_a \times h_0}{L_a} \times \frac{J}{g}, \quad (1)$$

где  $\phi$  – коэффициент сцепления шины с дорогой,  $\phi = 0,8$ ;

$R_k$  – радиус колеса автотранспортного средства,  $R_k = 0,477$  м;

$G_1$  – масса автотранспортного средства приходящаяся на переднюю ось,

$G_1 = 2538$  кг;

$G_a$  – полная масса автотранспортного средства,  $G_a = 7825$  кг;

$h_0$  – высота центра тяжести автотранспортного средства,  $h_0 = 0,9$  м;

$L_a$  – база автотранспортного средства,  $L_a = 3,6$  м;

$J$  – максимальное замедление при торможении,  $J = 7,0$  м/с<sup>2</sup>;

$g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>.

Подставив в формулу (1) выбранные ранее значения величин, получим

$$G_z = 2538 + 7825 \times 0,9 \times 7,0 / 3,6 \times 9,81 = 3934 \text{ кг.}$$

Отсюда

$$M_I = (39340 \times 0,8 \times 0,477) / 2 = 7506 \text{ Нм.}$$

Тормозной момент развиваемый тормозным механизмом 9420,07 Нм обеспечивает торможение транспортного средства с замедлением  $7\text{ м/с}^2$ , при давлении в приводе тормозного механизма 0,9 МПа:

$$M_T > M_1.$$

Расчет тормозного момента для фрикционных элементов круговой и овальной формы принципиального отличия не имеет.

В качестве расчетных данных использовали данные КАМАЗ-44108.

Разработанное тормозное устройство прошло диагностирование в ООО «Евроцентр» на стенде технического диагностирования тормозов марки СТС10У.11.00.00.000РЭ, результаты диагностирования приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты диагностирования тормозного устройства

Показатели	Требования ГОСТ Р 51709-2001	Полученные результаты
Удельная тормозная сила, $\gamma_T$ , не менее	0,46	0,52
Относительная разность тормозных сил колес оси	20 %	12%
Усилие на органе управления, $P_{ц}$ , Н	686	610

Достоинство разработанного дискового тормоза – это повышение износостойкости, увеличение сцепления трущихся элементов по плоской поверхности, что обеспечивает равномерность распределения давления, а следовательно равномерный износ материала.

Разработанное многодисковое тормозное устройство с осевым нажатием для автотранспортных средств с замедлением более  $7,5\text{ м/с}^2$  по своей эффективности в 1,5 – 2,0 раза превосходящий применяемые на отечественных автомобилях большой грузоподъемности, что позволяет повысить безопасность дорожного движения до 10 %.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Новиков, А. Н. Анализ влияния технических неисправностей транспортных средств на уровень дорожной безопасности [Текст] / А. Н. Новиков, М. В. Кулев, А. В. Кулев // Мир транспорта и технологических машин, № 1 (28), 2010- С. 8-11.
- Баранов, Ю. Н., Основы обеспечения безопасности в системе «человек - машина - среда» [Текст] / Ю. Н. Баранов, А. А. Катунин, Р. В. Шкрабак, Ю.Н.Брагинец // Вестник НЦБЖД». - № 1 (19). - 2014. - С. 73-76.
- Баранов, Ю. Н. Повышение тормозных качеств автотранспортных средств [Текст] / Ю. Н. Баранов, Н. Е. Сакович, В. И. Самусенко, А. М. Никитин // Вестник Брянского государственного технического университета». - № 2 (42). - 2014. - С. 5-8.
- Стародубцева, И. В. Методы контроля тормозного сопротивления гибридного электромобиля [Текст] / И. В. Стародубцева // Мир транспорта и технологических машин. - №1 (44). - 2014 г. – С. 21-28.
- Новиков, А.Н. Комплексное обследование улично-дорожной сети города Орла (на примере ул. «Наугорское шоссе») [Текст] / А. Н. Новиков, В. А. Голенков, А. А. Катунин, Ю. Н. Баранов, Д.Д. Матназаров // Мир транспорта и технологических машин». - №1 (44). - 2014. – С. 96-106.
- Трясцин, А. П. Формирование комплексной технологической безопасности автотранспортных систем [Текст] / А. П. Трясцин // Мир транспорта и технологических машин». - №3 (42). – 2013. – С. 89-95.
- Шкрабак, В.С. Теория и практика обеспечения безопасности дорожного движения [Текст]: монография / В. С. Шкрабак, Е. Н. Христофоров, Н. Е. Сакович. – Брянск.: изд. БГСХА, 2008. – 282 с.
- Пат. 82173 Российская Федерация. Тормозное устройство автомобиля [Текст] / Христофоров Е. Н., Сакович Н. Е., Самусенко В. И. и др.; опубл. БИ №11, 2009.

**Баранов Юрий Николаевич**

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК»

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

Д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры «Сервис и ремонт машин»

E-mail: bar20062@yandex.ru

**Сакович Наталия Евгениевна**

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 «Информатика и прикладная математика»  
E-mail: bar20062@yandex.ru

**Самусенко Владимир Иванович**

ФГБОУ ВПО «Брянская государственная сельскохозяйственная академия»  
Адрес: 302030, Россия, г. Орел, ул. Московская, 77  
Старший преподаватель кафедры «Эксплуатация машинно – тракторного парка»  
E-mail: bar20062@yandex.ru

---

J. N. BARANOV, N. E. SAKOVICH, V. I SAMUSENKO

## DEVELOPMENT OF A BRAKING DEVICE TO RAISE BRAKE QUALITIES OF VEHICLES

*The brake device in which high quality brake achieved through a set of moving and stationary discs interacting braking. The efficiency of the proposed braking device is exposed experimental results.*

**Keywords:** traffic safety, the braking device, the movable disk, fixed disk, control gaps, friction element.

### BIBLIOGRAPHY

1. Novikov, A. N. Analiz vliyaniya tekhnicheskikh neispravnostey transportnykh sredstv na uroven` dorozhnoy bezopasnosti [Tekst] / A. N. Novikov, M. V. Kulev, A. V. Kulev // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin, № 1 (28), 2010- S. 8-11.
2. Baranov, Yu. N., Osnovy obespecheniya bezopasnosti v sisteme "chelovek - mashina - sreda" [Tekst] / YU. N. Baranov, A. A. Katunin, R. V. SHkrabak, YU.N.Braginets // Vestnik NTSBZHD". - № 1 (19). - 2014. - S. 73-76.
3. Baranov, YU. N. Povyshenie tormoznykh kachestv avtotransportnykh sredstv [Tekst] / YU. N. Baranov, N. E. Sakovich, V. I. Samusenko, A. M. Nikitin // Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta". - № 2 (42). - 2014. - S. 5-8.
4. Starodubtseva, I. V. Metody kontrolya tormoznogo soprotivleniya gibridnogo elektromobilya [Tekst] / I. V. Starodubtseva // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - №1 (44). - 2014 g. - S. 21-28.
5. Novikov, A.N. Kompleksnoe obsledovanie ulichno-dorozhnoy seti goroda Orla (na primere ul. "Naugorskoe shosse") [Tekst] / A. N. Novikov, V. A. Golenkov, A. A. Katunin, YU. N. Baranov, D.D. Matnazarov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin". - №1 (44). - 2014. - S. 96-106.
6. Tryastin, A. P. Formirovanie kompleksnoy tekhnologicheskoy bezopasnosti avtotransportnykh sistem [Tekst] / A. P. Tryastin // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin". - №3 (42). - 2013. - S. 89-95.
7. SHkrabak, V.S. Teoriya i praktika obespecheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya [Tekst]: monografiya / V. S. SHkrabak, E. N. Hristoforov, N. E. Sakovich. - Bryansk.: izd. BGSMA, 2008. - 282 s.
8. Pat. 82173 Rossiyskaya Federatsiya. Tormoznoe ustroystvo avtomobilya [Tekst] / Hristoforov E. N., Sakovich N. E., Samusenko V. I. i dr.; opubl. BI №11, 2009.

**Baranov Yuri Nicolaevich**

ФГБОУ ВПО "State University-UNPK"  
Address: 302030, Russia, g. Orel, ul. Moscow, 77  
Dr. tehn. , Associate Professor, Professor of "service and repair of machines"  
E-mail: bar20062@yandex.ru

**Sacovich Natalia Evgenievna**

ФГБОУ ВПО "Bryansk State Agricultural Academy"  
Address: 243365, Russia, Bryansk region., Vygonichsky rn, p. Kokkino str. Soviet 2a  
Dr. tehn. Associate Professor, Department "Computer Science and Applied Mathematics"  
E-mail: bar20062@yandex.ru

**Samusenko Vladimir Ivanovich**

ФГБОУ ВПО "Bryansk State Agricultural Academy"  
Address: 302030, Russia, Orel, ul. Moscow, 77  
Senior lecturer in "Operation machine - tractor fleet"  
E-mail: bar20062@yandex.ru

УДК 621.436.681.51

В. М. МАНОЙЛО

## РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОДАЧИ СМЕСИ ПОЛОЖЕНИЕМ ПОВОРОТНОЙ ЗАСЛОНКИ ДРОССЕЛЬНОГО УЗЛА СИСТЕМЫ ВОЗДУХОСНАБЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

*Предложена математическая модель регулирования процесса подачи рабочего тела (свежего заряда или топливно-воздушной смеси), поступающего в систему воздухообеспечения двигателя; поворотной заслонкой обеспечивается плавное изменение проходного сечения в горловине дроссельного узла, что дает возможность регулировать величину расхода рабочего тела (РТ) в ДВС, при изменении эксплуатационных режимов работы транспортных средств.*

**Ключевые слова:** математическая модель, дроссельный узел, поворотная заслонка.

### ВВЕДЕНИЕ

В подавляющем большинстве современных газовых и бензиновых двигателей системы воздухообеспечения оборудованы дроссельным узлом. Поворотной заслонкой узла обеспечивается эффективное регулирование величины расхода рабочего тела в цилиндры ДВС. Заслонка в своем любом промежуточном положении между полным закрытием и открытием обеспечивает плавное изменение проходного сечения горловины дроссельного узла. Изменением проходного сечения осуществляется регулирование расхода рабочего тела, поступающего в цилиндры ДВС. Это самый простой, надежный способ регулирования.

Согласованная работа дроссельного узла, систем топливоподачи, зажигания и пр. контролируется комплексной системой управления ДВС, создает благоприятные условия для осуществления эффективного рабочего процесса в широком диапазоне изменения скоростных и нагрузочных режимов работы транспортных средств (ТС).

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ДОСТИЖЕНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Дроссельные узлы систем воздухообеспечения, адаптированные к транспортным ДВС, изготавливаются в достаточно разнообразном конструктивном исполнении и отличаются между собой функциональными возможностями [1–20].

Тем не менее, в технической печати модель регулирования процесса течения рабочего тела в горловине дроссельного узла системы воздухообеспечения ДВС с помощью поворотной заслонки отсутствует.

Автором предлагается такая математическая модель, с помощью которой появляется возможность численного моделирования переходных процессов, происходящих в дроссельном узле, возникающих в результате появления различных возмущающих воздействий, от которых зависит регулирование величины расхода рабочего тела и эффективность рабочего процесса ДВС. Приведенные мероприятия влияют на тягово-скоростные характеристики транспортных средств, в широком диапазоне изменения скоростных и нагрузочных режимов эксплуатации последних.

### ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью настоящей работы является обеспечения быстрого, точного и плавного регулирования величины расхода рабочего тела в цилиндры ДВС, от которого зависят в процессе эксплуатации тягово-скоростные, технико-экономические и экологические характеристики ТС.

### СУЩНОСТЬ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

На установившихся режимах ДВС поворотная заслонка, установленная на оси, внутри дроссельного узла, в зависимости от изменения скоростных и нагрузочных режимов рабо-

ты ТС, занимает строго определенное (заданное) положение, при этом соблюдаться условие статического равновесия.

Для поворотной заслонки условие статического равновесия можно выразить следующим соотношением

$$M_{n.засл} - M_{реак} = 0 \text{ или } M_{n.засл} = M_{реак}, \quad (1)$$

где  $M_{n.засл}$  - момент, возникающий на оси поворотной заслонки набегающего встречного потока рабочего тела, поступающего в ДВС, Н

Из курса физики известно, что при элементарном изменении по времени угловую скорость оси поворотной заслонки можно представить выражением

$$\omega_{\text{др.засл}} = \frac{d\beta}{dt}, \quad (6)$$

где  $\beta$  – угол поворота заслонки, град. пов.

Тогда, первую производную угловой скорости оси поворотной заслонки запишем зависимостью

$$\frac{d\omega_{\text{др.засл}}}{dt} = \frac{d^2\beta}{dt^2} = \varepsilon_{\text{др.засл}}, \quad (7)$$

где  $\varepsilon_{\text{др.засл}}$  – угловое ускорение оси поворотной заслонки,  $\text{с}^{-2}$ .

Подставим выражения (6 и 7) в соотношение (5), и запишем

$$J_{\text{засл}} \cdot \frac{d^2\Delta\beta}{dt^2} + k_z \cdot \frac{d\Delta\beta}{dt} = (M_{\text{н.засл}} + \Delta M_{\text{н.засл}}) - (M_{\text{реак}} + \Delta M_{\text{реак}}), \quad (8)$$

После упрощений получим

$$J_{\text{засл}} \cdot \frac{d^2\Delta\beta}{dt^2} + k_z \cdot \frac{d\Delta\beta}{dt} = \Delta M_{\text{н.засл}} - \Delta M_{\text{реак}}. \quad (9)$$

Момент, приложенный водителем к оси поворотной заслонки зависит от: давления рабочего тела в дроссельном узле  $p_{\text{др.засл}}$  усилия, приложенного к оси заслонки  $P_{\text{усил}}$  и угла поворота дроссельной заслонки  $\beta$

$$M_{\text{н.засл}} = f(\beta, p_{\text{др.засл}}, P_{\text{усил}}). \quad (10)$$

На основании этого, после упрощений, запишем элементарное изменение момента, приложенного к педали рычага управления, которое необходимо приложить водителю, к оси поворотной заслонки с учетом малых отклонений

$$\Delta M_{\text{н.засл}} = \frac{\partial M_{\text{н.засл}}}{\partial p_{\text{др.засл}}} \cdot \Delta p_{\text{др.засл}} + \frac{\partial M_{\text{н.засл}}}{\partial \beta} \cdot \Delta \beta + \frac{\partial M_{\text{н.засл}}}{\partial P_{\text{усил}}} \cdot \Delta P_{\text{усил}}. \quad (11)$$

Момент противодействия, создаваемый движущимся рабочим телом в дроссельном узле поворотной заслонки зависит от: перепада давления  $\Delta p_{\text{др.засл}}$  рабочего тела в узле и угла поворота дроссельной заслонки  $\beta$

$$M_{\text{реак}} = f(p_{\text{др.засл}}, \beta). \quad (12)$$

Тогда, после упрощений запишем элементарное изменение расхода рабочего тела проходящего через дроссельный узел при малых отклонениях

$$\Delta M_{\text{реак}} = \frac{\partial M_{\text{реак}}}{\partial p_{\text{др.засл}}} \cdot \Delta p_{\text{др.засл}} + \frac{\partial M_{\text{реак}}}{\partial \beta} \cdot \Delta \beta. \quad (13)$$

Подставим выражения моментов приложенных к дроссельному узлу в уравнение (9). Тогда, дифференциальное уравнение (ДУ) приращения углового ускорения поворотной заслонки можно представить в виде

$$J_{засл} \cdot \frac{d^2 \Delta\beta}{dt^2} + k_z \cdot \frac{d\Delta\beta}{dt} = \frac{\partial M_{п.засл}}{\partial p_{др.засл}} \cdot \Delta p_{др.засл} + \frac{\partial M_{п.засл}}{\partial \beta} \cdot \Delta\beta + \frac{\partial M_{п.засл}}{\partial p_{усил}} \cdot \Delta p_{усил} - \frac{\partial M_{реак}}{\partial p_{др.засл}} \cdot \Delta p_{др.засл} - \frac{\partial M_{реак}}{\partial \beta} \cdot \Delta\beta \quad (14)$$

Выразим значения  $\Delta p_{др.засл}$ ,  $\Delta p_{усил}$  и  $\Delta\beta$  через относительные координаты

$$\overline{p_{др.засл}} = \frac{\Delta p_{др.засл}}{P_{0др.засл}}; \quad \overline{p_{усил}} = \frac{\Delta p_{усил}}{P_{0усил}}; \quad \overline{\beta} = \frac{\Delta\beta}{\beta_0}, \quad (15)$$

где  $\overline{p_{др.засл}}$  - безразмерное изменение перепада давления рабочего тела перед поворотной заслонкой;

$\overline{p_{усил}}$  - безразмерное изменение усилия на педаль управления в дроссельном узле;

$\overline{\beta}$  - безразмерное изменение угла поворота дроссельной заслонки;

индекс 0 – значения параметров на установившихся режимах работы поворотной заслонки.

Фактор устойчивости поворотной заслонки запишем соотношением

$$F_{др.засл} = \frac{\partial M_{реак} - \partial M_{п.засл}}{\partial \beta} \quad (16)$$

Выразим дифференциальное уравнение приращения углового ускорения поворотной заслонки (14), используя значения относительных координат (15) и фактора устойчивости (16), следующим соотношением

$$J_{засл} \cdot \beta_0 \cdot \frac{d^2 \overline{\beta}}{dt^2} + k_z \cdot \frac{d\overline{\beta} \cdot \beta_0}{dt} + F_{др.засл} \cdot \overline{\beta} \cdot \beta_0 = \frac{(\partial M_{п.засл} - \partial M_{реак})}{\partial p_{др.засл}} \cdot \overline{p_{др.засл}} \cdot P_{0др.засл} + \frac{\partial M_{п.засл}}{\partial p_{усил}} \cdot \overline{p_{усил}} \cdot P_{0усил} \quad (17)$$

После преобразования и деления всех составляющих на пятый член уравнения получим

$$T^2_{др.засл} \cdot \frac{d^2 \overline{\beta}}{dt^2} + T_{к.засл} \cdot \frac{d\overline{\beta}}{dt} + K_{др.засл} \cdot \overline{\beta} = Q_{др.засл} \cdot \overline{p_{др.засл}} + \overline{p_{усил}} \quad (18)$$

Полученное выражение является дифференциальным уравнением приращения углового ускорения поворотной заслонки дроссельного узла в безразмерных координатах.

Где, время реакции и, соответственно, время катаракта поворотной заслонки

$$T^2_{др.засл} = \frac{J_{засл} \cdot \beta_0}{\frac{\partial M_{п.засл}}{\partial p_{усил}} \cdot P_{0усил}} \quad \text{и} \quad T_{к.засл} = \frac{k_z \cdot \beta_0}{\frac{\partial M_{п.засл}}{\partial p_{усил}} \cdot P_{0усил}}$$

характеризуют скорость срабатывания подвижных деталей (ПД) и инерционность ПД дроссельного узла;

Коэффициент самовыравнивания дроссельной заслонки

$$K_{др.засл} = \frac{F_{др.засл} \cdot \beta_0}{\frac{\partial M_{п.засл}}{\partial p_{усил}} \cdot P_{0усил}}$$

характеризует способность поворотной заслонки поддерживать заданный равновесный режим.

Коэффициент усиления по изменению давления РТ в сечении дроссельной заслонки

$$Q_{др.засл} = \frac{\left( \frac{\partial M_{п.засл} - \partial M_{реак}}{\partial p_{др.засл}} \right) \cdot p_{0др.засл}}{\frac{\partial M_{п.засл}}{\partial p_{усил}} \cdot p_{0усил}}$$

характеризует эффективность воздействия изменения давления от момента, приложенного к оси поворотной заслонкой.

В операторной форме записи, уравнение (18) приращения углового ускорения поворотной заслонки представим следующим выражением

$$(T^2_{др.засл} \cdot p^2 + T_{к.засл} \cdot p + K_{др.засл}) \cdot \bar{\beta} = Q_{др.засл} \cdot \overline{p_{др.засл}} + \overline{p_{усил}} \cdot \quad (19)$$

Где трехчлен в скобках, взятый из уравнения (19)

$$d_{др.засл}(p) = T^2_{др.засл} \cdot p^2 + T_{к.засл} \cdot p + K_{др.засл} \quad (22)$$

- является собственным оператором поворотной заслонки дроссельного узла.

Упрощенное изображение структурной схемы поворотной заслонки дроссельного узла приведено на рисунке 1.

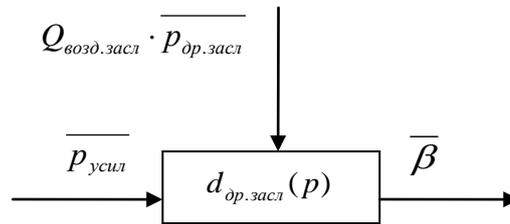


Рисунок 1 - Упрощенное изображение структурной схемы поворотной заслонки дроссельного узла системы воздухообеспечения ДВС

## ВЫВОДЫ

1. Полученное ДУ, описывает динамические свойства поворотной заслонки дроссельного узла системы воздухообеспечения ДВС транспортных средств, позволяет сформировать и реализовать математические модели исследуемого объекта.

2. Получено, линейное неоднородное ДУ 2-го порядка с постоянными коэффициентами, которое можно использовать для разработки и реализации математических моделей многоконтурных систем воздухообеспечения, а также для решения дальнейших задач связанных с оптимизацией параметров рассматриваемых систем.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хрулев, А. Э. Ремонт двигателей зарубежных автомобилей [Текст] / А. Э. Хрулев.- М.: За рулем. - 2000. – 430 с.
2. Пат. 2196908 Российская Федерация, С2 F 02 D 9/10, 11/10. Устройство контроля положения дроссельной заслонки двигателя внутреннего сгорания [Текст] / Кузнецов Д.В.; опубл. 10.09.02.
3. Пат. 2196909 Российская Федерация, С2 F 02 D 9/10, 11/10. Устройство контроля положения дроссельной заслонки двигателя внутреннего сгорания [Текст] / Кузнецов Д.В.; опубл. 20.09.02.

4. Нащокин, В. В. Техническая термодинамика и теплопередача [Текст]: учебн. пособие / В. В. Нащокин. - 3-е изд., испр. и доп. - М.: Высшая школа, 1980. - 470 с.
5. Колчин, А. И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей [Текст]: учебн. пособие / А. И. Колчин, В. П. Демидов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1980. - 400 с., ил.
6. Герц, Е. В. Пневматические приводы [Текст] / Е. В. Герц. - М.: Машиностроение, 1968. - 359 с.
7. Шевяков, А. А. Автоматика авиационных и ракетных силовых установок [Текст] учебник / А. А. Шевяков. - 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1965. - 548 с., ил.
8. Первов, Б. Н. Исполнительные устройства регулирования тепловыми установками [Текст] / Б. Н. Первов. - М-Л: Госэнергоиздат. - 1952. - 232 с.
9. Ефимов, С. И. ДВС: Системы поршневых и комбинированных двигателей [Текст]: учебник / С. И. Ефимов, Н. А. Иващенко, В. И. Ивин и др.; под общ. ред. А. С. Орлина и М. Г. Круглова. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1985. - 456 с., ил.
10. Стефани, Е. П. Сборник задач по основам автоматического регулирования теплоэнергетических процессов [Текст]: учеб. пособие / Е. П. Стефани, М. А. Панько, Г. А. Пикина. - М.Б., Энергия, 1973.
11. Крутов, В. И. Сборник задач по автоматическому регулированию двигателей внутреннего сгорания [Текст]: учебн. пособие / В. И. Крутов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1990. - 320 с.: ил.
12. Брюханов, Н. В. Теория автоматического управления [Текст]: учебник / под ред. Ю. М. Соломенцева. - М.: Высшая школа, 1999. - 172 с.
13. Управление техническими объектами на автомобильном транспорте [Текст]: учебн. пособие / под ред. А. А. Мельникова. - Пенза: ПГАСА, 2000. - 341 с.
14. Буралев, Ю. В. и др. Устройство, обслуживание и ремонт топливной аппаратуры автомобилей [Текст] / Ю. В. Буралев, О. А. Мартынов, Е. В. Клевников. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. шк., 1987. - 288 с.: ил.
15. Мельников, А. А. Теория автоматического управления техническими объектами автомобилей и тракторов [Текст]: учебн. пособие / А. А. Мельников. - М.: Издательский центр «Академия», 2003. - 280 с.
16. Макаров, А. Н. Расчет дроссельных устройств [Текст]: справочник / А. Н. Макаров, М. Я. Шерман. - М.: Metallurgizdat, 1953. - 284 с.: ил.
17. Куценко, А. С. Анализ динамики регулируемой системы наддува ДВС с ВОД [Текст] / А. С. Куценко, В. М. Манойло // Информационные технологии: наука, техника, технология, образование здоровье. - Харьков: ХГПУ. - 1998. - Вып. 6. - С. 64-67.
18. Лабораторный практикум. СИСТЕМИ ДВЗ [Текст] / І. І. Тимченко, А. О. Єфремов, В. М. Манойло, Д. І. Тимченко, - Харків, ХНАДУ, 2008,- С. 90.
19. Манойло, В. М. Система всережимного регулирования наддува автомобильного дизеля [Текст] / В. М. Манойло // Двигатели внутреннего сгорания. - Харьков: ХГПУ. - 1997. - Вып. 56-57. - С. 197-203.
20. Манойло, В. М. Регулирование процесса течения газоз-воздушной смеси в горловине диффузора смесителя, системы топливоподачи транспортного дизеля [Текст] / В. М. Манойло // Международная научно-практическая конференция, посвященная 100-летию херсонской государственной морской академии. "Безопасность жизнедеятельности на транспорте и производстве – образование, наука, практика". – Херсон: Херсонская государственная морская академия. - 2014.- С. 218-222.

**Манойло Владимир Максимович**

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет (ХНАДУ)

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

Канд. техн. наук, доцент кафедры двигателей внутреннего сгорания, докторант

E-mail: ae.hnadu@gmail.com

---

V. M. MANOILLO

## **THE MODEL OF REGULATING THE WORKING FLUID FLOW PROCESS BY MEANS OF THE BUTTERFLY IN THE NECK OF THE THROTTLE DEVICE OF THE VEHICLE ENGINE AIR SUPPLY SYSTEM**

*A mathematical model of the regulation of the working fluid flow that enters the system of air supply of the engine is offered. The rotary valve provides a smooth flow area change in the inlet throttle unit, which enables to adjust the working medium in ICE by changing the operating modes of the vehicle.*

**Key words:** *mathematical model, butterfly valve, rotary valve.*

## BIBLIOGRAHY

1. Hrulev, A. E. Remont dvigateley zarubezhnykh avtomobiley [Tekst] / A. E. Hrulev. - M.: Za rulem. - 2000. - 430 s.
2. Pat. 2196908 Rossiyskaya Federatsiya, S2 F 02 D 9/10, 11/10. Ustroystvo kontrolya polozheniya drossel'noy zaslonki dvigatelya vnutrennego sgoraniya [Tekst] / Kuznetsov D.V.; opubl. 10.09.02.
3. Pat. 2196909 Rossiyskaya Federatsiya, S2 F 02 D 9/10, 11/10. Ustroystvo kontrolya polozheniya drossel'noy zaslonki dvigatelya vnutrennego sgoraniya [Tekst] / Kuznetsov D.V.; opubl. 20.09.02.
4. Nashchokin, V. V. Tekhnicheskaya termodinamika i teploperedacha [Tekst]: uchebn. posobie / V. V. Nashchokin. - 3-e izd., ispr. i dop. - M.: Vysshaya shkola, 1980. - 470 s.
5. Kolchin, A. I. Raschet avtomobil'nykh i traktornykh dvigateley [Tekst]: uchebn. posobie / A. I. Kolchin, V. P. Demidov. - 2-e izd., pererab. i dop. - M.: Vysshaya shkola, 1980. - 400 s., il.
6. Gerts, E. V. Pnevmaticheskie privody [Tekst] / E. V. Gerts. - M.: Mashinostroenie, 1968. - 359 s.
7. Shevyakov, A. A. Avtomatika aviatsionnykh i raketnykh silovykh ustanovok [Tekst] uchebnik / A. A. Shevyakov. - 2-e izd. pererab. i dop. - M.: Mashinostroenie, 1965. - 548 s., il.
8. Pervov, B. N. Iсполnitel'nye ustroystva regulirovaniya teplovymi ustanovkami [Tekst] / B. N. Pervov. - M.: Gosenergoizdat. - 1952. - 232 s.
9. Efimov, S. I. DVS: Sistemy porshnevykh i kombinirovannykh dvigateley [Tekst]: uchebnik / C. I. Efimov, N. A. Ivashchenko, V. I. Ivin i dr.; pod obshch. red. A. S. Orlina i M. G. Kruglova. - 3-e izd., pererab. i dop. - M.: Mashinostroenie, 1985. - 456 s., il.
10. Stefani, E. P. Sbornik zadach po osnovam avtomaticheskogo regulirovaniya teploenergeticheskikh protsessov [Tekst]: ucheb. posobie / E. P. Stefani, M. A. Pan'ko, G. A. Pikina. - M.B., Energiya, 1973.
11. Krutov, V. I. Sbornik zadach po avtomaticheskomu regulirovaniyu dvigateley vnutrennego sgoraniya [Tekst]: uchebn. posobie / V. I. Krutov. - 2-e izd., pererab. i dop. - M.: Mashinostroenie, 1990. - 320 s.: il.
12. Bryukhanov, N. V. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya [Tekst]: uchebnik / pod red. YU. M. Solomentseva. - M.: Vysshaya shkola, 1999. - 172 s.
13. Upravlenie tekhnicheskimi ob'ektami na avtomobil'nom transporte [Tekst]: uchebn. posobie / pod red. A. A. Mel'nikova. - Penza: PGASA, 2000. - 341 s.
14. Buralev, YU. V. i dr. Ustroystvo, obsluzhivanie i remont toplivnoy apparatury avtomobiley [Tekst] / YU. V. Buralev, O. A. Martynov, E. V. Klevnikov. - 3-e izd., pererab. i dop. - M.: Vyssh. shk., 1987. - 288 s.: il.
15. Mel'nikov, A. A. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya tekhnicheskimi ob'ektami avtomobiley i traktorov [Tekst]: uchebn. posobie / A. A. Mel'nikov. - M.: Izdatel'skiy tsentr "Akademiya", 2003. - 280 s.
16. Makarov, A. N. Raschet drossel'nykh ustroystv [Tekst]: spravochnik / A. N. Makarov, M. YA. Sherman. - M.: Metallurgizdat, 1953. - 284 s.: il.
17. Kutsenko, A. S. Analiz dinamiki reguliruemoy sistemy nadduva DVS s VOD [Tekst] / A. S. Ku-tsenko, V. M. Manoylo // Informatsionnye tekhnologii: nauka, tekhnika, tekhnologiya, obrazovanie zdorov'e. - Har'kov: HGPU. - 1998. - Vyp. 6. - S. 64-67.
18. Laboratorniy praktikum. SISTEMI DVZ [Tekst] / I. I. Timchenko, A. O. Efremov, V. M. Manoylo, D. I. Timchenko, - Harkiv, HNADU, 2008, - S. 90.
19. Manoylo, V. M. Sistema vserezhimnogo regulirovaniya nadduva avtomobil'nogo dizelya [Tekst] / V. M. Manoylo // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. - Har'kov: HGPU. - 1997. - Vyp. 56-57. - S. 197-203.
20. Manoylo, V. M. Regulirovanie protsessu techeniya gazo-vozdushnoy smesi v gorlovine diffuzora smesitelya, sistemy toplivopodachi transportnogo dizelya [Tekst] / V. M. Manoylo // Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, posvyashchennaya 100-letiyu khersonskoy gosudarstvennoy morskoy akademii. "Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti na transporte i proizvodstve - obrazovanie, nauka, praktika". - Herson: Hersonskaya gosudarstvennaya morskaya akademiya. - 2014. - S. 218-222.

### **Manojlo Vladjmir Maksjmovjch**

Kharkiv National Automobile and Highway University (KhNAHU)

Address: 25 Petrovskoho str, g. Kharkiv, Ukraine

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Internal Combustion Engines, doctoral student

E-mail: ae.hnadu@gmail.com

УДК 622.271.002.5 (06)

Ю. М. ЛЯШЕНКО, Е. А. РЕВЯКИНА, А. Ю. ЛЯШЕНКО

## **ПОГРУЗОЧНЫЕ ОРГАНЫ С РОЛИКОВОЙ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ПОГРУЗОЧНО – ТРАНСПОРТНЫХ КОМПЛЕКСОВ КАРЬЕРОВ НЕРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Рассмотрена возможность повышения эффективности погрузки нерудных кусковых материалов на карьерах оснащением роликовыми элементами рабочих органов погрузочно – транспортных комплексов.*

*Ключевые слова:* погрузка и транспортирование нерудных материалов, погрузочные органы с роликовой рабочей поверхностью, погрузочно – транспортные комплексы.

Добыча и производство нерудных строительных материалов в Российской Федерации является одной из ведущих отраслей, которая определяет не только рост объемов, но и качество всего строительного комплекса страны. Благодаря повсеместному распределению месторождений нерудных строительных материалов, их добыча и производство находятся практически во всех регионах страны.

Сегодня открытый способ разработки твердых полезных ископаемых неоспоримо превалирует как в мировой добывающей промышленности, так и в России и республиках постсоветского пространства.

Как следствие роста объемов капитального и дорожного строительства в России все возрастающие объемы добычи нерудных строительных материалов открытым способом требуют применения высокопроизводительных машин и оборудования для производства карьерных работ.

При разработке скальных и полускальных грунтов производственный цикл чаще всего включает буровзрывную подготовку массива и последующую выемку разрыхленной массы из навала погрузочными органами с погрузкой в транспортное средство.

Анализ процесса погрузки и транспортирования крупнокусовых материалов с помощью существующих транспортных средств выявили конструктивные недостатки, влияющие на эффективность их работы [1].

Использование рабочих органов рациональных конструкций и параметров может значительно повысить производительность машин и оборудования для производства карьерных работ, повысить их надежность и долговечность, снизить энергозатраты и себестоимость технологического процесса.

Создание образцов новых типов рабочих органов – сложная, многоэтапная задача (рис. 1). Решение задачи нахождения перспективной конструктивной схемы погрузочного органа начинают после изучения накопленного опыта и установления морфологических признаков существующего оборудования в следующей последовательности: комбинаторика возможных сочетаний элементов при многообразии их количественного состава, взаимного расположения и наложенных связей и синтез новых технических решений погрузочных и погрузочно-транспортных модулей.

Процесс погрузки – неотъемлемая часть технологических процессов добычи нерудных строительных материалов. При этом основной объем производственных программ выполняется одноковшовыми экскаваторами.

Процесс черпания является одной из основных операций рабочего цикла одноковшового экскаватора. Степень наполнения ковша материалом и величины сопротивлений внедрения ковша в штабель во многом зависят от его конструктивных параметров (рис. 2).

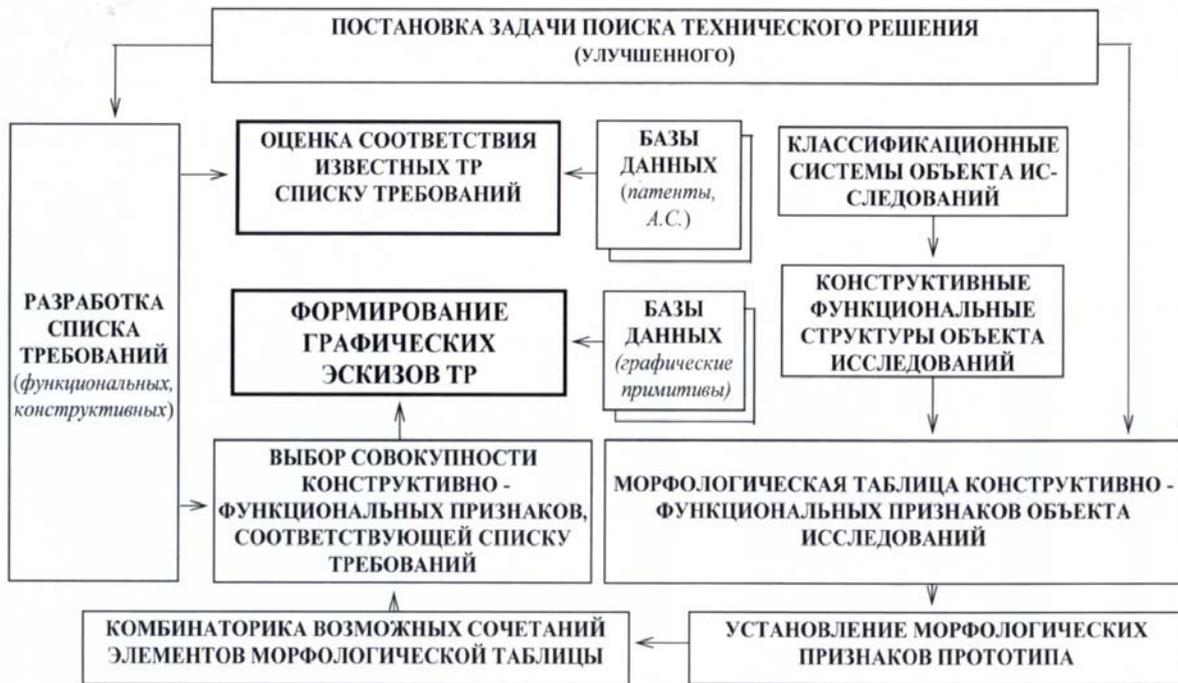


Рисунок 1 – Структура процедур решения задачи синтеза технических решений рабочих органов погрузочно – транспортных модулей

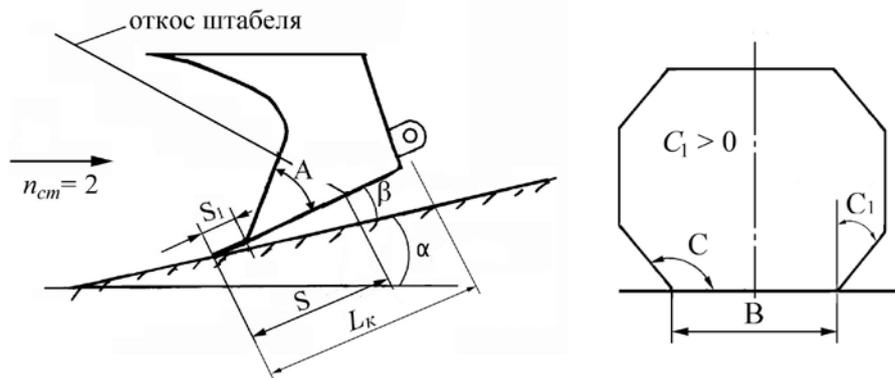


Рисунок 2 - Геометрические характеристики ковша

$A$  – угол наклона передней кромки боковой стенки к почве выработки,  $\beta$  – угол наклона днища к почве,  $C$  – угол сопряжения боковых стенок с днищем,  $C_1$  – угол отклонения боковой стенки от вертикали,  $B$  – ширина днища ковша,  $S_1$  – длина выступающей части днища относительно боковых стенок,  $S$  – глубина внедрения ковша,  $\alpha$  – угол наклона почвы забоя к горизонту.

При решении задачи совершенствования техники, используемой на погрузке скальных грунтов, целесообразность улучшения рабочих качеств элементов ковша в работе определялась по результатам оценки весомости влияющих факторов в технико - эксплуатационных показателях одноковшовых экскаваторов. В качестве базовой зависимости, характеризующей размеры ковшевого погрузочного органа, принята зависимость сопротивлений внедрения

рению ковша в штабель от глубины внедрения  $W_{вн.к}(S)$  канд. техн. наук В. Д. Ерейского, рассматривающая сопротивления внедрению ковша с двумя боковыми стенками в штабель  $W_{вн.к}$  как сумму сопротивления внедрения днища  $W_{вн.дн}$ , которое определяется суммарным сопротивлением ядра уплотнения  $W_{яд}$  и непосредственно плоскости  $W_{пл}$ , и сопротивления внедрения стенок  $W_{вн.ст}$  [2].

$$W_{вн.к} = 10[B(0,1d_{эф}S + K_{\beta 1}S^2) + 0,24d_{ср}A^{1,5} \times (1,45 - C_1)(S - S_1)^2] \cdot 2^{0,1\alpha} K_{ус} K_{ГТ} K_{ТП}, \quad (1)$$

где  $W_{вн.к}$  – полное сопротивление внедрению ковша, Н;

$d_{эф}$  – эффективный «диаметр» частиц, т.е. усредненный «диаметр» частиц, одновременно взаимодействующих с передней кромкой ковша, см;

$K_{\beta 1} = 0,25 + 0,034\beta_1$  – коэффициент, учитывающий угол наклона днища ковша к почве, град.;

$K_{ус}$  – коэффициент, учитывающий влияние угла сопряжения боковых стенок с днищем;

$K_{ГТ}$  – коэффициент учитывающий влияние горнотехнических условий;

$K_{ТП}$  – коэффициент, характеризующий «трудности» процесса погрузки, т.е. состояния почвы, разрыхленность скальных грунтов после взрыва.

Для оценки значимости (процентного соотношения) сопротивления внедрения днища  $W_{вн.дн}$  и сопротивления внедрения стенок  $W_{вн.ст}$  в общем сопротивлении внедрению ковша  $W_{вн.к}$  выполняются преобразования формулы (1).

Уравнения, описывающие отношения  $W_{вн.дн}/W_{вн.к}$  и  $W_{вн.ст}/W_{вн.к}$  имеют следующий вид:

$$W_{вн.дн} / W_{вн.к} = B(0,1d_{эф} + K_{\beta}S) / [B(0,1d_{эф} + K_{\beta}S) + 0,24d_{ср}A^{1,5}S \times (1,45 - C_1)]$$

и

$$W_{вн.ст} / W_{вн.к} = 1 - W_{вн.дн} / W_{вн.к}.$$

По результатам вычислений строится график зависимостей  $W_{вн.дн} / W_{вн.к} = f(B/d_{ср})$  (рис. 3):

Построение графика  $W_{вн.дн} / W_{вн.к} = f(B/d_{ср})$  выполняется при следующих значениях, представленных в таблица 1.

Таблица 1 – Данные для построения графика зависимости  $W_{вн.дн} / W_{вн.к} = f(B/d_{ср})$

B, м	d <sub>ср</sub> , м	B/d <sub>ср</sub>	W <sub>вн.дн</sub> /W <sub>вн.к</sub>	W <sub>вн.ст</sub> /W <sub>вн.к</sub>
0,6	0,2	3	0,74	0,26
1,2	0,2	6	0,85	0,15

Границы области значимости для одноковшовых экскаваторов с емкостью ковша  $E = 0,65 \div 8 \text{ м}^3$  определялись по следующей зависимости [3]:

$$B = 1,2 \sqrt[3]{E} \quad \text{или} \quad B/d_{ср} = (1,2 \sqrt[3]{E}) / d_{ср}.$$

Как видно из графика (рис. 3), при ковшах емкостью более  $0,65 \text{ м}^3$  сопротивление внедрению днища ковша составляет от 80 % и выше, что делает нецелесообразным при совершенствовании рабочего оборудования одноковшовых экскаваторов варьирование конструктивными параметрами боковых стенок. Следовательно, решение задачи следует искать в направлении улучшения рабочих свойств днища ковша.

При решении практических задач поискового характера основой анализа и синтеза функциональных элементов погрузочных и погрузочно-транспортных модулей, которые черпывают отделенный от массива разрыхленный грунт, накапливают, грузят в транспортные средства или сбрасывают в отвал, являются естественная систематика, или созданные из соображений полезности и удобства искусственные классификации средств механизированной погрузки (рис. 4).

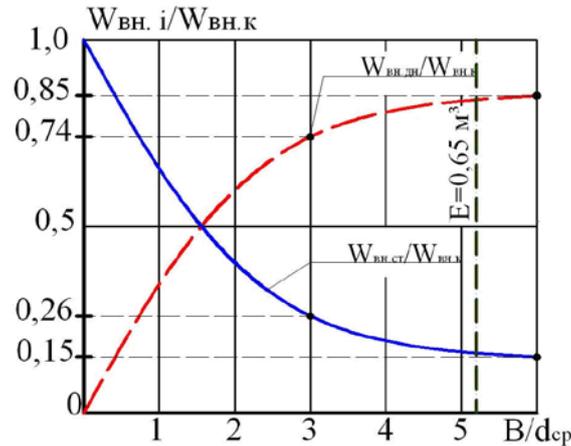


Рисунок 3 - График зависимости  $W_{вн.и}/W_{вн.к} = f(B/d_{ср})$

Для выбора из синтезированных в морфологической таблице вариантов технических решений средств погрузки скальных грунтов наилучших, следует придерживаться следующих принципов:

- ко всем элементам морфологической таблицы должен проявляться равный интерес;
- эффективное использование морфологического метода возможно лишь при максимально точной формулировке поставленной задачи.

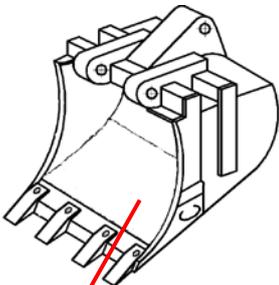
При составлении списка вариантов стремятся к выходу на нетрадиционные подходы. Это способствует преодолению психологической инерции к выходу на новые решения. Безусловно, некоторые из этих вариантов оказываются неприемлемыми по многим причинам и сразу же отбрасываются. Лишь небольшая часть из оставшихся вариантов после проверки на совместимость элементов и реализуемость привлекает к себе серьезное внимание.



Рисунок 4 - Классификация средств погрузки скальных грунтов

Момент выбора желательных решений, которые могут оказаться перспективными,

наиболее ответственен, так как в морфологическом методе не существует каких - либо практических и универсальных критериев оценки эффективности всевозможных вариантов. Успешность выбора обуславливается интуицией разработчика, его опытом и умением ориентироваться в самых различных областях знаний. Точность и обоснованность выбора при использовании морфологического метода повышаются применением методов экспертных оценок и весовых коэффициентов.



Индекс	Морфологический признак	Вид исполнения			
		1	2	3	... n
1	Вид синтезирования	Моноэлементное	Полиэлементное	...	...
2	Элемент конструкции (материальный носитель)	плоскость	цилиндр	шар	звенья цепи
3	Направление рабочего перемещения	Снизу - вверх	Сверху - вниз	На одном уровне	...
4	Кинематическое состояние элементов	Неподвижно закрепленное	Винтовое	Поступательное	Вращательное
5	Взаимное расположение элементов	Продольно-осевое	Горизонтально-плоскостное	Вертикально-плоскостное	Фронтально-плоскостное
6	Условия связи	Технологическая	Кинематическая (комплекс)	Конструктивная	...
7	Вид движения	Возвратное	Непрерывное	...	...
8	Опорная плоскость	Плита	Почва выработки	Боковые стенки	...

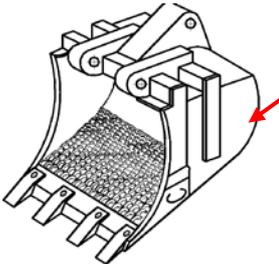


Рисунок 5 - Пример матрицы структурных решений для ковша с улучшенными рабочими свойствами днища (фрагмент)

При синтезе ковша с улучшенными рабочими свойствами днища сделана попытка снизить энергоемкость процесса погрузки за счет снижения коэффициента трения скальных грун-

тов о днище путем перехода от трения скольжения к трению качения. В этом направлении ведется активная научно-практическая деятельность [4].

На рисунке 5 приведен фрагмент морфологической таблицы, в которой сформировано техническое решение ковша с улучшенными рабочими свойствами днища.

Результатом практической реализации морфологического синтеза явилась разработанная конструкция ковша с роликовым днищем [5].

Согласно предлагаемой конструкции (рис. 6), поставленная задача достигается тем, что в ковше экскаватора 1 днище 3 выполняется в виде совокупности вращающихся роликов 4. Ролики 4 устанавливаются с возможностью вращения относительно осей 5, которые закреплены на боковых стенках 2 (рис. 6.а).

Перед началом работы, когда процесс рыхления скальных грунтов в карьере закончен, рабочий орган одноковшового экскаватора находится перед штабелем кусковых скальных грунтов в положении, показанном на рисунок 6.а.

Цикл работы одноковшового экскаватора состоит из нескольких последовательных операций. Наполнение ковша 1 происходит во время его принудительного перемещения в направлении штабеля, показанного на рисунок 6.б. При этом, режущая кромка и зубья днища 3 срезают часть материала штабеля, расположенного на поверхности забоя. Скальные грунты в разрыхленном состоянии скользят по роликам 4 и поступают в ковш 1. Ролики 4 под напором погружаемой среды вращаются относительно осей 5 закрепленных на боковых стенках 2, снижая сопротивления ее перемещению относительно днища 3 и способствуя более эффективному наполнению ковша 1.

Перемещение скальных грунтов к месту разгрузки осуществляется в полости ковша 1. Разгрузка ковша 1 происходит вследствие падения грунтов под действием сил тяжести при наклоне днища. При этом, скольжение скальных грунтов в обратном направлении по вращающимся в том же направлении роликам 4 способствует сокращению времени разгрузки. Цикл завершается возвратом ковша в исходное положение и его подготовкой к новому рабочему движению и наполнению.

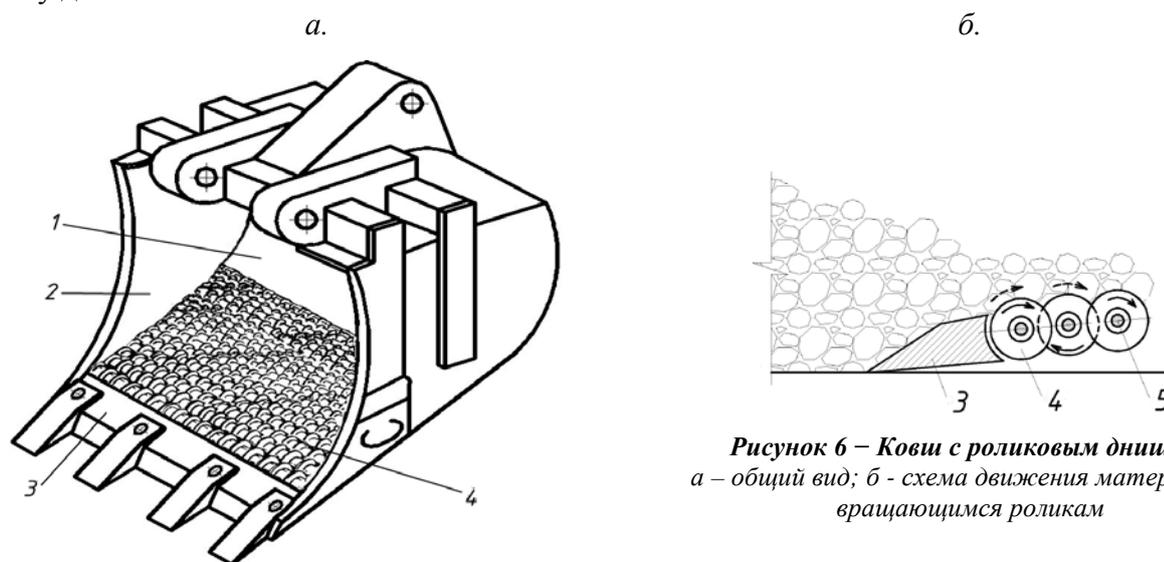


Рисунок 6 – Ковш с роликовым днищем:  
а – общий вид; б - схема движения материала по вращающимся роликам

Таким образом, предлагаемый ковш с роликовым днищем выгодно отличается от существующих аналогов тем, что такое его исполнение обеспечивает при внедрении в штабель, зачерпывании и разгрузке снижения коэффициента трения горной массы о днище путем перехода от трения скольжения к трению качения, а, следовательно, ведет к уменьшению напорных усилий и снижению энергоемкости рабочего процесса. Кроме того, вращающиеся

ролики обеспечивают равномерное истирание рабочей поверхности, что существенно увеличивает наработку на отказ рабочего оборудования и повышает эффективность рабочего процесса.

Представления об эффективности оснащения роликовыми элементами рабочих органов при погрузке скальных грунтов получили развитие в обладающей новизной конструкции рабочего органа погрузочно – транспортного модуля с цикловым исполнительным механизмом [6]. Отсутствие сложных кинематических и редукторных групп, тяговых цепей, унификация рабочих элементов и элементов привода отличает устройство от выпускаемых.

Согласно разработанной конструкции (рис. 7), рабочий орган погрузочно – транспортного комплекса включает неподвижный желоб 1 и установленные в нем на раме 2, совершающей возвратно – поступательное перемещение от гидроцилиндра 3, связанные между исполнительные элементы 4.

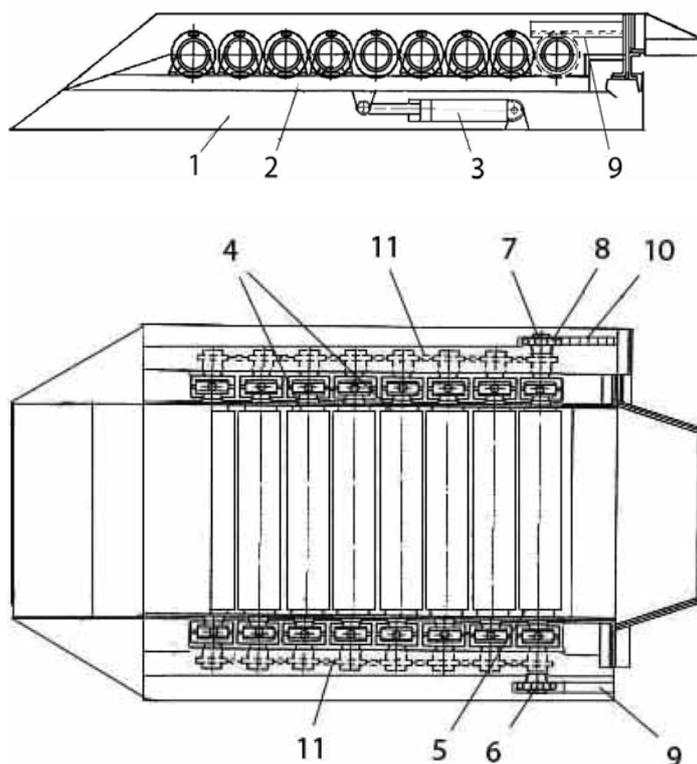


Рисунок 7 - Погрузочно – транспортный модуль:  
а – вид сбоку, б – вид сверху.

Исполнительные элементы 4 выполнены в виде роликов, один из которых 5 является ведущим и оснащен обгонными муфтами 6 и 7 в виде зубчатых колес 8 входящих в зацепление с монтируемыми на лотке рейками 9 и 10, одна из которых 9 устанавливается с возможностью вращения ведущего роликов в направлении транспортирования материала при прямом ходе, а вторая 10 – при обратном, при этом ролики соединены между собой и ведущим роликом цепной передачей 11.

В основе данного устройства реализуется принцип непрерывности вращения роликов и соответственно процесса погрузки грунта при циклической работе рабочего органа. Устройство работает следующим образом. Цикл погрузки начинается с работы гидроцилиндра 3, под действием которого рама 2 с установленными на ней роликами 4 перемещается относительно желоба 1, увлекая разрыхленный скальный грунт к разгрузочной части рабочего органа.

При этом зубчатое колесо 8, входящее в зацепление с рейкой 10, посредством обгонной муфты 7 приводит во вращение в направлении транспортирования скального грунта ведущий валок 5. Вращение роликов 4 связанных с ведущим роликом 5 цепной передачей 11

обеспечивает дополнительное перемещение материала и увеличивает скорость перемещения грунтов относительно рамы 2. Обгонная муфта 6 при этом находится в отключенном состоянии.

После реверсирования гидроцилиндра 3 рама 2 осуществляет движение в направлении штабеля кусковой рабочей среды. В это время обгонная муфта 6, посредством зубчатого колеса 8 входящая в зацепление с рейкой 9, приводит во вращение в направлении транспортирования грунтов ведущий ролик 5 и связанные с последним цепной передачей 11 валки 4. Обгонная муфта 7 при этом находится в отключенном состоянии.

Вращение роликов 4 в направлении разгрузочной части при движении рамы 2 в направлении штабеля превращают процесс проталкивания кусковой рабочей среды из циклического в непрерывный.

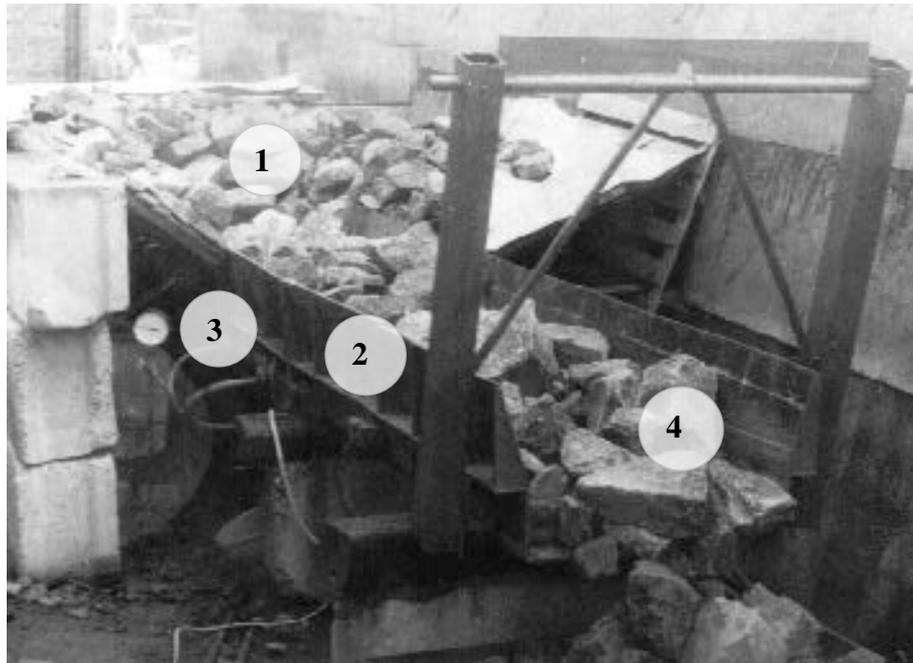
Наиболее эффективными, обеспечивающими непрерывность грузопотока, ритмичность работ и повышение производительности труда при наиболее низких энергоемкости и трудоемкости процессов погрузки и транспортировки грунтов принято считать поточные технологии.

Экспериментальные исследования физической модели рабочего оборудования одноковшового экскаватора (рис. 8) и испытания экспериментального образца погрузочно – транспортногo модуля с цикловым исполнительным механизмом в режиме работы под завалом (рис. 9) показали работоспособность синтезированных технических решений и возможность промышленной реализации, эффективность их применения для погрузки и транспортировки крупнокусковых скальных грунтов и открыли перспективы реализации поточных технологий и создания комплексов оборудования для производства карьерных работ при добыче нерудных материалов [7,8] .



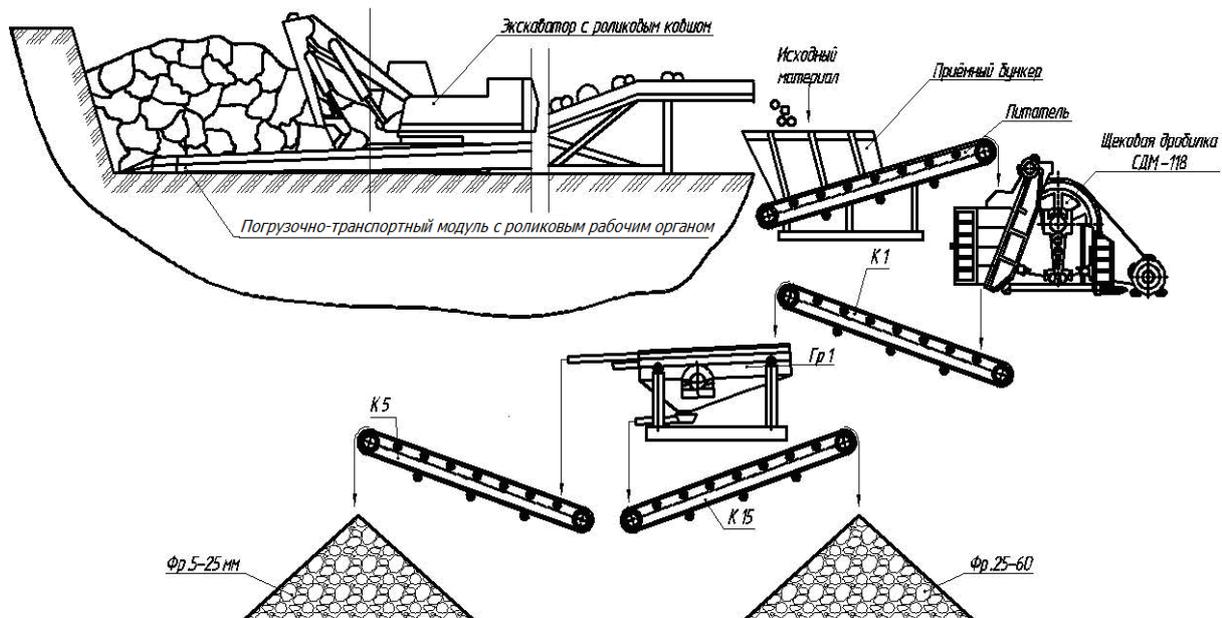
**Рисунок 8 – Физическая модель рабочего оборудования одноковшового экскаватора:**  
1 - штабель погружаемого материала, 2 - гидравлический манипулятор, 3 - линии гидроразводки,  
4 - силовая электрогидравлическая установка (маслостанция).

Одним из конструктивных решений, позволяющим решить проблемы механизации погрузки и транспортировки скальных грунтов в карьере является применение погрузочно–транспортногo комплекса на базе экскаватора с рассмотренной выше усовершенствованной конструкцией ковша в сочетании со взрывонавалкой на погрузочно – транспортный модуль с роликовой рабочей поверхностью.



**Рисунок 9 – Экспериментальный образец погрузочно – транспортного модуля с цикловым исполнительным механизмом в режиме работы под завалом:**  
 1 - погружаемый материал, 2 - погрузочно – транспортный модуль,  
 3 - линии гидроразводки, 4 – приемный бункер.

Рассмотренные выше усовершенствованные конструкции ковша и погрузочно-транспортного модуля могут быть реализованы в составе погрузочно – транспортного комплекса (рис. 10).



**Рисунок 10 – Схема погрузочно – транспортного комплекса**

Перед взрывными работами погрузочно – транспортный комплекс установлен так, что расстояние от погрузочного модуля до груды забоя составляет 0,5-0,8 м. От проведения взрывных работ разрыхленный скальный грунт в центральной части забоя попадает на приемную часть неподвижного желоба погрузочного модуля с последующим перемещением в приемный бункер. Боковые объемы разрыхленного грунта грузятся с помощью экскаватора

на приемную часть погрузочного модуля, чем обеспечивается совместная реализация процесса погрузки.

Предлагаемый погрузочно – транспортный комплекс на основе рабочих органов с роликовой поверхностью отличается от существующих аналогов тем, что такое его исполнение предусматривает совместное использование экскаватора и погрузочно-транспортного модуля, обеспечивает непрерывность процесса погрузки материала, что в целом способствует повышению его производительности и эффективности рабочего процесса.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хазанович, Г. Ш. Методика эксперимента в исследованиях процессов погрузки и транспортировки кусковых пород [Текст] / Г. Ш. Хазанович, Ю. М. Ляшенко, Е. В. Никитин // Шахтинский ин-т ЮРГТУ (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ). - 2003. – 150 с.
2. Ерейский, В. Д. К определению сопротивления внедрению ковша в сыпучий материал [Текст] / В. Д. Ерейский, В. Г. Полежаев, О. П. Иванов // Грузоподъемные и транспортные установки. - НПИ.: Новочеркасск. - 1975. - Т.313. - С. 93-95.
3. Подэрни, Р. Ю. Механическое оборудование карьеров [Текст]: учеб. для вузов [Текст] / Р. Ю. Подэрни. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2003. – 606 с.: ил.
4. Лускань, О. А. Влияние режимных параметров качания рамы импульсного роликового конвейера на процесс транспортирования штучных грузов [Текст] / О. А. Лускань // Мир транспорта и технологических машин. – 2011. - № 1(32). – С. 56-62.
5. Пат. На полезную модель 2010128718/03 Российская Федерация, RU 101 056 U1, МПК E02F 3/40 (2006.01). Рабочий орган одноковшового экскаватора [Текст] / Ляшенко Ю. М., Ревякина Е. А., Ляшенко А.Ю.; заявл. 09.07.10; опубл. 10.01.11, Бюл. №1.
6. Пат. на изобретение 2457169 Российская Федерация, МПК B65G 65/02 (2006.01); B65G 13/06 (2006.01); B65G 13/12 (2006.01). Рабочий орган погрузочной машины [Текст] / Ляшенко Ю. М., Ревякина Е. А., Ляшенко А. Ю. // № 2011110429/11; заявл. 18.03.11; опубл. 27.07.12, Бюл.№ 21.
7. Ляшенко, Ю. М. Результаты разработки и исследования ковшового рабочего органа для погрузки скальных грунтов [Текст] / Ю. М. Ляшенко, В. А. Евстратов, А. Ю. Ляшенко // Вестник СГТУ. - 2013. – № 2(71). - Выпуск 2. - С. 216–220.
8. Ляшенко, Ю. М. Пути развития погрузочно-транспортных комплексов карьеров нерудных материалов [Текст] / Ю. М. Ляшенко, В. А. Евстратов, Е. А. Ревякина, А. Ю. Ляшенко // Перспективы развития Восточного Донбасса: материалы IV-й Междунар. и 62-й Всерос. науч.-практ. конф. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ). - 2013. – С. 88–91.

### **Ляшенко Юрий Михайлович**

Шахтинский институт (филиал) ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова

Адрес: 346500, Россия, Ростовская обл., Шахты, пл. Ленина, 1

Д-р техн. наук, профессор кафедры «Технология и комплексы горных, строительных и металлургических производств»

### **Ревякина Елена Александровна**

ФГБОУ ВПРО «Донской государственный технический университет»

Адрес: 344000, Россия, г.Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

Канд. техн. наук, доцент кафедры «Информатика»

E-mail: Revyelena@yandex.ru

### **Ляшенко Алена Юрьевна**

ООО «Ремстрой»

Адрес: 346500, Россия, Ростовская область, г. Шахты, проспект Победа Революции, д. 85

Канд. техн. наук, инженер ПТО

Y. M. LYASHENKO, E. A. REVYAKINA, A. YU. LYASHENKO

## MACHINE WORKING BODIES WITH ROLLER SURFACE LOADING - TRANSPORT COMPLEX PIT AGGREGATES

*The possibility of increasing the efficiency of loading non-metallic bulk materials in quarries equipment roller elements of the working bodies of loading - transport complexes.*

**Keywords:** loading and transportation of non-metallic materials, loading bodies with rolling work surface, loading - transport complexes

### BIBLIOGRAPHY

1. Hazanovich, G. SH. Metodika eksperimenta v issledovaniyakh protsessov pogruzki i transportirovki kuskovykh porod [Tekst] / G. SH. Hazanovich, YU. M. Lyashenko, E. V. Nikitin // Shakhtinskiy in-t YURGTU (NPI). - Novochoerkassk: YURGTU (NPI). - 2003. - 150 s.
2. Ereyskiy, V. D. K opredeleniyu soprotivleniya vnedreniyu kovsha v sypuchiy material [Tekst] / V. D. Ereyskiy, V. G. Polezhaev, O. P. Ivanov // Gruzopod"emnye i transportnye ustanovki. - NPI.: Novochoerkassk. - 1975. T.313. S. 93-95.
3. Poderni, R. YU. Mekhanicheskoe oborudovanie kar`erov [Tekst]: ucheb. dlya vuzov [Tekst] / R. YU. Poderni. - 5-e izd., pererab. i dop. - M.: Izdatel'stvo Moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta, 2003. - 606 s.: il.
4. Luskan`, O. A. Vliyanie rezhimnykh parametrov kachaniya ramy impul'snogo rolikovogo konveyera na protsess transportirovaniya shtuchnykh gruzov [Tekst] / O. A. Luskan` // Mir transporta i tekhnologicheskikh ma-shin. - 2011. - № 1(32). - S. 56-62.
5. Pat. Na poleznuyu model` 2010128718/03 Rossiyskaya Federatsiya, RU 101 056 U1, MPK E02F 3/40 (2006.01). Rabochiy organ odnokovshovogo ekskavatora [Tekst] / Lyashenko YU. M., Revyakina E. A., Lyashenko A.YU.; zayavl. 09.07.10; opubl. 10.01.11, Byul. №1.
6. Pat. na izobrenenie 2457169 Rossiyskaya Federatsiya, MPK B65G 65/02 (2006.01); B65G 13/06 (2006.01); B65G 13/12 (2006.01). Rabochiy organ pogruzochnoy mashiny [Tekst] / Lyashenko YU. M., Revyakina E. A., Lyashenko A. YU. // № 2011110429/11; zayavl. 18.03.11; opubl. 27.07.12, Byul.№ 21.
7. Lyashenko, YU. M. Rezul'taty razrabotki i issledovaniya kovshovogo rabocheho organa dlya pogruzki skal'nykh gruntov [Tekst] / YU. M. Lyashenko, V. A. Evstratov, A. YU. Lyashenko // Vestnik SGTU. - 2013. - № 2(71). - Vypusk 2. - S. 216-220.
8. Lyashenko, YU. M. Puti razvitiya pogruzochno-transportnykh kompleksov kar`erov nerudnykh materia-lov [Tekst] / YU. M. Lyashenko, V. A. Evstratov, E. A. Revyakina, A. YU. Lyashenko // Perspektivy razvitiya Vostochnogo Donbassa: materialy IV-y Mezhdunar. i 62-y Vseros. nauch.-prakt. konf. - Novochoerkassk: YURGTU (NPI). - 2013. - S. 88-91.

#### **Ljashenko Yury Mihaylovich**

Shahtinskii Institut (branch) YURGPU (NPI) to them. MI Platov

Address: 346500, Russia, Rostov region., Mines, pl. 1 Lenin

Dr. tehn., Professor of the Department "Technology and complexes mining, construction and Metallurgical-industries"

#### **Revyakina Elena Aleksandrovna**

FGBOU WPRO "Don State Technical University"

Address: 344000, Russia, Rostov-on-Don, pl. Gagarin, 1

Candidate. tehn. Associate Professor, Department "Informatics"

E-mail: Revyelena@yandex.ru

#### **Ljashenko Alain Yur'evna**

Ltd. "Remstroy"

Address: 346500, Russia, Rostov region, Mines Avenue, Victory of the Revolution, d. 85

Candidate. tehn. Science, Engineer PHE

УДК 621.86

Ю. Н. КАМАНИН

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ РАБОТЫ В УСЛОВИЯХ ПОНИЖЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР

*Статья посвящена результатам теоретических исследований работы отбойного гидравлического молота при различных температурных условиях и практическим рекомендациям по их проектированию и эксплуатации с учётом температурного фактора.*

**Ключевые слова:** гидромолот, гидроударник, проектирование, эксплуатация.

В результате работы над грантом Президента РФ МК-6405.2013.5 проведены теоретические исследования работы гидравлического отбойного молота и получены его выходные характеристики в виде зависимостей частоты ударов, энергии ударов, ударной мощности и КПД от температуры [4 - 6, 12 - 15]. Изменение температуры в первую очередь влияет на вязкостные характеристики рабочей жидкости, но так как при эксплуатации контроль значений вязкости затруднителен, то практический интерес представляет зависимость выходных характеристик гидромолота именно от температуры. Учитывая, также, что в структуре гидромолота есть гидропневмоаккумулятор, то изменение температуры будет оказывать влияние и на состояние газа в газовой полости.

По результатам проведенного математического моделирования работы отбойного гидравлического молота были получены зависимости основных выходных параметров (частота ударов, энергия удара, ударная мощность и КПД) от температуры. Изменение выходных параметров гидромолота от температуры носит нелинейный характер, что хорошо видно по графикам, полученным для масла ВМГЗ и представленных на рисунке 1.

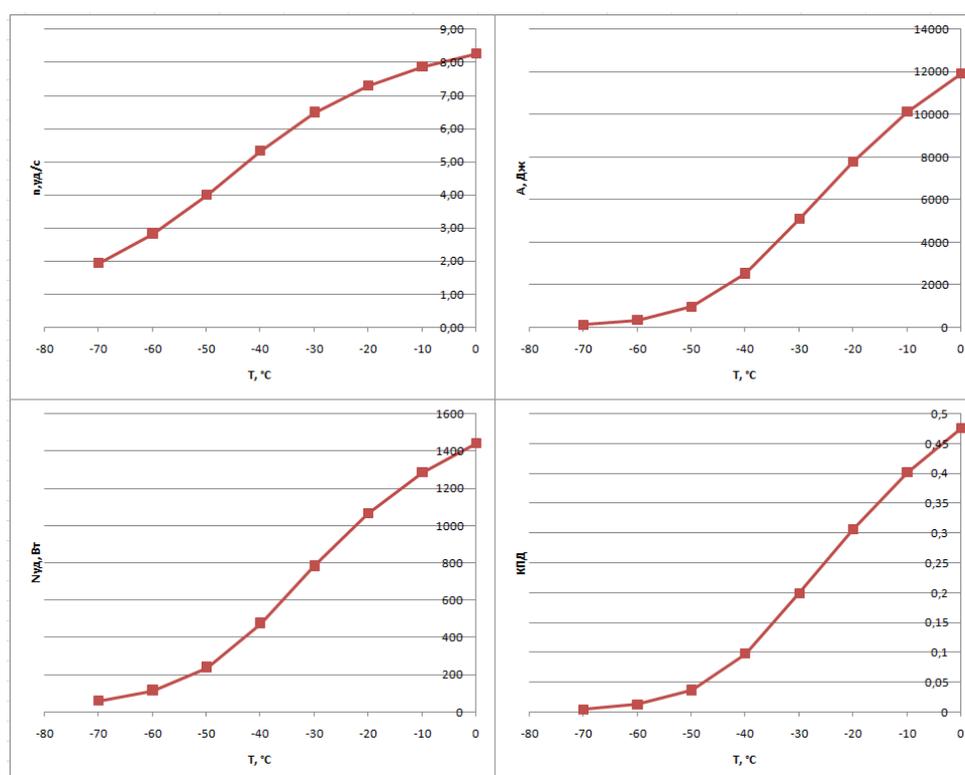


Рисунок 1 – Зависимости выходных параметров гидромолота от температуры: частота (n), энергия удара (A), ударная мощность (N<sub>у</sub>), коэффициент полезного действия (КПД)

На рассматриваемом диапазоне температур эксплуатации гидромолота хорошо просматриваются области высокой и низкой интенсивности изменения параметров. Так в диапазоне от  $-70^{\circ}\text{C}$  до  $-50^{\circ}\text{C}$  происходит незначительное увеличение всех выходных параметров. При температурах  $-40^{\circ}\text{C}$  и выше наблюдается наиболее интенсивное увеличение энергии удара, ударной мощности и кпд. При температурах свыше  $-10^{\circ}\text{C}$  интенсивность роста значений рассматриваемых параметров снижается, а при расширении рассматриваемого температурного диапазона в области положительных температур характеристики достигают максимальных значений [14]. Для других масел с отличными вязкостными характеристиками качественный характер изменения выходных параметров сохраняется со смещением в область более высоких (для масел с более высокой вязкостью) или более низких (для масел с меньшей вязкостью) температур.

На основе результатов проведенных исследований сформулированы следующие рекомендации по проектированию и эксплуатации гидромолотов в условиях пониженных температур [12, 14], которые позволяют повысить эффективность работы отбойного гидравлического молота с управляемой камерой рабочего хода и, соответственно разрушение скальных и мерзлых грунтов [7]:

- В зависимости от минимальной температуры эксплуатации, интенсивности работы и времени прогрева следует выбирать масло с соответствующей вязкостной характеристикой. Для запуска и работы при наиболее низких температурах желательно выбирать масло с пониженной вязкостью, такое как АМГ. Данное масло позволит производить запуск базовой машины гидромолота с минимальным временем подогрева, а также работать в менее интенсивном режиме, когда включение гидромолота осуществляется не часто, что приводит к его быстрому охлаждению.

- Для работы при больших, но отрицательных температурах подойдет масло с вязкостными характеристиками как у ВМГЗ.

- Для продолжительной работы при небольших отрицательных температурах с подогревом масла перед запуском для получения высоких выходных характеристик подойдут более вязкие масла, такие как И20 и АУ.

- Для снижения сил трения и повышения выходных параметров гидромолота, предназначенного для работы в условиях пониженных температур, необходимо выполнять сопряжение боек-корпус с увеличенным зазором (не менее 0,025 - 0,040 мм).

Так как гидропневмоаккумулятор, установленный в напорной линии оказывает существенное влияние на выходные параметры, то характеристики гидромолота при различных температурах будут изменяться в результате изменения характеристик газа в газовой полости. При изменении температуры будет изменяться давление газа, и, соответственно, давление предварительной зарядки. Чтобы скомпенсировать влияние изменения давления предварительной зарядки на выходные характеристики необходимо при проектировании гидромолота увеличить объём газовой полости гидропневмоаккумулятора или скорректировать само давление предварительной зарядки [15].

В зависимости от рабочей температуры и выбранного масла запуск гидромолота может быть осуществлён сразу с запуском базовой машины или после её прогрева. Но при этом следует учесть, что выходные характеристики гидромолота сразу при запуске базовой машины будут в несколько раз ниже, чем при прогретой. Так энергия удара может быть ниже более чем в 5 раз, а ударная мощность в 11 раз.

Прогрев гидромолота целесообразно осуществлять после прогрева машины [1, 2, 5, 9, 16, 17]. Несмотря на высокую температуру масла в гидросистеме базовой машины после прогрева следует учесть, что сам гидромолот и, соответственно, масло в нём остаются холодным, поэтому выход на максимальные характеристики произойдёт не сразу. Общее время прогрева гидромолота зависит в основном от времени прогрева базовой машины, причём

время прогрева различных видов базовых машин различается [1]. Необходимо учитывать, что стабилизация температуры рабочей жидкости (тепловой баланс) происходит при более низких температурах, чем при работе в нормальных условиях, и снижается с уменьшением температуры окружающей среды.

Для эффективного разрушения пород, полезных ископаемых и других материалов в условиях пониженных температур целесообразно производить запуск гидромолота при снижении энергии ударов не менее чем на 30% от номинального значения [3, 8, 10, 11, 17].

Общий алгоритм выбора параметров гидромолота для эксплуатации в различных температурных условиях представлен на рисунке 2.

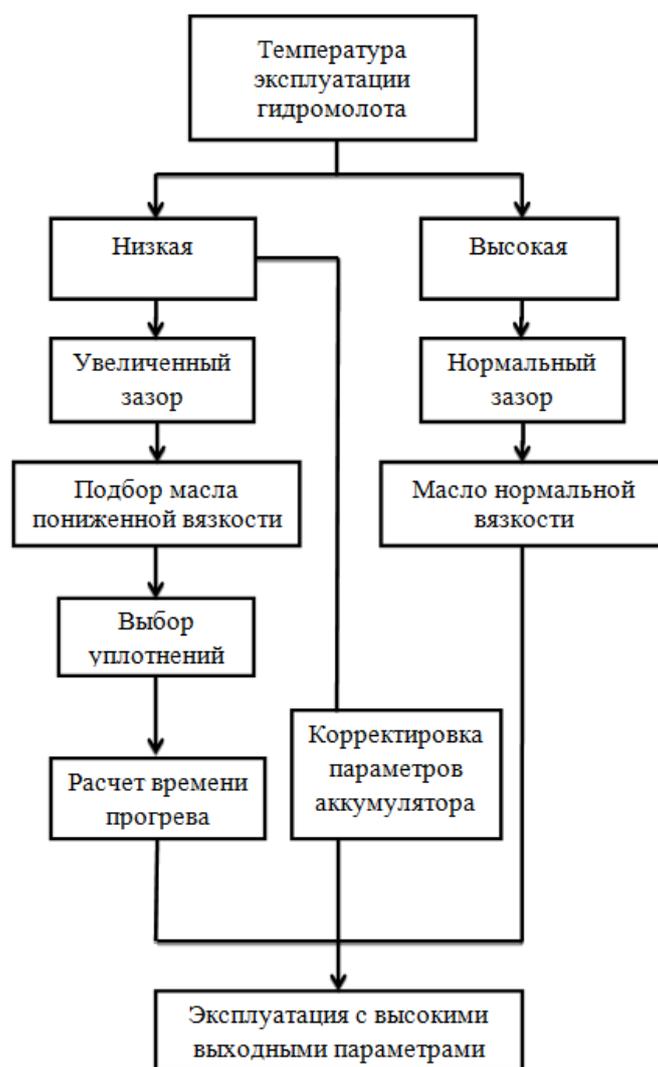


Рисунок 2 – Выбор параметров гидромолота

Также следует учитывать следующие особенности эксплуатации гидромолотов при низких температурах. Низкие температуры отрицательно влияют на резиновые и другие эластичные детали гидромолота, такие как уплотнения [20]. Для нормальной работы гидромолота следует использовать уплотнения, выдерживающие значительные скорости движения подвижных деталей (до 10 м/с) и низкие температуры. Те же требования относятся к диафрагме гидропневмоаккумулятора. Так как диафрагма должна выдерживать значительные нагрузки, то требования к ней при низких температурах существенно повышаются. При использовании поршневого гидропневмоаккумулятора надёжность гидромолота повышается [10, 18, 19].

С уменьшением температуры уменьшается ударная вязкость материалов, из которых изготовлен гидромолот. Чтобы избежать быстрого износа и разрушения деталей необходимо прогреть рабочую жидкость перед запуском гидромолота. С уменьшением температуры уменьшаются и линейные размеры деталей. В гидромолоте болты крепления и стяжки остаются холодными, так как расположены на внешней части корпуса, тогда как корпус и ряд других деталей прогреваются, что приводит к значительным температурным деформациям и повышению напряжений. Необходимо компенсировать деформации уменьшением момента затяжки резьбовых соединений.

Представленные результаты дополняют область исследований отбойных гидравлических молотов, эксплуатируемых в условиях низких температур.

Статья выполнена в рамках работы над грантом президента Российской Федерации МК-6405.2013.5.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильченко, В. А. Особенности эксплуатации горных машин с гидроприводом при низких температурах [Текст] / В. А. Васильченко // Горная промышленность. - №2. - 2006. - С. 111-117.
2. Волков, Д. П. Машины для земляных работ [Текст] / Д. П. Волков. - М.: Машиностроение, 1992.
3. Дементьев, А. Д. Разрушение упруго-хрупких тел сосредоточенными нагрузками [Текст] / А. Д. Дементьев. - Новосибирск, 2000.
4. Каманин, Ю. Н. Методика выбора рациональных параметров гидравлического ударного устройства [Текст] / Ю. Н. Каманин // Ударно-вибрационные системы, машины и технологии. Материалы 5-го международного научного симпозиума. - 2013. - С. 199-202.
5. Каманин, Ю. Н. Основные проблемы применения гидравлических устройств ударного действия в условиях функционирования при пониженных температурах грунтов [Текст] / Ю. Н. Каманин // Мир транспорта и технологических машин. - 2013. - С. 110-112.
6. Каманин, Ю.Н. Характеристика базовых минерально-сырьевых ресурсов и месторождений нерудных строительных материалов России и Орловской области [Текст] / Ю. Н. Каманин, О. С. Никитенко // Ударно-вибрационные системы, машины и технологии. Материалы 5-го международного научного симпозиума. - 2013. - С. 175-181.
7. Каманин, Ю. Н. Энергетическая оценка волн напряжений, генерируемых в массиве [Текст] / Ю. Н. Каманин, Р. А. Ределин, Л. С. Ушаков // Мир транспорта и технологических машин. - 2011. - Т. №3. - С. 48-53.
8. Каманин, Ю. Н. Исследование формы продуктов скола скальных пород [Текст] / Ю. Н. Каманин, Л. С. Ушаков, Р. А. Ределин // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов X международной научно-технической конференции. Чтения имени В.Р. Кубачека. - 2012. - С. 57-60.
9. Кантович, Л. И. Горные машины [Текст] / Л. И. Кантович. - М: Недра, 1989.
10. Нордин, В. В. Исследование разрушения песчанно-глинистых руд с твердыми породными включениями импульсными нагрузками [Текст] / В. В. Нордин. - М.: Атомиздат, 1986.
11. Пестриков, В. М. Механика разрушения твердых тел [Текст]: курс лекций / В. М. Пестриков. - СПб: Профессия, 2002.
12. Ределин, Р. А. Влияние температуры рабочей жидкости на выходные характеристики гидромолота [Текст] / Р. А. Ределин, Ю. Н. Каманин // Ударно-вибрационные системы, машины и технологии. Материалы 5-го международного научного симпозиума. - 2013. - С. 202-205.
13. Ределин, Р. А. Методика инженерного расчета гидроударника с учетом температуры [Текст] / Р. А. Ределин, Ю. Н. Каманин // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов XII международной научно-технической конференции "Чтения памяти В.Р. Кубачека". - 2014. - С. 243-248.
14. Ределин, Р. А. Влияние вязкости рабочей жидкости и зазоров в подвижных парах на выходные характеристики гидромолота с управляемой камерой рабочего хода [Текст] / Ределин Р.А., Кравченко В.А., Каманин Ю.Н. // Ударно-вибрационные системы, машины и технологии. Материалы 5-го международного научного симпозиума. - 2013. - С. 22-24.
15. Ределин, Р. А. Гидропневмоаккумулятор в напорной магистрали гидромолота с управляемой камерой рабочего хода [Текст] / Р. А. Ределин, В. А. Кравченко, Ю. Н. Каманин // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов XI международной научно-технической конференции "Чтения памяти В.Р. Кубачека. - 2013. - С. 126-129.
16. Соколинский, В. Б. Машины ударного разрушения [Текст] / В. Б. Соколинский. - И: Машиностроение, 1982.

17. Ушаков, Л. С. Гидравлические машины ударного действия [Текст] / Л. С. Ушаков. - М: Машиностроение, 2000., 416 с.
18. Ушаков, Л. С. Гидравлические ударные механизмы: опыт расчета и проектирования [Текст] / Л. С. Ушаков. - Москва: Palmariumacademicpublishing, 2013.
19. Юрьев, Д. А. Исследование рынка гидравлических ударных устройств по основным рабочим параметрам [Текст] / Д. А. Юрьев, Ван ЦунЦзянь, Ю. Н. Каманин, Р. А. Ределин // Ударно-вибрационные системы, машины и технологии. Материалы 5-го международного научного симпозиума. - 2013. - С. 245-251.
20. Юрьев, Д. А. Обоснование применения мощных гидравлических устройств на фронтальных погрузчиках [Текст] / Д. А. Юрьев, Л. С. Ушаков, Ю. Н. Каманин// Ударно-вибрационные системы, машины и технологии. Материалы 5-го международного научного симпозиума. - 2013. - С. 271-279.

**Каманин Юрий Николаевич**

ФГБОУ ВПО «Государственный университет-УНПК»

Канд. техн. наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины»

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

E-mail: kamanchi22@mail.ru

---

Y. N. KAMANIN

## **PRACTICAL DESIGN GUIDELINES HYDRAULIC DEVICES PERCUSSION FOR OPERATION IN LOW TEMPERATURES**

*The article is devoted to the results of theoretical research work breaker hydraulic hammer under different temperature conditions and practical recommendations for their design and operation taking into account the temperature factor.*

*Keywords: hydraulic hammer, hydrohammer, design, operation*

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Vasil`chenko, V. A. Osobennosti ekspluatatsii gornyykh mashin s gidroprivodom pri nizkikh temperaturakh [Tekst] / V. A. Vasil`chenko // Gornaya promyshlennost`. - №2. - 2006. - С. 111-117.
2. Volkov, D. P. Mashiny dlya zemlyanykh rabot [Tekst] / D. P. Volkov. - М.: Mashino-stroenie, 1992.
3. Dement`ev, A. D. Razrushenie uprugokhrupkikh tel sosredotochennymi nagruzkami [Tekst] / A. D. Dement`ev. - Novosibirsk, 2000.
4. Kamanin, YU. N. Metodika vybora ratsional`nykh parametrov gidravlicheskogo udarnogo ustroystva [Tekst] / YU. N. Kamanin // Udarно-vibratsionnye sistemy, mashiny i tekhnologii. Materialy 5-go mezhdunarodnogo nauchnogo simpoziuma. - 2013. - С. 199-202.
5. Kamanin, YU. N. Osnovnye problemy primeneniya gidravlicheskikh ustroystv udarnogo deystviya v usloviyakh funktsionirovaniya pri ponizhennykh temperaturakh gruntov [Tekst] / YU. N. Kamanin // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2013. - С. 110-112.
6. Kamanin, YU.N. Harakteristika bazovykh mineral`no-syr`evykh resursov i mestorozhdeniy nerudnykh stroitel`nykh materialov Rossii i Orlovskoy oblasti [Tekst] / YU. N. Kamanin, O. S. Nikitenko // Udarно-vibratsionnye sistemy, mashiny i tekhnologii. Materialy 5-go mezhdunarodnogo nauchnogo simpoziuma. - 2013. - С. 175-181.
7. Kamanin, YU. N. Energeticheskaya otsenka voln napryazheniy, generiruemykh v massive [Tekst] / YU. N. Kamanin, R. A. Redelin, L. S. Ushakov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2011. - Т. №3. - С. 48-53.
8. Kamanin, YU. N. Issledovanie formy produktov skola skal`nykh porod [Tekst] / YU. N. Kamanin, L. S. Ushakov, R. A. Redelin // Tekhnologicheskoe oborudovanie dlya gornoy i neftegazovoy promyshlennosti: sbornik trudov H mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Shteniya imeni V.R. Kubacheka. - 2012. - С. 57-60.
9. Kantovich, L. I. Gornye mashiny [Tekst] / L. I. Kantovich. - М: Nedra, 1989.
10. Nordin, V. V. Issledovanie razrusheniya peschanno-glinistykh rud s tverdymi po-rodnyimi vklucheniymi impul`snymi nagruzkami [Tekst] / V. V. Nordin. - М.: Atomizdat, 1986.
11. Pestrikov, V. M. Mekhanika razrusheniya tverdyykh tel [Tekst]: kurs lektsiy / V. M. Pestrikov. - SPb: Professiya, 2002.
12. Redelin, R. A. Vliyanie temperatury rabochey zhidkosti na vykhodnye kharakteristiki gidromolota [Tekst] / R. A. Redelin, YU. N. Kamanin // Udarно-vibratsionnye sistemy, mashiny i tekhnologii. Materialy 5-go mezhdunarodnogo nauchnogo simpoziuma. - 2013. - С. 202-205.

13.Redelin, R. A. Metodika inzhenernogo rascheta gidroudarnika s uchetom temperatu-ry [Tekst] / R. A. Redelin, YU. N. Kamanin // Tekhnologicheskoe oborudovanie dlya gornoy i neftegazovoy promyshlennosti: sbornik trudov III mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Shteniya pamyati V.R. Kubacheka". - 2014. - С. 243-248.

14.Redelin, R. A. Vliyanie vyazkosti rabochey zhidkosti i zazorov v podvizhnykh parakh na vykhodnye kharakteristiki gidromolota s upravlyaemoy kameroy rabocheho khoda [Tekst] / Redelin R.A., Kravchenko V.A., Kamanin YU.N. // Udarno-vibratsionnye sistemy, mashiny i tekhnologii. Materialy 5-go mezhdunarodnogo nauchnogo simpoziuma. - 2013. - С. 22-24.

15.Redelin, R. A. Gidropnevmoakkumulyator v napornoy magistrali gidromolota s upravlyaemoy kameroy rabocheho khoda [Tekst] / R. A. Redelin, V. A. Kravchenko, YU. N. Kamanin // Tekhnologicheskoe oborudovanie dlya gornoy i neftegazovoy promyshlennosti: sbornik trudov HI mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Shteniya pamyati V.R. Ku-bacheka. - 2013. - С. 126-129.

16.Sokolinskiy, V. B. Mashiny udarnogo razrusheniya [Tekst] / V. B. Sokolinskiy. - I: Mashinostroenie, 1982.

17.Ushakov, L. S. Gidravlicheskie mashiny udarnogo deystviya [Tekst] / L. S. Ushakov. - M: Mashinostroenie, 2000., 416 s.

18.Ushakov, L. S. Gidravlicheskie udarnye mekhanizmy: opyt rascheta i proektirova-niya [Tekst] / L. S. Ushakov. - Moskva: Palmariumacademicpublishing, 2013.

19.YUr`ev, D. A. Issledovanie rynka gidravlicheskih udarnykh ustroystv po osnov-nym rabochim parametram [Tekst] / D. A. YUr`ev, Van TsunTSzyan`, YU. N. Kamanin, R. A. Rede-lin // Udarno-vibratsionnye sistemy, mashiny i tekhnologii. Materialy 5-go mezhdunarod-nogo nauchnogo simpoziuma. - 2013. - С. 245-251.

20.YUr`ev, D. A. Obosnovanie primeneniya moshchnykh gidravlicheskih ustroystv na frontal`nykh pogruzchikakh [Tekst] / D. A. YUr`ev, L. S. Ushakov, YU. N. Kamanin// Udarno-vibratsionnye sistemy, mashiny i tekhnologii. Materialy 5-go mezhdunarodnogo nauchnogo simpoziuma. - 2013. - С. 271-279.

**Kamanin Yuriy Nikolaevich**

FGBOU VPO «State Uneversity-UNPK»

Candidate of technical Sciences, Docent of the Department of "Hoisting, construction and road machines"

Adress:302030, Russia, Orel, Moskows Street, 77

E-mail: kamanchi22@mail.ru

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

*Подписной индекс журнала:*

*16376 («Пресса России»)*

*Подписка через редакцию:*

*(с любого месяца)*

*Информация о подписке на нашем сайте*

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

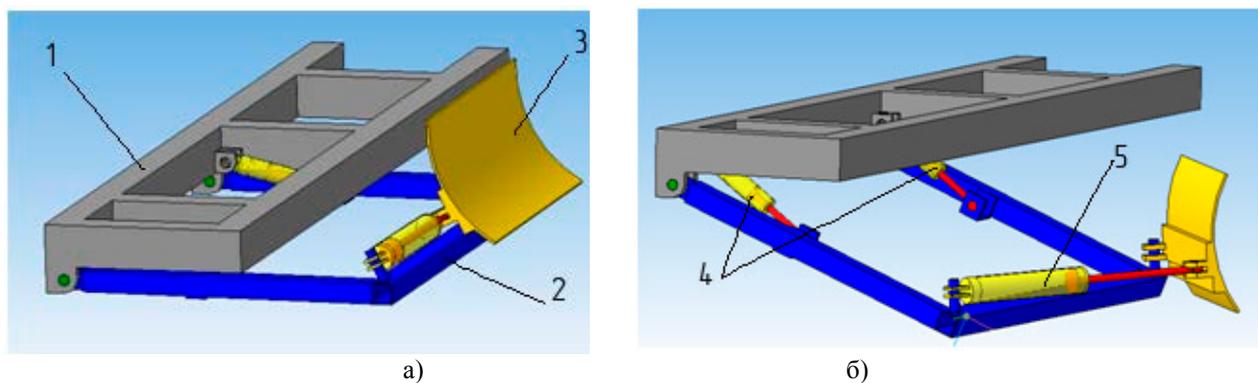
*Тел. +7 (4862) 43-48-90*

## РАЗРАБОТКА И ПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИИ НАВЕСНОЙ РАМЫ КОМБИНИРОВАННОЙ ДОРОЖНОЙ МАШИНЫ

В статье представлена конструкция навесной рамы машины для содержания дорог в зимний период. Приводится прочностной расчет навесной рамы КДМ с учетом установленного дополнительного оборудования: боковой отвала и щетка. В результате расчетов подобрано сечение и материал навесной рамы КДМ.

**Ключевые слова:** комбинированная дорожная машина (КДМ), расчет на прочность рамы, кинематический анализ навесной рамы, тяговый расчет КДМ, моделирование.

Увеличение производительности любой машины является одной из важнейших составляющих двигателя научного прогресса. В данной статье представлена разработанная конструкция навесной рамы машины для содержания дорог в зимний период. Увеличенная ширина обрабатываемой полосы достигается за счет возможной установки боковой щетки и отвала. **Боковой отвал** обеспечивает максимальную производительность машины по ширине захвата в скоростном режиме (до 4м), уборку снега без выезда на обочину и риска сноса в кювет.



**Рисунок 1 - Общий вид конструкции в двух положениях**  
а- транспортное, б- рабочее

1- рама КДМ, 2- навесная рама КДМ, 3- боковой отвал, 4- гидроцилиндры подъема навесной рамы, 5- гидроцилиндр поворота отвала (щетка условно не показана)

Расчет рабочего оборудования на прочность можно выполнить несколькими методами. Суть первого состоит в разбиении металлоконструкции на стержни, нахождении усилий в них, подборе материала и поперечного сечения конструкции. Расчет по второму методу заключается в моделировании металлоконструкции при помощи комплексов САПР для автоматизации работ на этапах конструкторской и технологической разработки проекта.

### ПЕРВЫЙ МЕТОД

Кинематический анализ расчетной схемы навесной рамы сводится к разбиению её на три стержня: два поперечных и один продольный. Каждый стержень имеет в пространстве шесть степеней свободы, то есть всего двенадцать степеней свободы.

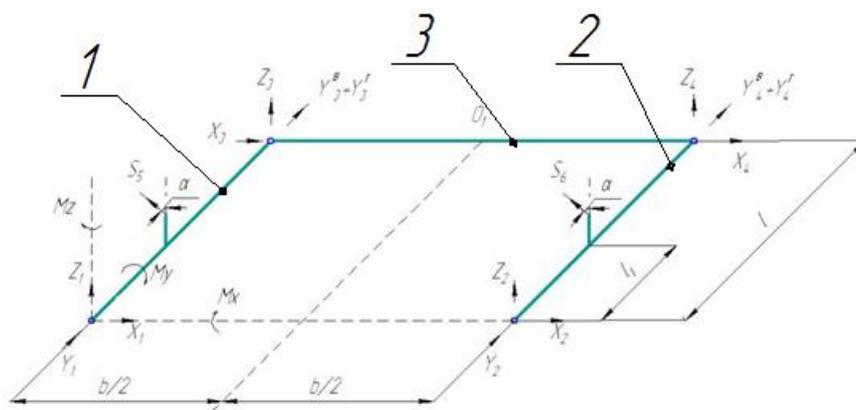


Рисунок 2 - Расчетная схема рамы  
1,2- поперечные стержни, 3- продольный стержень

Далее составляем двенадцать уравнений, из которых можно определить все неизвестные усилия.

**Разбиваем конструкцию на стержни**  
для первого поперечного стержня:

$$\Sigma z = 0: z_1 + z_3 + S_5 \sin \alpha = 0,$$

$$\Sigma y = 0: y_1 + y_3^e + S_5 \cos \alpha = 0,$$

$$\Sigma M_3 = 0: z_1 l + S_5 \sin \alpha (l - l_1) = 0.$$

для второго поперечного стержня:

$$\Sigma z = 0: z_2 + z_4 + S_6 \sin \alpha = 0,$$

$$\Sigma y = 0: y_2 + y_4^e + S_6 \cos \alpha = 0,$$

$$\Sigma M_3 = 0: z_2 l + S_6 \sin \alpha (l - l_1) = 0.$$

По такому же принципу записываются еще 6 уравнений для продольного стержня и определения неизвестных усилий от распределенной нагрузки. Все неизвестные решаются путем составления матрицы. Далее можно перейти к определению усилий и напряжений в каждом элементе рабочего оборудования.

## ВТОРОЙ МЕТОД

Для выявления возможности установки дополнительного навесного оборудования проводится прочностной анализ навесной рамы при помощи комплекса САПР для автоматизации работ на этапах конструкторской и технологической разработки проекта.

Данная рама была смоделирована и посчитана с помощью программы Solidworks simulation.

Для определения основных нагрузок на компоненты рамы был произведен тяговый расчет, из которого были взяты расчетные сопротивления.

Таблица 1 - Тяговый расчет КДМ

Наименование параметра		Расстояние перемещения грунта		
		x=0	x=0,5l <sub>п</sub> =7,85	x= l <sub>п</sub> =15,7
Толщина стружки, м		0,24	0,16	0,08
Объем призмы, м <sup>3</sup>		4,8	9,8	12,4
Сопротивление, Н	Перемещению призмы воло- чения	7200	14700	18600
	Трению снега по отвалу	1710	3500	4450
	Перемещению кдм	173580	173580	173580
	Сумма сопротивлений	182490	191780	196630
Запас тяги, Н		74910	65620	60770

Расчитанные сопротивления (в Н/м<sup>2</sup>) были приложены к стержням 1 и 3 в виде распределенной нагрузки.

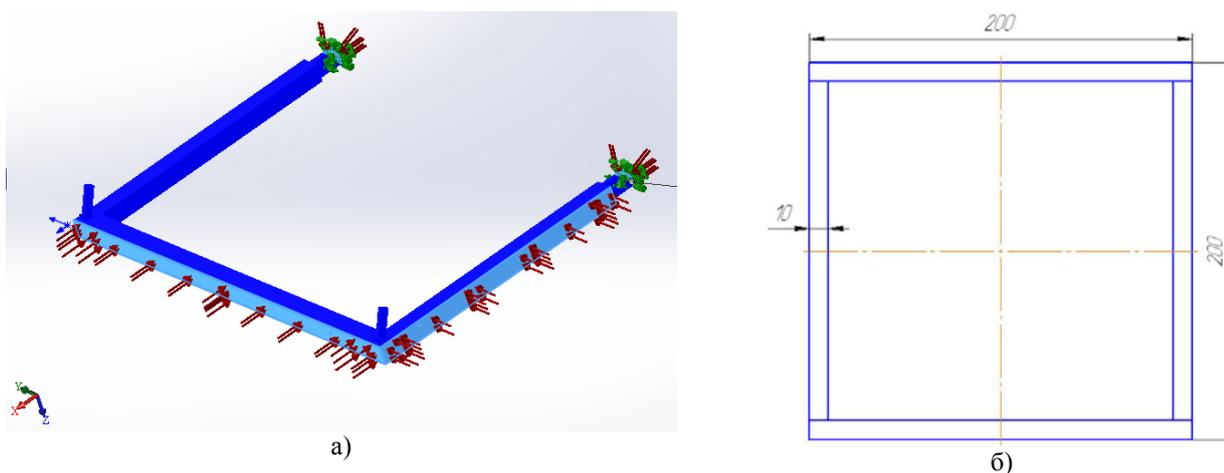
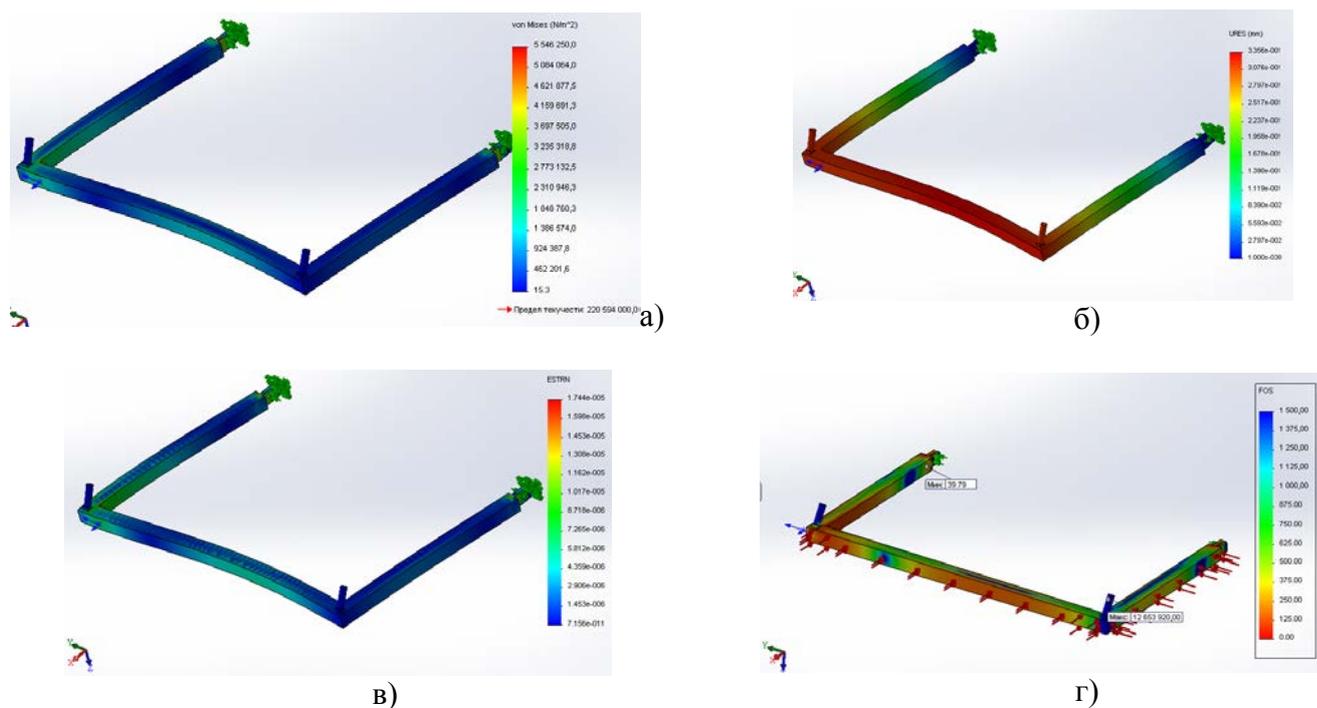


Рисунок 3 - Расчетная модель  
а - общий вид, б - поперечное сечение



**Рисунок 4 - Результаты нагружения**  
 а- напряжение, б- перемещение, в- деформации,  
 г- коэффициент запаса по прочности

В результате моделирования с использованием автоматизированного комплекса САПР была разработана конструкция навесной рамы машины для содержания дорог в зимний период с учетом установки бокового отвала и щетки. Рама изготавливается из углеродистой стали 40, максимальные напряжения составили  $5,5 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$ , максимальные перемещения - 3 мм, минимальный коэффициент запаса по прочности – 39,8.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карабан, Г. Л. Машины для городского хозяйства [Текст]: учеб. для вузов / Г. Л. Карабан, В. И. Баловнев, И. А. Засов, Б. А. Лифшиц. – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с., ил.
2. Гоберман, Л. А. Строительные и дорожные машины. Атлас конструкций [Текст]: учеб. пособие для машиностроительных техникумов / Л. А. Гоберман, К. В. Степанян М.: Машиностроение, 1985. - 96 с., ил.
3. Алексеева, Т. В. Дорожные машины [Текст]: учеб. для вузов в 3-х томах / Т. В. Алексеева, К. А. Артемьев, А. А. Бромберг. - М.: Машиностроение. - Изд. 3-е, 1972 – 504 с.
4. Анохин, А. И. Дорожные машины (основы теории и расчета) [Текст]: учеб. для вузов / А. И. Анохин, Е. Р. Петере, И. М. Эвентов, Н. Я. Хархута. - М.: Дор-издат, 1950.
5. Бромберг, А. А. Машины для земляных работ. Атлас конструкций [Текст] / А. А. Бромберг и др. - Изд. 3. - М., «Машиностроение», 1968.
6. Дергачев, А. Ф. Экономические основы проектирования дорожно-строительных машин [Текст]: учеб. для вузов / А. Ф. Дергачева. - М., «Высшая школа», 1967.
7. Плешков, Д. И. Колесные тягачи и шасси строительных дорожных машин) [Текст]: учеб. для вузов / Д. И. Плешков и др. - М., «Машиностроение», 1966.
8. Справочник конструктора дорожных машин. Под ред. И. П. Бородазва. [Текст]: учеб. для вузов / Бородазва И.П. М., «Машиностроение», 1965.
9. Хархута, Н. Я. Дорожные машины (теория, конструкция расчет) [Текст]: учеб. для вузов / Н. Я. Хархута Л. - «Машиностроение», 1968.
10. Чудако, Е. А. Основы теории трактора и автомобиля [Текст]: учеб. для вузов / Е. А. Чудаков. - М., Сельхозгиз, 1962.
11. Добронравов, С. С. Строительные машины и основы автоматизации [Текст]: учеб. для вузов / С. С. Добронравов, В. Г. Дронов. – М.: Высшая школа, 2001. – 575 с.: ил.

12. Волков, Д. П. Строительные машины [Текст]: учеб. для вузов / Д. П. Волков, Н. И. Алешин, В. Я. Крикун, О. Е. Рынсков; под ред. Д. П. Волкова. – М.: Высш. школа, 1988. – 319 с.: ил.
13. Добронравов, С. С. Строительные машины и оборудование [Текст]: справочник для вузов и инж.–техн. работников. – М.: Высш. шк., 1991. – 536 с.: ил.
14. Андреев, Л. Н., Бортяков Д.Е., Мещеряков С.В. Системы автоматизированного проектирования: [Текст]: учеб.пособ. для вузов/ Л. Н. Андреев, Д. Е. Бортяков, С. В. Мещеряков. - СПб: Изд-во СПбГТУ, 2002. - 76 с.
15. Брауде, В. И. Надежность подъемно-транспортных машин [Текст]: учеб. для вузов / В. И. Брауде, Л. Н. Семенов. - Л.: Машиностроение, 1986. - 183 с.
16. Соколов, С. А. Строительная механика и металлические конструкции машин [Текст]: учеб. пособ. для вузов / С. А. Соколов. – СПб. : Политехника, 2011. – 450 с. : ил.
17. Рыжков, Н. И. Производство сварных конструкций в тяжелом машиностроении. Организация и технология [Текст]: учеб. для вузов / Н. И. Рыжков. - 2-е изд., перераб. и доп.- М.: Машиностроение, 1980.- 375 с., ил.
18. Пешковский, О. И. Сборка металлических конструкций [Текст]: учеб. для вузов / О. И. Пешковский, В. Б. Якубовский. - 3-е изд., перераб.и доп.– М.: Высшая школа, 1989. - 239с.: ил.
19. Николаев, Г. А. Сварные конструкции. Технология изготовления. Автоматизация производства и проектирование сварных конструкций [Текст]: учеб.пособ. для вузов / Г. А. Николаев, С. А. Куркин, В. А. Винокуров. - М.: высшая школа, 1983.- 344 с., ил.
20. Горев, В. В. Металлические конструкции. Элементы конструкций [Текст]: учеб.пособ. для вузов / В. В. Горев., Б. Ю. Уваров, В. В. Филиппов и др.; под ред. В. В. Горева. – 2-е изд., перераб. и доп. - Т. 1. – М.: Высш. Шк., 2001.– 551 с.: ил.

**Климов Валерий Евгеньевич**

ФГБОУ ВПО «Государственный университет-УНПК»

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

Студент - магистрант

E-mail: Dtk3333@mail.ru

---

V. E. KLIMOV

## DEVELOPMENT AND DESIGN STRENGTH CALCULATIONS MOUNTED FRAME COMBINED ROAD VEHICLES

*The paper presents the design of the machine frame mounted for maintenance of roads in the winter. Provides strength calculation hinged frame KDM considering the installed options: side blade and brush. The calculations matched section and material hinged frame KDM.*

**Key words:** combined road machine (CDM), the calculation of the strength of the frame, hinged frame kinematic analysis, traction calculation KDM, modeling.

### BIBLIOGRAPHY

1. Karaban, G. L. Mashiny dlya gorodskogo khozyaystva [Tekst]: ucheb. dlya vuzov / G. L. Karaban, V. I. Ba-lovnev, I. A. Zasov, B. A. Lifshits. - M.: Mashinostroenie, 1988. - 272 s., il.
2. Gberman, L. A. Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. Atlas konstruktsey [Tekst]: ucheb. posobie dlya mashinostroitel'nykh tekhnikumov / L. A. Gberman, K. V. Stepanyan M.: Mashinostroenie, 1985. - 96 s., il.
3. Alekseeva, T. V. Dorozhnye mashiny [Tekst]: ucheb. dlya vuzov v 3-kh tomakh / T. V. Alekseeva, K. A. Ar-tem'ev, A. A. Bromberg. - M.: Mashinostroenie. - Izd. 3-e , 1972 - 504 s.
4. Anokhin, A. I. Dorozhnye mashiny (osnovy teorii i rascheta) [Tekst]: ucheb. dlya vuzov / A. I. Anokhin, E. R. Petere, I. M. Eventov, N. YA. Xarkhuta. - M.: Dor-izdat, 1950.
5. Bromberg, A. A. Mashiny dlya zemlyanykh rabot. Atlas konstruktsey [Tekst] / A. A. Bromberg i dr. - Izd. 3. - M., "Mashinostroenie", 1968.
6. Dergachev, A. F. Ekonomicheskie osnovy proektirovaniya dorozhno-stroitel'nykh mashin [Tekst]: ucheb. dlya vuzov / A. F. Dergacheva. - M., "Vysshaya shkola", 1967.
7. Pleshkov, D. I. Kolesnye tyagachi i shassi stroitel'nykh dorozhnykh mashin [Tekst]: ucheb. dlya vuzov / D. I. Pleshkov i dr. - M., "Mashinostroenie", 1966.
8. Spravochnik konstruktora dorozhnykh mashin. Pod red. I. P. Borodazva. [Tekst]: ucheb. dlya vuzov / Borodazva I.P. M., "Mashinostroenie", 1965.

9. Harkhuta, N. YA. Dorozhnye mashiny (teoriya, konstruktsiya raschet) [Tekst]: ucheb. dlya vuzov / N. YA. Har-khuta L. - "Mashinostroenie", 1968.
10. Chudako, E. A. Osnovy teorii traktora i avtomobilya [Tekst]: ucheb. dlya vuzov / E. A. Chudakov. - M., Sel'khozgiz, 1962.
11. Dobronravov, S. S. Stroitel'nye mashiny i osnovy avtomatizatsii [Tekst]: ucheb. dlya vuzov / S. S. Dobronravov, V. G. Dronov. - M.: Vysshaya shkola, 2001. - 575 s.: il.
12. Volkov, D. P. Stroitel'nye mashiny [Tekst]: ucheb. dlya vuzov / D. P. Volkov, N. I. Aleshin, V. YA, Krikun, O. E. Rynskov; pod. red. D. P. Volkova. - M.: Vyssh. shkola, 1988. - 319 s.: il.
13. Dobronravov, S. S. Stroitel'nye mashiny i oborudovanie [Tekst]: spravochnik dlya vuzov i inzh.-tekhn. rabotnikov. - M.: Vyssh. shk., 1991. - 536 s.: il.
14. Andreev, L. N., Bortyakov D.E., Meshcheryakov S.V. Sistemy avtomatizirovannogo proektirovaniya: [Tekst]: ucheb.posob. dlya vuzov/ L. N. Andreev, D. E. Bortyakov, S. V. Meshcheryakov. - SPb: Izd-vo SPbGTU, 2002. -76 s.
15. Braude, V. I. Nadezhnost' pod'emno-transportnykh mashin [Tekst]: ucheb. dlya vuzov / V. I. Braude, L. N. Semenov. - L.: Mashinostroenie, 1986. - 183 s.
16. Sokolov, S. A. Stroitel'naya mekhanika i metallicheskie konstruktsii mashin [Tekst]: ucheb. posob. dlya vuzov / S. A. Sokolov. - SPb. : Politehnika, 2011. - 450 s. : il.
17. Ryzhkov, N. I. Proizvodstvo svarnykh konstruktsiy v tyazhelom mashinostroenii. Organizatsiya i tekhnologiya [Tekst]: ucheb. dlya vuzov / N. I. Ryzhkov. - 2-e izd., pererab. i dop.- M.: Mashinostroenie, 1980.- 375 s., il.
18. Peshkovskiy, O. I. Sborka metallicheskiy konstruktsiy [Tekst]: ucheb. dlya vuzov / O. I. Peshkovskiy, V. B. Yakubovskiy. - 3-e izd., pererab. i dop.- M.: Vysshaya shkola, 1989. - 239s.: il.
19. Nikolaev, G. A. Svarnye konstruktsii. Tekhnologiya izgotovleniya. Avtomatizatsiya proizvodstva i proektirovanie svarnykh konstruktsiy [Tekst]: ucheb.posob. dlya vuzov / G. A. Nikolaev, S. A. Kurkin, V. A. Vi-nokurov. - M.: vysshaya shkola, 1983.- 344 s., il.
20. Gorev, V. V. Metallicheskie konstruktsii. Elementy konstruktsiy [Tekst]: ucheb.posob. dlya vuzov / V. V. Gorev., B. YU. Uvarov, V. V. Filippov i dr.; pod red. V. V. Goreva. - 2-e izd., pererab. i dop. - T. 1. - M.: Vyssh. SHk., 2001.- 551 s.: il.

**Klimov Valery Evgen'evich**

FGBOU VPO "State university-UNPK "

Address: 302020, Russia, g. Orel, Naugorskoye highway, 29

Student

E-mail: dtk3333@mail.ru

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

*Подписной индекс журнала:*

*16376 («Пресса России»)*

*Подписка через редакцию:*

*(с любого месяца)*

*Информация о подписке на нашем сайте*

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

*Тел. +7 (4862) 43-48-90*

Р. А. РЕДЕЛИН

## РЕЗУЛЬТАТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ ОТБойНОГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО МОЛОТА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

Статья посвящена результатам теоретических исследований работы отбойного гидравлического молота при различных температурных условиях. Получены теоретические зависимости работы гидромолота с учётом температурного фактора.

**Ключевые слова:** гидромолот, гидроударник, моделирование.

Исследованиям гидромолотов посвящены многие работы [1-7], однако, изменение их параметров при низких температурах изучено не в полной мере. С изменением температуры рабочей жидкости изменяются её свойства. Наиболее существенное влияние изменение температуры оказывает на вязкость рабочей жидкости, а, соответственно, и на выходные параметры гидромолота [8-15]. С повышением температуры рабочей жидкости её вязкость уменьшается, что приводит к увеличению утечек через зазоры сопрягаемых поверхностей, но в тоже время к уменьшению сил трения. С понижением вязкости утечки возрастают более интенсивно, чем уменьшаются силы трения.

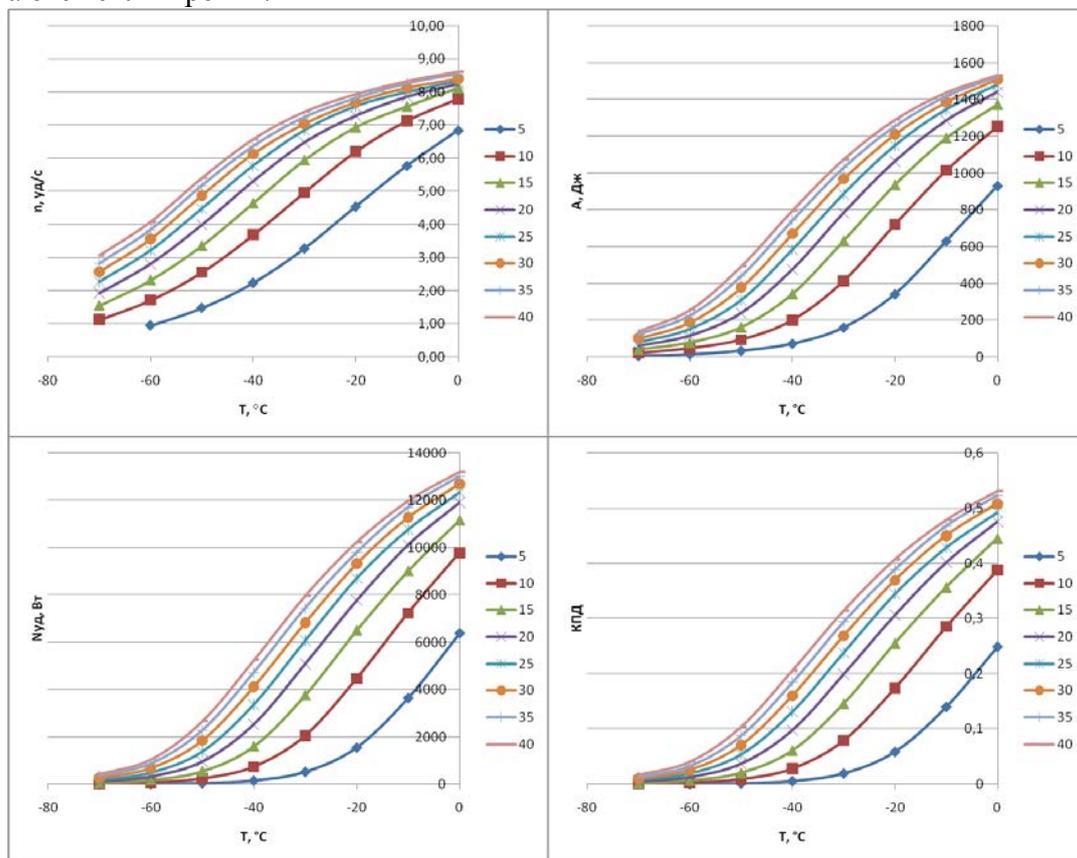


Рисунок 1 – Теоретические зависимости частоты ( $n$ ), энергии удара ( $A$ ), ударной мощности ( $N_{уд}$ ) и КПД (КПД) от температуры ( $T$ ) при различных значениях зазора (от 5 до 40 мкм) между бойком и корпусом (масло ВМГЗ)

Помимо этого на утечки и силы трения влияет величина зазора в сопрягаемых поверхностях подвижных деталей. С увеличением зазора утечки увеличиваются, а силы трения уменьшаются. Для гидромолота это сопряжения боек-корпус и золотник-корпус (золотник-

гильза). Основные утечки возникают между бойком и корпусом. Влияние зазора в сопряжении золотник-гильза в меньшей степени оказывает влияние на выходные характеристики гидромолота, так как технология их изготовления хорошо отработана и позволяет с большей точностью и более высоким качеством выполнить сопрягаемые поверхности.

Для оценки влияния температуры на выходные параметры гидромолота проведены вычислительные эксперименты, результаты которых представлены в виде диаграмм на рисунках 1–5. Расчеты проводились для нескольких видов гидравлических масел (АМГ, ВМГЗ, И20, АУ) с разными вязкостными характеристиками.

На рисунках 1 и 2 представлены диаграммы зависимостей частоты ударов, энергии ударов, ударной мощности и КПД гидромолота от температуры при различных значениях зазоров в сопряжении боек-корпус для масел ВМГЗ и АУ соответственно (диапазон зазора от 0,005 до 0,040 мм).

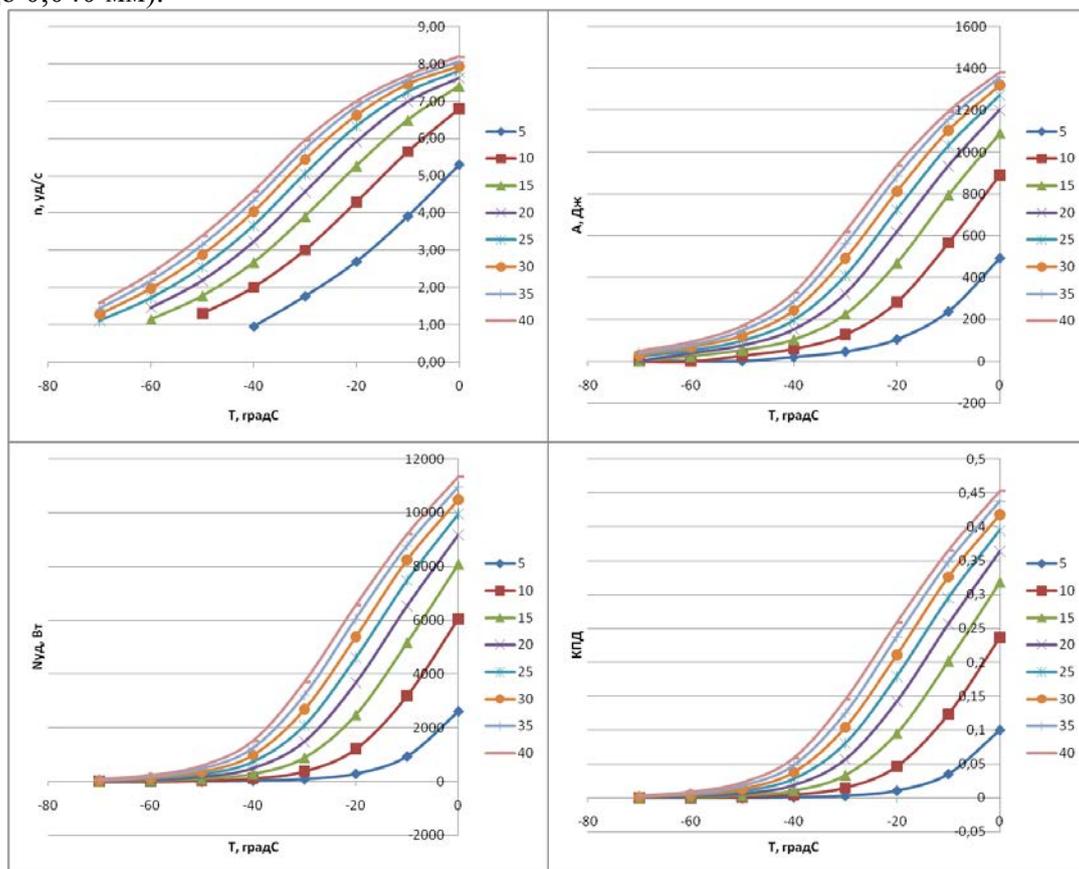
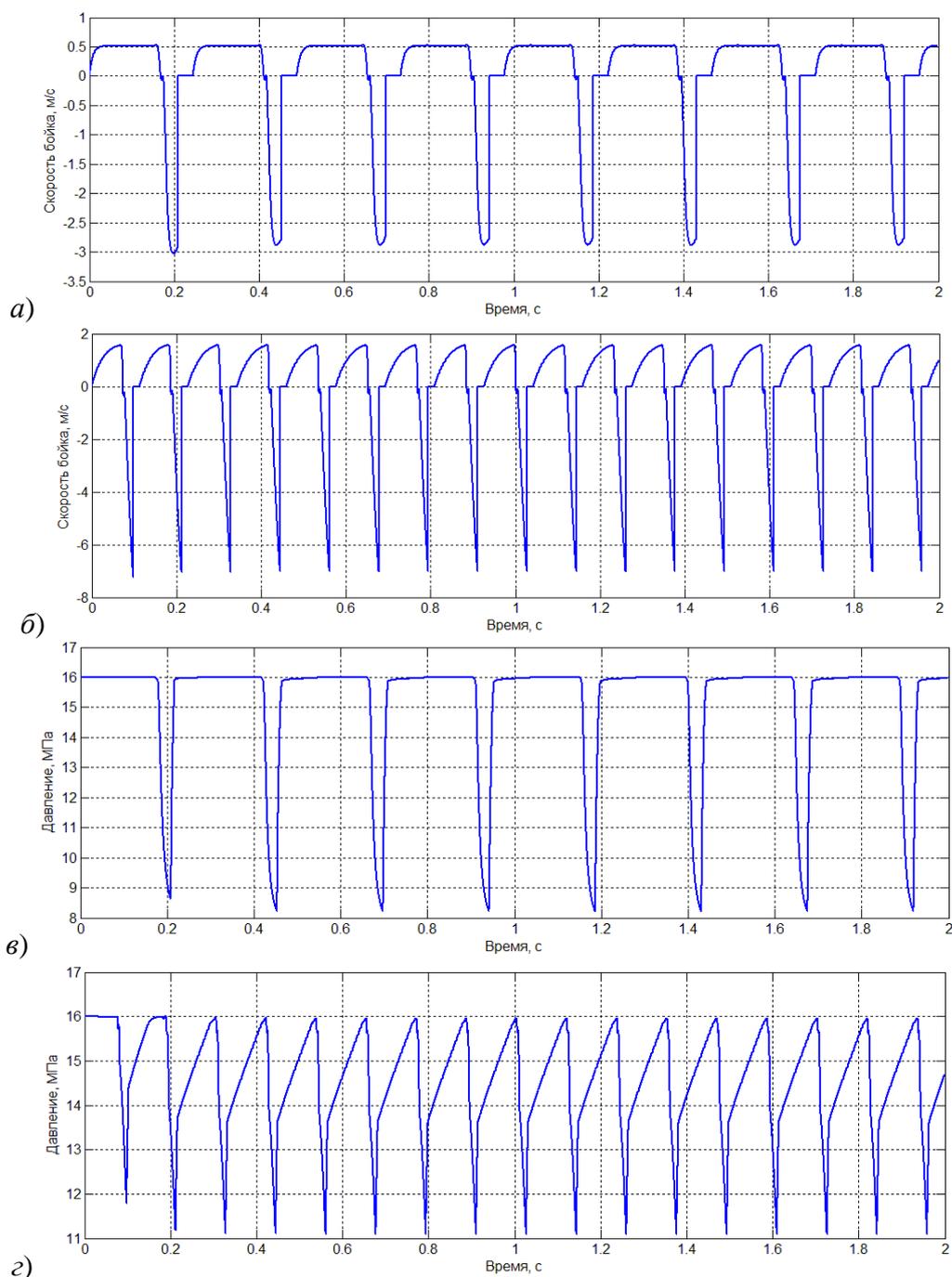


Рисунок 2 – Теоретические зависимости частоты ( $n$ ), энергии удара ( $A$ ), ударной мощности ( $N_{уд}$ ) и КПД (КПД) от температуры ( $T$ ) при различных значениях зазора (от 5 до 40 мкм) между бойком и корпусом (масло АУ)

Анализ диаграмм (рис. 1 и 2) показывает, что при понижении температуры ниже 0 °С частота ударов уменьшается. Сначала происходит небольшое уменьшение частоты (для ВМГЗ от 0 до -30 °С, для АУ от 0 до -10 °С), затем интенсивность увеличивается (для ВМГЗ от -30 до -60 °С, для АУ от -10 до -40 °С), а далее снова снижается. Значения частот менее 1 уд/с не рассматривались в связи со сложностью ее подсчета. Энергия ударов, а также ударная мощность и коэффициент полезного действия падают более интенсивно (для ВМГЗ до -50 °С, для АУ до -40 °С), а затем значения асимптотически приближаются к нулю.

Также значения всех параметров увеличиваются с увеличением зазора в сопряжении боек-корпус. Видно, что более интенсивно повышение частоты и энергии ударов, ударной мощности и кпд происходит в диапазоне зазоров от 0,005 до 0,020 мм, что особенно заметно при более высокой температуре. При дальнейшем увеличении зазора интенсивность притока снижается, и значение приближается к наиболее оптимальному.

Для менее вязких масел (например, для АМГ) характер изменения всех параметров остается таким же, только нулевые значения всех параметров, к которым они асимптотически стремятся, уходят в область более низких температур. Для более вязких масел, соответственно, смещение происходит в область более высоких температур.



**Рисунок 3 – Изменение скорости бойка при температуре  $-60^{\circ}\text{C}$  (а) и  $0^{\circ}\text{C}$  (б) и давления в напорной магистрали при температуре  $-60^{\circ}\text{C}$  (в) и  $0^{\circ}\text{C}$  (г) в процессе работы гидромолота (зазор в сопряжении боек-корпус 0,040 мм, масло ВМГЗ, масса бойка 62 кг, расход 100л/мин, давление настройки предохранительного клапана 16 МПа, диаметры ступеней бойка  $d_1=116$  мм,  $d_2=118$  мм,  $d_3=105$  мм)**

Более наглядно изменение частоты и энергии ударов можно проследить по диаграммам, представленным на рисунке 3 (а, б), на которых отражены графики изменения скорости движения бойка во времени. Отрицательные значения соответствуют рабочему ходу бойка,

положительные – обратному. Видно, что для масла ВМГЗ при понижении температуры от 0 до  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  частота ударов снижается в 2,1 раза, предупредная скорость бойка в 2,3 раза, а, соответственно, энергия удара в 5,3 раза и ударная мощность в 11,1 раза.

Оценку изменения коэффициента полезного действия можно провести, зная дополнительно изменение давления в напорной магистрали гидромолота. Диаграммы с графиками изменения давления представлены на рисунке 3 (в, з).

Анализ диаграмм давления показывает, что с уменьшением температуры возрастает среднее интегральное давление в напорной магистрали, хотя минимальное давление уменьшается. Давление интенсивно снижается при рабочем ходе бойка, а при обратном ходе быстро восстанавливается, становится равным давлению настройки предохранительного клапана и практически не изменяет своего значения на протяжении всего обратного хода. Это связано с увеличением подпора при вытеснении рабочей жидкости из камеры рабочего хода в сливную магистраль. С увеличением среднего интегрального давления соответственно уменьшается коэффициент полезного действия. Для масла ВМГЗ и указанных параметров КПД уменьшается в 11 раз.

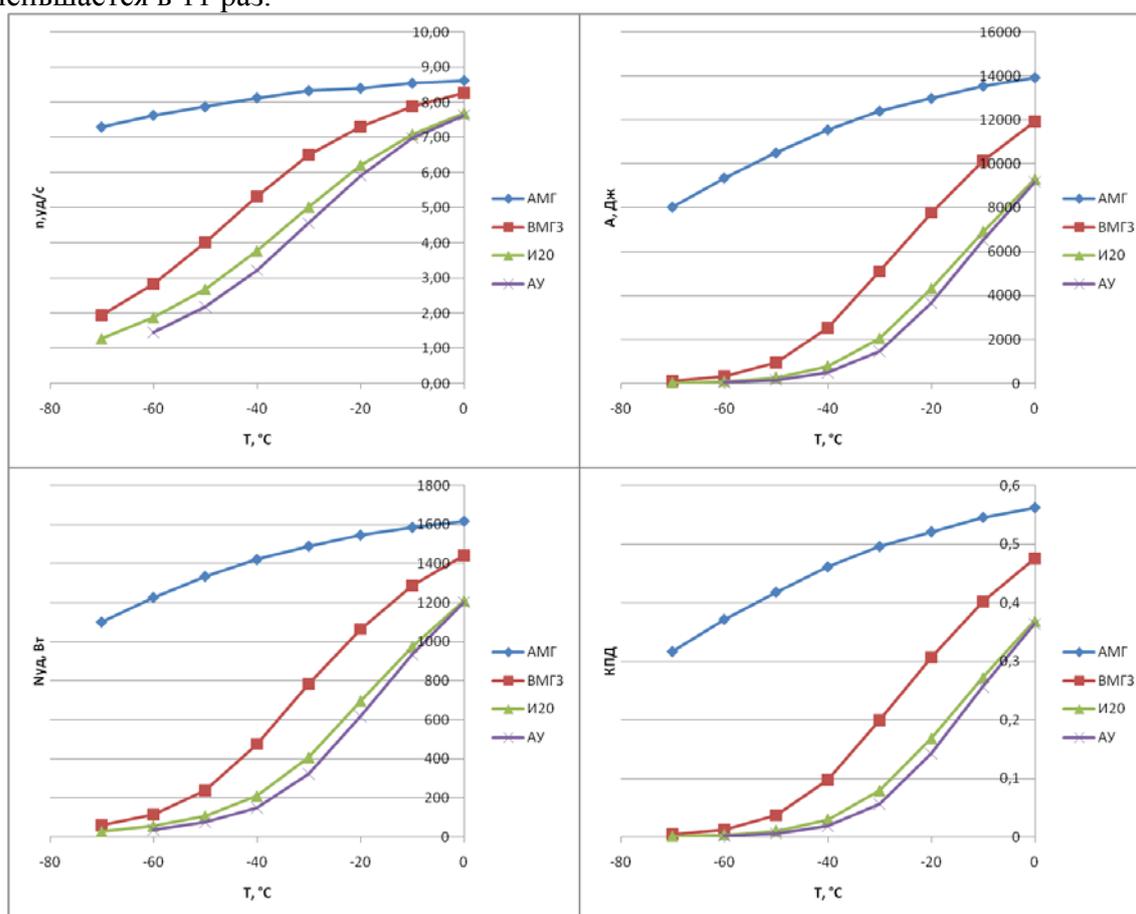


Рисунок 4 – Теоретические зависимости частоты (а), энергии удара (б), ударной мощности (в) и КПД (г) от температуры при различных значениях зазора между бойком и корпусом для масла ВМГЗ- (зазор 0,020 мм, масло ВМГЗ, масса бойка 62 кг, расход 100л/мин, давление настройки предохранительного клапана 16 МПа, диаметры ступеней бойка  $d1=116\text{ мм}$ ,  $d2=118\text{ мм}$ ,  $d3=105\text{ мм}$ )

Практический интерес представляет оценка изменения выходных параметров гидромолота в зависимости от температуры для различных масел, что более наглядно можно сделать, совместив графики для рассматриваемых масел на одной диаграмме. При этом необходимо задаться одним значением величины зазора (в данном случае принята средняя величина зазора 0,020 мм). Такие диаграммы представлены на рисунке 4.

Анализ диаграмм показывает, что наиболее высокие выходные параметры гидромолота при отрицательной температуре (особенно при наиболее низких значениях) обеспечивает

масло АМГ. Для других масел (ВМГЗ, И20 и АУ) расхождение параметров незначительно в диапазоне от -50 до -80 °С. Так частота ударов для АМГ и ВМГЗ при температуре -60 °С отличаются в 2,5 раза, энергия ударов в 11 раз.

Представленные результаты математического моделирования дополняют область исследований отбойных гидравлических молотов, эксплуатируемых в условиях пониженных температур.

Статья выполнена в рамках работы над грантом президента Российской Федерации МК-6405.2013.5. Научный руководитель Каманин Ю.Н.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ушаков, Л.С. Гидравлические машины ударного действия [Текст] / Л. С. Ушаков, Ю. Е. Котылев, В. А. Кравченко. – М.: Машиностроение, 2000. – 416 с.
2. Ешуткин, Д. Н. Основы теории проектирования гидропневмоударных устройств с объемным гидравлическим приводом [Текст] / Д. Н. Ешуткин: дис. ... д-ра техн. наук. – Караганда, 1978. – 516 с.
3. Клок, А. Б. Гидромолоты [Текст]: учебное пособие / А. Б. Клок. – Караганда: КарГТУ, 2007. – 182 с.
4. Кравченко, В. А. Создание гидравлических устройств ударного действия с пониженной удельной металлоемкостью для разрушения горных пород [Текст] / В. А. Кравченко: дисс. ... канд. техн. наук. – Орел: ОрелГТУ, 2004. – 275 с.
5. Лазуткин, А. Г. Научные основы создания выемочных горных машин с гидропневмоударными исполнительными органами [Текст] / А. Г. Лазуткин: дис. ... д-ра техн. наук. – М.: МГИ, 1979. – 293 с.
6. Сагинов, А. С. Теоретические основы создания гидроимпульсных систем ударных органов машин [Текст] / А. С. Сагинов, И. А. Янцен, Д. Н. Ешуткин, Г. Г. Пивень. – Алма-Ата, 1985. – 256 с.
7. Ураимов, М., Султаналиев Б.С. Гидравлические молоты. Основы создания, обобщение опыта производства и эксплуатации гидравлических молотов «Импульс» [Текст] / М. Ураимов, Б. С. Султаналиев. – Б.: Илим, 2003. – 240 с.
8. Ределин, Р. А. Влияние вязкости рабочей жидкости и зазоров в подвижных парах на выходные характеристики гидромолота с управляемой камерой рабочего хода [Текст] / Р. А. Ределин, В. А. Кравченко, Ю. Н. Каманин, под ред. д-ра техн. наук, профессора Л.С. Ушакова // Ударно-вибрационные системы, машины и технологии. – Орел: Госуниверситет-УНПК. - 2013. - С. 22–24.
9. Ределин, Р. А. Влияние температуры рабочей жидкости на выходные характеристики гидромолота [Текст] / Р. А. Ределин, Ю. Н. Каманин, под ред. д-ра техн. наук, профессора Л. С. Ушакова // Ударно-вибрационные системы, машины и технологии. – Орел: Госуниверситет-УНПК. - 2013. - С. 202–205.
10. Ределин, Р. А. Экспериментальные данные исследований гидравлического устройства ударного действия [Текст] / Р. А. Ределин, под ред. д-ра техн. наук, профессора Л.С. Ушакова // Ударно-вибрационные системы, машины и технологии. – Орел: Госуниверситет-УНПК. - 2013. - С. 231–234.
11. Ределин, Р. А. Математическая модель отбойного гидравлического молота строительного-дорожного машины с учётом температурного фактора [Текст] / Р. А. Ределин // Мир транспорта и технологических машин. – 2013. – №3(42). – С. 47–52.
12. Степанов, Ю. С. Влияние вязкости рабочей жидкости на выходные параметры гидромолота [Текст] / Ю. С. Степанов, В. А. Кравченко, Р. А. Ределин // Ударно-вибрационные системы, машины и технологии. - Орел: ОрелГТУ. - 2010. – С. 19–21.
13. Густов, Д. Ю. Влияние температуры рабочей жидкости на работу одноковшового экскаватора с рабочим оборудованием гидромолот [Текст] / Д. Ю. Густов, С. Е. Якушев. - Интерстроймех-2007: Самарск. гос. арх.-строит. ун-т, 2007. – 328 с.
14. Дмитриевич, Ю. В. Зимняя эксплуатация гидромолотов. [Электронный ресурс] / Ю.В. Дмитриевич. - Электрон. дан. и прог. – Режим доступа [http://gidromolot.tradicia-k.ru/articles/?art\\_id=74](http://gidromolot.tradicia-k.ru/articles/?art_id=74), свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.
15. Васильченко, В. А. Особенности эксплуатации горных машин с гидроприводом при низких температурах [Текст] / В. А. Васильченко // Горная промышленность. – 2006. - №2. - С. 111-117.

**Ределин Руслан Андреевич**

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК»

Канд. техн. наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины»

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

E-mail: rusland57@yandex.ru

R. A. REDELIN

## THE RESULTS OF MATHEMATICAL MODELING WORKING HYDRAULIC BREAKER HAMMER UNDER DIFFERENT TEMPERATURE CONDITIONS

*The article is devoted to the results of theoretical research work breaker hydraulic hammer under different temperature conditions. Theoretical dependence of the operation of the breaker taking into account the temperature factor.*

**Keywords:** hydraulic hammer, hydrohammer, mathematical model.

### BIBLIOGRAPHY

1. Ushakov, L.S. Gidravlicheskie mashiny udarnogo deystviya [Tekst] / L. S. Ushakov, YU. E. Kotylev, V. A. Kravchenko. - M.: Mashinostroenie, 2000. - 416 s.
2. Eshutkin, D. N. Osnovy teorii proektirovaniya gidropnevmodarnykh ustroystv s ob"emnym gidravlicheskim privodom [Tekst] / D. N. Eshutkin: dis. ... d-ra tekhn. nauk. - Karaganda, 1978. - 516 s.
3. Klok, A. B. Gidromoloty [Tekst]: uchebnoe posobie / A. B. Klok. - Karaganda: KarGTU, 2007. - 182 s.
4. Kravchenko, V. A. Sozdanie gidravlicheskiykh ustroystv udarnogo deystviya s ponizhennoy udel'noy metalloemkost'yu dlya razrusheniya gornyykh porod [Tekst] / V. A. Kravchenko: diss. ... kand. tekhn. nauk.- Orel: OrelGTU, 2004. - 275 s.
5. Lazutkin, A. G. Nauchnye osnovy sozdaniya vyemochnykh gornyykh mashin s gidropnevmodarnymi ispolnitel'nymi organami [Tekst] / A. G. Lazutkin: dis. ... d-ra. tekhn. nauk. - M.: MGI, 1979. - 293 s.
6. Saginov, A. S. Teoreticheskie osnovy sozdaniya gidroimpul'snykh sistem udarnykh organov mashin [Tekst] / A. S. Saginov, I. A. Yantsen, D. N. Eshutkin, G. G. Piven`. - Alma-Ata, 1985. - 256 s.
7. Uraimov, M., Sultanaliev B.S. Gidravlicheskie moloty. Osnovy sozdaniya, obobshchenie opyta proizvodstva i ekspluatatsii gidravlicheskiykh molotov "Impul's" [Tekst] / M. Uraimov, B. S. Sultanaliev. - B.: Ilim, 2003. - 240 s.
8. Redelin, R. A. Vliyanie vyazkosti rabochey zhidkosti i zazorov v podvizhnykh parakh na vykhodnye kharakteristiki gidromolota s upravlyaemoy kameroy rabocheho khoda [Tekst] / R. A. Redelin, V. A. Kravchenko, YU. N. Kamanin, pod red. d-ra tekhn. nauk, professora L.S. Ushakova // Udarno-vibratsionnye sistemy, mashiny i tekhnologii. - Orel: Gosuniversitet-UNPK. - 2013. - S. 22-24.
9. Redelin, R. A. Vliyanie temperatury rabochey zhidkosti na vykhodnye kharakteristiki gidromolota [Tekst] / R. A. Redelin, YU. N. Kamanin, pod red. d-ra tekhn. nauk, professora L. S. Ushakova // Udarno-vibratsionnye sistemy, mashiny i tekhnologii. - Orel: Gosuniversitet-UNPK. - 2013. - S. 202-205.
10. Redelin, R. A. Eksperimental'nye dannye issledovaniy gidravlicheskogo ustroystva udarnogo deystviya [Tekst] / R. A. Redelin, pod red. d-ra tekhn. nauk, professora L.S. Ushakova // Udarno-vibratsionnye sistemy, mashiny i tekhnologii. - Orel: Gosuniversitet-UNPK. - 2013. - S. 231-234.
11. Redelin, R. A. Matematicheskaya model' otboynogo gidravlicheskogo molota stroitel'no-dorozhnoy mashiny s uchiyotom temperaturnogo faktora [Tekst] / R. A. Redelin // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2013. - №3(42). - S. 47-52.
12. Stepanov, YU. S. Vliyanie vyazkosti rabochey zhidkosti na vykhodnye parametry gidromolota [Tekst] / YU. S. Stepanov, V. A. Kravchenko, R. A. Redelin // Udarno-vibratsionnye sistemy, mashiny i tekhnologii. - Orel: OrelGTU. - 2010. - S. 19-21.
13. Gustov, D. YU. Vliyanie temperatury rabochey zhidkosti na rabotu odnokovshovogo ekskavatora s rabochim oborudovaniem gidromolot [Tekst] / D. YU. Gustov, S. E. YAKushev. - Interstroyemekh-2007: Samarsk. gos. arkh.-stroit. un-t, 2007. - 328 s.
14. Dmitrevich, YU. V. Zimnyaya ekspluatatsiya gidromolotov. [Elektronnyy resurs] / YU.V. Dmitrevich. - Elektron. dan. i prog. - Rezhim dostupa [http://gidromolot.tradicia-k.ru/articles/?art\\_id=74](http://gidromolot.tradicia-k.ru/articles/?art_id=74), svobodnyy. - Zagl. s ekrana. - YAz. rus.
15. Vasil'chenko, V. A. Osobennosti ekspluatatsii gornyykh mashin s gidroprivodom pri nizkikh temperaturakh [Tekst] / V. A. Vasil'chenko // Gornaya promyshlennost'. - 2006. - №2. - C. 111-117.

**Redelin Ruslan Andreevich**

FGBOU VPO «State University-UNPK»

Candidate of technical Sciences, Docent of the Department of "Hoisting, construction and road machines"

Adress: 302030, Rossia, g. Orel, Moskows Street, 77

E-mail: rusland57@yandex.ru

А. В. КУРЫЛЕВ, Е. Г. РЫЛЯКИН

## СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ В ГИДРОПРИВОДЕ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

*Изложены основные особенности функционирования гидроагрегатов транспортно-технологических машин в холодное время года. Для повышения работоспособности гидроагрегатов этих машин предлагается использовать систему регулирования температуры рабочей жидкости оригинальной конструкции. Приводятся основные преимущества разработанной системы, её конструктивные элементы, а также результаты исследований с применением реализованных технических решений по обеспечению разогрева и поддержания температуры рабочей жидкости гидропривода транспортно-технологических машин в рациональном интервале в условиях зимней эксплуатации.*

**Ключевые слова:** терморегулирование, рабочая жидкость, условия эксплуатации, гидропривод, транспортно-технологические машины

На сегодняшний день гидрофицированные машины эксплуатируются в различных географических широтах с большим диапазоном температуры окружающего воздуха. Опыт эксплуатации машин показывает, что их надежность существенно зависит от климата. Это становится особенно заметным, если машина в целом или отдельные ее элементы работают в климате, на который они не рассчитаны.

Исследование надежности гидрофицированных машин различного назначения показывает, что на зимний период эксплуатации приходится 70...90% всех отказов и неисправностей гидрооборудования [1-4].

Основным фактором, ограничивающим долговечность гидропривода транспортно-технологических машин, является износ деталей. В связи с этим приобретает важное значение поиск новых эффективных путей сохранения потенциальных свойств конструкции в эксплуатационных условиях, где актуальным и эффективным является обеспечение рационального режима смазывания поверхностей трения деталей. При характерных для гидропривода транспортно-технологических машин неустановившихся нагрузочно-скоростных и температурных режимах работы важным параметром рационального режима смазывания является снижение скорости окисления масла и скорости поступления абразивных примесей, накопление которых связано с газообменом полости гидросистемы, обусловленным изменением ее температурного режима.

Одним из методов повышения износостойкости агрегатов гидропривода является улучшение режима их смазки путем применения рациональных температур гидравлических масел в условиях эксплуатации. Это связано с тем, что современные транспортно-технологические машины не имеют эффективных средств разогрева и поддержания температуры гидравлического масла в рациональных пределах, что сказывается в целом на работоспособности гидропривода, а известные конструкции систем терморегулирования в эксплуатационных условиях не полностью учитывают особенности протекания процесса теплообмена между рабочей жидкостью гидропривода машины с окружающей средой. Ввиду недостаточно изученного влияния температуры масла на процесс изменения работоспособности гидропривода, внедрение методов терморегулирования в реальные технологии и процессы представляет значительный теоретический и практический интерес.

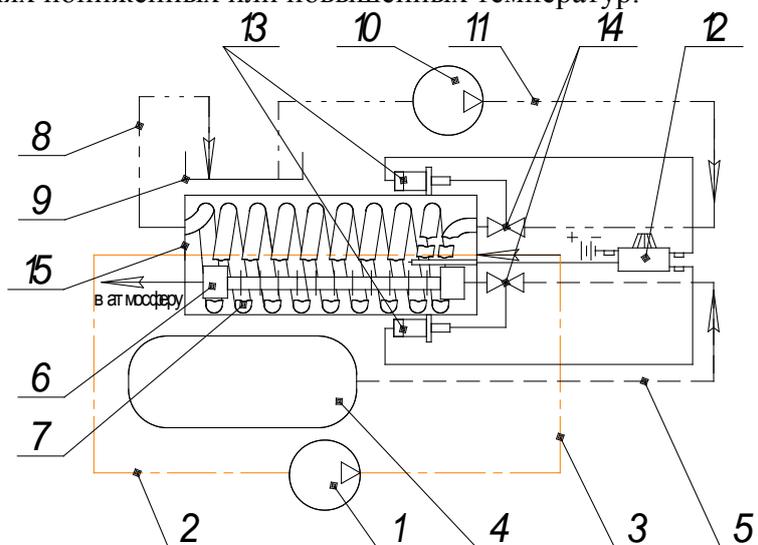
Эффективность работы гидравлического привода определяется технико-экономическими показателями работы основных его агрегатов – насоса, распределителя, гидроцилиндров [5,6].

Климатические условия эксплуатации влияют на работоспособность и эффективность гидропривода в основном через состояние рабочей жидкости, определяемое ее вязкостью, содержанием механических примесей, газов и влаги, а также модулем упругости.

Рабочая жидкость в гидроприводах самоходных машин с шестеренными насосами эксплуатируются в широком диапазоне температур: минус 40 до +100°С [7-10]. Жидкость контактирует с полимерами, цветными и черными металлами, на которых в связи с износом отсутствуют защитные окисные пленки, на жидкость воздействуют длительные вибрации, в гидросистему попадают из окружающей среды влага и абразивные частицы. Все это создает весьма неблагоприятные условия эксплуатации и сокращает срок службы рабочей жидкости и гидроагрегатов.

Таким образом, можно предположить, что существует диапазон температуры рабочей жидкости, в котором негативные воздействия на работоспособность агрегатов гидропривода минимальны. Поддерживая температуру в оптимальном диапазоне, можно существенно снизить вероятность возникновения отказов и неисправностей гидрооборудования [11].

Нами была разработана и запатентована система регулирования температуры рабочей жидкости гидропривода [12-17]. Ее можно применять как для подогрева, так и для охлаждения масла в условиях пониженных или повышенных температур.



**Рисунок 1 - Схема системы регулирования температуры рабочей жидкости**

**в гидроприводе:** 1 – насос шестеренный НШ; 2 – заборная гидролиния; 3 – напорная гидролиния; 4 – ресивер пневмосистемы; 5 – нагнетательная пневмолиния; 6 – радиатор охлаждения; 7 – змеевик; 8 – сливная гидролиния; 9 – поддон картера ДВС; 10 – масляный насос; 11 – радиаторная гидролиния масляного насоса; 12 – терморегулятор; 13 – электромагнитные реле; 14 – краны шаровые; 15 – теплообменник

Система работает следующим образом. При низких температурах окружающего воздуха гидронасос 1 (рис.1) будет нагнетать рабочую жидкость гидропривода во внутреннюю полость теплообменника 15 из бака через заборную гидролинию 2. Поступая через напорную гидролинию 3 во внутреннюю полость теплообменника 15, рабочая жидкость нагревается, обтекая змеевик 7, через который пропускается моторное масло двигателя, имеющее рабочую температуру 80...90°С. После чего, масло из теплообменника 15, поступает обратно в бак.

После нагрева масла в баке терморегулятор 12, посредством электромагнитного реле 13 и шарового крана 14 перенаправит поток жидкости моторного масла двигателя в обход змеевика 7 по нагнетательной гидролинии системы смазки ДВС с масляным радиатором. При разогреве рабочей жидкости свыше 60°С, терморегулятор 12, посредством электромагнитного реле 13 и шарового крана 14, откроет нагнетательную пневмолинию 5. Воздух из ресивера пневмосистемы 4 начнет поступать в радиатор охлаждения 6 теплообменника 15 и затем выводиться в атмосферу. После охлаждения жидкости до оптимальных значений, тер-

морегулятор 12 перекроет подачу воздуха. Контроль температуры рабочей жидкости в баке осуществляется с помощью установленной в нем термопары.

С целью исследования эффективности предлагаемой системы терморегулирования были проведены сравнительные эксплуатационные исследования на предприятиях Пензенской области.

В результате проведенных исследований установлено, что в гидроприводе, не оборудованном системой терморегулирования, разогрев происходит только за счет прокачивания жидкости через насос. При работе машины более двух часов рабочая жидкость гидропривода не достигает рекомендуемого интервала температур [18].

С применением системы терморегулирования установившаяся температура рабочей жидкости составила  $+23...+25^{\circ}\text{C}$  при температуре окружающего воздуха  $t_{\text{в}} = 21^{\circ}\text{C}$  и  $+41...+43^{\circ}\text{C}$  при  $t_{\text{в}} = 0^{\circ}\text{C}$ . Во втором случае установившаяся температура рабочей жидкости соответствуют интервалу рекомендуемых рабочих температур масла, обеспечивающих наиболее эффективную работоспособность гидрооборудования.

Таким образом, улучшение работоспособности гидропривода за счет поддержания рационального температурного режима рабочей жидкости при эксплуатации транспортно-технологической машины представляется достаточно эффективным средством, позволяющим наиболее полно реализовать ее потенциальные возможности. Это возможно за счет совершенствования гидроприводов транспортно-технологических машин при эксплуатации путем разработки систем их терморегулирования. Кроме того, в период зимней эксплуатации для уменьшения теплоотдачи от штатных гидроагрегатов машин, целесообразно применять утеплительные чехлы, кожухи и различные изоляционные материалы, что позволит достичь рационального интервала температур гидравлического масла при низких температурах окружающего воздуха.

В ходе исследования гидропривода в условиях эксплуатации было установлено, что без участия системы терморегулирования при работе гидроагрегатов свыше 2 часов при температурах окружающего воздуха от минус 28 до минус  $8^{\circ}\text{C}$ , температура масла так и не достигла рекомендуемой температуры  $40^{\circ}\text{C}$  (рис. 2). Время нагрева масла до указанной температуры с использованием системы терморегулирования составляет: при начальной температуре масла минус  $28^{\circ}\text{C}$  – 82 мин.; минус  $18^{\circ}\text{C}$  – 67 мин.; минус  $8^{\circ}\text{C}$  – 23 мин. [19].

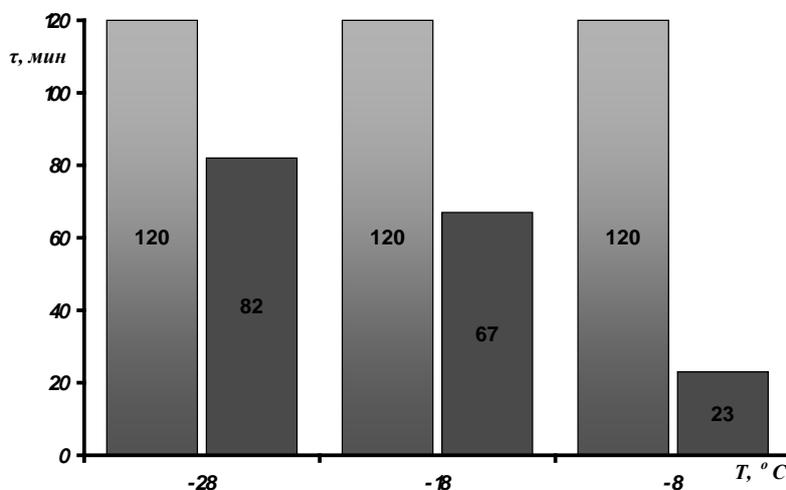


Рисунок 2 - Время разогрева масла гидропривода до  $40^{\circ}\text{C}$  при отрицательных температурах окружающего воздуха

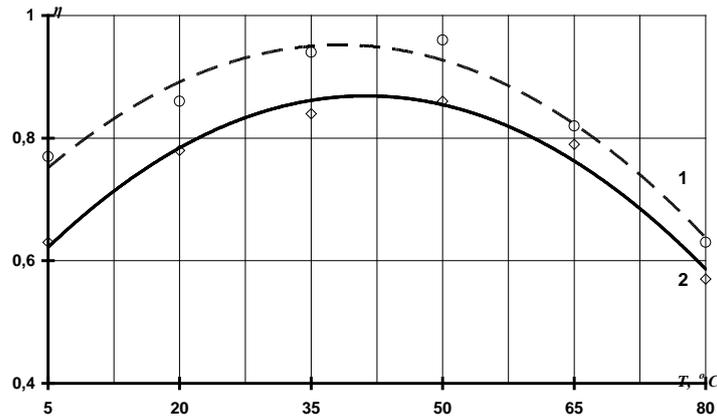


Рисунок 3 - Зависимость объемного КПД гидронасоса от температуры рабочей жидкости гидропривода:  
 1 – на стенде КИ-4815М  $\eta = -0,0002t_m^2 + 0,0139t_m + 0,6867$ ;  
 2 – на приборе ДР-90  $\eta = -0,0002t_m^2 + 0,0155t_m + 0,5489$

Динамика изменения температуры рабочей жидкости имеет тот же характер, что и при стендовых исследованиях.

Изменение объемного КПД гидронасоса так же носит похожий характер, однако имеет несколько меньшие значения (рис. 3), что обуславливается влиянием на величину КПД неучтенных эксплуатационных факторов, например, скорости ветра, воздействие снега и т.д.

Исходя из определения затрат эффективной мощности на привод гидронасоса при различной температуре масла (рис. 4) была проведена аналитическая оценка влияния разработанной системы терморегулирования на топливную экономичность трактора. В результате были получены зависимости для определения часового расхода топлива. Сравнение полученных зависимостей рассчитанных для температур рабочей жидкости гидросистемы равных 5 и 50°C, позволило выявить снижение часового расхода топлива  $G_{45}/G_{50} = 0,02$  [20].

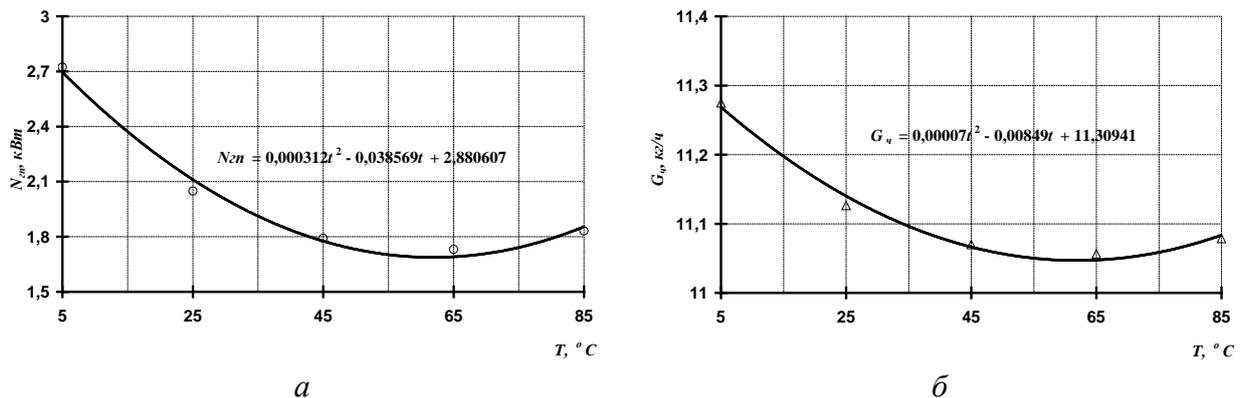


Рисунок 4 - Зависимости потери мощности двигателя на преодоление сопротивлений в гидроприводе ( $N_{2n}$ ) (а) и часового расхода топлива ( $G_4$ ) (б) двигателем ЯМЗ-236 при  $n_{ен} = 2100 \text{ мин}^{-1}$  от температуры рабочей жидкости (Т)

Таким образом, применение разработанной системы терморегулирования позволяет снизить часовой расход топлива дизеля на 2% при работе двигателя на номинальном режиме. При работе на режимах, отличающихся от номинального и при температуре рабочей жидкости ниже исследованного предела, часовой расход топлива будет возрастать.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рылякин, Е. Г. Повышение работоспособности тракторных гидросистем терморегулированием рабочей жидкости [Текст]: дис...канд.техн.наук / Е. Г. Рылякин. – Пенза, 2007. – 150 с.
2. Каверзин, С. В. Обеспечение работоспособности гидравлического привода при низких температурах [Текст] / С. В. Каверзин, В. П. Лебедев, Е. А. Сорокин. – Красноярск, 1997. – 240 с.
3. Ефимов, В. В. Обеспечение эксплуатационной надежности гидросистем сельскохозяйственной техники при альтернативном использовании рапсового масла в качестве рабочей жидкости [Текст]: дис...канд. техн. наук / В. В. Ефимов. – Самара, 2000. – 177 с.
4. Дидур, В. А. Диагностика и обеспечение надежности гидроприводов сельскохозяйственных машин [Текст] / В. А. Дидур, В. Я. Ефремов. – Киев: Техника, 1986. – 128 с.
5. Рылякин, Е. Г. Терморегулирование рабочей жидкости в гидроприводе транспортно-технологических машин [Текст] / Е. Г. Рылякин // Актуальные вопросы современной науки. Научный журнал. – № 1 (1). – 2014. – С. 5-10.
6. Рылякин, Е. Г. Теоретическое обоснование терморегулирования рабочей жидкости в гидросистеме [Текст] / Е. Г. Рылякин, П. А. Власов // Нива Поволжья. – 2008. – №1(6). – С.25-29.
7. Рылякин, Е. Г. Повышение работоспособности гидропривода транспортно-технологических машин в условиях низких температур [Текст] / Е. Г. Рылякин, Ю. А. Захаров // Мир транспорта и технологических машин. – № 1 (44). – Январь-Март 2014. – С. 69-72.
8. Рылякин, Е. Г. Изменение надежности гидроагрегатов мобильных машин [Текст] / Е. Г. Рылякин // Materiały X Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Kluczowe aspekty naukowej działalności - 2014» Volume 20. Techniczne nauki.: Przemysł. Nauka i studia - str.57-60.
9. Рылякин, Е. Г. Влияние эксплуатационных факторов на изменение технического состояния гидропривода [Текст] / Е. Г. Рылякин // Materiály X mezinárodní vědecko - praktická konference «Moderní vymoženosti vědy – 2014». - Díl 38. Technické vědy.: Praha. Publishing House «Education and Science» s.r.o – stran 13-15.
10. Рылякин, Е. Г. Влияние эксплуатационных факторов на изменение надежности гидроагрегатов мобильных машин [Текст] / Е. Г. Рылякин // Молодой ученый. – 2014. – №4. – С. 247-249.
11. Рылякин, Е. Г. Износные испытания ресурсопределяющих сопряжений гидронасосов [Текст] / Е. Г. Рылякин // «Приоритеты мировой науки: эксперимент и научная дискуссия»: Материалы II международной научной конференции 24-25 декабря, г. Санкт-Петербург. – North Charleston, SC, USA: CreateSpace, 2013. – С.23-30.
12. Снижение интенсивности изнашивания зубчатых тракторных трансмиссий применением рациональных температур трансмиссионных масел [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / А. А. Орехов. – Пенза, 2001. – 162 с.
13. Новичков, А. В. Исследование интенсивности изнашивания ресурсопределяющих сопряжений гидронасосов [Текст] / А. В. Новичков, Е. В. Новиков, А. В. Лахно, П. И. Аношкин, Е. Г. Рылякин // Молодой ученый. – 2014. – №8. – С.243-246.
14. Курылев, А. В. Увеличение ресурса гидроагрегатов транспортно-технологических машин применением пленочных электронагревателей [Текст] / А. В. Курылев, Е. Г. Рылякин // Актуальные вопросы современной науки. Научный журнал. – № 2 (2). – 2014. – С. 12-14.
15. Рылякин, Е. Г. Влияние воды на свойства гидравлических рабочих жидкостей [Текст] / Е. Г. Рылякин // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2014. – № 2 (10). – С. 195-198.
16. Курылев, А. В. Изменение технического состояния гидропривода мобильных машин в процессе эксплуатации [Текст] / А. В. Курылев, Е. Г. Рылякин // Новый университет. Серия «Технические науки». – №03-04(25-26). – 2014. – С.43-46.
17. Пат. 2236615 РФ, МКИ<sup>5</sup> F15B21/04. Система регулирования температуры рабочей жидкости / П. А. Власов, Е. Г. Рылякин (РФ). – № 2003118925, Заявлено 23.06.2003; Опубл. 20.09.2004, Бюл. №26.
18. Власов, П. А. Терморегулирование жидкости гидросистемы [Текст] / П. А. Власов, Е. Г. Рылякин // Сельский механизатор. – 2007. – № 6. - С.36-37.
19. Власов, П. А. Средства повышения работоспособности гидропривода при низких температурах [Текст] / П. А. Власов, Е. Г. Рылякин // Сб. материалов науч.-практ. конф., посвященной 55-летию Пензенской ГСХА. – Пенза: РИО ПГСХА, 2006. – С.204.
20. Рылякин, Е. Г. Гидросистемы экономят ресурсы [Текст] / Е. Г. Рылякин, П. А. Власов // Сельский механизатор. – 2007. – № 12, С.46-47.

**Рылякин Евгений Геннадьевич**

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»

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

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

E-mail: triplan1979@mail.ru

**Курылев Алексей Владимирович**

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»

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

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

E-mail: aleksej-kurylev@mail.ru

---

A. V. KURYLEV, E. G. RYLYAKIN

## THE THERMAL REGULATION SYSTEM OF WORKING LIQUID IN A HYDRAULIC ACTUATOR OF TRANSPORT TECHNOLOGICAL MACHINES

*The main features of transport technological machines hydrounits functioning in a cold season are stated. The system of working liquid temperature regulation of an original design is offered to use to increase operability of hydrounits in these cars. The article contains main advantages of the developed system, its constructive elements and also results of researches with application of the realized technical solutions for providing a warming up and maintenance of working liquid temperature in a transport technological machines hydraulic actuator within a rational interval in the winter operation conditions.*

**Keywords:** thermal regulation, working liquid, service conditions, hydraulic actuator, transport technological machines.

### BIBLIOGRAPHY

1. Rylyakin, E. G. Povyshenie rabotosposobnosti traktornykh gidrosistem termoregu-lirovaniem rabochey zhidkosti [Tekst]: dis....kand. tekhn. nauk / E. G. Rylyakin. - Penza, 2007. - 150 s.
2. Kaverzin, S. V. Obespechenie rabotosposobnosti gidravlicheskogo privoda pri niz-kikh temperaturakh [Tekst] / S. V. Kaverzin, V. P. Lebedev, E. A. Sorokin. - Krasnoyarsk, 1997. - 240 s.
3. Efimov, V. V. Obespechenie ekspluatatsionnoy nadezhnosti gidrosistem sel'skokho-zyaystvennoy tekhniki pri al'ternativnom ispol'zovanii rapsovogo masla v kachestve rabochey zhidkosti [Tekst]: dis....kand. tekhn. nauk / V. V. Efimov. - Samara, 2000. - 177 s.
4. Didur, V. A. Diagnostika i obespechenie nadezhnosti gidroprivodov sel'skokhozyay-stvennykh mashin [Tekst] / V. A. Didur, V. YA. Efremov. - Kiev: Tekhnika, 1986. - 128 s.
5. Rylyakin, E. G. Termoregulirovanie rabochey zhidkosti v gidroprivode transportno-tekhnologicheskikh mashin [Tekst] / E. G. Rylyakin // Aktual'nye voprosy sovremennoy nauki. Nauchnyy zhurnal. - № 1 (1). - 2014. - S. 5-10.
6. Rylyakin, E. G. Teoreticheskoe obosnovanie termoregulirovaniya rabochey zhidkosti v gidrosisteme [Tekst] / E. G. Rylyakin, P. A. Vlasov // Niva Povolzh'ya. - 2008. - №1(6). S.25-29.
7. Rylyakin, E. G. Povyshenie rabotosposobnosti gidroprivoda transportno-tekhnologicheskikh mashin v usloviyakh nizkikh temperatur [Tekst] / E. G. Rylyakin, YU. A. Zakha-rov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - № 1 (44). - YAnvar`-Mart 2014. - S. 69-72.
8. Rylyakin, E. G. Izmenenie nadezhnosti gidroagregatov mobil'nykh mashin [Tekst] / E. G. Rylyakin // Materiały X Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji "Kluczowe aspekty naukowej działalności - 2014" Volume 20. Techniczne nauki.: Przemysł. Nauka i studia - str.57-60.
9. Rylyakin, E. G. Vliyaniye ekspluatatsionnykh faktorov na izmeneniye tekhnicheskogo so-stoyaniya gidroprivoda [Tekst] / E. G. Rylyakin // Materiály X mezinárodní vědecko - praktické konference "Moderní vymoženosti vědy - 2014". - Díl 38. Technické vědy.: Praha. Publishing House "Education and Science" s.r.o - stran 13-15.

10. Rylyakin, E. G. Vliyanie ekspluatatsionnykh faktorov na izmenenie nadezhnosti gid-roagregatov mobil'nykh mashin [Tekst] / E. G. Rylyakin // Molodoy uchenyy. - 2014. - №4. - S. 247-249.
11. Rylyakin, E. G. Iznosnye ispytaniya resursoopredelyayushchikh sopryazheniy gidronaso-sov [Tekst] / E. G. Rylyakin // "Prioritety mirovoy nauki: eksperiment i nauchnaya diskus-siya": Materialy II mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii 24-25 dekabrya, g. Sankt-Peterburg. - North Charleston, SC, USA: CreateSpace, 2013. - S.23-30.
12. Snizhenie intensivnosti iznashivaniya zubchatykh traktornykh transmissiy primeneniem ratsional'nykh temperatur transmissionnykh masel [Tekst]: dis. ... kand. tekhn. nauk / A. A. Orekhov. - Penza, 2001. - 162 s.
13. Novichkov, A. V. Issledovanie intensivnosti iznashivaniya resursoopredelyayushchikh sopryazheniy gidronasosov [Tekst] / A. V. Novichkov, E. V. Novikov, A. V. Lakhno, P. I. Anoshkin, E. G. Rylyakin // Molodoy uchenyy. - 2014. - №8. - S.243-246.
14. Kurylev, A. V. Uvelichenie resursa gidroagregatov transportno-tekhnologicheskikh mashin primeneniem plenochnykh elektronagrevateley [Tekst] / A. V. Kurylev, E. G. Rylyakin // Aktual'nye voprosy sovremennoy nauki. Nauchnyy zhurnal. - № 2 (2). - 2014. - S. 12-14.
15. Rylyakin, E. G. Vliyanie vody na svoystva gidravlicheskikh rabochikh zhidkostey [Tekst] / E. G. Rylyakin // Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve. - 2014. - № 2 (10). - C. 195-198.
16. Kurylev, A. V. Izmenenie tekhnicheskogo sostoyaniya gidroprivoda mobil'nykh mashin v protsesse ekspluatatsii [Tekst] / A. V. Kurylev, E. G. Rylyakin // Novyy universitet. Seriya "Tekhnicheskie nauki". - №03-04(25-26). - 2014. - S.43-46.
17. Pat. 2236615 RF, MKI5 F15B21/04. Sistema regulirovaniya temperatury rabochey zhidkosti / P. A. Vlasov, E. G. Rylyakin (RF). - № 2003118925, Zayavleno 23.06.2003; Opubl. 20.09.2004, Byul. №26.
18. Vlasov, P. A. Termoregulirovanie zhidkosti gidrosistemy [Tekst] / P. A. Vlasov, E. G. Rylyakin // Sel'skiy mekhanizator. - 2007. - № 6. - S.36-37.
19. Vlasov, P. A. Sredstva povysheniya rabotosposobnosti gidroprivoda pri nizkikh temperaturakh [Tekst] / P. A. Vlasov, E. G. Rylyakin // Sb. materialov nauch.-prakt. konf., po-svyashchennoy 55-letiyu Penzenskoy GSHA. - Penza: RIO PGSHA, 2006. - S.204.
20. Rylyakin, E. G. Gidrosistemy ekonomyat resursy [Tekst] / E. G. Rylyakin, P. A. Vlasov // Sel'skiy mekhanizator. - 2007. - № 12, S.46-47.

**Rylyakin Evgeny Gennad'evich**

Ulianov "Penza State University of Architecture and Construction"  
Address: 440028, Russia, Penza, ul. Titova, 28  
Candidate. tehn. Associate Professor, Department "Motor transport"  
E-mail: triplan1979@mail.ru

**Kurylev Alexey Vladimirovich**

Ulianov "Penza State University of Architecture and Construction"  
Address: 440028, Russia, Penza, ul. Titova, 28  
Candidate. tehn. Associate Professor, Department "Motor transport"  
E-mail: aleksej-kurylev@mail.ru

## БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ И АВТОМОБИЛЬНЫЕ ПЕРЕВОЗКИ

---

П. ПРЖИБЫЛ, А. Н. НОВИКОВ, А. А. КАТУНИН

### АВТОМОБИЛЬНЫЕ ПЕРЕВОЗКИ КАК НАУКА

*В статье рассматривается вопрос, являются ли перевозки наукой. Уже много научных работ показали, что это действительно так. Большинство публикаций, которые процитированы в этой работе были выполнены в 90-е годы. В это время перевозки были расценены, главным образом, с точки зрения расположения и обслуживания транспортных сетей. Основная функция перевозок - перемещение масс по транспортной сети, которая является ориентированным графом. С современной точки зрения это должно обязательно определить новые целевые функции. Эти функции затрагивают экологию, безопасность и другие сферы. Кроме того, эта статья перечисляет также объекты, формируют понятие перевозки. Самым важным является объект Р, который осуществляет целевые функции. Третья часть статьи рассматривает искусственный интеллект как важный инструмент управления сложными транспортными системами.*

**Ключевые слова:** перевозки, наука, система, модель, включает в транспорт, искусственный интеллект.

#### INTRODUCTION

When considering the role of transportation in the society and whether there is a comprehensive science named as "transportation", we can quote Mark Twain, "Everybody talks about the weather, but nobody does anything about it," (ref. [1]) which has, to some extent, an analogy with transportation. Everybody knows that transportation exists and that it is a skeleton for development of the society and it is still not clearly defined and not even anchored as a specific scientific field.

The system of sciences can be divided into formal sciences, which include e. g. logic or philosophy and real-world sciences, which are natural, social and humanities, and furthermore to theoretical and practical sciences. The subgroup of application sciences is represented by technical sciences (mechanical engineering, civil engineering, informatics, ...), agricultural sciences, etc. The universe of discourse of the above mentioned technical sciences is relatively well-defined. Transport should belong to application sciences, but this does not corresponds to its interdisciplinarity - the design of means of transportation requires to knowledge of mechanical engineering, transportation networks are developed according to building standards and transportation networks are managed by methods based on theories derived from cybernetics. A branch is in general a part of objective reality created through practical experience. It can be concluded that the branch of transportation is usually regarded as a set of processes ensuring transfer of entities in time and space. The branch of transportation should be considered in a broader sense, as an essential part of life of society, as points this contribution, which argues with the idea of considering transportation branch discipline only from the point of view of its transferring functions.

A branch can be divided into a set of specific and well-identifiable objects. These objects already carry typical characteristics of processes based on them. Their interfaces are well defined, both within the branch, but also outside it. The existence of the branch, including the transportation one has been defined by prof. Vlček in 0 by four basic conditions:

1. There must exist a separability of objects the branch from objects of other branches;
2. There must exist and be developed a specific language and terminology clearly describing objects of the branch;
3. There must exist some specific methods to control processes of the objects in the given branch;
4. The branch must be accepted by social practice.

It seems that the key concept is an identity of the branch. Philosophically it means that there

is a set of characteristics that defines the entity/object so that it is distinguishable from branches. If we want to talk about the transportation as a branch, it is necessary to specify the identity of objects that constitute the branch of transportation distinguishing it from other branches.

### **TRADITIONAL CONCEPT OF THE TRANSPORTATION BRANCH AS A SCIENCE**

A number of authors tried to distinguish the transportation from other branches. Prof. Vlček [2] found three primary entities that could distinguish transportation branch. These entities are as follows:

- a) Entities which are relocated;
- b) Means enabling the relocation;
- c) Channels through which the relocation occurs.

In further reflections he concludes - case a) a given entity equipped with features of carrying is relocated. In case b) the dominant is means of transport, realizing the relocation in a given space, and in case c) a decisive is a path allowing a relocation. Prof. Vlček does not identify himself with above mentioned characteristics distinguishing clearly transportation and he introduces another distinguishing characteristic, which is the "site".

- d) A site that accepts inputs and assigns outputs

The transport system is then formed by cooperation sites participating in the process of relocation. Each site is influenced by supply of entities through certain channels, which changes its capacity and also its relocation functions. The result of these considerations is that the branch of transportation consists of elements, i. e. sites and their displacement functions.

The outcome of these considerations is that the branch of transportation is usually presented as an oriented evaluated diagram of transportation relations. These diagrams are then used for processes implementing different production functions. These production functions capture the relationship between sizes of inputs and outputs.

Prof. Mojžíš notes that "one of the attributes of the science of transportation is that it has its applications in social practice", ref. [3]. In his article the transportation technology is considered the core the scientific branch. Its task is to identify and describe the transportation processes, so that they could be effectively organized.

Prof. Mojžíš presents the **problems of organization and operation of transportation networks**, their optimization, as well as the appropriate allocation of servicing centres, regionalization of network, its capacity and traffic capacity.

Prof. Starý in the 80th dealt with transportation as a science and stated that the science of transportation exists in the form of technical, technological and social disciplines, but this distinction does not always corresponds to conditions imposed by objective laws of its technical, technological and social reality, ref. [4]. Prof. Starý states that a comprehensive theory of transportation should generalize relations of continuous development of technical, technological and social relations in the branch of transportation. The transportation in this work is generally regarded rather as a set of not only technical, but also of social processes.

Even the new (2007) edition of "The Theory of transportation systems", ref. [5], describes the transportation by the following definition: "Transportation is a purposeful change of place of persons or goods by a vehicle through a transportation channel."

It has been once again stated in [6] of the 2010 that "transportation refers to the movement of people and goods across nontrivial geographical distances, and its history is as old as our civilization." However it here also stated that it is not possible to extend indefinitely extensively transportation network (only in the U.S.A. there are 5.5 million kilometres of roads), but that it is necessary to look for new, innovative and creative ways of more efficient use of existing network. It also results in development of new methods of traffic control systems described in this contribution.

All of the above definitions and considerations are based on the fact that the branch of trans-

portation is based on a oriented diagram and its **primary function is transportation from point A to point B**. The concept of transportation science is limited mainly to optimization problems associated with the control and management of movements and servicing of elements and sets at the edges and nodes of transportation networks.

Moreover these definitions are almost always based on the fact that the transportation flows are stationary processes, which, though they may contain a stochastic component, but do not consider the excesses in form of step changes in traffic parameters. It could be any form of accidents or suddenly formed queues. However, these situations are, in relation to transportation, confronted almost on a daily basis. And for that, it is clear that the current consideration of transportation requires new approaches and new methods of investigation.

### GENERAL CONSIDERATION OF THE TRANSPORTATION SYSTEM

#### *Target functions of the transportation system*

The fundamental target function of transportation is undoubtedly realization of the transportation process in an optimal way, which means in minimal time and with minimal transportation costs. Target function  $\Psi_p$  may be expressed as a sum of weighted and normalized characteristic criteria that express the price as a qualitative index *PI* (Performance Index). Natural aspiration is to achieve minimum costs for transportation, which can be expressed as:

$$\Psi_p = \min(PI) = \sum_{i=1}^N (w_{pi} c_{pi} + w_{ti} c_{ti}) \cdot q_i, \quad (1)$$

where the transportation network is represented by  $N$  edges and optimized is the cost of movement  $c_p$  and the cost of lost time  $c_t$  in the entire network. Preference of a path is expressed weight coefficients  $w$  and the intensity transported entities at the  $i$ -th edge is denoted as  $q$

A typical example is optimization of the city transportation network consisting of controlled and uncontrolled transportation nodes. Price for the transportation within a network consisting of  $N$  edges is determined by the cost of one hour delay  $D$  and the cost of 100 stops  $K$ , see equation (1). A delay on each line is  $d$  [h] and is weighted by coefficient  $w_d$ . Number of vehicles stops (and restarts) on a line is given by coefficient  $k$  and influence of number of stops is rated by weight  $w_k$ . The choice of weights can favour e.g. to communications with preferences in the so called Green Wave.

$$\Psi_p \xrightarrow{F_p} \min(PI) = \sum_{i=1}^N \left( D \cdot w_{di} \cdot d_i + \frac{K}{100} w_{ki} \cdot k_i \right). \quad (2)$$

In this case the movement in the transportation network control system is controlled by macro-function  $F_p$ . The basic objective is to minimize losses for the movement of elements in the network by minimizing delays on individual lines and reduces number of stops and restarts of vehicles. It is therefore a process of traffic control in order to minimize financial losses for transportation.

For completeness, it may be noted that the target function  $\Psi$  is from the semantic point of view equivalent to so-called User Needs (*UN*), ref. [6]. The definition of user needs is based not only on the experience of experts, but the *UN* result also from a controlled discussion with users and they are therefore user-oriented. In order to preserve consistency of *UN*, a slightly formalized form of notation is used: "The user expects ...", "The user requests ..." etc. But in further text a symbolic notation in form of (macro) function will be used that is less formalized and their description may be broader.

In the modern concept of transportation, in addition to the basic transportation functions, appear also further demands on the transportation system. A typical example is the ecological transportation, which means that certain objects transportation processes are controlled in order to produce lower externalities and less effect on humans. A typical external costs incurred by the transportation process is the noise pollution near roads, environmental pollution, e.g. due to congestions or damage to the transportation infrastructure caused by overloaded vehicles. In this case the target function implements an optimization process

$$\Psi_{E \rightarrow}^{F_x} \text{opt}(L, E, W), \quad (3)$$

which consists in seeking balance between noise pollution  $L$ , environmental pollution  $E$  and damage to road surface  $W$  by applying control function of transportation, generally designated  $F_x$ . Each of these components can be influenced by various traffic engineering procedures. Reduction of noise exposure can be achieved, among other things, with help of function  $F_L$  controlling reduction of vehicles speed by using the variable road signs. Reduction of traffic congestions may be based on information systems that perform an information function  $F_E$  that timely redirects traffic flows out of areas of congestion. Damage to roads can be limited by application function  $F_W$  weight in motion. From the above it is clear that in this case the basic function of the transportation system, which is usually optimal transportation of entities is replaced by a purpose-built function preferring another goals.

Further requirement on the branch of transportation that might be in contradiction to minimization of transportation costs in the network is a requirement for safety of transport, i. e on minimizing of risks. In this case it is the maximum safety of passengers that is being looked for and the general form of the specific function is

$$\Psi_{R \rightarrow}^{F_R} \text{max}(S), \quad (4)$$

where the transportation control function  $F_R$  searches maximum security  $S$  for a given part or given entities of the transportation system. This can be achieved by a number of transportation-engineering measures, such as speed reduction, warning of drivers, applying cooperative systems etc.

Another quite general objective function may be also impact of warning information systems on the driver, which can result in a gradual change their driving habits and behaviour. Likewise, can be implemented functions that affect the demographic indicators by the fact that the transportation system and its functions affect the migration of the population. There are also needs giving to the relationship between economy of regions and the quality of transportation services in these units.

**Interim conclusion:** Unlike many definitions of the transportation branch, which are based on optimal relocation of elements in the transportation network, the current view of the transportation system generalises more in terms of the desired goal functions and/or user needs. These are numerous and depend on actors of the transportation process, which needs are required. A user needs may prefer security at the expense price for transportation, as well there can be a long-term goal based on transportation policy aimed at changing the behaviour of people in a particular region in favour of public transport, etc.

User requirements imposed on the transportation system are given by requirements of its actors, which must be known in advance. If the transportation science consists of common entities, there may be necessary various combinations of entities for implementation of different user needs. Fig. 1 shows  $UP1$  formed by entity  $E1$  and  $E2$ :  $UN1 \in (E1, E2)$ , similarly  $UN2 \in (E1, E3)$  a  $UN3 \in (E2, E4, E5, E6)$

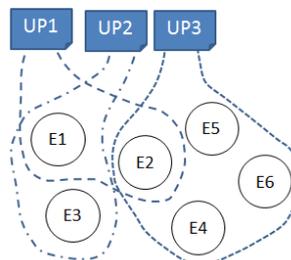


Figure 1 - Transportation entities and their allocation according user needs  
Categorization of transportation science

When considering whether the transportation is a science it is necessary to categorize, i. e. to define its environment, to find its internal structure and to search processes that are run over this structure and that are typical for transportation. The science of transportation is a unique object in the general universe, which means the world of objects, people, processes and knowledge. We can talk about transportation as a science as it can be delimited as a part of the objective reality of this universe, which is covered by transportation. Thus is created the branch of transportation.

The branch of transportation is further divided into objects. These may be numerous, but for basic categorization it is sufficient to define the following:

a) Object of transportation S ( $\Phi_S$ ): the object of transportation is goods, substrates and all material elements that have needed to transported between different locations. Objects of individual and public transportation are also people. Object of transportation is related to an object of transportation means and to transport network.

b) Object of transport means T ( $\Phi_T$ ): This object includes all means changing specific sources of energy to movement that allow transportation of these elements. In a broader sense also humans may belong to these objects.

c) Object of transport network N ( $\Phi_N$ ): This object endures the possibility of movement of certain entities in a specific environment. This environment can be a network of surface communications, railway infrastructure, environment of water and air transportation. By environment is meant not only the actual transport route, but also the infrastructure belonging to it.

Until now the enumeration contained a list of real physical objects, which are indeed an essential part of the transportation system, but in terms of the dynamics of a transport system they are passive elements of the transportation process. The above mentioned objects are approximately corresponding to description in [2]. Further object is already a new one. It is an object implementing processes that require relevant actors in the form of User needs:

d) Object for realization of target function P ( $\Phi_P$ ): This object creates also real physical components, but it implements abstract processes aimed generally at control transportation. The concept of transportation management is meant in a broader sense than the concept of traffic control.

Figure 2 is presents a basic categorization the transportation branch into objects, which applies to all modes of transportation (road, rail, water and air). In order to achieve the desired effect and target function  $\Psi_f$  it is necessary to implement a process that can be generally described by following equation

$$\Psi_f^T = f^T(\bar{X}, \Delta\bar{X}, w, \bar{U}, \Delta\bar{U}, T_1, N_m, S_p). \quad (5)$$

This equation can be regarded as a state equation of the transportation system that has input variables represented by vector  $\bar{X}$  and its changes  $\Delta\bar{X}$ . The output state of the system is given by vector of internal states  $\bar{U}$  and their changes  $\Delta\bar{U}$ . The system is mapped in discrete time instants  $T$ . Sensitivity at the input variable is set by weighting function  $w$ , whose values are usually set heuristically based on the targets and a degree of knowledge. The formula contains also a link to entities of transportation means  $T_1$ , to investigated the transport network  $N_m$  and to transported entity  $S_p$ . In this case, all the three mentioned objects are characterized by measurable parameters of individual entities.

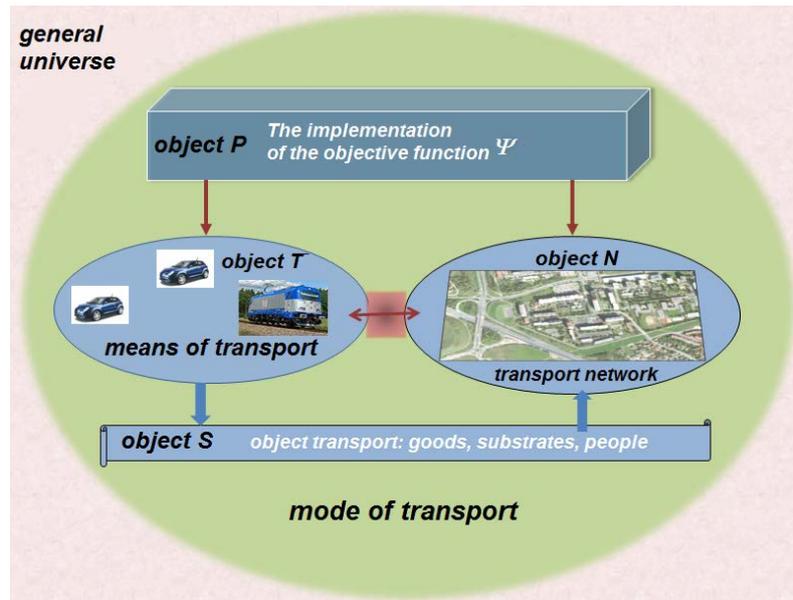


Figure 2 - Basic categorization of transportation

Unlike in [2], where the similar function  $f$  is considered as "hard" one, this function is considered as "soft" one, which is appropriate to implement by methods of artificial intelligence. Hard functions, for example in form of analytical expressions, are used for description of deterministic systems, which can also be transportation systems, but at the lowest hierarchical level of transportation control. A typical example might be the vehicle actuated intersection control. The extension of Green stage is based on measured time gap between vehicles. If the gap is less than given time interval ( $\sim 3$  s) the stage is finished, if it is shorter the stage is extended. This process can be described by simple logic equations. On a similar way can be solved a highly simplified case which can consider transportation network as an oriented graph with evaluated edges. Nevertheless, the transportation system is generally characterized as a complex multidimensional system, which implements output functions in a state space.

Need to use methods of artificial intelligence results also from the fact that variables in a transportation system include usually also stochastic components. There are also many special cases, to which it is difficult to control complex traffic systems by conventional algorithms. These systems are typically nonlinear, and to achieve a target function it is usually necessary to integrate several heterogeneous subsystems. A typical example of this integration is a management of traffic in city road network, based on a mathematical system for estimating the queue lengths. Length of the queues enters into two different sub-systems: intersection control and information system. Control system uses expert system and a set of expert rules. Control algorithms at intersections are influenced according these rules or there are activated information displays recommending drivers to follow another routes without delay.

## MODELING AND CONTROL OF TRANSPORTATION SYSTEMS

### *Modelling of complex transportation systems*

Accepting proposed classification Figure 2 shows three real objects (N, T, S) forming the basic branch of transportation. These three objects are characterized by attributes and measurable parameters. From the viewpoint of transportation, it is necessary to consider in equation (5), only such parameters that are specific for the particular solution or intended target function. In other words, only parameters directly affecting the process implemented by equation (5) are considered. In principle, this does not include attributes associated with construction of means of transport – these are solved by applied science of mechanical engineering and also any construction designs of transport networks, which are dealt with by civil engineers. On the other hand, the parameters that

directly affect the target function belong here. Thus, e. g., for the target function  $\Psi_P$  and road transportation it can be for the width of the road lane, road gradient, etc.

The branch of transportation is differentiated and identified in relation to other sciences by object  $P$ , which provides all the processes towards achieving the target function. As it is not just only the basic function of transportation (moving entity from A to B), but new set of broadly conceived target functions  $\{\Psi_1, \Psi_2, \dots\}, \dots$  creates more complex description of this object. In principle, the problem can be simplified by defining system  $S$  over the object which is composed as a set of elements  $A$  and their relations  $R$  [8]:

$$S = \{A, |R\}, \tag{6}$$

where  $A$  is a set of  $N$  elements

$$A = \{a_1, a_2, a_3 \dots a_n; n \in N\} \tag{7}$$

and  $R$  is a set of relations among elements

$$R = \{r_{ik} | r_{ik} = (a_i, a_k), a_i, a_k \in N\}. \tag{8}$$

If it is required to control the transportation system, it is necessary first to design its model. The model can be either formalized or abstract one. To formalized models belong the mathematical ones. When modelling the operation of vehicles ( $\Phi_T$ ) on a transportation network ( $\Phi_N$ ) it is advantageous to apply deterministic mathematical models describing the relationship between transportation variables - intensity  $q$ , velocity  $v$  and density  $k$  - in the form of non-linear analytical expressions, and graphical representation in form of so called fundamental models. To describe the frequency of vehicles, gaps between vehicles or distribution of speed various forms of stochastic models are used. In this case, the Poisson or binomial, negative exponential and normal distributions. When classifying mathematical models further, there are two basic categories: simulation and analytical models. Analytical models in transportation are further divided into deterministic and probabilistic, linear and nonlinear, static and dynamic, etc.

In the same way, but in form of a physical model, it is possible to describe the propagation of exhaust emission in tunnels due to vehicles. The physical model is a mathematical model working with variables that have dimension of physical quantities. In Fig. 3 are among formalized models also included demographic models that use various statistical methods.

The outputs of these partial models constituting the lowest hierarchical level of all models can be apply for control of a transportation process directly. However, in principle, their outputs create inputs for abstract models, which implementing a target function, see the arrow to the abstract model in Figure 3.

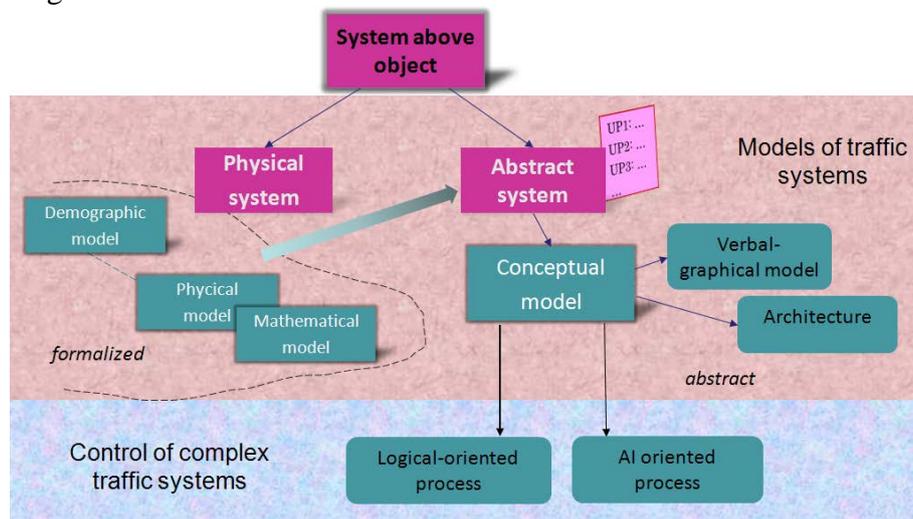


Figure 3 - System modeling on an object – models categorization

In order create a general model, i.e. of a complex transportation system, it is assumed that an abstract system is defined on object  $\Phi_P$ , whose goal is to implement the user needs UP, Figure 2. These needs are generally described by equation (5). The first step in modelling and following implementation of a specific system controlling a complex transportation process is development of a conceptual model, which can simply describe, in form of a descriptions or verbal-graphic presentation of all goals (User needs), for the fulfilment of which is the system designed and to describe the basic idea on which the system is based. The concept contains basic requirements for the transportation management, increase of security, description of the subsystems, functional requirements, description of internal and external links. Conceptual model facilitates communication with actors of the process and it is of great importance as it subsequently allows, after implementation and during operation, to determine whether the project objectives have been achieved.

In order create a general model, i.e. of a complex transportation system, it is assumed that an abstract system is defined on object P, whose goal is to implement the target function  $\Psi$ . The function is generally described by equation (5). The first step in modelling and following implementation of a specific management system of a complex transportation process is development of a **conceptual model**. It has describe on simple way, in form of a verbal descriptions or verbal-graphic presentation all goals (User needs), for the fulfilment of which is the system designed and to describe the basic idea on which the system is based. The concept contains basic requirements for the transportation management, increase of security, description of the subsystems, functional requirements and description of internal and external interfaces. Conceptual model facilitates communication with actors of the process and it is of great importance as it subsequently allows, after implementation and during operation, to determine whether the project objectives have been achieved.

Processes forming the target function should be described relatively in detail. It is advantageous to use a model of system architecture. The architecture is widely used to describe transport telematics systems because of their complexity. In this paper, it is recommended to use reasonably well-established procedures for the description of ITS systems also for generic dynamic transport system managing traffic. The architecture is usually divided into functional, physical, communication, organizational architecture 0. Because the main aim of processes realized by object P is some form of traffic management the basis is description of functions implementing this process It is done by hierarchical functional architecture which contains functions and their relations. Figure 4 depicts three subsystems  $S_A^T, S_B^T, S_C^T$  associated on object P to achieve the target function  $\Psi$ .

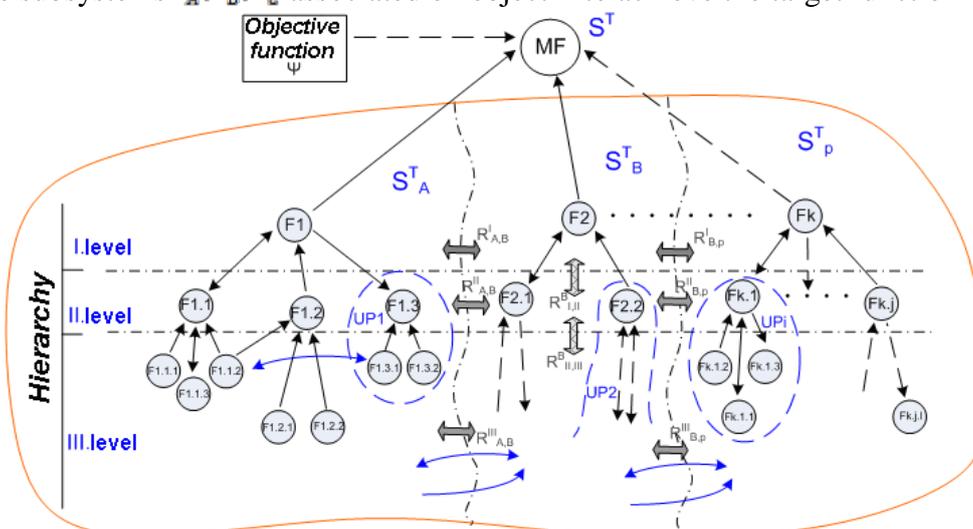


Figure 4 - Hierarchical division of functions of three associated subsystems Management of complex transportation systems

The hierarchy of traffic management systems can be divided into several levels. The tasks at the lowest level can be usually converted into algorithms using the classical binary logic. In such a way works e.g. intersection control, whose schematic diagram is shown in Figure 5. Symbol *O* in the figure denotes the object of control, i.e. transportation node and symbol *S* denotes the control system. The system controls the traffic flow, respectively duration of Green stage, based on the measured time gaps between vehicles at respective branch of the intersection. A flowchart with different logical conditions enables to control sufficiently this kind of traffic nodes

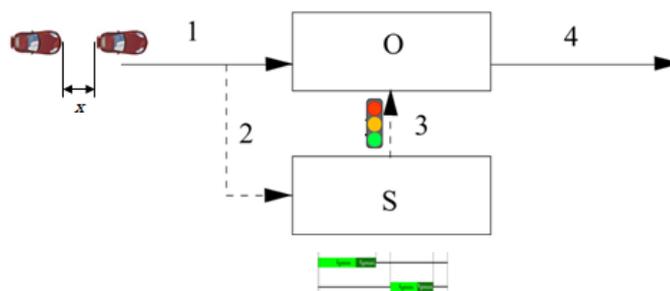


Figure 5 - Principle of dynamic control

As the figure shows, there is no feedback, which would correct eventual disturbances that could influence the object of control (traffic accident, congestion). In this process and most of other ones the **traffic control is a control of traffic according to a pre-processed model**. There is a fundamental distinction from the control of technological equipment. A control is generally a purposeful influencing of controlled object *O* in order to achieve the required measures of the control even under disturbances and adverse conditions. The basis of this type of control is requirement of realization of desired output, which is ensured by supplying feedback to the control system *S* output values and the control system then corrects the process according to these data.

Basic difference between traffic control systems and the feedback control systems is that at the beginning of an attempt to control the transportation system a model has to be elaborated. Its rightness and conformity with reality, sensitivity to change of input parameters, i.e. resistance to disturbances, influences the result of the control. Most transport systems, which have pseudorandom input variables of transportation flow, work in this manner. They are therefore not controlled in the sense of feedback control, but they are controlled by a model. They also work by optimizing transportation according to various parameters considered in the model, but do not regulate any desired value. Thus conceived control procedure does not put high requirements on the quality of the model only, but there is a need to check at regular time intervals the conformity of the model with the real transportation process and to correct deviations in the model.

The above mentioned form of traffic control used a model with fixed parameters and it is not able to react to changes that might occur in traffic, when they were not considered in advance and were not elaborated into model. A higher form of transportation control is represented by **adaptive system**, see Figure 6. According input parameters is controlled object *O* through link (4) which is the same procedures as in Figure 5. In addition, an optimization criterion is monitored and if it is found that the system *S* does not control on optimal way and the quality of transportation in the network deteriorates, the internal control parameters of system *S* are corrected (link 3).

On Figure 6 (right) are shown the results of the automated city area control. The adaptive control system changes the cycle time  $T_c$  of intersections connected to the control centre. The diagram shows that due to a low traffic flow at night (10:00 p.m. to 7:00 a.m.) is adjusted low cycle time 65 s. In the morning and midday hours will the cycle rise to about 85 s and during the evening rush hours will the cycle increase up to 120 s.

At closer examination of road transport it can be concluded that there are only three basic possibilities how to control the traffic flows:

1. Control by stopping: vehicles are stopped by light signals (Red) or by variable traffic signs;

- a. Disadvantage of stopping vehicles is the lost of kinetic energy that has to be obtained again at increased costs for fuel consumption and increased emissions.
- 2. Changes of the traffic parameters: speed of traffic flow or possibility of overtaking of lorries are usually changed by variable traffic signs
  - a. Reduction of speed has positive effect and leads to higher capacity of the road.
- 3. Control by information and by navigation: the drivers are either advised on possibility to use alternative roads or they are directly navigated to diversion routes;
  - a. Information system is used optionally, based on drivers' experience. Its efficiency depends to a high degree on its credibility.

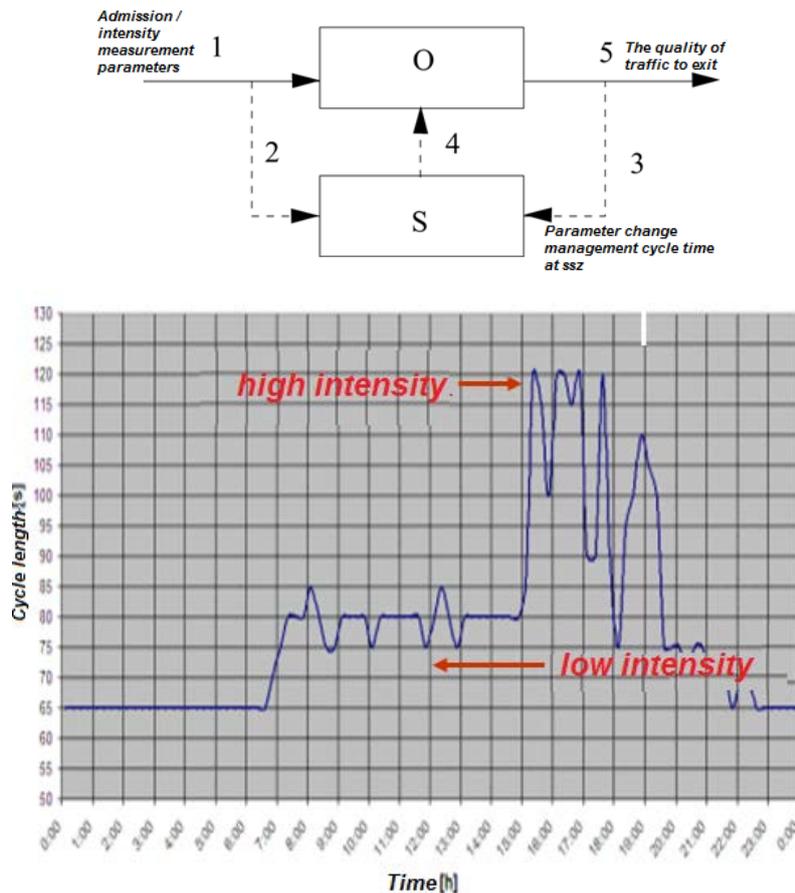


Figure 6 - Principle of adaptive control (left); adaptive change of parameter  $T_c$  in relation to load of the network (right)

For the implementation of user needs specified in Sec. 3.1 "Target function of the transport system", when the combination of the above methods of control object  $O$ , is not sufficient in most cases strictly logically oriented management procedures based on binary logic, but it is necessary to apply artificial intelligence (AI). These find a significant application when solving non-stationary behaviour of a transport system. The transportation models work in general with stationary or pseudo-stationary models (adaptive control). In addition, the systems present a number of non-stationary characteristics due to traffic accidents. These complex conditions would certainly be solved optimally by human being and control systems based on AI are utmost trying to simulate the human beings.

Control methods based on **artificial intelligence** are discussed in many publications, for example the review of methods is in [10] or theory of AI [11]. From the available methods the most important application in the process of traffic management are various forms of expert systems and increasingly also used methods based on the description of transport in space. Other methods, such

as neuron networks, genetic algorithms and knowledge mining in databases are more often applied in the process of data analysis and model creation.

### **MODELLING AND CONTROL OF COMPLEX SYSTEMS - SUMMARY**

The notion of a complex transportation system does not only mean that it is a complex, or extensive system, but also a transportation system consisting of subsystems whose inputs are also non-stationary events which have to be automatically responded. Non-stationary traffic situations differ from normal traffic conditions. This may be a situation where the transportation network approaches to saturation and queues are formed, it may be also a traffic accident or other sudden excesses. The first premise in the design of a complex transportation control network is therefore the need to address not only "static" traffic situations, but also an extraordinary events.

Furthermore, the possibilities and means by which it is possible manage transportation are different, and their effect is completely different, see the list in chapter 4. Complex transportation systems combine functionalities of various subsystems to achieve the desired target function. To use standard flowcharts and binary logic is impossible in this complex environment and it is necessary to apply methods of artificial intelligence (AI).

Figure 7 shows a schematic diagram that describes the entire product chain starting with goals setting, through its design, implementation and feedback of achieved goals. So what is the concept of transportation systems control? In order to define area  $O$  that has to be controlled. Then it is necessary to define the final reason for which is/will be system  $S$  installed - which is the target function  $\Psi$ , that must be achieved if we could consider that the system is successfully implemented and operated.

The right side of the Fig. 7 shows the design process of the common transportation system, as described in this contribution. The design is based on the target function as defined by a user, or by a team of actors who have a relation to the system. A successful application of the transportation system should be based on an appropriate model which can be system architecture. Architecture is usually elaborated in the form of a global model. This model is generic one, but well captures the principal areas of interest and a mode of achieving required objective. Model is usually not related to a specific implementation. The research results applied in practice newly introduce process-oriented domain architecture [6]. It is a layer architecture where the number of layers determines the requirement on a detail of solution. Domain architecture is usually tied to a concrete territory to be solved, but there is also an idea about technologies that may be applied and thus it goes into a greater detail compared to a global architecture. Domain architecture has been for example successfully applied for tunnel systems to solve the problem of integration multiple heterogeneous subsystems (ventilation, lighting, safety, ...).

The domain architecture is still "only" a model of a system and a detailed design of the system in form of a project follows. The project of such complex systems cannot be based only on regulations and standards for design of buildings and electrical equipments. A new methodology for project elaboration is proposed in [6] using object-oriented techniques and special software tools. The result is a detailed and controllable project, which can be also used for programming the facilities. At this stage it is necessary to comply the project with all valid standards relating to the design and operation of transportation systems.

The operation of the system is shown in the left part of Fig. 6. System means a comprehensive transportation system, with clearly marked limits and defined links to the outer world. Collected traffic, weather and other data enter into the Data model. Creation of this model is essential for control the entire system. As already mentioned, transportation systems are primarily controlled by models. At the same level of models is the Status model. The introduction of a Status model for solution of complex transportation situations is an essential contribution to the management of these systems. The Status model enables to solve traffic problems that are necessarily to handle ad-hoc more or less successfully by dispatchers.

Processed transportation data, or outputs of the Status model enter into the traffic management model using AI. The figure also indicates the arrow "checking", which indicates that the

transportation system, respectively the parameters must be confronted throughout its lifetime with the target function for whose realization the system was created. The whole proposed system is therefore a generic off-line feedback system - the user will propose the target function, and these requirements are entering into the project and consequently also into the realization. After putting the system into operation and its setting-up the results are permanently monitored and it is checked whether the desired function was achieved. If not, it is necessary to examine the operation of the system - data collection, processing and process control. If there is no error here, it is necessary to come back to the design of the system and make adjustments to the project, such as adding additional devices or subsystems.

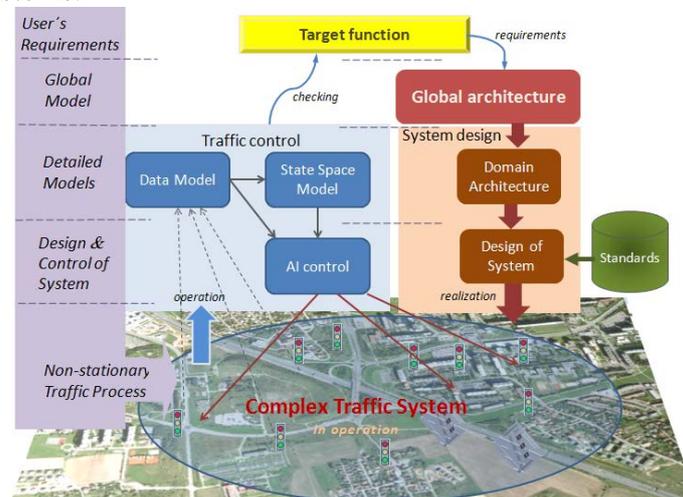


Figure 7 - Structural schema of areas of solved problems

## CONCLUSIONS AND FURTHER STUDIES

The article examines the issue of whether the transportation is a science. Already a number of previous works ([1] - [4]) showed that this is so. For existence of any branch, including the branch of transportation are known some criteria. Most of the articles that are cited in this work and were available originate in the 90th. At that time the transportation was regarded mainly in terms of lay-out of and servicing of transportation networks. The fundamental function of transportation was moving mass in the transportation network, which was conceived as an oriented graph. This definition is also supported by two publications from 2005 and 2010 ([5], [6]).

From the modern point of view at transportation and especially in relation to what should the transportation ensure, the requirements on transportation have augmented. Therefore, there denominated new target functions, which in addition to the “traditional” transportation function  $\Psi_P$  ensure optimal distribution of externalities  $\Psi_E$  or maximize safety for users of transportation systems  $\Psi_R$ . There may be a number of these functions. The term “function” is often replaced by the term “User need”. This is the requirement of a potential users in the form of clearly structured statements expressing in explicit form what the system has to do. The present view shows that the function of transportation even in relation to examination of its scientific nature goes largely beyond definitions referring predominantly to its transportation function.

Furthermore, this contribution enumerates also objects, constructing the branch of transportation. Except for explicit objects (Transported element S, Means of transportation T, Transportation network N) is the most important the object P that implements the target functions. These functions are more or less related to so called management of transportation. It is pointed out that the system P has a higher level of abstraction and wider functionality than it has been until now assumed. For its creation and subsequent implementation it is necessary to create a conceptual model of transportation management, for example in the form of graphic-verbal representations and architecture. This means that for general descriptions of complex transportation systems, principles

known from modelling of transportation telematics systems are used. Implementation of the system is possible only on basis of a detailed model. The science of transportation must take into account the complexity of the issue, which can be modelled based on a number of formalized and abstract models.

The third part of this contribution deals with the implementation of target functions and thus with transport management. It is shown that transportation systems are controlled by models and not as a feedback systems. It is clear that each model has its limitations in case of an out of-tolerance-change of input parameters. In certain cases it is possible to find a solution in the form of adaptive control that can accommodate control parameters according input parameters.

Until now, the transportation system has been regarded as a pseudo-stochastic system. In complex systems, however, there are many extraordinary traffic situations that ordinary algorithms fail to solve and that it is necessary to apply methods of artificial intelligence. The same AI systems are also successfully used for transportation control using alliance of several subsystems. The science of transportation thus expands the research of large systems and methods for their control using methods of artificial intelligence.

Further direction of effort to define the science of transportation should take into account the current civilization problems that are connected with the transportation.

## REFERENCES

1. <http://quotationsbook.com/quote/41294/#sthash.hZB835ou.dpuf>.
2. Vlček J.: Nástin systémové teorie dopravy (Outline of the theory of transport system, Konference o dopravě.
3. Mojžíš V.
4. Starý J.: Teoretické základy dopravy, Společné vědecké pracoviště pro bezpečnost a spolehlivost dopravních systémů ČSAV a FMD, 24 str., 1985.
5. Pastor O., Tuzar A.: Teorie dopravních systémů, ASPI, 2007, ISBN 978-80-7357-285-3, str. 312.
6. Gosh S., Summit T.: Intelligent Transport Systems – Smart and green infrastructure design, Taylor and Francis Group ISBN 978-1-4398-3518-0, 2011, pp. 211.
7. Příbyl P., Systémový projekt dopravně-telematických aplikací – Metodický pokyn, FD ČVUT, 2008.
8. Votruba Z., Kalikova J., Kalika M.: Systémová analýza (Systems Analysis), ČVUT, Praha, 2008, ISBN 978-80-01-04081-2, pp. 192 (in Czech).
9. Jesty, P. H., J. F. Gaillet, et al. (1998). CONVERGE - TR 1101 - Guidelines for the Development and Assessment of Intelligent Transport System Architectures. [ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/telematics/docs/tap\\_transport/converge\\_dsa2.3.pdf](ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/telematics/docs/tap_transport/converge_dsa2.3.pdf).
10. Martin G., Toledo F.: Knoeledge-based systems for road network traffic control, 12<sup>th</sup> International conference Artificial Intelligence, Avignon, June, 1992.
11. Dean T., Allen J., Aloimonos Y.: Artificial intelligence – Theory and Practice, Addison Wesley Publishing company, ISBN 0-8053-2447-6, pp. 562.
12. Пржибыл, П. Контроль скорости на участке как эффективный инструмент улучшения дорожной безопасности [Текст] / П. Пржибыл // Мир транспорта и технологических машин. - № 4(43). – 2013. – С. 69-77.
13. Новиков, А. Н, Модернизация улично-дорожной сети города Орла (на примере Наугорского шоссе) [Текст] / А. Н. Новиков, Ю. Н. Баранов, А. А. Катунин, Д. Д. Матназаров // Мир транспорта и технологических машин. - № 2(45). – С. 86-97.

### **Павел Пржибыл (Pavel Příbyl)**

Пражский Высший технический университет

Профессор, заведующий кафедрой «Системы управления движением» факультета «Транспорт»

Адрес: 110 00 , Прага, ул. Вашингтонова 25

E-mail: info@gostudy.cz

### **Новиков Александр Николаевич**

ФГБОУ ВПО «Государственный университет-УНПК»

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

Д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Сервис и ремонт машин»

E-mail: srmostu@mail.ru

### **Катунин Андрей Александрович**

ФГБОУ ВПО «Государственный университет-УНПК»

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

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

E-mail: katunin57@gmail.com

P. PŘIBYL, A. N. NOVIKOV, A. A. KATUNIN

### TRANSPORTATION AS A SCIENCE

*The article deals with the issue of whether the transportation is a science. Already a number of previous works showed that this is so. Most of the articles that are cited in this work and were available originate in the 90th. At that time the transportation was regarded mainly in terms of lay-out of and servicing of transportation networks. The fundamental function of transportation was moving mass in the transportation network, which was conceived as an oriented graph. From the modern point of view it is necessarily to define new target functions. These functions respect ecological, safety or another targets. The present view shows that the function of transportation even in relation to examination of its scientific nature goes largely beyond definitions referring predominantly to its transportation function. Furthermore, this contribution enumerates also objects, constructing the branch of transportation. Except for explicit is the most important the object P that implements the target functions. Third part of article discuss artificial intelligence as one important tool for management of complex traffic systems.*

**Keywords:** transportation, science, system, model, branche of transport, artificial intelligence.

### BIBLIOGRAPHY

1. <http://quotationsbook.com/quote/41294/#sthash.hZB835ou.dpuf>.
2. Vlček J.: Nástin systémové teorie dopravy (Outline of the theory of transport system, Konference o dopravě.
3. Mojžíš V.
4. Starý J.: Teoretické základy dopravy, Společné vědecké pracoviště pro bezpečnost a spolehlivost dopravních systémů ČSAV a FMD, 24 str., 1985.
5. Pastor O., Tuzar A.: Teorie dopravních systémů, ASPI, 2007, ISBN 978-80-7357-285-3, str. 312.
6. Gosh S., Summit T.: Intelligent Transport Systems – Smart and green infrastructure design, Taylor and Francis Group ISBN 978-1-4398-3518-0, 2011, pp. 211.
7. Příbyl P., Systémový projekt dopravně-telematických aplikací – Metodický pokyn, FD ČVUT, 2008.
8. Votruba Z., Kalikova J., Kalika M.: Systémová analýza (Systems Analysis), ČVUT, Praha, 2008, ISBN 978-80-01-04081-2, pp. 192 (in Czech).
9. Jesty, P. H., J. F. Gaillet, et al. (1998). CONVERGE - TR 1101 - Guidelines for the Development and Assessment of Intelligent Transport System Architectures. [ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/telematics/docs/tap\\_transport/converge\\_dsa2.3.pdf](ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/telematics/docs/tap_transport/converge_dsa2.3.pdf).
10. Martin G., Toledo F.: Knowledge-based systems for road network traffic control, 12<sup>th</sup> International conference Artificial Intelligence, Avignon, June, 1992.
11. Dean T., Allen J., Aloimonos Y.: Artificial intelligence – Theory and Practice, Addison Wesley Publishing company, ISBN 0-8053-2447-6, pp. 562.
12. Przhibyl, P. Kontrol` skorosti na uchastke kak effektivnyy instrument uluch-sheniya dorozhnoy bezopasnosti [Tekst] / P. Przhibyl // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - № 4(43). - 2013. - S. 69-77.
13. Novikov, A. N., Modernizatsiya ulichno-dorozhnoy seti goroda Orla (na primere Naugorskogo shosse) [Tekst] / A. N. Novikov, YU. N. Baranov, A. A. Katunin, D. D. Matnazarov // Mir transp`orta i tekhnologicheskikh mashin. - № 2(45). - S. 86-97.

#### **Pavel Příbyl**

Higher Technical University Prague  
Professor, head of "motion control systems" faculty "transport"  
Address: 110 00, prague, str. Vashingtonova 25  
E-mail: info@gostudy.cz

#### **Novikov Alexander Nikolaevich**

FGBOU VPO "State university-UNPK"  
Address: 302030, Russia, g. Orel, Moskovskaya St., 77  
Dr.Sci.Tech., professor, department chair "Service and repair of cars"  
E-mail: srmostu@mail.ru

#### **Katunin Andrey Aleksandrovich**

FGBOU VPO "State university-UNPK"  
Address: 302030, Russia, g. Orel, Moskovskaya St., 77  
Cand.Tech.Sci., associate professor "Service and repair of cars"  
E-mail: katunin57@gmail.com

УДК 630.383

С. В. ДОРОХИН

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ДОПУСТИМОЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПО КРИВОЛИНЕЙНОЙ ТРАЕКТОРИИ

*К настоящему времени нет достаточно надежных методов расчета допускаемых скоростей движения для участков с ограниченной видимостью. Существующие теоретические расчеты скоростей движения на участках горизонтальных кривых разработаны для нужд конструирования и расчета автомобилей и не могут быть использованы для нормирования. При расчете скоростей значения коэффициента сцепления определены при полной блокировке колеса, что не соответствует действительным условиям торможения из условия устойчивости автомобиля в пределах полосы движения. В статье предлагается рассчитывать допускаемую скорость движения автомобиля для участков горизонтальных кривых на лесных автомобильных дорогах исходя из требования остановки автомобиля в пределах зоны видимости, без потери устойчивости, с учетом допущений: в процессе торможения движение остается управляемым, водитель удерживает автомобиль в пределах полосы движения; величина угловой скорости поворота управляемых колес мала; полностью используются тормозные свойства наименее нагруженного колеса; коэффициент сопротивления вводу шин мало зависит от изменения нагрузок на шину; сопротивление качению мало.*

**Ключевые слова:** транспорт; безопасность; допускаемая скорость; горизонтальная кривая; вертикальная кривая; тормозные свойства; автомобиль.

Постановка проблемы. Существующие методы повышения безопасности движения не в полной мере отвечают требованиям современного движения на лесных автомобильных дорогах, то есть снижению числа дорожно-транспортных происшествий и экономичности автомобильных перевозок. Аварийность на сложных участках автомобильных дорог, в частности, на участках с ограниченной видимостью в плане и профиле сохраняется, а средние скорости транспортного потока имеют тенденции к снижению [3,4,5,6].

Применение тех или других методов не всегда оправдывается экономическими соображениями. Так, например, планировочные мероприятия экономически целесообразно применять при интенсивности движения 7000 авт/сут [1,2,7,9].

Нормирование скорости путем ограничения ее верхнего предела оправдывает себя только в том случае, если ограничение скорости соответствует транспортно-эксплуатационным параметрам участка дороги, где оно вводится, в противном случае оно перестает играть свою роль.

К настоящему времени нет достаточно надежных методов расчета допускаемых скоростей движения для участков с ограниченной видимостью. Существующие теоретические расчеты скоростей движения на участках горизонтальных кривых разработаны для нужд конструирования и расчета автомобилей и не могут быть использованы для нормирования.

Кроме того, входящие в формулы расчета скоростей значения коэффициента сцепления определены при полной блокировке колеса, что не соответствует действительным условиям торможения из условия устойчивости автомобиля в пределах полосы движения [3,19,20].

Целью исследования является усовершенствование способов повышения безопасности движения на сложных участках лесных автомобильных дорог.

Для достижения поставленной цели необходимо разработать методику расчета допускаемых скоростей движения для участков горизонтальных кривых.

Допустимую скорость движения на участке с криволинейной траекторией будем выбирать исходя из требования остановки автомобиля в пределах зоны видимости без потери устойчивости. При расчете примем следующие допущения:

1 В процессе торможения движение остается управляемым, водитель удерживает автомобиль в пределах полосы движения. Будем считать, что радиус поворота на всем участке торможения остается постоянным [15,16,17,18].

2 Величина угловой скорости поворота управляемых колес мала.

3 Водитель осуществляет торможение таким образом, что полностью используются тормозные свойства наименее нагруженного колеса [12,13,14].

4 Коэффициент сопротивления уводу шин мало зависит от изменения нагрузок на шину.

5 Сопротивление качению мало [4,8,10,11].

Исследовательская часть. Из теории автомобиля известно [1], что при криволинейном движении ускорение центра тяжести автомобиля может быть найдено по выражению:

$$j_y = \frac{v^2}{R} + \frac{b}{R} \frac{dv}{dt} + b \frac{v}{L} \frac{d\theta}{dt}, \quad (1)$$

$$j_x = \frac{dv}{dt} - b \frac{v^2}{R^2}, \quad (2)$$

где  $j_x, j_y$  - соответственно ускорения, действующие в поперечной и продольном направлениях;

$v$  - мгновенная скорость автомобиля;

$R$  - радиус поворота;

$L$  - база автомобиля;

$b$  - расстояние от центра тяжести до оси заднего моста;

$\theta$  - угол поворота управляемых колес.

Поперечные реакции (рис. 1), действующие на передний и задний мосты автомобиля, определяются из выражения:

$$y_1 = \frac{M_a}{L} \left[ \frac{b}{R} v^2 + \frac{b^2 + \rho^2}{R} \frac{dv}{dt} + \frac{v}{L} (b^2 + \rho^2) \frac{d\theta}{dt} \right], \quad (3)$$

$$y_2 = \frac{M_a}{L} \left[ \frac{a}{R} v^2 + \frac{ab - \rho^2}{R} \frac{dv}{dt} + \frac{v}{L} (ab^2 - \rho^2) \frac{d\theta}{dt} \right], \quad (4)$$

где  $M_a$  - масса автомобиля;  $a$  - расстояние от центра тяжести до оси переднего моста;

$\rho$  - радиус инерции автомобиля относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести.

В этих выражениях  $\frac{dV}{dt} > 0$ , если происходит ускоренное движение автомобиля.

При криволинейном движении автомобиля под действием поперечной силы кузов автомобиля поворачивается относительно оси крена на угол  $\psi$ . Угол крена кузова может быть найден из выражений:

$$\psi = \frac{M_{\Pi} j_y h_{\psi}}{(C_{\psi_1} + C_{\psi_2}) - M_{\Pi} g h_{\psi}}, \quad (5)$$

где  $M_{\Pi}$  - подрессоренная масса;

$h_{\psi}$  - плечо крена (расстояние от центра тяжести подрессоренной массы до оси крена);

$C_{\psi_1}, C_{\psi_2}$  - угловые жесткости передней и задней подвески.

При приближенных расчетах в знаменателе выражения (5) можно не учитывать второе слагаемое. Тогда угол крена определится по выражению:

$$\psi = \frac{M_{\Pi j_y} h_{\psi}}{C_{\psi_1} + C_{\psi_2}}. \quad (6)$$

Вследствие крена кузова реакции на внутренних колесах уменьшается, а на внешних возрастает на величину  $\Delta R_z$

$$\Delta R_{z_1} = \frac{C_{\psi_1} \psi}{B_1}, \quad \Delta R_{z_2} = \frac{C_{\psi_2} \psi}{B_2}, \quad (7)$$

где  $B_1, B_2$  - колеи переднего и заднего мостов автомобиля соответственно.

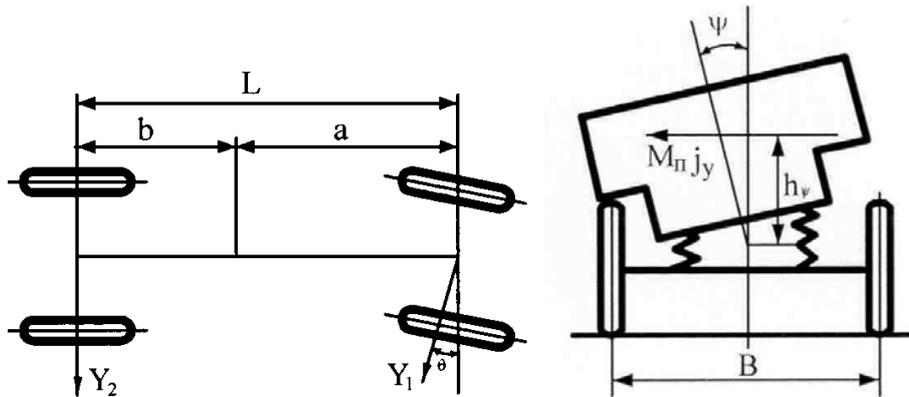


Рисунок 1 – Схема сил, действующих на автомобиль при его движении по дороге

Подставляя (6) в (7) имеем

$$\Delta R_{z_1} = \frac{C_{\psi_1}}{C_{\psi_1} + C_{\psi_2}} M_{\Pi j_y} \frac{h_{\psi}}{B_1},$$

$$\Delta R_{z_2} = \frac{C_{\psi_2}}{C_{\psi_1} + C_{\psi_2}} M_{\Pi j_y} \frac{h_{\psi}}{B_2}.$$

Нормальные реакции на внутренних колесах

$$R''_{z_1} = \frac{R_{z_1}}{2} - \Delta R_{z_1}, \quad (8)$$

$$R''_{z_2} = \frac{R_{z_2}}{2} - \Delta R_{z_2}$$

Реакции  $R_{z_1}$  и  $R_{z_2}$  определяются по выражениям

$$R_{z_1} = M_a \frac{gb + j_x h_g}{L}, \quad (9)$$

$$R_{z_2} = M_a \frac{ga - j_x h_g}{L},$$

где  $h_g$  - высота центра тяжести автомобиля.

$$R''_{z_1} = \frac{M_a}{2L} (gb + j_x h_g) - \alpha_1 M_{\Pi j_y} \frac{h_{\psi}}{B_1}, \quad (10)$$

$$R''_{z_2} = \frac{M_a}{2L} (ga - j_x h_g) - \alpha_2 M_{\Pi j_y} \frac{h_{\psi}}{B_2},$$

где  $\alpha_1 = \frac{C_{\psi_1}}{C_{\psi_1} + C_{\psi_2}};$

$$\alpha_2 = \frac{C_{\psi_2}}{C_{\psi_1} + C_{\psi_2}}.$$

Продольная составляющая горизонтальной реакции дороги внутреннего колеса, которая может быть использована для торможения, находится из соотношений:

$$\begin{aligned} \psi R''_{z_1} &= \sqrt{(y''_1)^2 + (P''_{T_1})^2}, \\ \psi R''_{z_2} &= \sqrt{(y''_2)^2 + (P''_{T_2})^2}. \end{aligned} \quad (11)$$

Если коэффициент сцепления на дороге меньше расчетного по оптимальному торможению, то ограничение интенсивности торможения происходит по опасности потери управляемости автомобиля вследствие юза передних колес. Рассмотрим процесс торможения в этом случае. Суммарная тормозная сила, развиваемая автомобилем в этом случае, будет:

$$P_T = P_{T_1} + P_{T_2} = 2P''_{T_1} + \frac{2P''_{T_1}}{\beta_T} = 2P''_{T_1} \left( 1 + \frac{1}{\beta_T} \right), \quad (12)$$

где  $\beta_T$  - коэффициент распределения тормозной силы.

$$\beta_T = \frac{P_{T_1}}{P_{T_2}}.$$

Замедление автомобиля связано с тормозной силой соотношением

$$-\frac{dv}{dt} = M_a^{-1} P_T. \quad (13)$$

Тогда ускорение, направленное вдоль оси автомобиля  $j_x$  определится выражением

$$j_x = - \left( M_a^{-1} P_T + b \frac{v^2}{R^2} \right) M_a.$$

Знак (-) указывает, что сила  $P_T$  направлена в сторону, противоположную движению автомобиля, обычно слагаемое  $b \frac{v^2}{R^2}$  значительно меньше продольного ускорения. Поэтому при приближенных расчетах можно принять

$$P_T = j_x M_a. \quad (14)$$

В данном выражении знак силы принят положительным, так как направление силы учтено в формулах, определяющих перераспределение нормальных реакций при торможении. Тогда

$$P''_{T_1} = \frac{j_x M_a}{2 \left( 1 + \frac{1}{\beta_T} \right)}. \quad (15)$$

Если принять условие, что отношение продольной и поперечной составляющих у внутреннего переднего колеса определяется из выражения  $\gamma_1 = \frac{y''_1}{P''_T}$ , то получим уравнение для нахождения допустимого замедления автомобиля

$$R''_{z_1} = \frac{1}{\varphi_1} \frac{j_x M_a}{2 \left( 1 + \frac{1}{\beta_T} \right)} \sqrt{1 + \gamma_2^2}. \quad (16)$$

$$\frac{M_a}{2L} (gb + j_x h_g) - \alpha_1 M_{\Pi} j_x \frac{j_{\psi}}{B_1} = \frac{M_a}{\varphi} \frac{j_x \sqrt{1 + \gamma_1^2}}{2 \left(1 + \frac{1}{\beta_T}\right)}.$$

После преобразований получим

$$j_x = 2 \left( \alpha_1 \frac{M_{\Pi}}{M_a} j_y \frac{h_{\psi}}{B_1} - \frac{gb}{2L} \right) \left( \frac{h_g}{L} - \frac{\sqrt{1 + \gamma_1^2}}{\varphi_v \left(1 + \frac{1}{\beta_T}\right)} \right)^{-1}. \quad (17)$$

Аналогичным образом, если принять условие, что ограничение тормозной силы происходит по блокировке колес заднего моста, получим

$$\begin{aligned} P_T &= P_{T_1} + P_{T_2} = 2P''_{T_2} + 2\beta_T P''_{T_2} = 2P''_{T_2} (1 + \beta_T), \\ P_{T_2} &= \frac{j_x M_a}{2(1 + \beta_T)}, \quad j_2 = \frac{Y_2''}{P_{T_2}}, \\ R''_{z_2} &= \frac{j_{x_z} M_a}{24(1 + \beta_T)} \sqrt{1 + \gamma_2^2}, \\ \frac{M_a}{2L} (ga - j_{x_z} h_g) - \alpha_2 M_{\Pi} \frac{h_{\psi}}{B_z} j_x &= \frac{j_{x_2} M_a}{2\varphi(1 + \beta_T)} \sqrt{1 - \gamma_2^2}, \\ j_{x_z} &= 2 \left( \frac{ag}{2L} - \alpha_2 \frac{M_{\Pi}}{M_a} j_x \frac{h_{\psi}}{B_z} \right) \left( \frac{h_g}{L} + \frac{\sqrt{1 + \gamma_2^2}}{(1 + \beta_T)\varphi_v} \right)^{-1}. \end{aligned} \quad (18)$$

В выражениях замедления обозначение показывает, что расчет проводится с учетом зависимости сцепления от скорости, а именно:

$$\varphi_v = \varphi_0 (1 + Av_0), \quad (19)$$

где  $\varphi$  - коэффициент сцепления, замеренный при малой скорости;

$A$  - коэффициент, зависящий от состояния покрытия, типа шины и скорости движения ( $A=0,015...0,03$ ).

Если коэффициент сцепления на дороге меньше расчетного по оптимальному торможению, то ограничение интенсивности торможения происходит по опасности потери управляемости автомобиля вследствие юза передних колес. В этом случае допустимое замедление автомобиля находится по формуле (15).

Если коэффициент сцепления на дороге больше расчетного по оптимальному торможению, то ограничение тормозной силы происходит по блокировке колес заднего моста [5]. Допустимое замедление в этом случае определяют по формуле (18). Двойным интегрированием формулы (17) или (18) определяется тормозной путь автомобиля  $S_{\tau}$ .

Полный остановочный путь автомобиля  $S_{\tau_0}$  складывается из пути, проходимого автомобилем за время реакции  $S_0$ , и тормозного пути  $S_{\tau}$

$$S_{\tau_0} = S_0 + S_{\tau}.$$

Длина пути зависит от начальной скорости автомобиля  $v_0$ , продолжительности реакции водителя  $t_p$ , времени срабатывания привода  $t_{np}$  и времени нарастания замедления  $t_3$ .

Таким образом

$$S_o = \left( t_p + t_{np} + \frac{t_3}{2} \right) v_o. \quad (20)$$

Сопоставляя полный остановочный путь с имеющейся зоной видимости, определяется допустимая скорость движения.

### ВЫВОД

Автором выполнен расчет допустимой скорости движения автомобиля для участков горизонтальных кривых на лесных автомобильных дорогах с использованием тормозных свойств наименее нагруженных колес. А также изучены нормальные реакции на колесах автомобиля при его торможении. Представленная методика расчета допустимой скорости является наиболее надежной для участков с ограниченной видимостью.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скрыпников, А. В. Теоретические основы и методы организации и управления дорожным движением [Текст] / А. В. Скрыпников // Бюллетень транспортной информации. – М., - 2010. - № 1 (175). - С.10-15.
2. Скрыпников, А. В. Методы, модели и алгоритмы повышения транспортно-эксплуатационных качеств лесных автомобильных дорог в процессе проектирования, строительства и эксплуатации: монограф [Текст] / А.В. Скрыпников [и др.]. - М.: ФЛИНТА: Наука, 2012. - 310 с.
3. Скрыпников, А. В. Пропускная способность регулируемого перекрёстка [Текст] / А. В. Скрыпников, Т. В. Скворцова, Е. В. Кондрашова // Перспективные технологии, транспортные средства и оборудование при производстве, эксплуатации, сервисе и ремонте: межвуз. сборник науч.тр.. - 2007. - Вып. 2. - С. 201-204.
4. Скрыпников, А. В. Построение процедур выбора управленческих решений на основе оптимизационных моделей [Текст] / А. В. Скрыпников // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. - 2009. - № 10(24). - С. 217-221.
5. Скрыпников, А. В. Разработка теоретических основ и методов управления лесовозным автотранспортом [Текст] // А. В. Скрыпников // Бюллетень транспортной информации. - 2009. - № 9 (171). - С. 25-27.
6. Скрыпников, А. В. К вопросу повышения безопасности движения на лесовозных автомобильных дорог и дорогах общего пользования [Текст] / А. В. Скрыпников, Е. В. Кондрашова, В. Ю. Губарев, А. Б. Киреев. - Москва: Издательство ФЛИНТА: Наука, 2012. – 168 с.
7. Скрыпников, А. В. Повышение надёжности лесовозных автопоездов [Текст]: монография / А. В. Скрыпников, Е. В. Кондрашова, К. А. Яковлев. ФГБОУ ВПО «ВГЛТА». – Воронеж, 2012. – Деп. в ВИНТИ 28.05.2012 г. № 253–В2012. – 154 с.
8. Скрыпников, А. В. Изучение вопросов отказов механизмов и узлов лесовозных автопоездов [Текст]: монография / А. В. Скрыпников, Е. В. Кондрашова, О. Н. Бурмистрова, К. А. Яковлев. ФГБОУ ВПО «ВГЛТА». – Воронеж, 2012. – Деп. в ВИНТИ 28.05.2012 г. № 256–В2012. – 68 с.
9. Скрыпников, А. В. Повышение эффективности технической эксплуатации [Текст]: монография / А. В. Скрыпников, Е. В. Кондрашова, А. И. Урюпин, К. А. Яковлев ФГБОУ ВПО «ВГЛТА». – Воронеж, 2012. – Деп. в ВИНТИ 28.05.2012 г. № 258–В2012. – 66 с.
10. Скрыпников, А. В. Улучшение условий труда работников при техническом обслуживании, ремонте и эксплуатации автомобильной техники [Текст] / А. В. Скрыпников, Е. В. Кондрашова, К. А. Яковлев // «Научное творчество XXI века»: материалы международной конференции. – Красноярск. - 2012. – С. 151-154.
11. Скрыпников, А. В. Повышение надежности технического состояния парка подвижного состава, специализирующегося на перевозке лесных грузов [Текст]: монография / А. В. Скрыпников, Е. В. Кондрашова, К. А. Яковлев ФГБОУ ВПО «ВГЛТА». – Москва: «Флинта», «Наука», 2012. – 152 с.
12. Курьянов, В. К. Управление, основанное на средних характеристиках транспортного потока [Текст] / В. К. Курьянов, А. В. Скрыпников, Е. В. Кондрашова, Т. В. Скворцова // Перспективные технологии, транспортные средства и оборудование при производстве, эксплуатации, сервисе и ремонте: межвуз. сборник науч.тр. Вып.2. – Воронеж. - 2007. – С.204-209.
13. Скрыпников, А. В. Информационные технологии для решения задач управления в условиях рационального лесопользования [Текст]: монография / А. В. Скрыпников, Е. В. Кондрашова, Т. В. Скворцова, А. И. Вакулин, В. Н. Логачев. – Воронеж. - 2011. – 127 с. - Деп. в ВИНТИ 26.09.2011, №420-2011.
14. Скрыпников, А. В. Повышение уровня безопасности технологических процессов в агропромышленном комплексе [Текст]: монография / А. В. Скрыпников, Е. В. Кондрашова, В. И. Орбинский // ФГБОУ ВПО «ВГЛТА». – Воронеж. - 2012. – 63 с. - №255-В2012.
15. Скрыпников, А. В. Метод оптимизации планов ремонта участков лесных автомобильных дорог [Текст] / А. В. Скрыпников, Е. В. Кондрашова, Т. В. Скворцова // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 6; URL: [www.science-education.ru/100-5155](http://www.science-education.ru/100-5155).

16. Скрыпников, А. В. Оптимизация межремонтных сроков лесовозных автомобильных дорог [Текст] / А. В. Скрыпников, Е. В. Кондрашова, Т. В. Скворцова // Фундаментальные исследования. Москва, 2011. – № 8 (ч. 3). – С. 667-671.

17. Скрыпников, А. В. Программа оценки транспортно-эксплуатационного уровня автомобильных дорог в системе автоматизированного проектирования [Текст] / А. В. Скрыпников, Т. В. Скворцова, Е. В. Кондрашова, А. В. Тарарыков, Д. Ю. Сухов // Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2008614249. Заявка № 2008613117, зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 05.09.2008.

18. Логачев, В. Н. Математическая модель процессов загрязнения почв и растений придорожной полосы лесных автомобильных дорог [Текст] / В. Н. Логачев, А. В. Скрыпников, Е. В. Кондрашова, Т. В. Скворцова // "Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований": материалы научной конференции «Экология и рациональное природопользование». - № 2. – С. 121-123.

19. Логачев, В. Н. Параметрическое моделирование процессов переноса загрязняющих веществ в придорожной полосе лесных автомобильных дорог [Текст] / В. Н. Логачев, А. В. Скрыпников, Е. В. Кондрашова, А. И. Вакулин // Научное творчество XXI века: материалы V Международной научно-практической конференции. – Красноярск. - 2012. – Т.3. – С. 427-431.

20. Васильченко, В. Ф. Результаты исследования влияния крутильных колебаний двигателя на буксование гусениц военных машин [Текст] / В. Ф. Васильченко, А. Ю. Фомин, С. В. Глушенко // Мир транспорта и технологических машин. - №2(45). – Госуниверситет УНПК. - 2014. – С. 63-68.

**Дорохин Сергей Владимирович**

ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия»

Адрес: 394087, Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8

Канд. техн. наук, доц. кафедры «Автомобили и сервис»

E-mail: dsvvrn@yandex.ru

---

S.V. DOROHIN

## THE CALCULATION OF THE SPEED LIMIT ALONG A CURVED PATH

*There are currently no sufficiently reliable methods for calculating allowable speeds for areas with unsecured visibility. Existing theoretical calculations speeds in areas of horizontal curves designed for the needs of the construction and calculation of cars and can not be used for valuation. When calculating the value of the coefficient of friction velocity determined at full wheel lock that does not correspond to the actual conditions of braking stability conditions of the car within its lane. The article proposes to calculate the permissible vehicle speed for the sites of horizontal curves on forest roads from the requirement car stop within the zone of visibility without buckling considering assumptions: during braking movement remains manageable, the driver keeps the car in the outside lane; magnitude of the angular velocity of the steering wheel is small; fully utilized inhibitory properties least loaded wheel; cornering power coefficient of resistance of tires depends little on the load variation on the bus; low rolling resistance.*

**Keywords:** transportation; security; permissible speed; horizontal curve; the vertical curve; inhibitory properties; car.

## BIBLIOGRAPHY

1. Skrypnikov, A. V. Teoreticheskie osnovy i metody organizatsii i upravleniya dorozhnym dvizheniem [Tekst] / A. V. Skrypnikov // Byulleten` transportnoy informatsii. - M.. - 2010. - № 1 (175). - S.10-15.
2. Skrypnikov, A. V. Metody, modeli i algoritmy povysheniya transportno-ekspluatatsionnykh kachestv lesnykh avtomobil`nykh dorog v protsesse proektirovaniya, stroitel`stva i ekspluatatsii: monograf [Tekst] / A.V. Skrypnikov [i dr.]. - M.: FLINTA: Nauka, 2012. - 310 s.
3. Skrypnikov, A. V. Propusknaya sposobnost` reguliruemogo perekriostka [Tekst] / A. V. Skrypnikov, T. V. Skvortsova, E. V. Kondrashova // Perspektivnye tekhnologii, transportnye sredstva i oborudovanie pri proizvodstve, ekspluatatsii, servise i remonte: mezhvuz. sbornik nauch.tr.. - 2007. - Vyp. 2. - S. 201-204.
4. Skrypnikov, A. V. Postroenie protsedur vybora upravlencheskikh resheniy na osnove optimizatsionnykh modeley [Tekst] / A. V. Skrypnikov // Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo. - 2009. - № 10(24). - S. 217-221.
5. Skrypnikov, A. V. Razrabotka teoreticheskikh osnov i metodov upravleniya lesovoznym avtotransportom [Tekst] // A. V. Skrypnikov // Byulleten` transportnoy informatsii. - 2009. - № 9 (171). - S. 25-27.
6. Skrypnikov, A. V. K voprosu povysheniya bezopasnosti dvizheniya na lesovoznykh avtomobil`nykh do-rog i dorogakh obshchego pol`zovaniya [Tekst] / A. V. Skrypnikov, E. V. Kondrashova, V. YU. Gubarev, A. B. Kireev. - Moskva: Izdatel`stvo FLINTA: Nauka, 2012. - 168 s.

7. Skrypnikov, A. V. Povyshenie nadiozhnosti lesovoznykh avtopoezdov [Tekst]: monografiya / A. V. Skrypnikov, E. V. Kondrashova, K. A. YAKovlev. FGBOU VPO "VGLTA". - Voronezh, 2012. - Dep. v VINITI 28.05.2012 g. № 253-V2012. - 154 s.
8. Skrypnikov, A. V. Izuchenie voprosov otkazov mekhanizmov i uzlov lesovoznykh avtopoezdov [Tekst]: monografiya / A. V. Skrypnikov, E. V. Kondrashova, O. N. Burmistrova, K. A. YAKovlev. FGBOU VPO "VGLTA". - Voronezh, 2012. - Dep. v VINITI 28.05.2012 g. № 256-V2012. - 68 s.
9. Skrypnikov, A. V. Povyshenie effektivnosti tekhnicheskoy ekspluatatsii [Tekst]: monografiya / A. V. Skrypnikov, E. V. Kondrashova, A. I. Uryupin, K. A. YAKovlev FGBOU VPO "VGLTA". - Voronezh, 2012. - Dep. v VINITI 28.05.2012 g. № 258-V2012. - 66 s.
10. Skrypnikov, A. V. Uluchshenie uslovyi truda rabotnikov pri tekhnicheskoy obsluzhivanii, remonte i ekspluatatsii avtomobil'noy tekhniki [Tekst] / A. V. Skrypnikov, E. V. Kondrashova, K. A. YAKovlev // "Nauch-noe tvorchestvo XXI veka": materialy mezhdunarodnoy konferentsii. - Krasnoyarsk. - 2012. - S. 151-154.
11. Skrypnikov, A. V. Povyshenie nadezhnosti tekhnicheskogo sostoyaniya parka podvizhnogo sostava, spetsializiruyushchegosya na perevozke lesnykh gruzov [Tekst]: monografiya / A. V. Skrypnikov, E. V. Kondrashova, K. A. YAKovlev FGBOU VPO "VGLTA". - Moskva: "Flinta", "Nauka", 2012. - 152 s.
12. Kur'yanov, V. K. Upravlenie, osnovannoe na srednikh kharakteristikakh transportnogo potoka [Tekst] / V. K. Kur'yanov, A. V. Skrypnikov, E. V. Kondrashova, T. V. Skvortsova // Perspektivnyye tekhnologii, transportnye sredstva i oborudovanie pri proizvodstve, ekspluatatsii, servise i remonte: mezhvuz. sbornik nauch.tr. Vyp.2. - Voronezh. - 2007. - S.204-209.
13. Skrypnikov, A. V. Informatsionnyye tekhnologii dlya resheniya zadach upravleniya v usloviyakh ratsional'nogo lesopol'zovaniya [Tekst]: monografiya / A. V. Skrypnikov, E. V. Kondrashova, T. V. Skvortsova, A. I. Vakulin, V. N. Logachev. - Voronezh. - 2011. - 127 s. - Dep. v VINITI 26.09.2011, №420-2011.
14. Skrypnikov, A. V. Povyshenie urovnya bezopasnosti tekhnologicheskikh protsessov v agropromyshlennom komplekse [Tekst]: monografiya / A. V. Skrypnikov, E. V. Kondrashova, V. I. Orobinskiy // FGBOU VPO "VGLTA". - Voronezh. - 2012. - 63 s. - №255-V2012.
15. Skrypnikov, A. V. Metod optimizatsii planov remonta uchastkov lesnykh avtomobil'nykh dorog [Tekst] / A. V. Skrypnikov, E. V. Kondrashova, T. V. Skvortsova // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. - 2011. - № 6; URL: [www.science-education.ru/100-5155](http://www.science-education.ru/100-5155).
16. Skrypnikov, A. V. Optimizatsiya mezhremontnykh srokov lesovoznykh avtomobil'nykh dorog [Tekst] / A. V. Skrypnikov, E. V. Kondrashova, T. V. Skvortsova // Fundamental'nye issledovaniya. Moskva, 2011. - № 8 (ch. 3). - S. 667-671.
17. Skrypnikov, A. V. Programma otsenki transportno-ekspluatatsionnogo urovnya avtomobil'nykh dorog v sisteme avtomatizirovannogo proektirovaniya [Tekst] / A. V. Skrypnikov, T. V. Skvortsova, E. V. Kondrashova, A. V. Tararykov, D. YU. Sukhov // Svidetel'stvo ob ofitsial'noy registratsii programm dlya EVM № 2008614249. Zayavka № 2008613117, zaregistrovano v Reestre programm dlya EVM 05.09.2008.
18. Logachev, V. N. Matematicheskaya model' protsessov zagryazneniya pochv i rasteniy pridorozhnoy polosy lesnykh avtomobil'nykh dorog [Tekst] / V. N. Logachev, A. V. Skrypnikov, E. V. Kondrashova, T. V. Skvortsova // "Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy": materialy nauchnoy konferentsii "Ekologiya i ratsional'noe prirodopol'zovanie". -№ 2. - S. 121-123.
19. Logachev, V. N. Parametricheskoe modelirovanie protsessov perenosa zagryaznyayushchikh veshchestv v pri-dorozhnoy polose lesnykh avtomobil'nykh dorog [Tekst] / V. N. Logachev, A. V. Skrypnikov, E. V. Kondrashova, A. I. Vakulin // Nauchnoe tvorchestvo XXI veka: materialy V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Krasnoyarsk. - 2012. - T.3. - S. 427-431.
20. Vasil'chenkov, V. F. Rezul'taty issledovaniya vliyaniya krutil'nykh kolebaniy dvigatelya na buksovanie gusenits voennykh mashin [Tekst] / V. F. Vasil'chenkov, A. YU. Fomin, S. V. Glushchenko // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - №2(45). - Gosuniversitet UNPK. - 2014. - S. 63-68.

**Dorohin Sergey Vladimirovich**

FGBOU VPO "Voronezh State Academy of Forestry"

Address: 394087, Russia, g.Voronezh, str. Timiryazeva. 8

Candidate. tehn. Sciences, Assoc. the Department "Cars and Services"

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

Ю. ЧАРСКИЙ, П. ШАТРА

## ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ ДОРОГ I/2 И I/12 В ЧЕШСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ К СТАНДАРТУ 2+1

Предмет исследования «Предложение принципов для реконструкции дорог I/2 и I/12 в Чешской Республике к стандарту 2+1» является главным образом предложением методологического подхода для реконструкции существующий двухлинейных дорог до трёхлинейного стандарта дороги «2+1» в рамках дорожной инфраструктуры Чешской Республики. Кроме того задачей является анализ последних технических и эксплуатационных условий и условий безопасности и идентификации участка дороги неподходящим для реконструкции на вышеуказанные дороги. Ключевую часть представляет собой реальное предложение руководящих принципов и проект реконструкции этих дорог до стандарта «2+1» в соответствии с техническими возможностями и потребностей безопасности. Эта часть сопровождается приблизительной оценкой пространственных потребностей и расчётом стоимости проекта. Заключение содержит оценку эффективности средств, затраченных на проект по сравнению с его доходами.

**Ключевые слова:** дороги, дорожное движение, проект дороги, замена, ограждение, перекрёсток, безопасность дорожного движения, горизонтальное выравнивание, продольный профиль

Origin of the feasibility study «Proposal of Guidelines for Reconstruction of I/2 and I/12 roads to 2+1 standard» is based on demand of Road and Motorway Directorate of the Czech Republic after addressing the adverse operational, safety and traffic situation on first-class roads I/2 and I/12 in the Central Bohemia Region (fig. 1) with the conversion of the two-lane roads into the roads in 2+1 standard. The first concept of the project eventually became a basis of his thesis with the above name. This ensures practical use of conclusions and knowledge arising from the thesis.

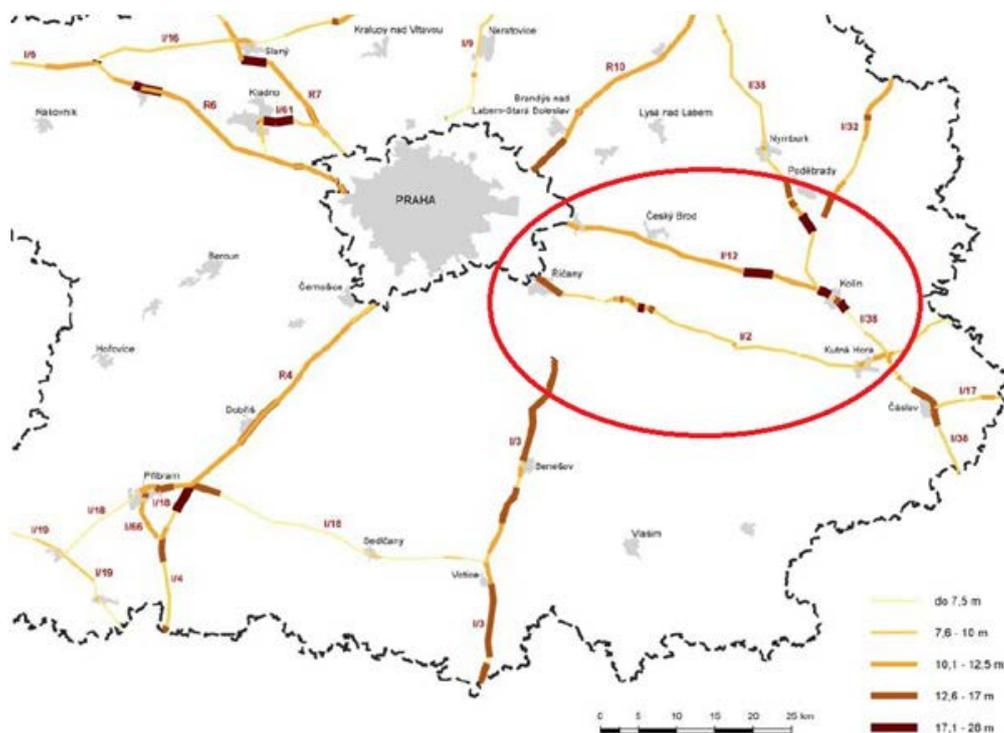


Figure 1 – Road pavement widths in the Central Bohemia Region, roads I/2 and I/12 are located in the red ellipse [1]

Let's start with a question «What is a 2+1 road?» One of the terms which are occasionally used when referring to the 2+1 roads is the «three-lane road». It is because the 2+1 roads compose of three traffic lanes, two in one direction and one in another. What makes 2+1 roads special from other three-lane roads is the fact the centre lane is not used by both direction simultaneously, but alternately. This means, that drivers in one direction can use two traffic lanes and the drivers in opposite direction only one, but after a certain distance, this scheme is reversed, giving the chance to drive on two lanes to the drivers who previously had been driven on one lane only and vice versa (fig. 2).

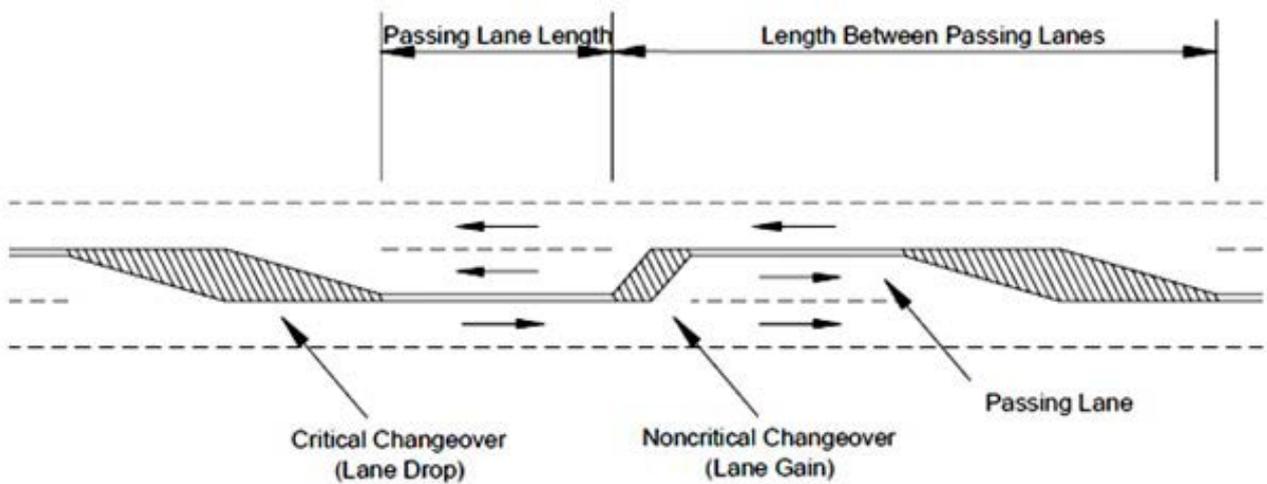


Figure 2 – Simplified 2+1 road scheme [2]

The scheme change occurs in so called «transition zones». As such scheme alternates periodically along the way, the drivers are periodically given the chance for safe passing maneuvers on stretches which comprises of two lanes in their direction (fig. 3, 4, 6 and 7).

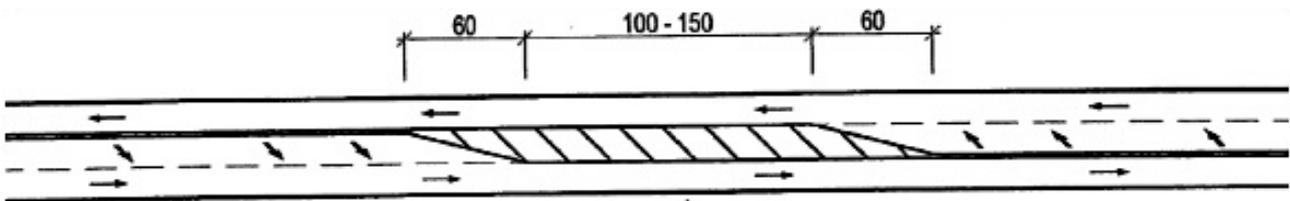


Figure 3 – Example of critical changeover (lane drop) according to the Czech Technical Standard CSN 73 6101 Z1

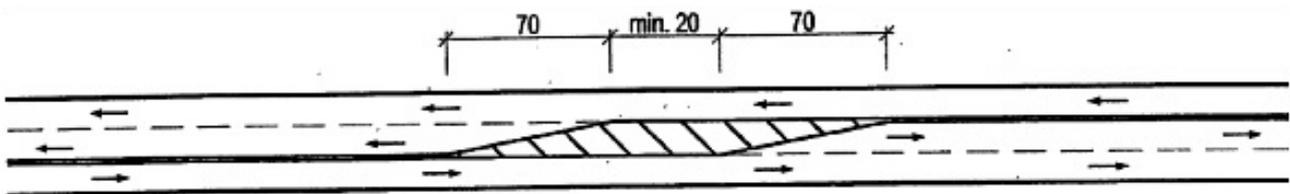


Figure 4 – Example of noncritical changeover (lane gain) according to the Czech Technical Standard CSN 73 6101 Z1

The key advantage of the 2+1 roads is better traffic flow, higher level of service and last but not least, better safety performance of such roads in comparison with the classical two-lane roads. The periodically alternating stretches with two lanes in one direction are offering opportunity

for safe passing maneuvers, which decreases the need of the drivers for committing unsafe or even dangerous passing maneuvers on improper road section with limited sight distance. Thus, the risk of head-on collisions decreases significantly. In case the opposite direction are separated by any restraint system (e.g. guardrails – fig. 5), this risk very much minimized. That is why the greatest advantage of the 2+1 roads is the safety increase in comparison with the „classical“ two-lane roads. The high level serves results in travel time savings and the „smooth“ traffic flow in fuel savings.



Figure 5 – Example of a 2+1 road with rope guardrail in the median [2]

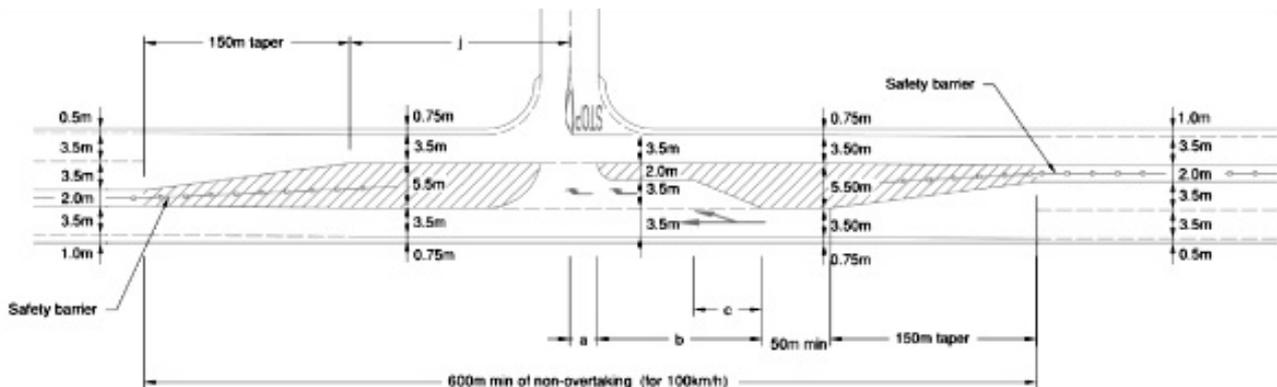


Figure 6 – Example of critical changeover (lane drop) localized within the crossroad (picture for left-handed traffic) [2]

A theoretical part of the study, which has defined the fundamental design principles, had preceded the design part itself. The subject of the theoretical part was primarily a detailed explanation of the concept, design and operation of roads in 2+1 standard. In the absence of practical domestic experience with this special sort of road, it seems necessary to draw knowledge from abroad, especially from countries where this principle is applied for a long time and has undergone some evolution already. Examples of such countries are Sweden, Finland and Germany, i.e. countries where great emphasis is put on the road safety. Based on the studies from above mentioned countries, the 2+1 road scheme is the most effective on roads with traffic volume between 8 000 – 20 000 pcu/24h [2].

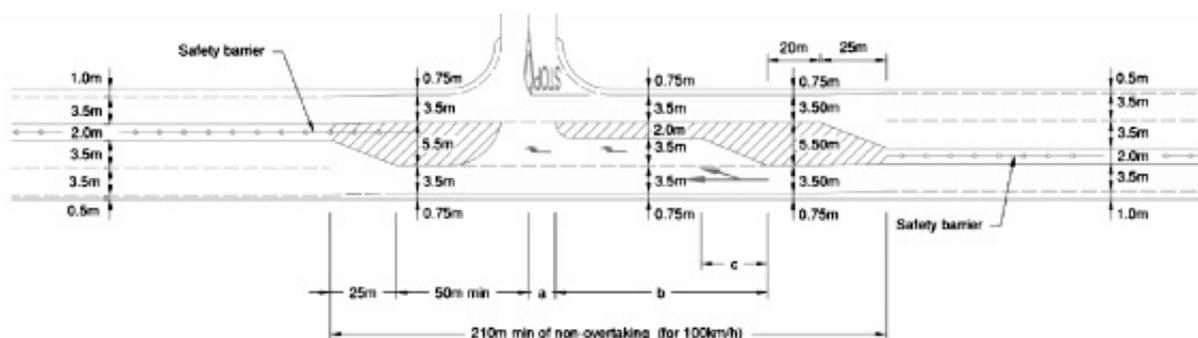


Figure 7 – Example of noncritical changeover (lane gain) localized within the crossroad (picture for left-handed traffic) [2]

All findings drawn from the foreign experience have been incorporated in the methodological approach outlined in the Czech technical standard CSN 73 6101Z1 in a way they do not interfere with the logical framework of road infrastructure design in the Czech Republic. The resulting methodology allows a remedy of the operationally unsuitable roads within the limits of economic efficiency of funds expended.

The 2+1 road design methodology outlined in this study have expanded the basic principle of the extra passing lane alternately used in the opposite directions. This passing lane should be designed in upward slopes, where the need for passing over slow vehicles (i.e. trucks, buses) increases as the speed of these vehicles decreases in upward slopes. The alternation principle and the principle of the lane addition in upward slopes are in the real world practice often contradictory and thus is the horizontal and vertical alignment of the passing lanes result of a compromise (fig. 8).

Another key parameter regarding the 2+1 road design is the length of the stretch with the extra passing lane. This can be given including the length of the lane-addition and lane-drop sections (total construction length of the stretch) or just the length of the fully operational passing lane (effective length). According to the Czech standard, the effective length of the stretch should be within 800 – 2000 m. This interval is in accordance with the foreign experience as well as with the research works on this topic [3].

Last but not least, the methodology expands the recommendations given by the Czech standard about the safe transition zones design. The standard gives scheme only to lane-addition and lane-drop located on regular road section. No guidelines are given for using transition zones located on crossroads. Based on the foreign experience, the methodology outlined in the study proposes possible solutions how to solve the transition within the crossroads (fig. 9 and 10 – further research was done in the following study [4]).

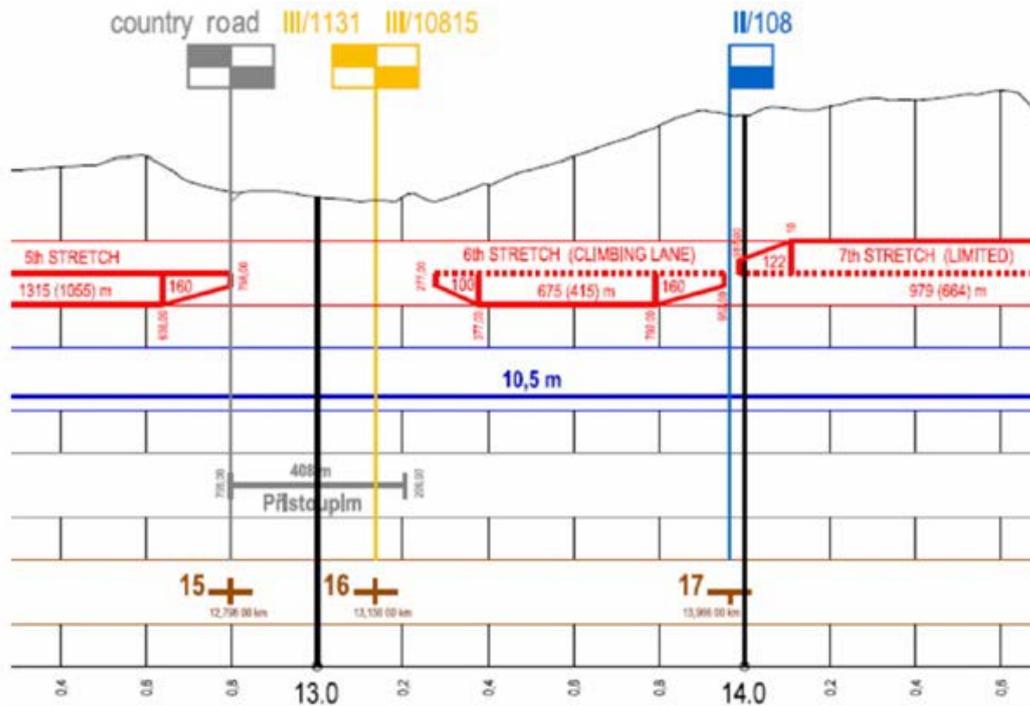


Figure 8 – Part of the vertical alignment drawing, showing one of the stretches with passing line designed in the upward slope working as a climbing lane

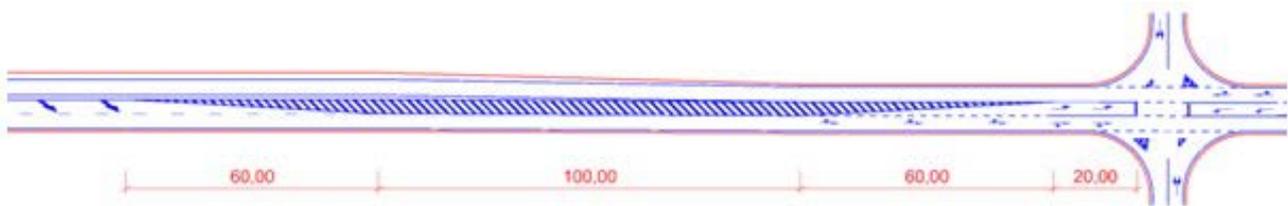


Figure 9 – Proposed solution of the critical changeover (lane drop) localized within the crossroad [4]

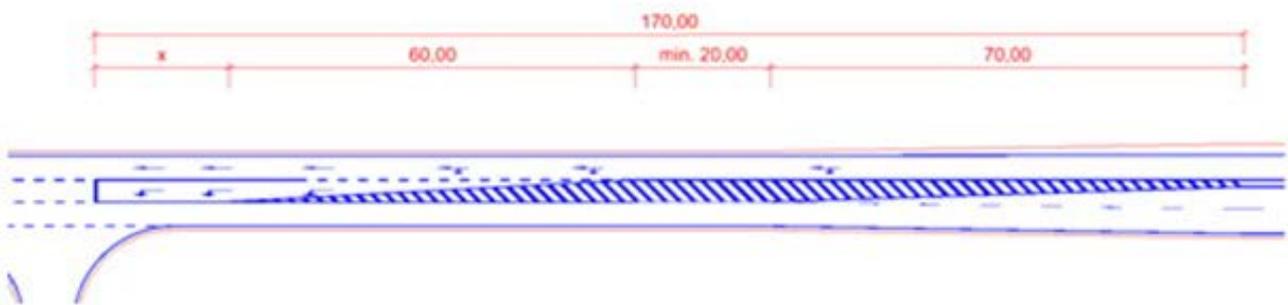


Figure 10 – Proposed solution of the noncritical changeover (lane gain) localized within the crossroad [4]

The need for designing transition zones into crossroads is given by the practical need for using the maximum length of the route for constituting the extra passing lanes. Since it is not recommended to design any crossroads on stretches with the extra passing lane, it is necessary to design no passing lane in proximity of any crossroads, or preferably design the transition zones on the crossroads. This can possibly have a synergic effect. Since both the crossroads and transition zone needs to be worn about well as the driving environment changes there, this can be done advantageously at one place. However, this can as well become the biggest

threat of the system; if the warning ahead of the crossroads with transition will be executed improperly (fig. 11).

The issue of reconstruction of existing two-lane roads to 2+1 arrangement is a narrower application of the concept of development of roadway network by means of alternated tree-lane roads. By applying these means, newly constructed parallel routes are not necessary to obtain safer roads with better level of service, but on the contrary, it is possible to implement better roads in the axis of the existing ones. The reconstruction of existing roads has many advantages, besides significant financial savings also the environmental benefits, such as prevention of fragmentation of comprehensive landscape wholes by adding artificial barriers.



*Figure 11 – Example of use of balisets (special green delineator post) used to emphasize the crossroads and which could potentially emphasize the changeover as well [5]*

The next task of the study was to analyze the current traffic situation on the given roads, their catchment area, as well as the level of service and road safety on these roads. The traffic volumes on the road I/2 are ranging from 4 000 to 14 750 pcu/24h [6]. The traffic volumes on the road I/12 are more stable along the route and are ranging between 8 800 and 12 850 pcu/24h [6]. Floating car was used for measuring the traffic flow performance plotting the velocity – distance graph. Traffic accident rate was analyzed based on the data accident data from years 2007 – 2012 given by the Police of the Czech Republic (fig. 12). The societal lost can be than evaluated based on tabulated values of societal lost per traffic accidents of different consequences (kill, severe injury, light injury, material damage only).

Before the measures relating to the conversion could have been drafted, it was also necessary to identify road sections unsuitable for widening, because of both technical as well as road safety reasons. The typical road sections unsuitable for widening are the sections located within the urban areas. There are only three urban areas located on the studied part of the I/12 road, but the number of 16 urban areas is very much limiting the 2+1 road design on the I/2 road.

The design takes into account both technical and financial needs of the reconstruction, as well as the above-mentioned effect of technical condition of roads on the road safety. The horizontal alignment of additional passing lane stretches (2+1 scheme) as applied on both roads

is shown on the figures 13, 14 and 15. It is evident, that the amount of urban areas (villages) and crossroads can be limiting for the 2+1 road design. For the I/2 road is typical, that the stretches mostly are designed „from village to village“, however most of the stretches on I/12 road are designed „from crossroads to crossroads“.

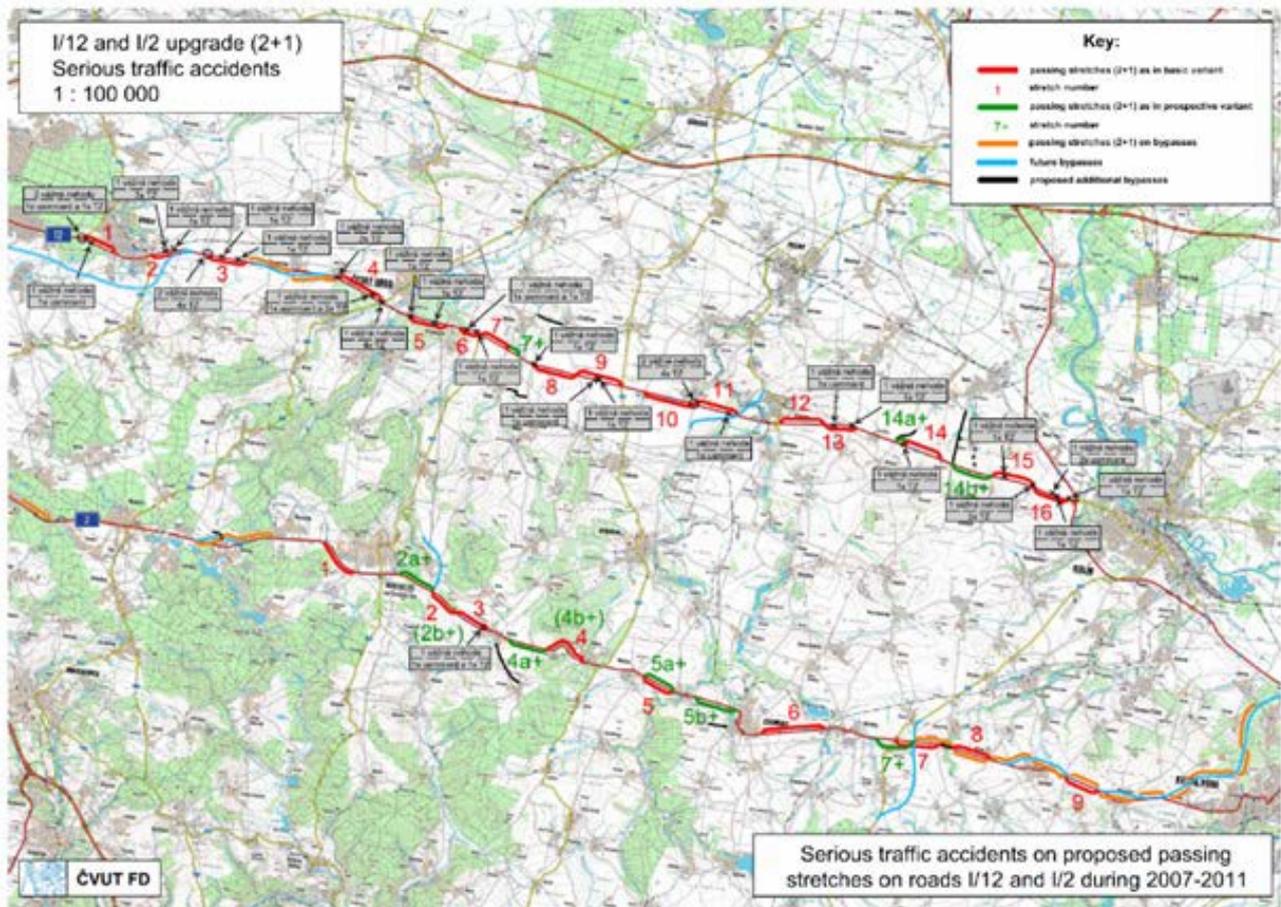


Figure 12 – Drawing of the horizontal alignment of the I/12 and I/2 roads showing all the serious traffic accidents happened during 2007 – 2011 on the road sections where 2+1 stretches are planned



Figure 13 – Drawing of the horizontal alignment of the I/12 road

In the final stage, the spatial and financial needs of the reconstruction on one side and the benefits on the other side were determined. Since the traffic safety increase is considered to be the biggest benefit, the prediction of the benefits was based on the anticipated saving

in the traffic accident societal lost after applying the 2+1 scheme. Based on the foreign experience, this savings were assumed to be 30 % on I/2 road, where narrower variant of the cross-section with no restraint system in the median was designed [3], but 50 % on I/12 road, where cable barrier was proposed to be installed in the median [7] (fig. 16).



Figure 14 – Drawing of the horizontal alignment of the I/12 road

A subsequent assessment of the cost to benefit ratio of the project was carried out. By simple comparison of the estimated construction cost and the anticipated traffic accident societal lost savings within the planning period of 20 years, it is possible to make first approximate assessment of the feasibility of the project. From this perspective, reconstruction of the I/2 road has been found unfeasible, but the road I/12 feasible and economically very effective way how to improve traffic safety and operational performance on the existing road network, proving the assumption based on the foreign experience.

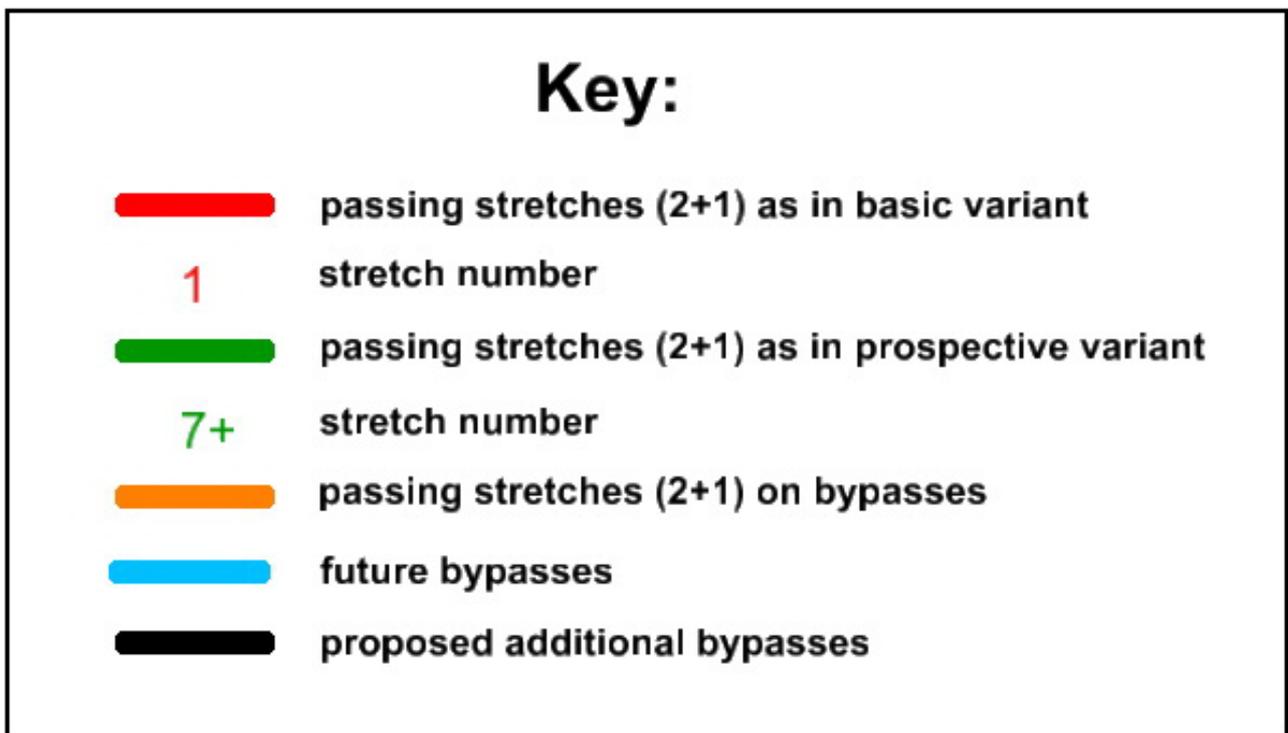


Figure 15 – Key for the horizontal alignment drawings (see fig. 13 and 14)

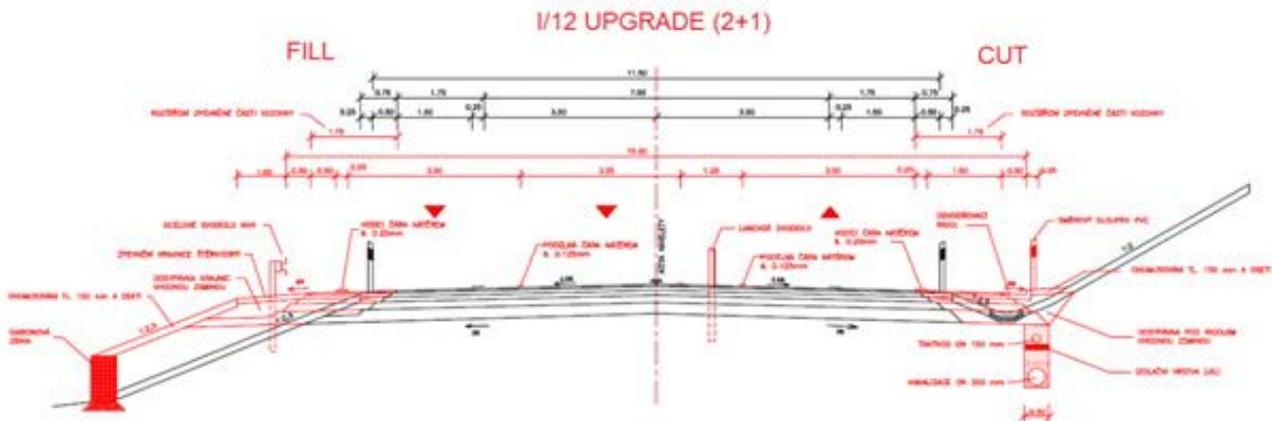


Figure 16 – Drawing of the proposed cross-section of the I/12 road with rope guardrail installed in the median

## BIBLIOGRAPHY

1. Sükenník P., Varhulík M., Tříška L., Lávíc J.: The proposal to increase the permeability of the first class road network in the Central Bohemian Region. AF-CityPlan. Praha. 2011.
2. National Cooperative Highway Research Program (NCHRP). Application of European 2+1 Roadway Design. NCHRP Research Results Digest Number 275. Washington, DC. 2003.
3. Weber R., Löhe U.: Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf auf b2+1 Strecken. Bundesanstalt für Straßenwesen. Bergisch Gladbach. 2004.
4. Foltýn V., Šatra P.: Study of assessment of the technical feasibility and performance of safe roads in 2+1 standard in first class road network of Hradec Králové Region. AF-CityPlan. Praha. 2013.
5. Novická K.: Jihlavské listy: The columns have to make dangerous intersections safe [online]. Updated 08. 11. 2011 [cit.09.02.2013]. <[http://www.jihlavske-listy.cz/obrazekfotogalerie\\_uvodni2.php?jmenoobrazku=./obrazky/fotogalerie/9654/1.jpg](http://www.jihlavske-listy.cz/obrazekfotogalerie_uvodni2.php?jmenoobrazku=./obrazky/fotogalerie/9654/1.jpg)>.
6. The national traffic census 2010. Interactive map [online]. ŘSD ČR, ©2011. [accessed at: 14.05.2014]. Available at: <http://scitani2010.rsd.cz/pages/map/default.aspx>
7. Berg T., Carlsson A. Carlsson, A.: 2+1 Roads With and Without Cable Barriers: Speed Performance. In: Fourth International Symposium on Highway Capacity. Washington, DC. 2000.

### Чарский Юрий

Чешский технический университет в Праге  
 Адрес: 110 00, Чешская Республика, Прага 1, ул. Конвиктска 20  
 Доцент, доктор технических наук, инженер, заместитель декана Факультета транспортных наук по образованию и учебной работе  
 E-mail: carsky@fd.cvut.cz

### Шатра Пётр

Чешский технический университет в Праге  
 Адрес: 128 00, Чешская Республика, Прага 2, ул. Горска 3  
 Инженер, аспирант кафедры транспортных систем  
 E-mail: petsatra@gmail.com

J. ČARSKÝ, P. ŠATRA

## PROPOSAL OF GUIDELINES FOR RECONSTRUCTION OF I/2 AND I/12 ROADS IN THE CZECH REPUBLIC TO 2+1 STANDARD

The subject of the study „Proposal of Guidelines for Reconstruction of I/2 and I/12 roads to 2+1 standard“ is mainly a proposal of methodological approach for reconstruction of recent two-lane roads to three-lane (2+1 standard) roads in the road environment of the Czech Republic. Fur-

*ther objective is an analysis of the recent technical, operational and safety conditions and identification of road section inappropriate for reconstruction on the above mentioned roads. The key part is the actual proposal of guidelines and design of reconstruction of these roads to 2+1 standard in accordance with the technical possibilities and safety requirements. This part is followed by an approximate estimation of spatial needs and calculation of costs of the project. The conclusion contains an assessment of the effectiveness of the funds spent on the project in comparison to its revenues.*

**Keywords:** roads, road traffic, road design, changeover, guardrail, crossroad, traffic safety, horizontal alignment, vertical alignment

**Čarský Jiří**

Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation Sciences, Praha (Prague), Czech Republic  
Konviktská 20, Praha 1, CZ – 110 00, CZECH REPUBLIC  
Assoc. Prof. MSc PhD, Vice-Dean for Education  
E-mail: carsky@fd.cvut.cz

**Šatra Petr**

Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation Sciences, Praha (Prague), Czech Republic  
Department of Transportation Systems, Horská 3, Praha 2, CZ – 128 00, CZECH REPUBLIC  
MSc, student of doctoral study programme  
E-mail: petsatra@gmail.com

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

*Подписной индекс журнала:*

*16376 («Пресса России»)*

*Подписка через редакцию:*

*(с любого месяца)*

*Информация о подписке на нашем сайте*

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

*Тел. +7 (4862) 43-48-90*

## ОБРАЗОВАНИЕ И КАДРЫ

---

УДК 656.13

И. Е. ИЛЬИНА, Е. С. КУПРИЯНОВА, Д. А. КРОТОВА

### ПРИМЕНЕНИЕ ТРЕНАЖЕРА ТА-2 ДЛЯ ОЦЕНКИ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ КАНДИДАТОВ В ВОДИТЕЛИ

*Успешное выполнение деятельности водителем требует определенного уровня развития психологических качеств. Использование психодиагностических тренажеров при обучении водителей позволяет контролировать и тренировать различные психофизиологические процессы. 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.

Психологические особенности женщин и мужчин проявляются еще при обучении в автошколе. 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.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТИРОВАНИЯ

На психофизиологическом тренажёре ТА-2, предназначенного для повышения уровня профессионально важных психофизиологических качеств водителей, было проведено тестирование группы кандидатов в водители по восьми методикам [5]. В данной работе представлены результаты тестирования по 4 методикам: методика 5 «Тренировка распределения внимания», методика 6 «Повышение эмоциональной устойчивости», методика 7 «Повышение гибкости темпа действий», методика 8 «Повышение устойчивости к монотонии».

#### МЕТОДИКА 5 «ТРЕНИРОВКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВНИМАНИЯ»

Для водителя автомобиля очень большое значение имеет объем внимания, т.е. количество единиц (объектов) восприятия или действия, удерживаемых одновременно в поле сознания. В среднем объем внимания равен 5 единицам.

Распределение внимания – это процесс непрерывного одновременного восприятия нескольких объектов и переработка получаемой информации. Характер распределения внимания зависит от скорости движения автомобиля, интенсивности движения.

При движении в городе приходится одновременно следить сразу за несколькими объектами: светофорами, участниками движения, знаками и т. п. Насколько хорошо это, получается, зависит от способности к быстрому распределению и переключению внимания.

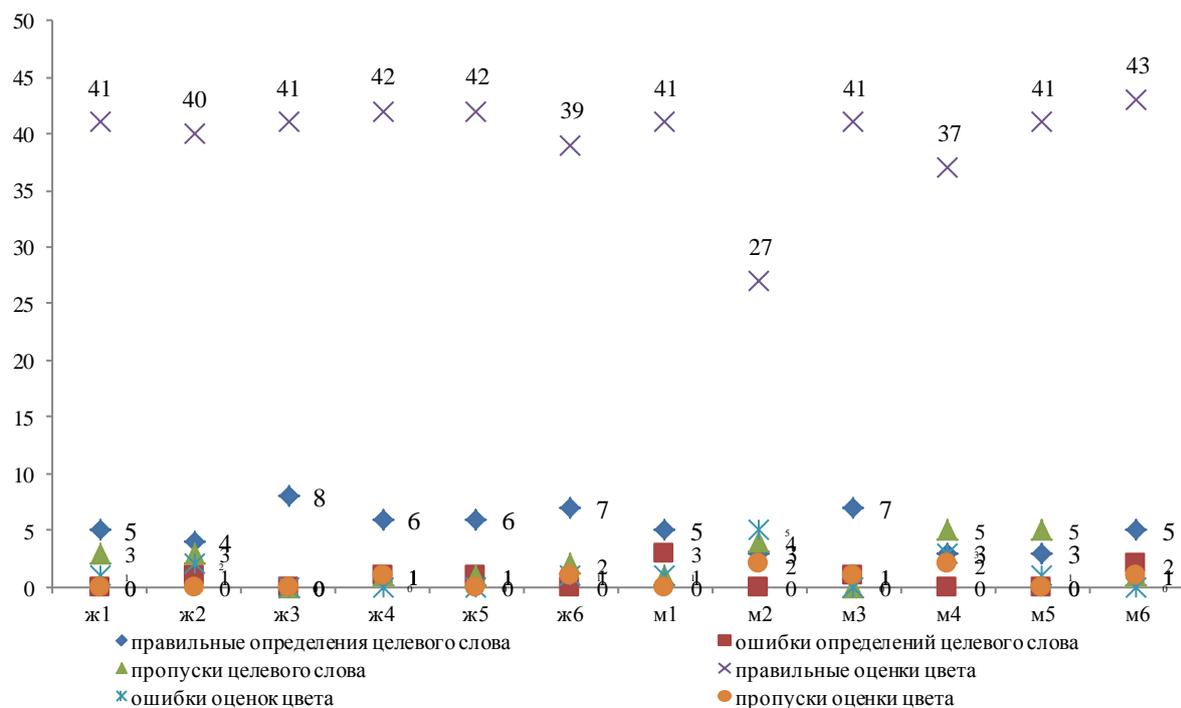


Рисунок 5 - Методика «Тренировка распределения внимания»

Результаты теста показывают, что распределение внимания у женщин развито лучше, чем у мужчин. У женщин больше правильных определений целевого слова и оценки цвета. Мужчины по этим показателям уступают.

**МЕТОДИКА 6 «ПОВЫШЕНИЕ ЭМОЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ»**

Во время управления транспортным средством водителю приходится непосредственно сталкиваться с факторами эмоционального напряжения: опасная ситуация на дороге, вынужденное экстренное торможение, подъезд к перекрестку с интенсивным движением и тому подобное. Опытные, уверенные, с твердым характером водители действуют в опасной ситуации ловко и быстро. В противоположность им неопытные водители проявляют растерянность, не выполняют необходимых действий или действуют поспешно или неразумно. Способность не поддаваться растерянности и страху, ловко и быстро действовать в сложной опасной ситуации называется эмоциональной устойчивостью.

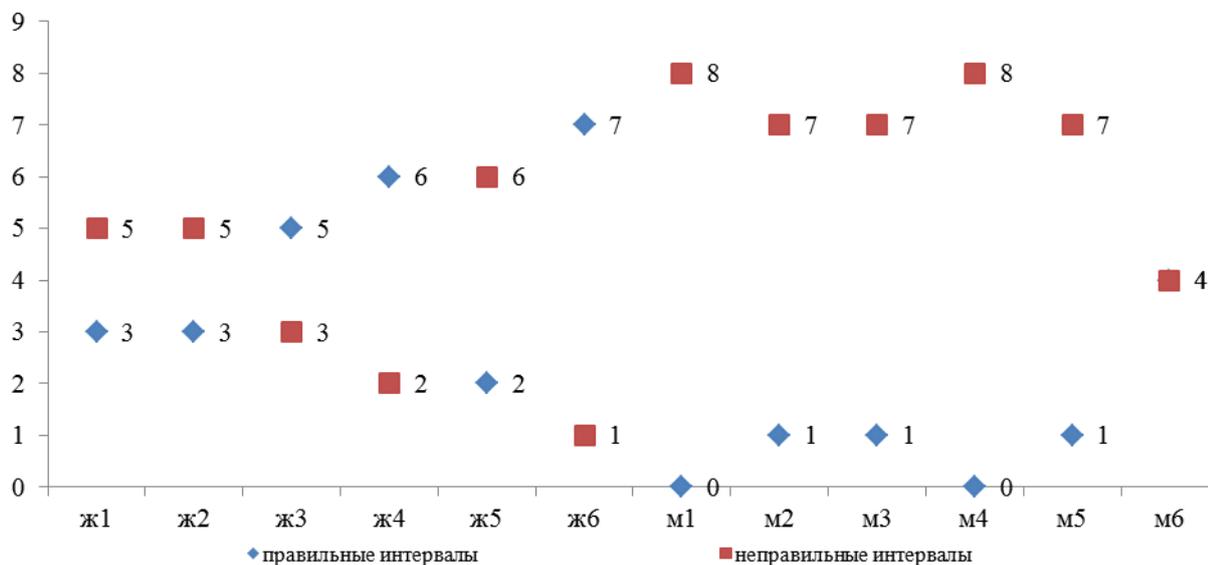


Рисунок 6 - Методика «Повышение эмоциональной устойчивости»

Особенность женской психологии заключается в том, что они работают более стабильно, безопасно и надежно в то время, когда находятся в безопасной ситуации. Женщины управляют автомобилем с меньшим риском и с меньшим количеством ошибок, нежели мужчины.

### МЕТОДИКА 7 «ПОВЫШЕНИЕ ГИБКОСТИ ТЕМПА ДЕЙСТВИЙ»

В условиях интенсивного городского движения и при движении с большой скоростью имеют место информационные перегрузки. Возникает недостаток времени, в результате которого водитель не успевает воспринять, переработать всю поступающую информацию и своевременно выполнить необходимые управляющие действия.

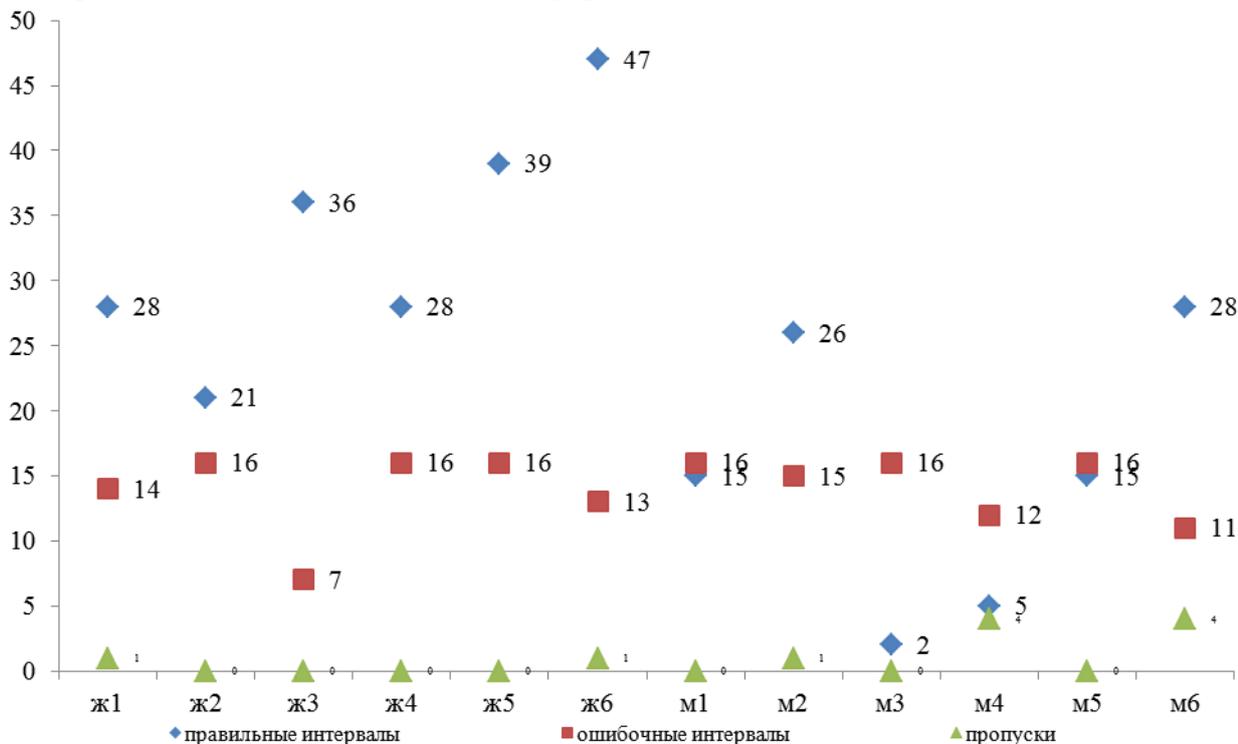


Рисунок 7 - Методика «Повышение гибкости темпа действий»

По результатам теста можно сделать вывод, что женщины более приспособлены к изменению темпа действий, чем мужчины.

### МЕТОДИКА 8 «ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ К МОНОТОНИИ»

Немало ДТП происходит из-за ошибок водителя в результате снижения работоспособности.

Утомление – это процесс временного снижения работоспособности, наступающий в результате деятельности. Различают утомление нервно-мышечное и нервно-психическое (умственное). Субъективно утомление выражается в чувстве усталости. Утомление отрицательно влияет на все психические процессы водителя: восприятие, внимание, мышление, координацию движений, снижает скорость реакций и др., что может приводить к ДТП.

Отрицательное влияние на работоспособность оказывает недостаток информации (сенсорный голод), который имеет место при отсутствии на дороге других участников движения, монотонном однообразном ландшафте, длительном движении с постоянной скоростью на прямых участках дороги, а также при управлении автомобилем в условиях плохой видимости (ночью, в тумане, при снегопаде и т.д.), что вызывает сильное нервно – психическое напряжение, затрудняющее восприятие и переработку информации.

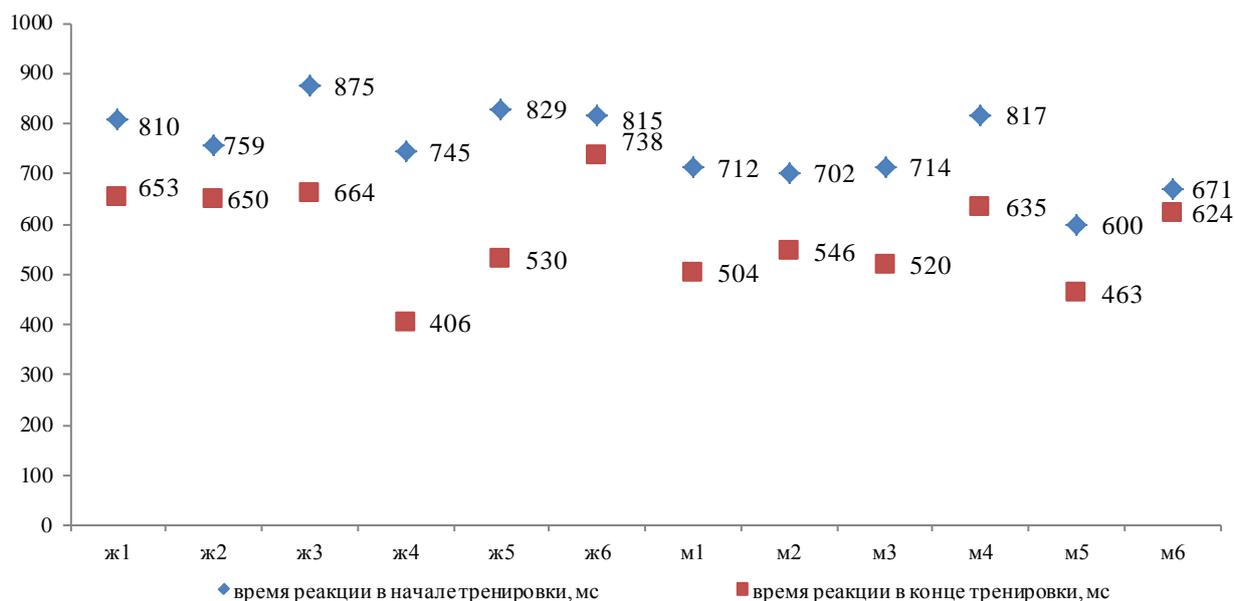


Рисунок 8 - Методика 8 «Повышение устойчивости к монотонии»

На основании результатов теста можно сделать вывод, что и женщины, и мужчины достаточно устойчивы в условиях монотонных действий. Время реакции не превышает среднее значение, которое колеблется от 0,5 до 2,0 с, в зависимости от возраста и физического состояния.

Таблица 1 - Итоговая таблица результатов анализа тестирования на автотренажере ТА-2

	Методика 1 «Тренировка избирательности и концентрации внимания»	Методика 2 «Тренировка ассоциативных процессов»	Методика 3 «Тренировка памяти на образы»	Методика 4 «Тренировка памяти на символы»	Методика 5 «Тренировка распределения внимания»	Методика 6 «Повышение эмоциональной устойчивости»	Методика 7 «Повышение гибкости темпа действий»	Методика 8 «Повышение устойчивости к монотонии»	Оценка преподавателя	Оценка инструктора
ж1	0	1	1	1	0	0	0	1	удовл.	хорошо
ж2	1	0	1	1	0	0	0	1	удовл.	хорошо
ж3	0	1	0	1	1	1	1	1	хорошо	хорошо
ж4	0	0	1	1	1	1	0	1	хорошо	хорошо
ж5	0	0	0	1	1	0	1	1	неуд.	удовл.
ж6	1	0	1	1	0	1	1	0	удовл.	хорошо
м1	0	1	0	1	0	0	0	1	неуд.	удовл.
м2	0	0	0	1	0	0	0	1	удовл.	удовл.
м3	1	1	0	0	1	0	0	1	удовл.	удовл.
м4	0	1	1	1	0	0	0	1	удовл.	хорошо
м5	0	1	0	0	0	0	0	1	удовл.	неуд.
м6	0	1	0	1	1	0	0	0	удовл.	хорошо

Примечание:

1 - соответствует правильным ответам и действиям

0 - соответствует ошибочным ответам и действиям

На основании итоговой таблицы можно сделать вывод, что женщины показали лучшие результаты по сравнению с мужчинами. Так, при проверке памяти на образы (методика 3), в целом, женщины (67%) справились с заданием лучше мужчин (17%) на 50 %. При проверке памяти на символы (методика 4): у женщин (100%) результаты лучше, чем у мужчин (67%) на 33% [5]. При проверке эмоциональной устойчивости (методика 6) и гибкости темпа действий (методика 7) мужчины показали неудовлетворительные результаты. Результаты тестов по избирательности и концентрации внимания (методика 1) и устойчивости к монотонии (методика 8) не показали значительных отличий мужчин от женщин. А при проверке ассоциативных процессов результаты показывают, что женщины тратят больше времени на выполнение заданий, чем мужчины, которые из-за самоуверенности выполняют задание быстро, но с большим количеством ошибок.

Женщины более послушны, аккуратны, но у них есть существенный недостаток: в силу более развитого инстинкта самосохранения, они испытывают страх. При углубленном обучении в дальнейшем из них могли бы получиться неплохие водители.

### **ВЫВОД**

Подготовленность водителя определяется уровнем его профессиональных знаний и навыков, которые приобретаются в процессе обучения и последующей профессиональной деятельности. Хорошая подготовка водителя выражается в наличии широкого диапазона навыков, доведенных до уровня автоматизма действий и обеспечивающих правильные и своевременные действия в критических дорожных ситуациях. Она позволяет максимально использовать технические возможности автомобиля и безошибочно, с минимальной затратой сил, управлять им; правильно оценивать и своевременно предвидеть возможные изменения дорожной обстановки и предупреждать возникновение аварийных ситуаций; безошибочно управлять автомобилем на больших скоростях, ночью, в тумане, при высокой интенсивности движения, в горных и других сложных условиях. Профессионализм определяется также уровнем психологической подготовленности водителя, т.е. формированием у него психофизиологических свойств, которые обеспечивают надежность работы в любых условиях. Недостаточная подготовленность является наиболее частой причиной ошибок, допускаемых молодыми, неопытными водителями в критических ситуациях, которые нередко приводят к ДТП. Поэтому совершенствование подготовки водителей путем использования автотренажеров и повышение их профессионального мастерства являются важнейшими факторами обеспечения БДД.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Ильина, И. Е. Использование автотренажеров в обучении водителей категории «В» [Текст] / И. Е. Ильина, В. В. Лянденбургский, А. И. Звижинский, С. А. Евстратова // Мир транспорта и технологических машин, №1 (40). - Орел. - 2013. - С. 105-111.
2. 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 // Науковедение. - №1. - 2013. - С. 1-12.
3. Ильина, И. Е. Обучение вождению лиц с ограниченными возможностями [Текст] / И. Е. Ильина, В. В. Лянденбургский, С. А. Пылайкин, О. С. Серова // Науковедение. - №6. - 2013. - С. 1-10.
4. Ильина, И. Е. Применение тренажеров для повышения квалификации инструкторов вождения [Текст] / И. Е. Ильина, В. В. Лянденбургский, С. А. Пылайкин, С. А. Евстратова // Науковедение. - №1. - 2013. - С. 1-12.
5. Ильина, И. Е. Исследование психофизиологических особенностей кандидатов в водители на тренажере ТА2 [Текст] / И. Е. Ильина, М. Г. Богаткина, С. А. Евстратова // Мир транспорта и технологических машин. - №1(44). - Орел. - 2014. - С. 119-125.
6. Ильина, И. Е. Использование автотренажеров при подготовке водителей категории «В» [Текст] / И. Е. Ильина, Е. С. Куприянова, Д. А. Кротова // Международный научный форум «Наука молодых - интеллектуальный потенциал XXI века» ПГУАС. - 2013 – С. 102-109.
7. Ильина, И. Е. Использование тренажеров в процессе обучения водителей категории «В» для повы-

шения безопасности дорожного движения [Текст] : учеб. пособие / И. Е. Ильина, Д. А. Кротова, Е. С. Куприянова. - Пенза: ПГУАС, 2013. – 192 с.

8. Ильина, И. Е. Подготовка водителей к управлению автомобилем. Обучение управлению автомобилем водителей с ограниченными возможностями [Текст]: учеб. пособие / И. Е. Ильина - Пенза: ПГУАС, 2013. – 164 с.

9. Ильина, И. Е. Подготовка водителей с ограниченными возможностями [Текст] / И. Е. Ильина, Ю. М. Сергеева, О. С. Серова // Международный научный форум «Наука молодых - интеллектуальный потенциал XXI века» ПГУАС. – 2013. – С. 23-28.

10. Ильина, И. Е. Влияние факторов системы «водитель-автомобиль-дорога-среда» на аварийность [Текст] / И. Е. Ильина, С. А. Евстратова, Ю. М. Сергеева // Международный научный форум «Наука молодых - интеллектуальный потенциал XXI века» ПГУАС. - 2013. – С. 124-129.

11. Ильина, И. Е. Анализ аварийности на автомобильном транспорте Пензенской области [Текст] / И. Е. Ильина, С. А. Пылайкин, О. С. Серова // Сборник статей V Международной научно-производственной конференции «Перспективные направления развития автотранспортного комплекса». - Пенза: РИО ПГСХА. - 2012. – С. 38 – 41.

12. Ильина, И. Е. Применение экспертных методов при оценке факторов влияющих на безопасность дорожного движения [Текст] / И. Е. Ильина, С. А. Евстратова, Ю. М. Сергеева. - Сборник статей XI Международной научно-практической конференции «Прогрессивные технологии в транспортных и социальных системах». - ОГУ. – 2013.

13. Ильина, И. Е. Водитель – как субъективная причина совершения дорожно-транспортных происшествий [Текст] / И. Е. Ильина, С. А. Евстратова // Международный научный форум «Наука молодых - интеллектуальный потенциал XXI века» ПГУАС. - 2014 – С. 65-69.

14. Ильина, И. Е. Методика экспериментальных исследований надежности кандидатов в водители [Текст] / И. Е. Ильина, В. В. Лянденбургский, С. А. Пылайкин, С. А. Евстратова // Науковедение. - №2. - 2014. – С. 1-12.

15. Лянденбургский, В. В. Тренажер для обучения курсантов вождению автомобиля и контроля корректирующих действий инструктора [Текст] / В. В. Лянденбургский, Г. И. Шаронов, И. Е. Ильина, Ю. Д. Бреева // Науковедение. - №4. - 2014. – С. 1-12.

16. Тренажер психофизиологический ТА-2. [Электронный ресурс] / Режим доступа: [www.neugocom.ru](http://www.neugocom.ru) (дата обращения: 16.03.2014).

17. Ильина, И. Е. К вопросу оценки риска совершения дорожно-транспортного происшествия [Текст] // И. Е. Ильина, С. А. Евстратова // Материалы I международной научно-технической конференции Innovation is the source of development of national economy. - 2014. - Часть3. – С. 13-16.

18. Лянденбургский, В. В. Управление обучением профессиональным навыкам с помощью математических моделей “Инновационные технологии обучения инженеров-строителей” [Текст] / В. В. Лянденбургский, А. С. Ветохин // Материалы XXXII научно-методической конференции. – Пенза. - 2002. – С. 83-87.

19. Лянденбургский, В. В. Надежностная и квалификационная модель системы «Обслуживающий персонал - автотранспортное средство» Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств [Текст] / В. В. Лянденбургский, А. С. Ветохин // Материалы III международной научно-технической конференции. - 2004. - Часть II.

20. Лянденбургский В.В., Ветохин А.С., Звижинский А.И. Автотранспортная эргономика [Текст] / В. В. Лянденбургский, А. С. Ветохин, А. И. Звижинский. - Пенза: Пенз. гос. арх.-строит. академия, 2007. – 247 с.

**Ильина Ирина Евгеньевна**

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»

Email: [ie.1978@yandex.ru](mailto:ie.1978@yandex.ru)

**Куприянова Елена Сергеевна**

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»

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

Студент

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

**Кротова Дарья Андреевна**

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»

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

Студент

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

I. E. ILYINA, E. S. KUPRIYANOVA, D. A. KROTOVA

## USE OF THE SIMULATOR TA-2 FOR THE ASSESSMENT OF PSYCHO-PHYSIOLOGICAL PECULIARITIES OF CANDIDATES FOR DRIVERS

*The successful implementation of the activities of the driver requires a certain level of development of psychological qualities. The use of psychodiagnostic trainers in the training of drivers allows you to monitor and train the various physiological processes. Studies have shown that the results differ considerably when testing women and men with experience of driving and only in training..*

**Keywords:** Training, driving, simulator, the driver, the car, the road driving school

### BIBLIOGRAPHY

1. Илина, И. Е. Исползование автотренажеров в обучении водителей категории "V" [Текст] / И. Е. Илина, В. В. Lyandenburskiy, А. И. Zvizhinskiy, S. A. Evstratova // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin, №1 (40). - Orel. - 2013. - S. 105-111.
2. Илина, И. Е. Анализ аварийности и причины нарушения водителями правил дорожного движения по Пензенской области [Текст] / И. Е. Илина, В. В. Lyandenburskiy, S. A. Pylaykin, S. A. Evstratova // Naukovedenie. - №1. - 2013. - S. 1-12.
3. Илина, И. Е. Обучение водителей с ограниченными возможностями [Текст] / И. Е. Илина, В. В. Lyandenburskiy, S. A. Pylaykin, O. S. Serova // Naukovedenie. - №6. - 2013. - S. 1-10.
4. Илина, И. Е. Применение тренажеров для повышения квалификации инструкторов водителей [Текст] / И. Е. Илина, В. В. Lyandenburskiy, S. A. Pylaykin, S. A. Evstratova // Naukovedenie. - №1. - 2013. - S. 1-12.
5. Илина, И. Е. Исследование психофизиологических особенностей кандидатов в водители на тренажере TA2 [Текст] / И. Е. Илина, М. Г. Bogatkina, S. A. Evstratova // Mir transporta i tekhnologicheskikh ma-shin. - №1(44). - Orel. - 2014. - S. 119-125.
6. Илина, И. Е. Исползование автотренажеров при подготовке водителей категории "V" [Текст] / И. Е. Илина, E. S. Kupriyanova, D. A. Krotova // Mezhdunarodnyy nauchnyy forum "Nauka molodykh - intellektual'nyy potentsial XXI veka" PGUAS. - 2013 - S. 102-109.
7. Илина, И. Е. Исползование тренажеров в процессе обучения водителей категории "V" для повышения безопасности дорожного движения [Текст] : учеб. пособие / И. Е. Илина, D. A. Krotova, E. S. Kupriyanova. - Penza: PGUAS, 2013. - 192 s.
8. Илина, И. Е. Подготовка водителей к управлению автомобилем. Обучение управлению автомобилем водителей с ограниченными возможностями [Текст]: учеб. пособие / И. Е. Илина - Penza: PGUAS, 2013. - 164 s.
9. Илина, И. Е. Подготовка водителей с ограниченными возможностями [Текст] / И. Е. Илина, YU. M. Sergeeva, O. S. Serova // Mezhdunarodnyy nauchnyy forum "Nauka molodykh - intellektual'nyy potentsial XXI veka" PGUAS. - 2013. - S. 23-28.
10. Илина, И. Е. Влияние факторов системы "водитель-автомобиль-дорога-среда" на аварийность [Текст] / И. Е. Илина, S. A. Evstratova, YU. M. Sergeeva // Mezhdunarodnyy nauchnyy forum "Nauka molodykh - intellektual'nyy potentsial XXI veka" PGUAS. - 2013. - S. 124-129.
11. Илина, И. Е. Анализ аварийности на автомобильном транспорте Пензенской области [Текст] / И. Е. Илина, S. A. Pylaykin, O. S. Serova // Sbornik statey V Mezhdunarodnoy nauchno-proizvodstvennoy konferentsii "Perspektivnye napravleniya razvitiya avtotransportnogo kompleksa". - Penza: RIO PGSHA. - 2012. - S. 38 - 41.
12. Илина, И. Е. Применение экспертных методов при оценке факторов влияющих на безопасность дорожного движения [Текст] / И. Е. Илина, S. A. Evstratova, YU. M. Sergeeva. - Sbornik statey XI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Progressivnye tekhnologii v transportnykh i sotsial'nykh sistemakh". - OGU. - 2013.
13. Илина, И. Е. Водитель - как субъективная причина совершения дорожно-транспортных происшествий [Текст] / И. Е. Илина, S. A. Evstratova // Mezhdunarodnyy nauchnyy forum "Nauka molodykh - intellektual'nyy potentsial XXI veka" PGUAS. - 2014 - S. 65-69.
14. Илина, И. Е. Методика экспериментальных исследований надежности кандидатов в водители [Текст] / И. Е. Илина, В. В. Lyandenburskiy, S. A. Pylaykin, S. A. Evstratova // Naukovedenie. - №2. - 2014. - S. 1-12.
15. Lyandenburskiy, V. V. Тренажер для обучения курсантов водителей автомобилей и контроля корректирующих действий инструктора [Текст] / V. V. Lyandenburskiy, G. I. Sharonov, I. E. Илина, YU. D. Breeva // Naukovedenie. - №4. - 2014. - S. 1-12.

16. Trenazher psikhofiziologicheskoy TA-2. Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: www.neurocom.ru (data obrashcheniya: 16.03.2014).

17. Il'ina, I. E. K voprosu otsenki riska soversheniya dorozhno-transportnogo proisshestviya [Tekst] // I. E. Il'ina, S. A. Evstratova // Materialy I mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii Innovation is the source of development of national economy. - 2014. - Chast' 3. - S. 13-16.

18. Lyandenburskiy, V. V. Upravlenie obucheniem professional'nym navykam s pomoshch'yu matematicheskikh modeley "Innovatsionnye tekhnologii obucheniya inzhenerov-stroiteley" [Tekst] / V. V. Lyandenburskiy, A. S. Vetokhin // Materialy III nauchno-metodicheskoy konferentsii. - Penza. - 2002. - S. 83-87.

19. Lyandenburskiy, V. V. Nadezhnostnaya i kvalifikatsionnaya model' sistemy "Obsluzhivayushchiy personal - avtotransportnoe sredstvo" Problemy kachestva i ekspluatatsii avtotransportnykh sredstv [Tekst] / V. V. Lyandenburskiy, A. S. Vetokhin // Materialy III mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. - 2004. - Chast' II.

20. Lyandenburskiy V.V., Vetokhin A.S., Zvizhinskiy A.I. Avtotransportnaya ergonomika [Tekst] / V. V. Lyandenburskiy, A. S. Vetokhin, A. I. Zvizhinskiy. - Penza: Penz. gos. arkh.-stroit. akademiya, 2007. - 247 s.

**Ilina Irina Evgen'evna**

FGBOU VPO "Penza State University of Architecture and Construction"

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

Candidate. tehn. Associate Professor, Department "Organization and safety"

Email: iie.1978@yandex.ru

**Kupriyanov Elena Sergeevna**

FGBOU VPO "Penza State University of Architecture and Construction"

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

Student

Email: dekauto@pguas.ru

**Krotova Daria Andriivna**

FGBOU VPO "Penza State University of Architecture and Construction"

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

Student

Email: dekauto@pguas.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 331.1

Т. Л. ЛУКЪЯНЧИКОВА

## СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К СТРАТЕГИИ МОТИВАЦИИ ПЕРСОНАЛА ПРЕДПРИЯТИЙ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

*В статье обоснован новый подход к пониманию роли человеческого фактора и труда в экономике – теория человеческого капитала. Автором был проанализирован опыт мотивации персонала компаний ведущих стран с учетом вклада человеческого капитала и разработана методика вознаграждения персонала предприятий транспортной инфраструктуры.*

**Ключевые слова:** оплата труда, вознаграждение, человеческий капитал, методика оценки по вкладу человеческого капитала.

Роль инфраструктуры в развитии экономики страны трудно переоценить. Современная и передовая транспортная инфраструктура имеет стратегическое значение для экономического роста и качественного перехода экономики к инновационному пути развития. Поэтому главной целью государственной политики в сфере развития транспорта является создание условий для повышения конкурентоспособности экономики и качества жизни населения.

Главным условием обеспечения социального согласия на рынке труда, в том числе и на рынке транспортных услуг, является достижение баланса интересов ведущих социальных сил современного общества: предпринимателей и наемных работников. Каждый работник и предприниматель стремятся получить наибольший доход и в этом их интересы совпадают. Работники заинтересованы получать все возрастающую зарплату, а предприниматели – максимально возможную прибыль.

Стимулирование труда — способ вознаграждения работников за участие в производстве, основанный на сопоставлении эффективности труда и требований технологии. Система оплаты должна создавать у людей чувство уверенности и защищенности, включать действенные средства стимулирования и мотивации, обеспечивать процесс воспроизводства всех видов человеческого капитала.

В экономической науке в последние десятилетия разрабатывается новый подход к пониманию роли человеческого фактора и труда в экономике – теория человеческого капитала. В рамках этой теории заработная плата понимается как цена за вложение в производство особого фактора – человеческого капитала.

Низшая граница оплаты труда определяется расходами на воспроизводство капитала здоровья и трудового капитала. Профсоюзы и работодатели согласуют состав и цену приобретения потребительской корзины (набор благ и услуг, необходимых для нормального воспроизводства работоспособности) на очередной период коллективного договора или отраслевого тарифного соглашения. Дополнительный заработок в виде премий или части прибыли зависит от величины вклада человеческого капитала в доходы предприятия. Интеллектуальная собственность, предпринимательские секреты и риск, репутация работника и его положение (статус) в организации учитываются в системах материального поощрения персонала.

Данной концепции соответствуют и складывающиеся системы оплаты труда в развитых странах. Принципиальная схема стратегии мотивации персонала в эффективных фирмах представлена в книге П. Чингоса «Оплата по результату. Из опыта оплаты труда персонала в США» [20, с.42].

Системный подход к разработке стратегии мотивации персонала в компаниях и фирмах транспортной инфраструктуры в сочетании с применением прогрессивных инструментов

анализа информации о трудовых ресурсах и экономических результатах деятельности компании значительно повышает качество управленческих решений по человеческому капиталу, особенно его использование для улучшения финансовых показателей. План разработки стратегии мотивации персонала в обобщенном виде включает семь этапов [20, с. 41-42].

1. *Анализ деловой среды.* Влияние основных внешних факторов (экономических, географических, нормативно-законодательных, политических, трудовых, хозяйственных) на человеческий капитал компании и принятие связанных с ним управленческих решений.

2. *Оценка модели бизнеса компании.* Определение корпоративных целей, конкурентной среды и ключевых факторов деятельности.

3. *Исследование основных факторов, влияющих на человеческий капитал.* Определение роли трудовых ресурсов и модели взаимоотношений с персоналом (включая оплату труда, организацию управления, трудовые функции, информационные потоки и базы, механизм принятия управленческих решений) в реализации корпоративной стратегии.

4. *Качественная и количественная оценка человеческого капитала.* Определение направлений стимулирования с помощью качественных и количественных методов изучения человеческого капитала. Иначе говоря, необходимо выяснить, что считают объектами стимулирования работники и менеджеры, и что является объектами стимулирования в действительности. Изучение влияния рыночной среды на эффективность управления человеческим капиталом.

5. *Определение приоритетов и явных провалов в управлении человеческим капиталом.* Комплексный взгляд на человеческий капитал для выработки оптимальной стратегии мотивации, развития и стимулирования персонала в зависимости от стратегических целей компании, т.е. платить *нужным* людям *нужную* заработную плату за *нужные* результаты и в *нужное* время.

6. *Разработка плана мероприятий.* Оценка динамики доходности инвестиций в мотивацию персонала, осуществимости и рисков реформы оплаты труда. Цель этапа разработки состоит в формировании устойчивой и последовательной стратегии мотивации, способной позитивно повлиять на текущие финансовые результаты и одновременно обеспечить конкурентные позиции компании в будущем.

7. *Реализации мероприятий и мониторинг результатов.* Распространение информации о мероприятиях, управление их реализацией и прочие меры по обеспечению стратегической направленности процесса, включая *разработку стратегической карты человеческого капитала.*

На наш взгляд, принципиальная модель эффективной заработной платы заключается в пропорциях вложения человеческого капитала и материальных активов с соответствующим распределением дохода фирмы (рис. 1). Основной формой согласования экономических интересов работников и предпринимателей здесь выступает социальное партнерство.

На предприятиях транспортной инфраструктуры вознаграждение услуг труда может осуществляться по вкладу человеческому капиталу, а не просто по труду. Этот вывод подтверждается и практикой стимулирования высокого качества услуг труда в странах-лидерах научно-технического прогресса.

Так, система оплаты труда в Японии основана на системах пожизненного найма, ротации, репутации и подготовки на рабочем месте [5, С.178]. При всем многообразии японских моделей оплаты труда можно выделить следующие особенности.

*Первая особенность* - зависимость оплаты труда от стажа, возраста работника (система оплаты за выслугу лет). Причем зарплату повышают не за стаж и возраст, а за квалификацию и профессионализм, т.е. за качество трудового капитала, который повышается по мере увеличения стажа. Если рост стажа не обуславливает повышения производительности труда

и квалификации работника, то размер оплаты труда в этом случае (что бывает крайне редко) не увеличивается.

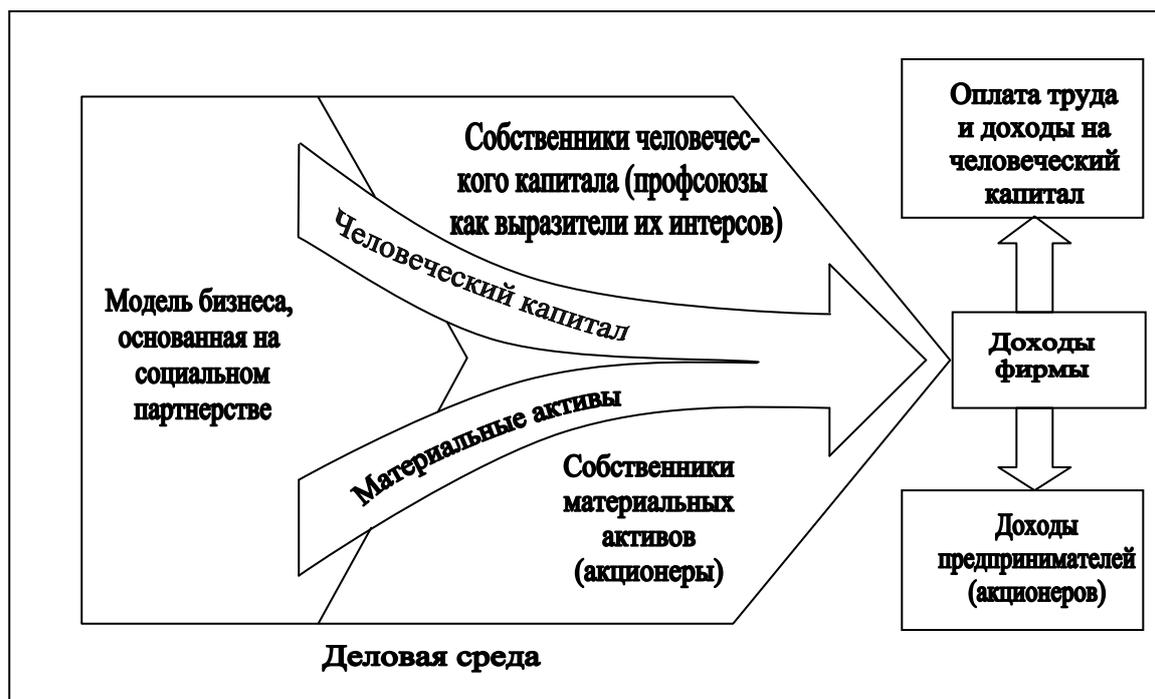


Рисунок 1 – Системный подход к эффективной стратегии мотивации персонала предприятий транспортной инфраструктуры

Второй особенностью является зависимость вознаграждений от определённых жизненных этапов (вступление в брак, рождение ребенка, покупка жилья в кредит и др.). Наступление каждого из перечисленных этапов сопровождается повышением заработной платы. Таким образом, работник знает, что в сложных ситуациях он не одинок, ему материально поможет фирма. Жить в таких условиях спокойней и надежней, складывается положительная мотивация и отношение к фирме, растёт отдача труда работников.

Третьей особенностью оплаты труда в японских фирмах становится оценка влияния на рост или снижение оплаты труда показателя фактического трудового вклада или реальных результатов работы. Сейчас в Японии оплата труда по результатам работы составляет более 60% в совокупной заработной плате, и эта тенденция усиливается.

Четвертая особенность оплаты труда менеджеров выражается в зависимости их окладов от результатов работы предприятия. На всех предприятиях используется система «плавающих» окладов. Базовые ставки директора завода, начальников цехов, других менеджеров колеблются в зависимости от динамики себестоимости, объема производства, номенклатуры, других показателей, за которые отвечает тот или иной руководитель. Таким образом, оцениваются вложения организационного капитала и предпринимательских способностей.

Структуру типичной системы платы труда с учетом персональных вложений человеческого капитала можно представить следующей схемой (рис. 2.). Цифры в скобках показывают доли в процентах от общей величины заработной платы.

Другим примером оплаты труда с учетом вклада человеческого капитала служит разработанная американскими специалистами «оплата за квалификацию» (ОЗК). Суть этой системы в том, что уровень оплаты зависит не только от сложности выполняемой работы, но и от набора специальностей, которые работник способен использовать в своей деятельности. В данном случае платят не за то, что он делает, а за то, что он знает, т.е. оплачивается не только труд, но и рост квалификации, освоенные специальности, т.е. интеллектуальный капитал.

Месячная зарплата (100)	Плановый оклад (70)	Основная ставка (80)	по возрасту (жизненный опыт)	
			по стажу (профессиональный опыт)	
			по категориям (определяемым результатам оценки кадров, трудовой капитал)	
		Плановые надбавки (70)	Премия за хорошие результаты (инициативность)	
			Премия за отсутствие и малое число дней невыхода на работу (капитал здоровья)	
			Должностное пособие (организационный капитал)	
			Пособие по категории навыков (инновационность)	
			Пособие по роду занятий	Пособие по коммерческой работе (интрапренерство)
			Пособие по спецработе	Пособие по опасной работе
			Жизненные пособия: (социальный капитал)	по содержанию семьи по обеспечению жильем по длительной разлуке с семьей по службе в районе с холодным климатом
Премии за квалификацию	государственные частные (культура, знания)			
Пособия для регулирования (мотивации)				
Прочие				
Неплановые надбавки (7) (дополнительный вклад в человеческий капитал)		Оплата сверхурочных работ Оплата работ в выходные дни Пособие по выполнению временной работы Пособие на роды, свадьбу и похороны		
+				
Бонусы (200-800) (предпринимательский капитал)		Летний бонус (100-300)		
		Бонус на конец года (100-300)		
+				
Выходное пособие	Выходное пособие	Основная ставка	Долевой коэффициент, определяемый в зависимости от стажа	Коэффициент, определяемый причиной выхода
	=		x	x

Рисунок 2 – Система оплаты труда в японской компании [5, с.191]

Существенные факторы внедрения ОЗК — наличие консенсуса между администрацией и профсоюзами, сплоченность членов бригад на базе взаимопомощи и согласия. Без этого применение этой системы оплаты труда может иметь обратный эффект, т. е. привести как к снижению эффективности производства, так и к росту социальной напряженности. В целом «оплата за квалификацию» означает, что при освоении каждой новой специальности исполнитель получает прибавку к заработной плате, при этом приобретенные знания должны в той или иной мере использоваться в работе.

В целом система ОЗК считается эффективной и перспективной, несмотря на ряд относительно негативных последствий. Повышение расходов на оплату труда в значительной степени компенсируется ростом гибкости использования рабочей силы и ее производитель-

ности. Увеличение фирменных инвестиций в подготовку кадров рассматривается не как рост непроизводительных расходов, а как долгосрочные инвестиции в развитие человеческих ресурсов. Немаловажно и то обстоятельство, что рабочие выражают все большее удовлетворение данной системой оплаты, считая ее более справедливой. Действительно, уровень оплаты при ОЗК зависит в большей степени от их способностей, целеустремленности, желаний, а не от стажа или необоснованных управленческих решений при расстановке кадров.

При этом работник лучше понимает и оценивает свой вклад в результативность производственного процесса, повышается степень ответственности, преодолевается отчуждение, что, безусловно, сказывается на росте его мотивации, удовлетворенности трудом. В конечном счете, все это отражается на качестве работы и социальном статусе непосредственного производителя.

Компенсационный менеджмент предлагает еще одну систему вознаграждения, которая способна дифференцировать требования к рабочему заданию, знаниям и опыту работника, а также стимулы к росту производительности, которые связывают показатели деятельности индивида, бригады, производственной единицы и предприятия. Компенсационный пакет в целом включает в себя множество льгот, оберегающих и обогащающих стиль жизни рабочего и его семьи. Так, например, в компаниях «Lincoln Electric», «General Motors», «Ford», «Chrysler» и др. общее число элементов по основным направлениям компенсаций составляет: плата за работу и производительность – 36 видов компенсаций; плата за нерабочее время – 21 вид; продолжение выплат при нетрудоспособности – 19; продолжение выплат при утрате работы – 10; охрана здоровья, от несчастного случая, обязательства – 23; выплаты эквивалентные доходу: освобождение от налогов – 26; льготы по налогам – 11 измерений. Всего 179 видов компенсаций (вознаграждений) [7, с. 89].

Характерно, что уже в российских компаниях общее число компенсационных выплат превысило 100 видов [7, с. 90]. По данным исследований Ward Howell International, 86 % ведущих российских компаний предоставляют менеджерам среднего и высшего звена компенсацию, не уступающую аналогам в западных компаниях. Приведенным данным вторят исследования портала E-xecutive, показавшие, что 65 % всех соискателей при выборе работодателя ориентируются именно на отличную компенсацию [3].

Другой частью системы вознаграждений являются некомпенсационные вознаграждения. Эти вознаграждения выплачиваются фактически за любую деятельность, которая оказывает определенное воздействие на интеллектуальное, эмоциональное и физическое благополучие работника и не предусматривается специально оговариваемым покрытием в рамках компенсационной системы.

Между компенсационными и некомпенсационными вознаграждениями существует тесная взаимосвязь, поскольку они комплексно воздействуют на повышение производительности и являются составными элементами компенсационной стратегии.

Компенсационная стратегия заключается в осмыслении и группировке составных элементов компенсации так, чтобы позитивным образом сказывались на мотивации персонала и приводили к улучшению производительности и прибыльности компании.

Системы оплаты труда, доплаты и надбавки компенсационного и стимулирующего характера должны устанавливаться коллективными договорами, соглашениями, локальными нормативными актами в соответствии с трудовым законодательством и иными нормативными правовыми актами, содержащими нормы трудового права.

Компенсационная стратегия устанавливает прямую связь между требуемым объемом работы, производительностью и обеспечиваемой заработной платой, а также нацеливает на повышение эффективности компании путем стимулирования работников на достижение высоких результатов.

В западных компаниях в компенсационный пакет могут быть включены так называемые долгосрочные премиальные программы. В основе долгосрочных мотивационных программ, стимулирующих управленцев работать на длительную перспективу ради увеличения

капитализации бизнеса, лежит инвестиционный подход, при котором вознаграждение менеджера зависит от достижения конкретного финансового результата – прибыли или увеличения стоимости компании. Это, так называемые, опционные программы, разрабатываемые обычно сроком на 3 – 5 лет.

Суть опционных программ заключается в том, что компания передает или продает управленцу пакет собственных акций, в результате чего он наряду с собственниками бизнеса заинтересован в росте рыночной стоимости компании.

Таким образом, анализ современных западных теорий оплаты труда, обобщающий опыт передовых фирм, позволяет утверждать, что экономической основой вознаграждения за труд, в том числе и в сфере транспортных услуг, все шире становится вклад человеческого капитала в достижение доходов фирмы.

Доходы современного работника, квалифицированного, со средним и высшим образованием, компетентного, проявляющего ответственность, инициативность, предпринимательскую смекалку и инновационную активность, состоят из трех частей: заработная плата за простой труд плюс доходы на вложенный человеческий капитал плюс фирменные инвестиции в человеческий капитал.

С целью оценки личного вклада человеческого капитала работника в достижение конечных результатов деятельности предприятий транспортной инфраструктуры нами предложена методика вознаграждения по вкладу в конечные результаты [18, с. 120-121] (табл. 1).

Данная методика оплаты труда по вкладу человеческого капитала должна повлиять на качество решений в управлении человеческим капиталом и одновременно на общие финансовые результаты деятельности предприятия.

В целях полноценной материальной оценки вложенного человеческого капитала работника предприятий транспортной инфраструктуры в конечные результаты деятельности таких предприятия необходимо правовое обеспечение экономических реформ по оплате труда.

Таблица 1 – Методика вознаграждения персонала по вкладу в конечные результаты

№ п/п	Показатели деятельности	Мера результативности	Фактический доход за текущий год, тыс. руб.	Потенциальный доход, тыс. руб.	Степень использования потенциала, % (4:5)
1	2	3	4	5	6
<b>1.</b>	<b>Трудовой капитал</b>				
1.1	Базисная (тарифная) оплата труда за год	чел./час. в нед.			
1.2	Доплаты за условия труда	по видам			
1.3	Стимулирующие выплаты (премии за качество и экономию)	по видам			
1.4	Дополнительная занятость (совместительство)	чел./час в год			
1.5	Другие трудовые доходы				
<b>2.</b>	<b>Интеллектуальный капитал</b>				
2.1	Объекты интеллектуальной собственности и их использование	по видам			
2.2	Авторские права на предметы искусства	по видам			
2.3	НИОКР	по темам			

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6
2.4	Рационализаторские предложения (инновации)	по видам			
2.5	Другие источники				
<b>3.</b>	<b>Предпринимательский капитал</b>				
3.1	Собственный капитал (акции, паи, вклады в уставный капитал)	по фирмам			
3.2	Недвижимость	по объектам			
3.3	Финансовые активы (депозиты в банках, кооперативах, в валюте и др.)	по видам			
3.4	Предпринимательские проекты (дополнительные)	по проектам			
3.5	Другие источники				
<b>4.</b>	<b>Организационный капитал</b>				
4.1	Статус в системе управления и доплаты за ответственность	уровень			
4.2	Контролируемый капитал	млн. руб.			
4.3	Представительские расходы				
<b>5.</b>	<b>Социальный капитал</b>				
5.1	Выплаты за почетные звания и награды, фирма, отрасль, страна)	по видам			
5.2	Выплаты за приверженность фирме (выслуга лет)	стаж			
5.3	Вознаграждения за выполнение особо важных заданий	приказы			
5.4	Вычет штрафов (депремирование) за нарушение трудовой и технологической дисциплины				
5.5	Другие социальные выплаты				
<b>6.</b>	<b>Биофизический капитал (здоровье)</b>				
6.1	«Лечебные» к отпуску	положение			
6.2	Оплата фирмой (профсоюзом) путёвок в санатории, профилактории	кол. договор			
6.3	Оплата расходов на профилактику и лечение профзаболеваний	кол. договор			
6.4	Возмещение части затрат на лечение и оздоровление	кол. договор			
6.5	Потери доходов при болезни				
6.6	Другие доходы и потери				
<b>7.</b>	<b>Общий годовой доход (1+2+3+4+5+6)</b>				

Считаем целесообразным внести в Трудовой кодекс РФ в раздел VI «Оплата труда» статьи «Оплата по вкладу человеческого капитала». Изменить содержание главы 21 ТК РФ

«Заработная плата» на «Вознаграждение за труд и вложенный человеческий капитал» в соответствии с методикой, предложенной выше.

Для того чтобы внедрить в сознание работодателей и работников новое понимание принципа и структуры вознаграждения за человеческий капитал, необходимо включить разделы «Оплаты труда по вкладу человеческого капитала» в коллективные договоры предприятий транспортной инфраструктуры, в отраслевые тарифные соглашения, в индивидуальные контракты работников.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоконная, Л. Формирование заработной платы: взгляд сквозь призму профессий [Текст] / Л. Белоконная // Вопросы экономики. – 2007. - №10. – С.52–74.
2. Ветлужских, Е. Мотивация и оплата труда: Инструменты. Методики. Практика [Текст] / Е. Ветлужских. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. – 152 с.
3. Вишневецкая, Н. Формирование заработной платы в России: роль отраслевых тарифных соглашений [Текст] / Н. Вишневецкая, О. Куликов // Вопросы экономики. – 2009. - №4. – С. 91-103.
4. Волгин, Н. А. Оплата труда и проблемы ее регулирования / Н. А. Волгин, Т. Б. Будаев. – М.: Издательство «Альфа-Пресс», 2006. – 200 с.
5. Волгин, Н. А. Оплата труда: японский опыт и российская практика [Текст]: учебное пособие / Н. А. Волгин, О. Н. Волгина. - М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2005. – 508 с.
6. Головляница, Е. Б. Инновационен ли российский средний класс? Особенности профессиональной структуры и трудовых ценностей среднего класса накануне кризиса [Текст] / Е. Б. Головляница // Мир России. – 2009.– № 4. – С. 19-36.
7. Горелов, Н. А. Вознаграждение работникам (Компенсационный менеджмент) [Текст]: учебное пособие / Н. А. Горелов. - СПб.: Изд. «ЛИК», 2007. – 815 с.
8. Дубянская, Г. Ю. Заработная плата как зеркало социально-экономических преобразований в России [Текст] / Г. Ю. Дубянская // Вестник МГУ. Серия 6 «Экономика». – 2005. - №2. – С.79-102.
9. Единые рекомендации по системам оплаты труда работников организаций, финансируемых из бюджетов на федеральном, региональном и местном уровнях, на 2006г. // Человек и труд. - №11. - 2005. – С. 19-23.
10. Ельмеев, В. Я. Проблемы труда и собственности в экономической социологии [Текст] / В. Я. Ельмеев, Е. Е. Тарандо. - СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та., 2009. - 191 с.
11. Заработная плата в России: эволюция и дифференциация [Текст]: монография / под ред. В.Е. Гимпельсона, Р.И. Капелюшников. - Высшая школа экономики. – М.: Изд. дом ГУ ВШЭ, 2007. – 576 с.
12. Зинин, В. Г. Политика доходов населения: меры по повышению доходов, совершенствованию оплаты труда и сокращению бедности [Текст] / В. Г. Зинин, Н. А. Антонова, М. С. Багереев // Уровень жизни населения регионов России. – 2001. - №9. – С. 24-38.
13. Капелюшников, Р. И. Образовательный потенциал и его связь с характеристиками рынка труда: российский опыт [Текст] / Р. И. Капелюшников // Экономическая политика. - 2006. - N 4. - С. 166-195.
14. Капелюшников, Р. И. Производительность труда и стоимость рабочей силы: как рождаются статистические иллюзии [Текст] / Р. И. Капелюшников // Вопросы экономики. – 2009. - №4. – С. 59-79.
15. Конин, Ю. Федеральное регулирование заработной платы необходимо сохранить [Текст] / Ю. Конин // Человек и труд. – 2004. - №8. – С.73-74.
16. Кузык, Б. Н. Россия - 2050: стратегия инновационного прорыва [Текст] / Б. Н. Кузык, Ю. В. Яковец. – М.: ЗАО «Издательство «Экономика», 2005. – 624 с.
17. Мазин, А. Л. Минимальная заработная плата: зарубежный опыт и отечественная практика [Текст] / А. Л. Мазин // Человек и труд. – 2004. - №6. – С. 61-68.
18. Лукьянчикова, Т. Л. Человеческий капитал: основа и источник достойных доходов населения [Текст] / Т. Л. Лукьянчикова. - Орел: Издатель Александр Воробьев, 2011. – 356с.
19. Скакодуб, А. Компенсационный пакет сегодня или как компании объясняются в любви к своим сотрудникам [Электронный ресурс]/ <http://www.klerk.ru/boss/articles/77340/>.
20. Чингос, П. Оплата по результату. Из опыта оплаты труда персонала в США [Текст] / П. Чингос. - Пер. с англ. - М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 404 с.

**Лукьянчикова Татьяна Львовна**

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – УНПК»

Адрес: 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 40

Д-р экон. наук, профессор кафедры «Мировая экономика и статистика»

E-mail: lvovna1974@mail@mail.ru

T. L. LUKYANCHIKOVA

## THE SYSTEM APPROACH TO THE STRATEGY OF MOTIVATION OF THE PERSONNEL OF THE ENTERPRISES OF A TRANSPORT INFRASTRUCTURE

*In the article the new approach to understanding the role of human factors in the economy and labor - human capital theory. The author analyzed the experience of staff motivation companies leading countries with regard to the contribution of human capital and the method of remuneration of staff in enterprises of transport infrastructure.*

**Keywords:** labor, remuneration, human capital, methodology of evaluation on the contribution of human capital.

### BIBLIOGRAPHY

1. Belokonnaya, L. Formirovanie zarabotnoy platy: vzglyad skvoz` prizmu professiy [Tekst] / L. Belokonnaya // *Voprosy ekonomiki*. - 2007. - №10. - S.52-74.
2. Vetluzhskikh, E. Motivatsiya i oplata truda: Instrumenty. Metodiki. Praktika [Tekst] / E. Vetluzhskikh. - M.: Al`pina Biznes Buks, 2007. - 152 s.
3. Vishnevskaya, N. Formirovanie zarabotnoy platy v Rossii: rol` otraslevykh ta-rifnykh soglasheniy [Tekst] / N. Vishnevskaya, O. Kulikov // *Voprosy ekonomiki*. - 2009. - №4. - C. 91-103.
4. Volgin, N. A. Oplata truda i problemy ee regulirovaniya / N. A. Volgin, T. B. Bu-daev. - M.: Izdatel`stvo "Al`fa-Press", 2006. - 200 s.
5. Volgin, N. A. Oplata truda: yaponskiy opyt i rossiyskaya praktika [Tekst]: ucheb-noe posobie / N. A. Volgin, O. N. Volgina. - M.: Izdatel`sko-torgovaya korporatsiya "Dashkov i K?", 2005. - 508 s.
6. Golovlyanitsina, E. B. Innovatsionen li rossiyskiy sredniy klass? Osobennosti professional`noy struktury i trudovykh tsennostey srednego klassa nakanune krizisa [Tekst] / E. B. Golovlyanitsina // *Mir Rossii*. - 2009. - № 4. - S. 19-36.
7. Gorelov, N. A. Voznagrazhdenie rabotnikam (Kompensatsionnyy menedzhment) [Tekst]: uchebnoe posobie / N. A. Gorelov. - SPb.: Izd. "LIK", 2007. - 815 s.
8. Dubyanskaya, G. YU. Zarabotnaya plata kak zerkalo sotsial`no-ekonomicheskikh preobra-zovaniy v Rossii [Tekst] / G. YU. Dubyanskaya // *Vestnik MGU. Seriya 6 "Ekonomika"*. - 2005. - №2. - C.79-102.
9. Edinye rekomendatsii po sistemam oplaty truda rabotnikov organizatsiy, finan-siruemykh iz byudzhetrov na federal`nom, regional`nom i mestnom urovnyakh, na 2006g. // *Chelo-vek i trud*. - №11. - 2005. - C. 19-23.
10. El`meev, V. YA. Problemy truda i sobstvennosti v ekonomicheskoy sotsiologii [Tekst] / V. YA. El`meev, E. E. Tarando. - SPb.: Izd-vo S.-Peterb. un-ta., 2009. - 191 s.
11. Zarabotnaya plata v Rossii: evolyutsiya i differentsiatsiya [Tekst]: monografiya / pod red. V.E. Gimpel`sona, R.I. Kapelyushnikova. - Vysshaya shkola ekonomiki. - M.: Izd. dom GU VSHE, 2007. - 576 s.
12. Zinin, V. G. Politika dokhodov naseleniya: mery po povysheniyu dokhodov, sover-shenstvovaniyu oplaty truda i sokrashcheniyu bednosti [Tekst] / V. G. Zinin, N. A. Antonova, M. S. Bagereev // *Uroven` zhizni naseleniya regionov Rossii*. - 2001. - №9. - C. 24-38.
13. Kapelyushnikov, R. I. Obrazovatel`nyy potentsial i ego svyaz` s kharakteristikami rynka truda: rossiyskiy opyt [Tekst] / R. I. Kapelyushnikov // *Ekonomicheskaya politika*. - 2006. - N 4. - S. 166-195.
14. Kapelyushnikov, R. I. Proizvoditel`nost` truda i stoimost` rabochey sily: kak rozhdaiutsya statisticheskie illyuzii [Tekst] / R. I. Kapelyushnikov // *Voprosy ekonomiki*. - 2009. - №4. - C. 59-79.
15. Konin, YU. Federal`noe regulirovanie zarabotnoy platy neobkhodimo sokhranit` [Tekst] / YU. Konin // *Chelovek i trud*. - 2004. - №8. - C.73-74.
16. Kuzyk, B. N. Rossiya - 2050: strategiya innovatsionnogo proryva [Tekst] / B. N. Ku-zyk, YU. V. YAKo-vets. - M.: ZAO "Izdatel`stvo "Ekonomika", 2005. - 624 s.
17. Mazin, A. L. Minimal`naya zarabotnaya plata: zarubezhnyy opyt i otechestvennaya praktika [Tekst] / A. L. Mazin // *Chelovek i trud*. - 2004. - №6. - C. 61-68.
18. Luk`yanchikova, T. L. Chelovecheskiy kapital: osnova i istochnik dostoynykh dokhodov naseleniya [Tekst] / T. L. Luk`yanchikova. - Orel: Izdatel` Aleksandr Vorob`iov, 2011. - 356s.
19. Skakodub, A. Kompensatsionnyy paket segodnya ili kak kompanii ob"yasnyayutsya v lyubvi k svojim sotrudnikam [Elektronnyy resurs]/ <http://www.klerk.ru/boss/articles/77340/>.
20. Chingos, P. Oplata po rezul`tatu. Iz opyta oplaty truda personala v SSHA [Tekst] / P. Chingos. - Per. s angl. - M.: Izdatel`skiy dom "Vil`yams", 2004. - 404 s.

**Luk`yanchikova Tat`jana L`vovna**  
FGBOU VPO "State University - UNPK"  
Address: 302020, Orel, Naugorskoe Highway 40  
Dr. Econ. , Professor of the Department "World Economy and Statistics"  
E-mail: lvovna1974mail@mail.ru

УДК 334.723

Д. Л. ОБОЛЕНЦЕВ

## ЧАСТНО-ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПАРТНЕРСТВО В ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ

*В статье рассмотрена роль формирования и развития частно-государственного партнерства в транспортной инфраструктуре России. Рассмотрены проблемы и перспективы этих процессов, приведены конкретные примеры их реализации.*

**Ключевые слова:** частно-государственное партнерство, реализация, формирование, транспортная инфраструктура.

Государственно-частное партнерство – вещь для России относительно новая. Даже в Великобритании, считающейся родоначальницей этой формы реализации инвестиционных проектов, первые шаги по формализации ГЧП были приняты в не столь уж далеком 1981 году. В нашей же стране это понятие в узком смысле (если не ограничиваться понятием «концессия») впервые появилось в законодательном акте лишь в 2006 году в Санкт-Петербурге.

Традиционными сферами государственно-частного партнерства во всех странах являлись объекты социальной и транспортной инфраструктуры, а движущей силой процесса была тенденция к сокращению участия государства в экономике. В основе идеи ГЧП лежит теория смешанной экономики, однако, нельзя считать любое взаимодействие государства и частного капитала это ГЧП. Критерием может являться выполнение бизнесом функций, которые традиционно выполняло государство. Развитие и поддержание инфраструктуры (производственной, транспортной, социальной) – наиболее типичный пример.

В мире сейчас нет единого представления о том, в какой законодательной форме должно быть оформлено государственно-частное партнерство. В некоторых развитых странах – признанных лидерах по степени развития ГЧП – единого закона нет, а основные принципы его заложены в различные законодательные акты и нормы гражданского права. Примерами могут служить Франция, Англия, Уэльс, Япония, Австралия. В других государствах приняты отдельные законы о ГЧП. Такая ситуация сложилась в Германии, Бразилии, Греции, Египте, Анголе и ряде стран Восточной Европы. Отчасти причина такого разделения в том, что в первой группе стран ГЧП развивалось естественным образом («снизу»), соответствующие правки постепенно вносились в уже действующие законы. Страны, в которых приняты отдельные законы о ГЧП, входят в группу стран с догоняющей экономикой (исключение из перечисленных – Германия), поэтому развитие государственно-частного партнерства происходило в них «сверху». Другими словами в этой группе стран ГЧП требует от государства активного участия и продвижения. Россия, как и страны СНГ, относится к группировке стран с догоняющей экономикой.

В мире выделяют семь основных видов ГЧП (табл. 1).

Таблица 1 – Классификация видов ЧПП

№	Сокращение	Расшифровка	Описание
1	ВОТ	Build. Operate. Transfer (Построй. Управляй. Передай)	Эта схема используется главным образом в концессиях. Инфраструктурный объект создается за счет концессионера, который после завершения строительства получает право эксплуатации сооруженного объекта в течение срока, достаточного для окупаемости вложенных средств. По истечении срока объект возвращается государству. Концессионер получает правомочие использования, но не владения объектом, собственником которого является государство.
2	ВООТ	Build. Own. Operate. Transfer (Построй. Владей. Управляй. Передай)	В этом случае частный партнер получает не только правомочие пользования, но и владения объектом в течение срока соглашения, по истечении которого он передается публичной власти. Существует также обратный ВООТ, при котором власть финансирует и возводит инфраструктурный объект, а затем передает его в доверительное управление частному партнеру с правом для последнего постепенно выкупить его в свою собственность.
3	ВТО	Build. Transfer. Operate (Построй. Передай. Управляй)	Схема предполагает передачу объекта публичной власти сразу по завершении строительства. После приема государством он переходит в пользование частного партнера, но без передачи ему права владения.
4	ВОО	Build. Own. Operate. (Построй. Владей. Управляй)	По схеме созданный объект по истечении срока соглашения не передается публичной власти, а остается в распоряжении инвестора.
5	ВОМТ	Build. Operate. Maintain. Transfer (Построй. Управляй. Поддерживай. Передай)	Здесь специальный акцент делается на ответственности частного партнера за содержание и текущий ремонт сооруженных им инфраструктурных объектов.
6	ДВООТ	Design. Build. Own. Operate. Transfer (Спроектируй. Построй. Владей. Управляй. Передай)	Особенность соглашений этого типа состоит в ответственности частного партнера не только за строительство инфраструктурного объекта, но и за его проектирование.
7	ДВФО	Design. Build. Finance. Operate (Спроектируй. Построй. Финансируй. Владей. Управляй. Передай)	Помимо ответственности частного партнера за проектирование специально оговаривается его ответственность за финансирование строительства инфраструктурных объектов.

Источник [4]

В Российской Федерации, как и в других развитых странах, транспорт является одной из крупнейших базовых отраслей экономики страны, важнейшей составной частью производственной инфраструктуры. Устойчивое развитие транспорта является гарантией единства социально-экономического пространства, свободного перемещения товаров и услуг, конкуренции и свободы экономической деятельности, обеспечения целостности России и ее национальной безопасности, улучшения условий и уровня жизни населения. Наша страна располагает всеми современными видами транспорта, размещение и структура ее транспортных коммуникаций в целом отвечают внутренним и внешним транспортно-экономическим связям всех регионов и субъектов, но нуждаются в существенной модернизации [1].

Обладая протяженностью автомобильных дорог общего пользования в 1200 тыс. км., Российская Федерация по этому показателю в 2-3 раза отстает от развитых стран мира. Почти 90% протяженности федеральных дорог страны представляют собой дороги, где движение осуществляется по одной полосе в каждом направлении; 29% федеральных трасс работают в режиме перегрузки. Около 76 процентов протяженности автомобильных дорог регионального (межмуниципального) значения не соответствует нормативным требованиям по транспортно-эксплуатационному состоянию, что приводит к повышению себестоимости автомобильных перевозок и снижению конкурентоспособности продукции предприятий. Эксплуатационная длина сети железных дорог общего пользования в России составляет около 85 тыс. км., в том числе протяженность участков, имеющих 2 и более пути, – около 38 тыс. км. Для большинства грузовладельцев железнодорожный транспорт является безальтернативным видом транспорта, перевозя 70-90% массовых грузов, при этом более 40% – перевозки российских грузов на экспорт, около 3% – транзитные перевозки. Однако, на сегодняшний день на сети железных дорог сохраняется значительное количество участков и станций, характеристики мощности которых не соответствуют текущим и перспективным потребностям в перевозках. Практически отсутствуют высокоскоростные и скоростные железнодорожные линии, не полностью используются возможности железнодорожного транспорта для освоения городских и пригородных пассажирских перевозок.

Морской транспорт играет важную роль в развитии экономики Российской Федерации и решающую роль в транспортном обеспечении ее внешнеэкономических связей. Им выполняются 50% всех экспортно-импортных перевозок. Особенно велико его значение в районах Севера, Северо - Востока. В Российской Федерации 64 морских порта. Вместе с тем у морского транспорта есть и существенные недостатки: недостаточные глубины в акватории и подходных каналах большинства российских портов существенно снижают их конкурентоспособность, так как не позволяют обрабатывать современные крупнотоннажные суда. Судходные пути в зоне ответственности Российской Федерации не достаточно оборудованы современными навигационными средствами. На подходах к ряду портов отсутствуют системы управления движением судов, что является одной из основных причин навигационных аварий [5].

Россия располагает самым большим в мире воздушным пространством, которое эффективно используется для транзитных полетов иностранных воздушных судов, в том числе по транссибирским и кроссполярным воздушным маршрутам. Протяженность воздушных трасс Российской Федерации составляет 532 тыс. км., из которых более 150 тыс. км. являются международными. Однако, на сегодняшний день аэродромная сеть включает около 390 аэродромов, из которых только 62% имеют взлётно-посадочные полосы с искусственным покрытием, их аэронавигационное оборудование устарело. Причем еще в 1992 году количество аэропортов было более 1300. Основная причина – резкое сокращение воздушных линий местного назначения из-за их убыточности и как следствие – сокращение количества малых аэропортов.

Подобная ситуация в целом по стране сложилась в том числе и потому, что в последние десятилетия в российской практике инфраструктурные проекты, связанные с транспортной отраслью, реализовывались только за счет государственных средств. Недостаток государственного финансирования транспортной отрасли ведёт к моральному и физическому старению транспортной инфраструктуры и общему сокращению её составляющих. Однако, как показывает мировая практика, только государство за счет собственных средств не способно реализовать весь комплекс задач по развитию транспортной инфраструктуры. Заинтересованность государства в частных инвестициях отчетливо прослеживается в материалах Федеральной целевой программы «Развитие транспортной системы России (2010-2020 гг.)», согласно которой на реализацию мероприятий транспортной инфраструктуры будет привлечено порядка 11,4 трлн. рублей, из них средств бюджетов различных уровней - 5,5 трлн. рублей, а остальные средства - 5,9 трлн. рублей (или почти 52%) частных инвесторов.

Перспективным механизмом привлечения негосударственных средств и одним из главных инструментов государственной инвестиционной политики во всем мире является государственно-частное партнерство, в рамках которого определяются вопросы, касающиеся распределения рисков, уровня обязательств, в том числе и финансовых, государственного и частного секторов, продолжительности реализации проектов и права собственности на имущество. В целях устранения несоответствия уровня развития транспортного комплекса в регионах текущим и стратегическим потребностям единого экономического пространства, повышения инвестиционной привлекательности регионов Российская Федерация в целом и каждый из субъектов в отдельности принимают собственные программы развития транспортной системы. Финансирование и реализация подобных программ осуществляется за счет средств бюджетных ассигнований, в том числе на основе сочетания бюджетного финансирования с привлечением заемных и частных инвестиционных средств.

Так, например, в рамках выполнения подпрограммы «Развитие экспорта транспортных услуг» Федеральной целевой программы «Развитие транспортной системы России» осуществляется реализация 13 крупных инфраструктурных проектов федерального уровня на принципах государственно-частного партнерства, в том числе за счет средств Инвестиционного фонда Российской Федерации. А согласно Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года инвестиционная политика страны должна быть направлена на создание эффективной транспортно-логистической инфраструктуры, в том числе терминалов и логистических парков, и перевооружение компаний современным подвижным составом, техническими средствами и информационными системами, на основе государственно-частного партнерства [2].

Особое место в инфраструктурной сфере занимает транспортная составляющая, образующая каркас всей экономической системы, представляющая «кровеносную систему» экономики страны. Традиционно в российской практике в течение последних нескольких десятков лет инфраструктурные проекты, связанные с транспортной отраслью, реализовывались только за счет государственных средств.

Однако, по оценкам министерства транспорта, емкость рынка частных инвестиций в развитие транспортной инфраструктуры России оценивается в млрд. в год. По этим же данным, в настоящий момент объем инвестиций в инфраструктуру транспорта едва превышает 2% ВВП, в то время, как в большинстве других стран мира этот показатель составляет не менее 4%. Таким образом, дефицит частных инвестиций в транспортный сектор России составляет около млрд. в год. Потенциальную емкость рынка частных инвестиций в транспортную инфраструктуру отражает рисунок 1.

Однако, несмотря на высокую емкость данного рынка, среди основных проблем, с которыми приходится сталкиваться государству и частным инвесторам, выступают высокая капиталоемкость, длительные сроки окупаемости инфраструктурных проектов, неразвитость внутренних финансовых и фондовых рынков, отсутствие конституционного законодательства, а также практика предоставления налоговых льгот и преференций для инвесторов.

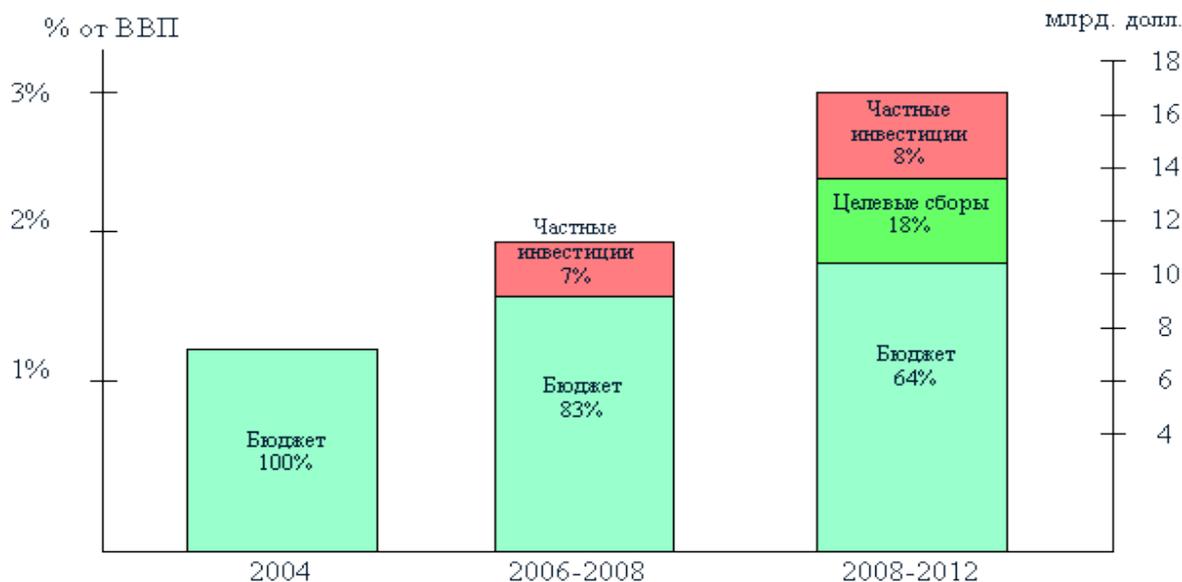


Рисунок 1 – Потенциальная емкость рынка частных инвестиций в транспортную инфраструктуру России [3]

Специалисты выделяют следующие виды государственно-частного партнерства в области транспортной инфраструктуры [3]:

1. Распродажа активов. Распродажа в частные руки государственных активов либо напрямую, либо через продажу акций государственных предприятий. Распродажа может быть полной или частичной.

2. «Гринфилд». Проекты (проекты «зеленого поля»). Частная или государственно-частная компания строит на новом месте и затем управляет новым объектом транспортной инфраструктуры. Объект строится на новых принципах проектного финансирования, сокращающего и перераспределяющего инвестиционные риски. Разновидностью этих проектов являются так называемые «браунфилд» - проекты (проекты «коричневого поля»), когда частная компания на свои средства ведет реконструкцию и ремонт уже существующих объектов транспортной сферы.

3. Контракты на управление и содержание объектов (O&M) разрешают частному сектору управлять государственным транспортным объектом и организовывать транспортные услуги в течение определенного времени, но не включают инвестиционные обязательства частного капитала. Такие проекты носят, как правило, кратковременный характер (3-5 лет), и государство продолжает нести основную часть рисков, связанных с проектом (контракты на управление и лизинг).

4. Концессионные проекты или контракты на управление и содержание объектов с инвестиционными обязательствами. Частной компании передается в управление государственный транспортный объект на определенный период времени (в среднем, на 10-30 лет). Предполагается осуществление частной компанией крупных инвестиций в объект. В основе лежат контракты типа «строительство-управление-передача» (имеется в виду передача объекта либо обратно государству, либо частному сектору в конце концессионного периода).

В мировой практике из четырех форм приватизации транспортных объектов преобладает распродажа активов. Особенно характерна эта форма для США и Северной Европы. Концессионные формы преобладают в Великобритании и Южной Европе. В развивающихся странах наблюдается обратная картина: на концессии приходится более 67% всех транспортных проектов, на гринфилды – 19%, на контракты на управление – 9%, на распродажу активов – всего 5%. Формы приватизации по видам транспорта представлены в таблице 1. Кон-

цессионные проекты преобладают во всех типах транспортных проектов. Распродажа активов относительно большое значение имеет только для железнодорожного транспорта, но и здесь ее доля не превышает 11% [3].

В настоящее время в России реализуется более 300 проектов ГЧП, предметом которых являются не только объекты транспортной инфраструктуры. ГЧП также затрагивает сферы ЖКХ (но, как уже говорилось, только в виде концессий), здравоохранения и образования, физкультуры и спорта, переработки мусора, а также индустриальные парки.

Самыми масштабными по объемам капитальных вложений являются проекты ГЧП в области транспортной инфраструктуры. В основном они реализуются при строительстве автомобильных дорог. Тем не менее, есть редкие примеры сотрудничества государства и бизнеса в сфере железнодорожного строительства. Уникальным проектом ГЧП стала станция метро «Мякинино», построенная по инициативе ЗАО «Крокус», вложившего в проект 600 млн. рублей. Это оказалось выгодно всем сторонам сделки: и Московскому метрополитену, и инвестору, обеспечившему приток клиентов в торговый центр, расположенный рядом с метро, и Московской области, на территории которой расположилась станция (в шаговой доступности от метро расположены Дом правительства Московской области, Московский областной суд и другие административные здания).

По программе развития транспортной системы Москвы до 2020 года планируется построить почти 150 км новых линий метро. Возможно, при реализации этих планов будет использован частный капитал, как в случае с метро «Мякинино». Однако следует отметить, что участие бизнеса в таких проектах – скорее исключение, чем правило. И вряд ли ситуация изменится: необходимо слишком уникальное сочетание условий, чтобы подобный проект был реализован. К примеру, только лишь увеличением стоимости квартир в девелоперских проектах частных инвесторов не привлечь, а возможность дать им право взимать плату за проезд представляется делом очень отдаленной перспективы.

Примером ГЧП по строительству железной дороги является создание ветки Кызыл-Курагино в Туве. «Тувинская инвестиционная корпорация» построит за свой счет дорогу, соединяющую Элегестское месторождения коксующегося каменного угля. Государство же будет гарантировать кредиты или облигационные займы. Как и в случае с метро «Мякинино», в этом проекте совпали уникальные условия: разработка угольного месторождения окупит затраты на строительство дороги. Если бы не близость Транссибирской магистрали и не величина разведанных запасов угля (более 800 млрд тонн), вряд ли бы нашелся частный инвестор, готовый вложиться в проект. К тому же строительство железной дороги – это огромные капитальные вложения, длинный период окупаемости и далеко не всегда – возможность чисто коммерческого использования.

Стоит отдельно сказать о перспективах ГЧП в сфере авиаперевозок. Успешно реализованный проект реконструкции аэропорта «Пулково» в Санкт-Петербурге стал пилотным в данной сфере. Учитывая, что износ основных фондов большинства аэропортов составляет от 40% до 80%, в ближайшие годы можно ожидать новых проектов ГЧП по их реконструкции. Этот вывод подтверждается и готовностью государства софинансировать эти проекты: в 2013-2015 гг. на реконструкцию аэропортов планируется потратить 172,5 млрд руб. (немного меньше, чем за предыдущие 13 лет).

Но перспективы ГЧП куда более масштабны в автомобильном транспорте. У всех на слуху проекты строительства новых и реконструкции старых федеральных дорог, расходящихся от Москвы. На присоединенных к столице территориях планируется проложить транспортную хорду «Солнцево-Бутово-Видное», строительство которой намеревается профинансировать девелопер MD Group. Внутри МКАД правительство Москвы предлагает бизнесу поучаствовать в строительстве платных дублеров Кутузовского проспекта.

Ни один проект ГЧП не может быть реализован без понятной для частного инвестора выгоды. В случае с хордой в Новой Москве улучшение транспортной доступности возводимого девелопером микрорайона приведет к повышению стоимости недвижимости. Внутри

МКАД, где крупных площадок осталось мало и где плотность транспортной инфраструктуры выше, подобный проект вряд ли будет возможен. В «старой» Москве далеко не всегда возможно введение платы за проезд на автомобильной дороге. Поэтому платные дублеры Кутузовского проспекта, вероятно, останутся одними из немногих подобных проектов. С другой стороны, на территории Новой Москвы дорога к девелоперскому проекту вполне сможет привлечь частное финансирование. Представляется также, что такой формат развития сети автомобильных дорог на присоединенных территориях будет основным.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алпатов, А. А. Государственно-частное партнерство. Механизмы реализации [Текст] / А. А. Алпатов, А. В. Пушкин, Р. М. Джапаридзе. - М., Альпина Паблишерз, 2010. – 200 с.
2. Варнавский, В. Г. Государственно-частное партнерство: теория и практика [Текст] / В. Г. Варнавский, А. В. Клименко, В. А. Королев и др. // Гос. ун-т – Высшая школа экономики. - М.: Изд. Дом ГУ-ВШЭ. - 2010. – 287 с.
3. Делмон, Д. Государственно-частное партнерство в инфраструктуре. Практическое руководство для органов государственной власти [Текст] / Д. Делмон. - 2010. – 261 с.
4. Литвяков, С. С. Отбор и оценка эффективности проектов в сфере развития транспортной инфраструктуры для их реализации на основе государственно-частного партнерства [Текст] / С. С. Литвяков // Дайджест Финансы. – 2013. – №12 (228). – С. 17-28.
5. Максимов, В. В. Государственно-частное партнерство в транспортной инфраструктуре: критерии оценки концессионных конкурсов [Текст] / В. В. Максимов. - М.: Альпина Паблишерз. - 2010. – 178 с.
6. Сазонов, В. Е. Государственно-частное партнерство: гражданско-правовые, административно-правовые и финансово-правовые аспекты [Текст] / Кафедра административного и финансового права Российского университета дружбы народов. – М. - 2012. – 492 с.
7. Барьеры развития механизма ГЧП в России [Текст] / М.; НПФ «Экспертный институт», 2010.
8. [http://www.pppinrussia.ru/userfiles/upload/files/Library/Vitaly\\_Maximov\\_PPP\\_in\\_transport\\_infrastructure\\_\(enc\).pdf](http://www.pppinrussia.ru/userfiles/upload/files/Library/Vitaly_Maximov_PPP_in_transport_infrastructure_(enc).pdf) – Государственно-частное партнерство в транспортной инфраструктуре.
9. [http://transproekt.ru/otrs/2\\_0.htm](http://transproekt.ru/otrs/2_0.htm) – Транспортная инфраструктура.
10. <http://conference.be5.biz/r2012/3711.htm> – Механизмы государственно-частного партнерства в транспортной инфраструктуре.
11. [http://knowledge.allbest.ru/economy/3c0b65635a2bc68b4d43b89421216c26\\_2.html](http://knowledge.allbest.ru/economy/3c0b65635a2bc68b4d43b89421216c26_2.html) – Использование механизма государственно-частного партнерства.
12. <http://www.tencon.ru/article/199> – Реализация инфраструктурных проектов в рамках государственно-частного партнерства.
13. <http://www.creativeconomy.ru/articles/11142/> – Государственно-частное партнерство как механизм государственной поддержки развития транспортного комплекса.
14. <http://www.mon.gov.ru/news/report/ministr/doc5.doc> – «Стратегия Российской Федерации в области развития науки и инноваций до 2020 года».
15. <http://www.tradecenter.ru/NewsAM/NewsAMShow.asp?ID=164729> – Конференция по государственно-частному партнерству в инновационной сфере.
16. [http://www.businesspress.ru/newspaper/article\\_mId\\_44\\_aId\\_410555](http://www.businesspress.ru/newspaper/article_mId_44_aId_410555) – Поддержка инновационного предпринимательства – пример частно-государственного партнерства.
17. <http://www.gzt.ru/politics/2007/01/26/193558.html> – пресс-конференция в рамках Всемирного экономического форума в Давосе.
18. <http://cyberleninka.ru/article/n/gosudarstvenno-chastnoe-partnerstvo-v-razvitii-transportnoy-infrastruktury-za-rubezhom> – государственно-частное партнерство в развитии транспортной инфраструктуры за рубежом.
19. <http://mindortrans.tatarstan.ru/rus/info.php?id=44062> – Подпрограмма государственно-частного партнерства при строительстве транспортной инфраструктуры.
20. <http://www.pppi.ru/lib> – Федеральный информационный портал инфраструктура и государственно-частное партнерство в России.

**Оболенцев Дмитрий Леонидович**

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»

Адрес: 302020, Россия, г. Орел, Наугорское ш., 40

Канд.экон.наук, доцент кафедры «Экономическая теория и управление персоналом»

E-mail: dimitras00@inbox.ru

D. L. OBOLENTSEV

## PUBLIC PRIVATE PARTNERSHIP IN TRANSPORT INFRASTRUCTURE

*The article discusses the role of formation and development of public-private partnerships in the transport infrastructure of Russia. The problems and prospects of these processes are specific examples of their implementation.*

**Keywords:** *public-private partnership, the implementation, the formation, transport infrastructure.*

### BIBLIOGRAPHY

1. Alpatov, A. A. Gosudarstvenno-chastnoe partnerstvo. Mekhanizmy realizatsii [Tekst] / A. A. Alpatov, A. V. Pushkin, R. M. Dzhaparidze. - M., Al`pina Pabliherz, 2010. - 200 s.
2. Varnavskiy, V. G. Gosudarstvenno-chastnoe partnerstvo: teoriya i praktika [Tekst] / V. G. Varnavskiy, A. V. Klimenko, V. A. Korolev i dr. // Gos. un-t - Vysshaya shkola ekonomiki. - M.: Izd. Dom GU-VSHE. - 2010. - 287 s.
3. Delmon, D. Gosudarstvenno-chastnoe partnerstvo v infrastrukture. Prakticheskoe rukovodstvo dlya organov gosudarstvennoy vlasti [Tekst] / D. Delmon. - 2010. - 261 s.
4. Litvyakov, S. S. Otkor i otsenka effektivnosti proektov v sfere razvitiya transportnoy infra-struktury dlya ikh realizatsii na osnove gosudarstvenno-chastnogo partnerstva [Tekst] / S. S. Litvyakov // Day-dzhest Finansy. - 2013. - №12 (228). - S. 17-28.
5. Maksimov, V. V. Gosudarstvenno-chastnoe partnerstvo v transportnoy infrastrukture: kriterii otsenki kontsessionnykh konkursov [Tekst] / V. V. Maksimov. - M.: Al`pina Pabliherz. - 2010. - 178 s.
6. Sazonov, V. E. Gosudarstvenno-chastnoe partnerstvo: grazhdansko-pravovye, administrativno-pravovye i finansovo-pravovye aspekty [Tekst] / Kafedra administrativnogo i finansovogo prava Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. - M.. - 2012. - 492 s.
7. Bar`ery razvitiya mekhanizma GCHP v Rossii [Tekst] / M.; NPF "Ekspertnyy institut", 2010.
8. [http://www.pppinrussia.ru/userfiles/upload/files/Library/Vitaly\\_Maximov\\_PPP\\_in\\_transport\\_infrastructure\\_\(enc\).pdf](http://www.pppinrussia.ru/userfiles/upload/files/Library/Vitaly_Maximov_PPP_in_transport_infrastructure_(enc).pdf) - Gosudarstvenno-chastnoe partnerstvo v transportnoy infrastrukture.
9. [http://transproekt.ru/otrs/2\\_0.htm](http://transproekt.ru/otrs/2_0.htm) - Transportnaya infrastruktura.
10. <http://conference.be5.biz/r2012/3711.htm> - Mekhanizmy gosudarstvenno-chastnogo partnerstva v transportnoy infrastrukture.
11. [http://knowledge.allbest.ru/economy/3c0b65635a2bc68b4d43b89421216c26\\_2.html](http://knowledge.allbest.ru/economy/3c0b65635a2bc68b4d43b89421216c26_2.html) - Ispol`zovanie mekhanizma gosudarstvenno-chastnogo partnerstva.
12. <http://www.tencon.ru/article/199> - Realizatsiya infrastrukturykh proektov v ramkakh gosudarstvenno-chastnogo partnerstva.
13. <http://www.creativeconomy.ru/articles/11142/> - Gosudarstvenno-chastnoe partnerstvo kak mekhanizm gosudarstvennoy podderzhki razvitiya transportnogo kompleksa.
14. <http://www.mon.gov.ru/news/report/ministr/doc5.doc> - "Strategiya Rossiyskoy Federatsii v oblasti razvitiya nauki i innovatsiy do 2020 goda".
15. <http://www.tradecenter.ru/NewsAM/NewsAMShow.asp?ID=164729> - Konferentsiya po gosudarstvenno-chastnomu partnerstvu v innovatsionnoy sfere.
16. [http://www.businesspress.ru/newspaper/article\\_mId\\_44\\_aId\\_410555](http://www.businesspress.ru/newspaper/article_mId_44_aId_410555) - Podderzhka innovatsionnogo predprinimatel`stva - primer chastno-gosudarstvennogo partnerstva.
17. <http://www.gzt.ru/politics/2007/01/26/193558.html> - press-konferentsiya v ramkakh Vsemirnogo ekonomicheskogo foruma v Davose.
18. <http://cyberleninka.ru/article/n/gosudarstvenno-chastnoe-partnerstvo-v-razvitii-transportnoy-infrastruktury-za-rubezhom> - gosudarstvenno-chastnoe partnerstvo v razvitii transportnoy infrastruktury za rubezhom.
19. <http://mindortrans.tatarstan.ru/rus/info.php?id=44062> - Podprogramma gosudarstvenno-chastnogo partnerstva pri stroitel`stve transportnoy infrastruktury.
20. <http://www.pppi.ru/lib> - Federal`nyy informatsionnyy portal infrastruktura i gosudarstvenno-chastnoe partnerstvo v Rossii.

**Obolentsev Dmitry Leonidovich**

Ulianov "State University - ESPC"

Address: 302020, Russia, Orel, Naugorskoe w., 40

Kand.ekon.nauk, Associate Professor of "Economic theory and human resource management"

E-mail: dimitras00@inbox.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 вверху – 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, +7 905 856 6556  
[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 25.09.2014

Формат 70x108 1/16.

Усл. печ. л. 10,9

Тираж 500 экз.

Заказ № \_\_\_\_\_

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической базе Госуниверситета-УНПК  
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.