



Издается
с января 2004 г.

ISSN 2500-0586

Главный редактор журнала

В. И. Лысак – чл.-корр. РАН,
д-р техн. наук, профессор,
ректор университета

Редакционная коллегия:

И. И. Артюхов – д.т.н., проф. СГУ
им. Гагарина Ю. А., г. Саратов
А. В. Баранов – д.ф.-м. н., проф.,
РГУ нефти и газа, г. Москва.
А. Б. Голованчиков – д.т.н., проф., ВолгГТУ
А. Е. Городецкий – д.т.н., проф., ИШМаш
РАН, г. Санкт-Петербург
А. П. Дарманиян – д.т.н., проф. ВГАУ,
г. Волгоград
А. М. Иванов – д. т. н., проф.,
МГТУ (МАДИ), г. Москва
В. В. Коротаев – д.т.н., проф., ИТМО,
г. Санкт-Петербург
О. Г. Котиев – д. т. н., проф., МВТУ
им. Н. Э. Баумана, г. Москва
А. А. Львов – д. т. н., проф., СГУ
им. Гагарина Ю. А., г. Саратов
Мертен Клеменс – д. т. н., проф.,
университет г. Штутгарт, Германия
В. А. Марков – д. т. н., проф., МВТУ
им. Н. Э. Баумана, г. Москва
А. В. Навроцкий – д.х.н., проф., ВолгГТУ
А. А. Ревин. – д.т.н., проф., ВолгГТУ
Б. В. Скворцов – д.т.н., проф., СГАУ
им. академика С. П. Королева, г. Самара
О. А. Тишин. – д.т.н., проф., ВолгГТУ
Е. А. Федянов – д.т.н., проф., ВолгГТУ
В. М. Шаповалов – д.т.н., проф. ВолгГТУ;
В. М. Шарипов – д.т.н., проф., МГТУ
(МАМИ), г. Москва
А. Н. Шилин – д.т.н., проф., ВолгГТУ

Ответственный секретарь
Ю. В. Аристова – доц., к.т.н.

Журнал распространяется
по подписке.
Индекс журнала по каталогу
Агентства «Роспечать»
для Российской Федерации –
94193(ОК+ЭК). По вопросам
подписки обращаться
в издательство.

Тел. издательства ВолгГТУ:
+7 (8442) 24-84-06,
fax: +7 (8442) 24-84-06,
e-mail: otr@vstu.ru

Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт научно-технический журнал

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору
в сфере связи, информационных технологий и массовых
коммуникаций (Роскомнадзор)
ПИ № ФС77-64543 от 22 января 2016 г.

№ 4 (16)
Сентябрь
2016

УЧРЕДИТЕЛЬ:
ФГБОУ высшего образования
«Волгоградский государственный технический
университет»
Периодичность: четыре раза в год

Адрес редакции:
РФ, 400005, Волгоград, пр. В.И. Ленина, 28
Гл. редактор: телефон: – (8442) 23-00-76
e-mail: rector@vstu.ru

Отв. секретарь: телефон: – (8442) 24-81-05
e-mail: pahp@vstu.ru

Официальный сайт Учредителя: www.vstu.ru

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

Авторское право на журнал в целом принадлежит
Учредителю, на отдельные статьи – сохраняется за авторами

*Перепечатка из журнала «Энерго- и ресурсосбережение:
промышленность и транспорт» категорически запрещена без
оформления договора в соответствии с действующим
законодательством РФ*

*При перепечатке материалов ссылка на журнал «Энерго- и
ресурсосбережение: промышленность и транспорт» обязательна*

Статьи печатаются бесплатно



Published since
January 2004 г.

ISSN 2500-0586

Editor-in-chief

V. I. Lysak – Corresponding
Member of RAS, D. Sc. (Technical),
Professor,
Rector of VSTU

Editorial Board:

I. I. Artuchov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
SSTU, Saratov
A. V. Baranov – D. Sc. (Physical and Math.),
Prof., Gubkin University, Moscow.
A. B. Golovanchikov – D. Sc. (Engineering),
Prof., VSTU, Volgograd
A. E. Gorodetskij – D. Sc. (Engineering),
Prof., IPME, St. Petersburg
A.P. Darmanyanyan – D. Sc. (Engineering),
Prof. VSAU, Volgograd
A. M. Ivanov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
MADI, Moscow
V. V. Korotaev – D. Sc. (Engineering), Prof.,
ITMO University, St. Petersburg
O. G. Kotiev – D. Sc. (Engineering), Prof.,
BMSTU, Moscow
A. A. L'vov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
SSTU, Saratov
M. Clemens – D. Sc. (Engineering), Prof.,
University of Stuttgart, Germany
V. A. Markov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
BMSTU, Moscow
A. V. Navrotskij – D. Sc. (Chemistry), Prof.,
VSTU, Volgograd
A. A. Revin – D. Sc. (Engineering), Prof.,
VSTU, Volgograd
B. V. Skvortsov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
Samara University, Samara
O. A. Tishin – D. Sc. (Engineering), Prof.,
VSTU, Volgograd
E. A. Fedyanov – D. Sc. (Engineering), Prof.,
VSTU, Volgograd
V. M. Shapovalov – D. Sc. (Engineering),
Prof., VSTU, Volgograd
V. M. Sharipov – D. Sc. (Engineering),
Prof., UMech, Moscow
A.N. Shilin – D. Sc. (Engineering), Prof.,
VSTU, Volgograd

Executive Secretary
Yu.V. Arisova – PhD, Associate Prof.

The journal is distributed by subscription.
Index of the journal in the catalogue
of the Agency «Rospechat» for the Russian
Federation – 94193(OK+OK).
Concerning subscription turn to the editorial
office.

VSTU Publisher tel.:
+7 (8442) 24-84-06,
fax: +7 (8442) 24-84-06,
e-mail: otr@vstu.ru

© Volgograd State Technical University,
«Energo- e resursosberezhenie: promyshlennost' i transport », 2016

Energo- i resursosberezhenie:

Promyshlennost' i transport

(Energy and Resource Saving:
Industry and Transport)
science-technical journal

Journal is registered in the Federal Service for supervision
of communications, information technology and mass media
(Roscomnadzor) registration certificate:
ПН .N° (ФЦ77-64543, registration date: 22 January 2016

№ 4 (16)
September
2016

FOUNDER:

**Federal State Budgetary Educational Institution of Higher
Education «Volgograd State Technical University»**

Periodicity: four times per year

Editorial office address:

Russia, 400005, Volgograd, Lenin avenue, 28. Editor-In-Chief:
tel.: +7 (8442) 23-00-76 e-mail: rector @vstu.ru

Executive Secretary: +7 (8442) 24-81-05 e-mail:
paph@vstu.ru

Official website: www.vstu.ru

Published by the decision of editorial review board of Volgograd State
Technical University

***The copyright for the journal in general belongs to the Founder, for separate
articles – retained by the authors.***

*Reprint from the journal « Energo- i resursosberezhenie: promyshlennost' i
transport » is strongly forbidden -without conclusion of an agreement in accordance
with the current legislation of the Russia Federation.*

*When reprint the materials, the citation to the journal «Energo- i
resursosberezhenie: promyshlennost' i transport» is obligatory*

The articles are published for free.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Авдеюк Д. Н. 24, 28
Авдеюк О. А. 28
Алексейчук В. А. 21
Бу Тхи Ван Ань 46
Горобцов А. С. 16
Данилов С. В. 50
Долотов А. А. 11, 16
Дыгало В. Г. 7
Дыгало Л. В. 7
Зотов Н. М. 46
Клементьев Е. В. 11, 16
Комаров Ю. Я. 46
Комов П. Б. 32
Кураксин А. А. 39
Левин Ю. В. 21
Лютин К. И. 24
Ляшенко М. В. 11, 16
Минатуллаев Ш. М. 50
Осин В. В. 24
Потапов П. В. 11, 16
Приходьков К. В. 24, 28
Ревин А. А. 7
Рябов, И. М. 50
Соколов-Добрев Н. С. 11, 16
Федянов Е. А. 21
Шемякин А. В. 39
Шеховцов В. В. 11, 16
Шумский С. Н. 21
Юдина А. А. 7

AUTHOR INDEX

- Alekseichuk V. A. 21
Avdejuk D. N. 24, 28
Avdeyuk O. A. 28
Danilov S. V. 50
Dolotov A. A. 11, 16
Dygalo L. V. 7
Dygalo V. G. 7
Fedyanov E. A. 21
Gorobtsov A. S. 16
Klementiev E. V. 11, 16
Komarov Yu. Ya. 46
Komov P. B. 32
Kuraksin A. A. 39
Levin Y. V. 21
Lutin K. I. 24
Lyashenko M. V. 11, 16
Minatullaev SH. M. 50
Osin V. V. 24
Potapov P. V. 11, 16
Prikhodkov K. V. 24, 28
Revin A. A. 7
Ryabov I. M. 50
Shehovtsov V. V. 11, 16
Shemyakin A. V. 39
Shumsky S. N. 21
Sokolov-Dobrev N. S. 11, 16
Thi Van Anh Vu 46
Yudina A. A. 7
Zotov N. M. 46

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Ревин А. А., Дыгало В. Г., Юдина А. А., Дыгало Л. В.</i> Фундаментальные исследования тормозного привода автомобиля с АБС как основа при оценке влияния неустойчивости характеристик элементов цепи «модулятор АБС – тормозной механизм» колес автомобиля на качество отработки команд управления.....	7
<i>Ляшенко М. В., Соколов-Добрев Н. С., Шеховцов В. В., Потапов П. В., Клементьев Е. В., Долотов А. А.</i> Исследование изменения КПД трансмиссии в зависимости от условий нагружения.....	11
<i>Горобцов А. С., Ляшенко М. В., Соколов-Добрев Н. С., Шеховцов В. В., Потапов П. В., Клементьев Е. В., Долотов А. А.</i> Математическая модель испытательного стенда.....	16
<i>Федянов Е. А., Левин Ю. В., Шумский С. Н., Алексейчук В. А.</i> Влияние фазированной подачи добавки водорода на показатели роторно-поршневого двигателя ванкеля.....	21
<i>Приходьков К. В., Лютин К. И., Осин В. В., Авдеюк Д. Н.</i> Исследование неидентичности рабочего процесса двигателя ВАЗ-11194 с помощью индицирования.....	24
<i>Авдеюк Д. Н., Авдеюк О. А., Приходьков К. В.</i> Аппаратно-программный комплекс для регистрации максимальных давлений в цилиндре двигателя внутреннего сгорания с искровым зажиганием.....	28
<i>Комов П. Б.</i> Парадигма технической эксплуатации автомобилей.....	32
<i>Кураксин А. А., Шемякин А. В.</i> Метод выявления узких мест в транспортной сети города на основе динамического моделирования транспортных потоков на мезоскопическом уровне.....	39
<i>Комаров Ю. Я., Зотов Н. М., Ву Тхи Ван Ань</i> Совершенствование организации дорожного движения в городе Ханое.....	46
<i>Рябов И. М., Данилов С. В., Минатуллаев Ш. М.</i> Моделирование работы мультимодальной перевозочной системы в период проведения массовых мероприятий в курортной зоне.....	50

CONTENTS

<i>Revin A. A., Dygalo V. G., Yudina A. A., Dygalo L. V.</i> FUNDAMENTAL RESEARCH DRIVE VEHICLE BRAKE WITH ABS AS THE BASIS OF ASSESSMENT OF INSTABILITY IN THE CHARACTERISTICS OF CIRCUIT ELEMENTS «MODULATOR ABS – BRAKE» WHEEL VEHICLE DRIVING ON QUALITY CONTROL COMMAND.....	7
<i>Lyashenko M. V., Sokolov-Dobrev N. S., Shehovtsov V. V., Potapov P. V., Klementiev E. V., Dolotov A. A.</i> RESEARCH OF TRANSMISSION EFFICIENCY CHANGE DEPENDING ON LOAD REGIMES.....	11
<i>Gorobtsov A. S., Lyashenko M. V., Sokolov-Dobrev N. S., Shehovtsov V. V., Potapov P. V., Klementiev E. V., Dolotov A. A.</i> MATHEMATICAL MODEL OF TEST STAND.....	16
<i>Fedyanov E. A., Levin Y. V., Shumsky S. N., Alekseichuk V. A.</i> INFLUENCE OF PHASED HYDROGEN ADDITION SUPPLY TO INDICATORS OF ROTARY-PISTON WANKEL ENGINE.....	21
<i>Prikhodkov K. V., Lutin K. I., Osin V. V., Avdeyuk D. N.</i> RESEARCH OF WORK PROCESS VARIABILITY IN ENGINE VAZ – 11194 THROUGH INDICATED DIAGRAMS.....	24
<i>Avdeyuk D. N., Avdeyuk O. A., Prikhodkov K. V.</i> HARDWARE AND SOFTWARE FOR REGISTRATION MAXIMUM PRESSURE IN THE COMBUSTION ENGINES WITH SPARK IGNITION.....	28
<i>Komov P. B.</i> PARADIGM OF TECHNICAL EXPLOITATION OF MOTOR VEHICLES.....	32
<i>Kuraksin A. A., Shemyakin A. V.</i> METHOD IDENTIFY BOTTLENECKS IN THE TRANSPORT NETWORK CITIES BASED ON DYNAMIC MODELING OF TRAFFIC FLOWS ON THE MESOSCOPIC LEVEL.....	39
<i>Komarov Yu. Ya., Zotov N. M., Thi Van Anh Vu</i> IMPROVEMENT OF TRAFFIC ORGANIZATION IN THE CITY OF HANOI.....	46
<i>Ryabov I. M., Danilov S. V., Minatullaev SH. M.</i> SIMULATION OF MULTI-MODAL TRANSPORT SYSTEM AT THE TIME OF THE EVENTS IN THE RESORT AREA.....	50

УДК 629.113.001

А. А. Ревин, В. Г. Дыгало, А. А. Юдина, Л. В. Дыгало

**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОРМОЗНОГО ПРИВОДА
АВТОМОБИЛЯ С АБС КАК ОСНОВА ПРИ ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ
НЕСТАБИЛЬНОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ ЦЕПИ
«МОДУЛЯТОР АБС – ТОРМОЗНОЙ МЕХАНИЗМ» КОЛЕС АВТОМОБИЛЯ
НА КАЧЕСТВО ОТРАБОТКИ КОМАНД УПРАВЛЕНИЯ**

Волгоградский государственный технический университет

В рамках обзора литературы систематизирована информация о ранее проведенных исследованиях тормозного привода автомобиля с АБС и выявлены предпосылки к исследованию оценки влияния неустойчивости характеристик элементов цепи «модулятор АБС – тормозной механизм». Обозначено состояние вопроса на сегодняшний день.

Ключевые слова: процесс торможения, неустойчивость характеристик, автомобиль, автоматизированная тормозная система

A. A. Revin, V. G. Dygalo, A. A. Yudina, L. V. Dygalo

**FUNDAMENTAL RESEARCH DRIVE VEHICLE BRAKE WITH ABS AS
THE BASIS OF ASSESSMENT OF INSTABILITY IN THE CHARACTERISTICS
OF CIRCUIT ELEMENTS "MODULATOR ABS - BRAKE"
WHEEL VEHICLE DRIVING ON QUALITY CONTROL COMMAND**

Volgograd State Technical University

As part of the review of the literature systematized information on previous studies brake car drive with ABS and identified the preconditions for the study evaluating the impact of the instability characteristics of elements of the chain "fashion-trimmer brakes - brake". It revealed the state of the issue to date.

Keywords: the process of braking, instability characteristics of the car, automatic braking system.

Факт, что неустойчивость параметров в цепи передачи сигналов управления влияет на выходные характеристики автоматизированной системы не вызывает сомнения, поэтому в рассматриваемой задаче остановимся на теоретических предпосылках, которые способствуют ее решению.

Горячим сторонником развития и внедрения антиблокировочных систем (АБС) в семидесятых годах прошлого столетия явился зав. кафедрой МАМИ д.т.н., профессор Б. С. Фалькевич, являющийся учеником основоположника советской автомобильной школы академика АН СССР Е. А. Чудакова. При инициативе Б. С. Фалькевича в МАМИ были организованы научные всесоюзные семинары, положившие начало целенаправленным исследованиям в ряде учеб-

ных заведений. Среди научных школ, занимающихся исследованиями тормозной динамики автомобиля с АБС, прежде всего необходимо выделить научные школы Б. С. Фалькевича (МАМИ), А. Б. Гредескула (ХАДИ), А. К. Фрумкина (МАДИ) и Г. М. Косолапова (ВПИ). Ниже остановимся на них более подробно.

В 1969 году в МАДИ на каф. «Автомобили» из Бронетанковой академии был приглашен проф., д.т.н. Аркадий Константинович Фрумкин. Он возглавил научное направление, связанное с совершенствованием тормозных свойств автотранспортных средств. Уменьшение тормозного пути, обеспечение устойчивости при торможении оказывают наиболее значительное влияние на безопасность движения. Сфера научных интересов профессора Фрумки-

на распространялась, как на изучение тормозной динамики легковых автомобилей, так и на исследования поведения большегрузных автопоездов при торможении. А. К. Фрумкин работал также над темой: «Автоматизация управления тормозной системой» (рис. 1) [10]. Под его руководством проводились исследования электропневматических тормозных приводов (ЭПП) большегрузных автопоездов и исследовательские работы по созданию классификации условий эксплуатации автотранспортных средств.

Исследования в области теории движения автопоездов и многоосных автомобилей в 70–90-х годах в МАДИ возглавил также представитель бронетанковой академии д.т.н., профессор Я. Е. Фаробин. Его разработки относятся к повышению конструктивной эффективности автомобильного транспорта в конкретных условиях эксплуатации (дорожных, транспортных, природно-климатических, экономических). В соавторстве с А. С. Литвиновым в издательстве «Машиностроение» был выпущен учебник «Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств автомобилей» [5]. Кроме того, в работах Я. Е. Фаробина было закреплено понятие неустойчивости коэффициента трения тормозных накладок, что согласовывалось с исследованиями Г. М. Косолапова в ВПИ (г. Волгоград).

Андрей Сергеевич Литвинов (исследования 1968–1990 годов) возглавлял в МАДИ научную школу, занимающуюся одним из наиболее сложных в теории движения автомобиля направлений – исследованием его управляемости и устойчивости. Монография А. С. Литвинова «Управляемость и устойчивость автомобиля» [6], в том числе с АБС, не потеряла своей актуальности до настоящего времени. Данной работой пользуются пользуются многие ученые-автомобилисты, занимающиеся исследованиями поведения автомобиля на дороге.

Яркий представитель харьковской науки, Андрей Борисович Гредескул (с 1956 г. зав. каф. «Автомобили и двигатели» ХАДИ, ныне Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет») в 1964 году защитил докторскую диссертацию и создал научную школу, специализировавшуюся на тормозных системах и динамике торможения. Он развивал идею оптимального распределения тяговых и тормозных сил между осями автомобилей.

6 декабря 1962 года в ВПИ была образована кафедра «Автомобильный транспорт». Заведующим кафедрой с первого дня ее основания и по 1993 год был назначен Геннадий Михай-

лович Косолапов. Благодаря его усилиям в политехническом институте сформировалась научная школа по исследованию тормозной динамики и безопасности движения, получившая признание среди ведущих автомобильных центров России, в которой, начиная с 1970 года, велись исследования тормозной динамики автомобиля с АБС.

В 1984 году была успешно защищена докторская диссертация по исследованию автоматизированных систем управления торможением Александром Александровичем Ревиним (зав. каф. ТЭРА с 1985 г), который является основателем научной школы по проблеме повышения эксплуатационных свойств автотранспортных средств с автоматизированными тормозными системами. Тема его докторской диссертации: «Повышение эффективности, устойчивости и управляемости при торможении автотранспортных средств» [8]. Научными направлениями его работ являются эксплуатационные свойства автомобиля в режиме торможения и диагностика тормозной системы автомобиля. Одной из последних разработок является виртуально-физическая технология испытания автомобильных тормозных автоматизированных систем, реализованная его учеником к.т.н. Владиславом Геннадиевичем Дыгалом (доц. каф. ТЭРА).

При изложении процесса развития отечественной АБС нельзя не упомянуть д.т.н., профессора Я. Н. Нефедьева, под руководством которого в НИИ Автоприборов создавался первый российский аналоговый блок управления АБС. Впоследствии Я. Н. Нефедьев продолжил свою работу в МАМИ.

Другие направления работ, получивших свое признание при исследовании АБС и имеющих прямое отношение к решаемой задаче, перечислены ниже.

В 1966 году Елена Васильевна Герц (Институт машиноведения Академии наук СССР) защитила докторскую диссертацию на тему «Динамика и синтез пневматических систем машин», положив тем самым начало новому направлению в теории машин и механизмов. В соавторстве с Г.В. Крейниным издала научный труд «Динамика пневматических приводов машин автоматов» (М.: «Машиностроение», 1964 г.) [2], в котором приведены методы динамического расчета пневмоприводов, графики и номограммы, позволяющие быстро определять время срабатывания пневматических устройств, сравнительный анализ расчетных и опытных данных.

Для укрепления и развития научного сектора кафедры «Гидропневмоавтоматика и гидропневмопривод» БПИ (ныне Белорусский национальный технический университет) была создана научно-исследовательская лаборатория гидропневмосистем, научным руководителем которой стал Николай Федорович Метлюк. По результатам исследований, в соавторстве с Валентином Петровичем Автушко в 1980 г. была издана монография «Динамика пневматических и гидравлических приводов автомобилей» [7], в которой приведено описание и математические модели наиболее распространенных приводов, при этом уделено большое внимание анализу нелинейностей, способам повышения быстродействия приводов, циклическим режимам работы систем.

Современные блоки управления АБС применяют в своих алгоритмах многофазное регулирование и выдержку при управлении длительностью фаз. При выборе фазы регулирования логическим блоком принимается во внимание угловая скорость колеса, ускорение (замедление), а иногда и производная от ускорения. Последнее создает повышенные требования к качеству команд управления, поступающих на вход логического блока, следовательно, требует наиболее детально исследовать влияние на них нестабильных элементов цепи «модулятор АБС – тормозной механизм» (рис. 1).

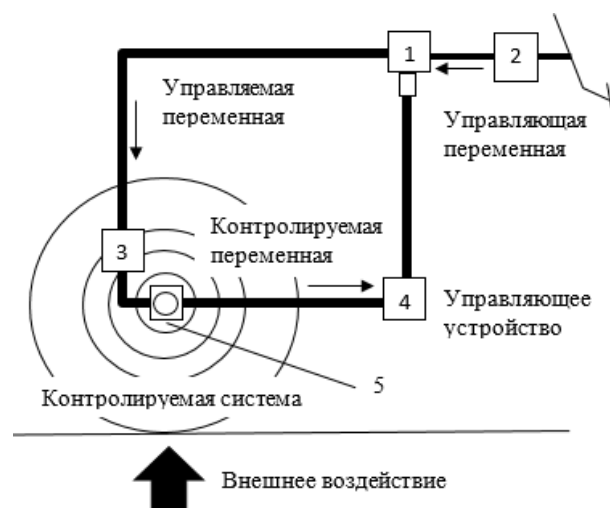


Рис. 1. Контур управления АБС:

1 – соленоидный клапан; 2 – главный тормозной цилиндр; 3 – колесный тормозной цилиндр; 4 – электронный блок управления; 5 – датчик скорости вращения колеса

При ТО и ТР тормозной системы и элементов шасси автомобиля в том числе с АБС зафиксировано биение поверхности тормозного диска, а также изменение массы тормозной накладки как следствие ее износа.

При достижении размеров накладки, предельных по минимальной толщине, увеличивается рабочий объем тормозного цилиндра, а его поршень часто имеет повышенное сопротивление при перемещении.

Для резинового тормозного шланга характерно снижение радиальной жесткости стенок и появление на поверхности микротрещин по причине явления старения. Как уже ранее говорилось, исследованиями Е. В. Герц, Г. В. Крейна, Н. Ф. Метлюка, В. П. Автушко и других установлено, что для математического описания режима течения жидкости или газа в тормозной магистрали и модуляторе необходимо знание большого числа параметров.

Динамику объемного гидравлического тормозного привода с АБС исследовали Н. Ф. Метлюк и В. П. Автушко [7]. Кроме того, ими была предложена математическая модель гидравлической цепи без учета податливости элементов.

На рис. 2 графически представлена характеристика тормозного гидропривода с двухфазной и трехфазной АБС (пунктиром обозначены предположительные отклонения при изменении гидравлических параметров). Обозначения: при двухфазном АБС Φ_1 – фаза автоматического оттормаживания; Φ_2 – фаза автоматического торможения; $\Phi_в$ – фаза затормаживания; при трехфазном АБС Φ_1 – фаза автоматического оттормаживания; Φ_2 – фаза выдержки; Φ_3 – фаза автоматического торможения; $\Phi_в$ – фаза затормаживания; T – период импульсов; t_n – продолжительность фазы Φ_n ; u – периодический электрический сигнал управления соленоидом модулятора; p – давление рабочего тела [7].

С учетом вышесказанного, авторами исследовалось влияние параметров гидропривода и сигналов управления на его динамические характеристики в циклическом режиме работы. Установлено влияние таких параметров, как длина и диаметр трубопровода; податливость гидравлической цепи; вязкость жидкости; форма сигнала управления; рабочая частота цикла регулирования.

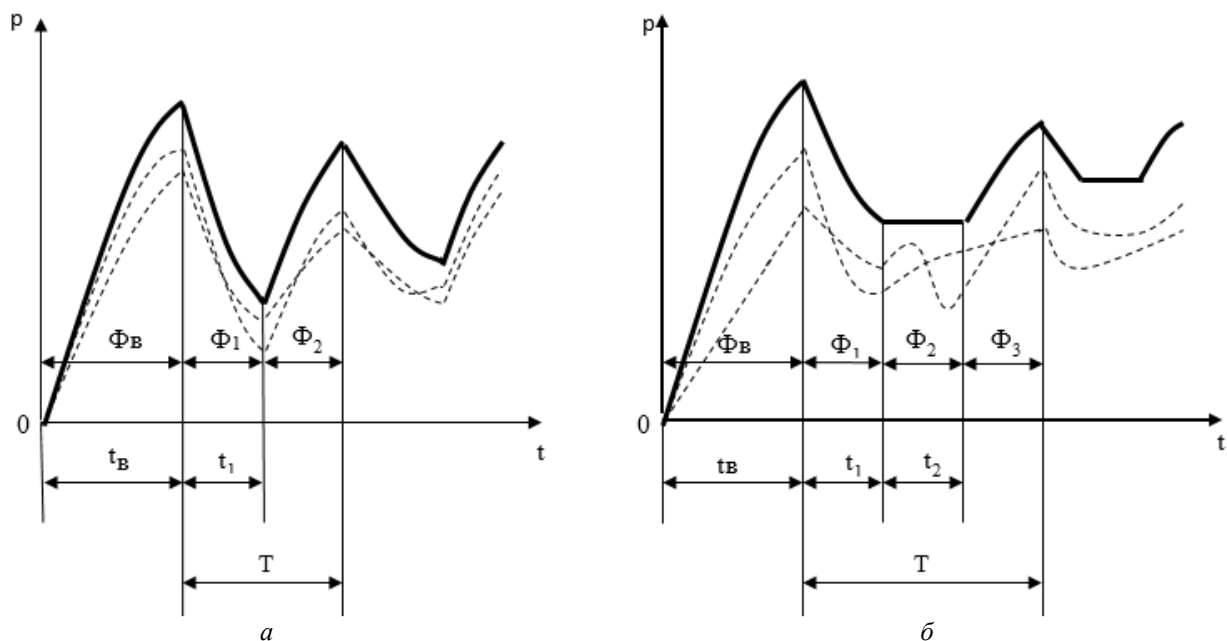


Рис. 2. Характеристики тормозного гидропривода:
 а – с двухфазным АБС; б – с трехфазным АБС

Данные параметры определенно влияют на изменение давления в рабочей полости. Предположительное изменение давления представлено на циклограмме (пунктир). Обозначения: t_1 – время от начала переключения распределителя до начала движения поршня; t_{II} – время движе-

ния поршня; t_{III} – время изменения давления до нужной величины после остановки поршня; t_1 – время срабатывания распределителя; t_2 – время распространения волны давления от распределителя до рабочего цилиндра; t_3 – время наполнения полости до начала движения поршня [7].

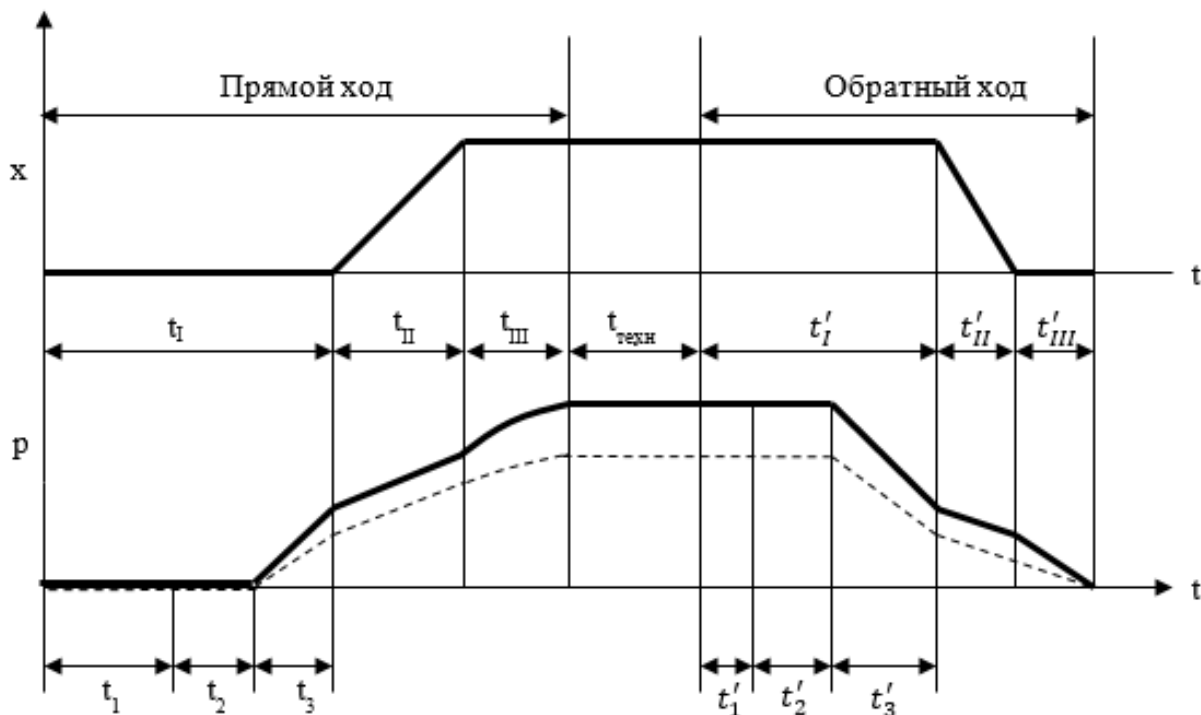


Рис. 3. Циклограмма работы гидропривода

Анализ проведенных исследований позволяет сделать выводы, что в направлении исследований характеристик элементов цепи «модулятор АБС – тормозной механизм» колес автомобиля:

1. Учеными (научные школы МАДИ, МАМИ, ХАДИ (ХНАДУ), институт машиноведения АН СССР, БПИ (БНТУ), ВПИ (ВолгГТУ) исследованы различные элементы, порождающие нестабильность в тормозном приводе автомобиля с АБС, из которых можно выделить элементы, порождающие нестабильность в интересующей нас цепи: пара трения (тормозной диск – тормозные колодки) и гидромагистраль (резиновый тормозной шланг, трубопровод).

2. Нестабильность характеристик элементов цепи вызвана различными эксплуатационными факторами, например, такими как биение поверхности тормозного диска, изменение массы тормозной колодки, снижение радиальной жесткости стенок шлангов, микротрещины шлангов, изгибы трубопровода, изменение длины или диаметра трубопровода.

3. Качество отработки команд управления безусловно зависит от динамических и гидравлических (длина и диаметр трубопровода; податливость гидравлической цепи; вязкость жидкости; форма сигнала управления; рабочая частота цикла регулирования) параметров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дыгало, В. Г. Верификация результатов моделирования тормозной динамики автомобиля с пневматической

АБС / В. Г. Дыгало, В. В. Котов, Л. В. Дыгало, А. А. Ревин // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 19 (146) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2014. – (Серия «Наземные транспортные системы»; вып. 9). – С. 16–20.

2. Герц, Е. В. Динамика пневматических приводов машин-автоматов / Е. В. Герц, Г. В. Крейнин. – М. : Машиностроение, 1964. – 236 с.

3. Дыгало, В. Г. Альтернативные (виртуально-физические) испытания автоматизированных тормозных систем колесных машин / В. Г. Дыгало, А. А. Ревин // Технология колесных и гусеничных машин. – 2015. – № 1. – С. 37–43.

4. Дыгало, В. Г. Технологии испытания систем активной безопасности автотранспортных средств : монография / В. Г. Дыгало, А. А. Ревин. – М. : Машиностроение, 2012. – 387 с.

5. Литвинов, А. С. Автомобиль. Теория эксплуатационных свойств : учебник для вузов / А. С. Литвинов, Я. Е. Фаробин. – М. : Машиностроение, 1989. – 240 с.

6. Литвинов, А. С. Управляемость и устойчивость автомобиля : монография / А. С. Литвинов. – М. : Машиностроение, 1971. – 416 с.

7. Метлюк, Н. Ф. Динамика пневматических и гидравлических приводов автомобилей / Н. Ф. Метлюк, В. П. Автушко. – М. : Машиностроение, 1980. – 213 с.

8. Ревин, А. А. Повышение эффективности, устойчивости и управляемости при торможении автотранспортных средств: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.05.03. – Волгоград: 1983.

9. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2014618925 от 20 сентября 2014 г. РФ, МПК (нет). Расчет параметров движения колеса в режиме торможения (Колесо) / В. Г. Дыгало, А. А. Ревин; ВолгГТУ. – 2014.

10. Фрумкин, А. К. Регуляторы тормозных сил и антиблокировочные системы : учеб. пособие. – М. : МАДИ, 1981. – 58 с.

11. Чудаков, Е. А. Динамическое и экономическое исследование автомобиля / Е. А. Чудаков. – М. : Гострансиздат, 1928. – 408 с.

УДК 629.114.4-235.004

*М. В. Ляшенко, Н. С. Соколов-Добрев, В. В. Шеховцов, П. В. Потапов,
Е. В. Клементьев, А. А. Долотов*

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КПД ТРАНСМИССИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ НАГРУЖЕНИЯ

Волгоградский государственный технический университет

В статье выполнено сравнение результатов экспериментального и расчетного определения КПД механической трансмиссии. Опытное определение КПД на разных режимах нагружения выполнено с использованием созданной на кафедре ТМД ВолгГТУ экспериментальной установки. В качестве элемента трансмиссии использован ведущий мост автомобиля КамАЗ 5320. Расчетное определение его КПД выполнено с помощью стандартных формул для определения потерь в каждом элементе трансмиссии. Результаты экспериментальных исследований показывают почти линейное уменьшение КПД с увеличением нагружающего момента, а результаты расчетных исследований показывают увеличение КПД с ростом нагрузки, что свидетельствует о несовершенстве расчетной методики.

Ключевые слова: экспериментальное определение КПД трансмиссии, расчетное определение КПД трансмиссии, экспериментальная установка, расчетная методика

M.V. Lyashenko, N.S. Sokolov-Dobrev, V.V. Shehovtsov, P.V. Potapov, E.V. Klementiev, A.A. Dolotov

RESEARCH OF TRANSMISSION EFFICIENCY CHANGE DEPENDING ON LOAD REGIMES

Volgograd State Technical University

This article presents comparison of results of experimental and computational determination of mechanical transmission efficiency. Experimental determination of efficiency coefficient at various load regimes was performed by means of experimental equipment developed on «Vehicles and engines» department of VSTU. Drive axle of KAMAZ–5320 truck was used as transmission element. Computational determination of axle efficiency was performed using general equations for calculation of losses in every transmission component. Results of experimental research show almost linear decreasing of efficiency coefficient at load torque increasing, but calculation results show efficiency increasing with load increase. Those results show imperfection of computational method.

Keywords: efficiency experimental determination, efficiency computational determination, experimental equipment, computational method.

Введение

Известно, что коэффициент полезного действия (КПД) зубчатой пары зависит от множества факторов, таких как тип передачи – цилиндрическая или коническая, от конструктивного исполнения – открытая или закрытая, степени точности изготовления колес, типа, вязкости и температуры смазки, от числа зубьев, степени изношенности их поверхностей, типа и числа используемых подшипников. Кроме того, на мгновенное значение КПД оказывают влияние колебательные процессы, возникающие в передаче от неравномерности действия внешних нагрузок и нагрузок, возникающих вследствие дисбаланса вращающихся частей и зазоров в сочленениях [1, 2, 3, 4, 5]. КПД трансмиссии зависит также от передаваемой мощности, то есть частоты вращения и нагружающего момента. В процессе эксплуатации суммарный КПД трансмиссии может существенно изменяться из-за износа деталей и усиления вибраций. Раздельное измерение потерь мощности в трансмиссии связано с большими трудностями, поэтому на практике обычно определяют суммарные потери в передаче.

1. Экспериментальная установка

Для определения КПД трансмиссий транспортных средств на кафедре ТМД ВолгГТУ создана экспериментальная установка [7, 8, 9, 10, 11]. Исследования изменения КПД в зависимости от условий нагружения выполнены для ведущего моста автомобиля КамАЗ–5320 (рис. 1) с двухступенчатой коническо-цилиндрической главной передачей, простым коническим дифференциалом с четырьмя сателлитами, разгруженными полуосями и заблокированным межосевым дифференциалом. Стрелками обозначены две пары шестерен, нагруженные при прямолинейном движении.

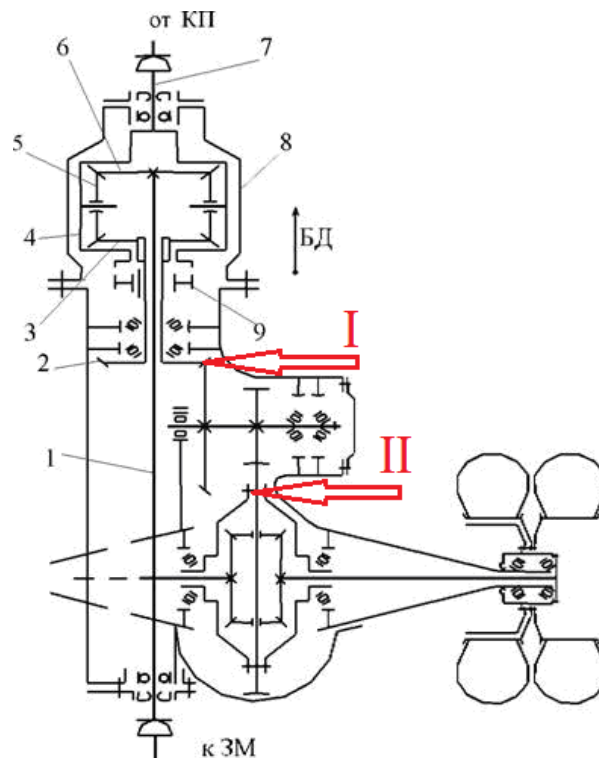


Рис. 1. Кинематическая схема среднего ведущего моста автомобиля КамАЗ–5320:

1 – проходной вал; 2 – ведущая коническая шестерня главной передачи; 3, 6 – конические шестерни межосевого дифференциала; 4 – корпус дифференциала; 5 – сателлит; 7 – карданный вал; 8 – корпус; 9 – муфта блокировки дифференциала

Привод установки осуществляется асинхронным электродвигателем АИР180s2, управляемым частотным преобразователем Altivar 71. Нагрузка формируется ступичным динамометрическим нагрузителем Дунарск DP43 [8, 9, 10, 11]. Измерение момента на валу карданной передачи и на полуосях осуществляется тензометрически. Аналого-цифровое преобразование и передача сигналов с тензомостов на ЭВМ осуществляется интеллектуальными датчиками с цифровым выходом ZET 7xxx [10, 11]. Визуализация результатов измерений и диалог с оператором реализован

в программе, разработанной в среде автоматизации измерений *Zetview Scada* [11].

2. Условия и результаты испытаний

При экспериментальном определении КПД крутящий момент на входном валу трансмиссии изменялся от 30 до 60 Н·м с шагом 10 Н·м,

частота вращения привода изменялась в пределах от 1000 об/мин до 1750 об/мин с шагом 250 об/мин. Полученные в результате графические зависимости изменения суммарного КПД трансмиссии на каждом из режимов нагружения представлены на рис. 2.

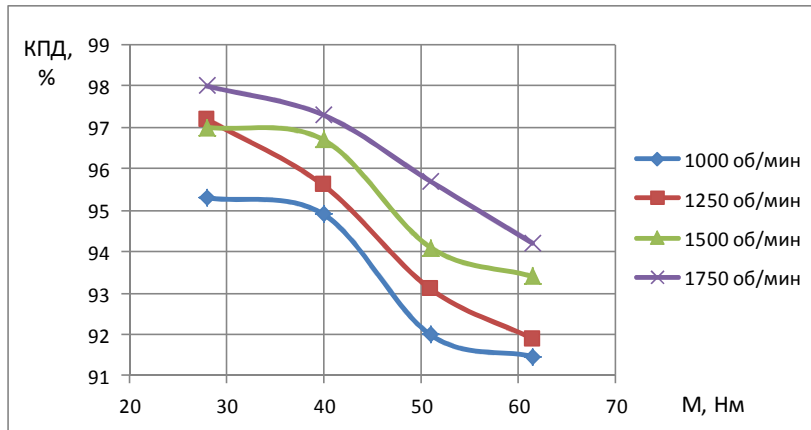


Рис. 2. Изменение КПД трансмиссии на разных режимах нагружения

Анализ графиков показывает, что суммарный КПД трансмиссии растет по мере увеличения частоты вращения и уменьшения передаваемого момента.

3. Расчетное определение потерь в трансмиссии

Расчет КПД трансмиссии в общем виде осуществляется по формуле:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = 1 - \frac{P_r}{P_1}, \tag{1}$$

где P_1 – мощность на входе; P_2 – мощность на выходе; P_r – потери мощности [6, 12]:

$$P_r = P_3 + P_n + P_m, \tag{2}$$

где P_3 – потери мощности на трение в зацеплении; P_n – потери мощности в подшипниках; P_m – потери мощности на перемешивание и разбрызгивание масла.

Выражение для определения КПД трансмиссии имеет вид [6]:

$$\eta = \eta_3^k \cdot \eta_n^m \cdot \eta_r, \tag{3}$$

где η_3 – КПД одной зубчатой пары; η_n – КПД одной пары подшипников; η_r – КПД гидравлический; k – число зубчатых передач в редукторе; m – число пар подшипников в трансмиссии.

Обычно потери в зацеплениях зубчатых передач составляют главную часть потерь в трансмиссии. Во время движения профили зубьев катятся и скользят один по другому. Основными потерями в зубчатом зацеплении являются

потери на трение скольжения. Коэффициент потерь на трение в зацеплении определяется по формуле В. Н. Кудрявцева [12]:

$$\varphi_3 \approx 2,3 \cdot f_3 \cdot f \left(\frac{1}{z_1} \pm \frac{1}{z_2} \right) = 2,3 \cdot f_3 \cdot f \left(\frac{u \pm 1}{u \cdot z_1} \right), \tag{4}$$

где $f_3 \approx 1,25$ – коэффициент трения в зацеплении.

Величину f находят экспериментально в зависимости от суммы скоростей контактирующих точек относительно зоны контакта:

$$V_\Sigma \approx 2 \cdot V \cdot \sin(\alpha_n). \tag{5}$$

Зависимость изменения коэффициента трения в зацеплении от окружных скоростей зубчатых колес представлена на рис. 3 [12].



Рис. 3. Коэффициенты трения в зацеплении для различных окружных скоростей

КПД подшипников зависит главным образом от потерь на трение качения. Коэффициент потерь на трение в двух подшипниках качения на входном валу передачи определяется из выражения [6]

$$\varphi_n = \frac{P_n}{P_1} = \frac{2 \cdot T_{\text{кач}}}{T_1}, \tag{6}$$

где P_n – потери мощности в подшипнике; P_1 – мощность на валу; T_1 – вращающий момент на валу; $T_{\text{кач}}$ – момент трения качения, который определяется по формуле, аналогичной формуле для подшипников скольжения:

$$T_{\text{кач}} = F_r \cdot r \cdot f_i, \quad (7)$$

где F_r – радиальная нагрузка на подшипник, r – радиус внутреннего кольца подшипника, f_i – приведенный к валу коэффициент трения [1]:

$f_i = 0,001 \dots 0,002$ – для шарикоподшипников;

$f_i = 0,002 \dots 0,003$ – для подшипников с цилиндрическими роликами;

$f_i = 0,004 \dots 0,008$ – для подшипников с коническими роликами.

КПД пары подшипников составляет:

$$\eta_n = 1 - F_r \cdot d \frac{f_i}{T}, \quad (8)$$

где d – диаметр цапфы вала.

Смазка зацеплений и подшипников уменьшает потери на трение и повышает КПД трансмиссии. Он зависит также от вязкости смазки и способа смазывания. Так, смазывание жидкими маслами обеспечивает большее уменьшение потерь, чем пластичными смазками. При вращении масло увлекается зубьями, разбрызгивается и образуется масляный туман. При перемешивании масла имеют место потери мощности P_r , которые возрастают с увеличением скорости вращения колес.

Коэффициент потерь мощности для цилиндрических и конических передач с внешним зацеплением, смазываемых окуном при по-

гружении колеса на глубину (2–3) модуля, приближенно определяется по формуле [6]:

$$\varphi_p = \frac{P_r}{P_1} = \left(\frac{0,04 \cdot d_w \cdot b_w}{T_1} \right) \sqrt{\frac{2 \cdot V \cdot \nu}{(z_1 + z_2)}} \quad (9)$$

где: ν – кинематическая вязкость масла при рабочей температуре ($\text{мм}^2 \cdot \text{с}^{-1}$); T_1 – крутящий момент (Н·м), V – окружная скорость (м/с), d_w и b_w – диаметр и ширина колеса (мм).

По приведенной выше методике для различных режимов нагружения трансмиссии в диапазоне от 30 до 60 Н·м и частот вращения от 1000 до 1750 об/мин определены:

φ_{31} – коэффициент потерь в коническом зацеплении;

φ_{32} – коэффициент потерь в цилиндрическом зацеплении;

φ_{n1} – коэффициент потерь в подшипниках ведущего вала и межосевого дифференциала;

φ_{n2} – коэффициент потерь в подшипниках конической передачи;

φ_{n3} – коэффициент потерь в подшипниках цилиндрической передачи;

φ_{p1} , φ_{p2} – коэффициенты потерь в коническом и цилиндрическом зацеплениях соответственно на разбрызгивание масла.

Суммарный КПД трансмиссии определяется по формуле:

$$\eta_{\Sigma} = 1 - (\varphi_{31} + \varphi_{32} + \varphi_{n1} + \varphi_{n2} + \varphi_{n3} + \varphi_{p1} + \varphi_{p2}). \quad (10)$$

Рассчитанные значения потерь в трансмиссии для различных режимов нагружения приведены в табл. 1.

Таблица 1

Потери в трансмиссии и суммарный КПД

n (об/мин)	φ_{31}	φ_{32}	φ_{n1}	φ_{n2}	φ_{n3}	φ_{p1}	φ_{p2}	η_{Σ} , %
При нагружении моментом $M_B=30$ Н·м								
1000	0,0045	0,0090	0,0097	0,0089	0,0078	0,0147	0,0041	0,9413
1250	0,0043	0,0088	0,0093	0,0087	0,0076	0,0165	0,0046	0,9402
1500	0,0040	0,0086	0,0091	0,0086	0,0075	0,0181	0,0051	0,9391
1750	0,0038	0,0084	0,0089	0,0086	0,0074	0,0195	0,0055	0,9379
При нагружении моментом $M_B=40$ Н·м								
1000	0,0045	0,0090	0,0097	0,0089	0,0078	0,0111	0,0033	0,9460
1250	0,0043	0,0088	0,0093	0,0087	0,0076	0,0124	0,0035	0,9455
1500	0,0040	0,0086	0,0091	0,0086	0,0075	0,0135	0,0038	0,9449
1750	0,0038	0,0084	0,0089	0,0086	0,0074	0,0146	0,0041	0,9442

Окончание табл. 1

n (об/мин)	φ_{z1}	φ_{z2}	φ_{n1}	φ_{n2}	φ_{n3}	φ_{p1}	φ_{p2}	η_{Σ} , %
При нагружении моментом $M_B=50$ Н·м								
1000	0,0045	0,0090	0,0097	0,0089	0,0078	0,0089	0,0025	0,9489
1250	0,0043	0,0088	0,0093	0,0087	0,0076	0,0099	0,0028	0,9487
1500	0,0040	0,0086	0,0091	0,0086	0,0075	0,0108	0,0030	0,9483
1750	0,0038	0,0084	0,0089	0,0086	0,0074	0,0117	0,0033	0,9479
При нагружении моментом $M_B=60$ Н·м								
1000	0,0045	0,0090	0,0097	0,0089	0,0078	0,0074	0,0021	0,9507
1250	0,0043	0,0088	0,0093	0,0087	0,0076	0,0082	0,0023	0,9508
1500	0,0040	0,0086	0,0091	0,0086	0,0075	0,0090	0,0025	0,9506
1750	0,0038	0,0084	0,0089	0,0086	0,0074	0,0099	0,0027	0,9504

По этим данными построены зависимости, приведенные на рис. 4. Сравнение графиков изменения суммарных КПД, полученных экспериментальным (рис. 2) и расчетным (рис. 4) путями, свидетельствует о практически противоположно разном качественном характере их изменения. Если экспериментальные данные

показывают почти линейное уменьшение КПД с увеличением нагружающего момента, то расчетные, наоборот показывают увеличение КПД с ростом нагрузки. В табл. 2 приведены значения расчетных и экспериментальные КПД и величина их расхождения на разных режимах нагружения.

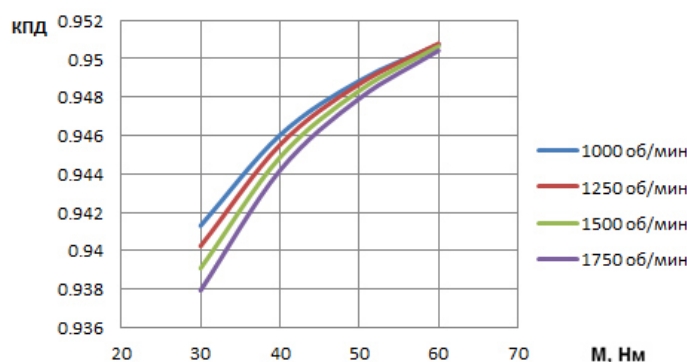


Рис. 4. Расчетные значения изменения КПД трансмиссии на разных режимах

Таблица 2

Окончание табл. 2

Значения расчетных и экспериментальные КПД и величина их расхождения

n (об/мин)	Эксперимент	Расчет	Расхождение, %
При нагружении моментом $M_B=30$ Н·м			
1000	0,9530	0,9413	1,2
1250	0,9700	0,9402	3,0
1500	0,9700	0,9391	3,1
1750	0,9780	0,9379	4,0
При нагружении моментом $M_B=40$ Н·м			
1000	0,9490	0,9460	0,3
1250	0,9570	0,9455	1,2
1500	0,9670	0,9449	2,2
1750	0,9730	0,9442	2,9

n (об/мин)	Эксперимент	Расчет	Расхождение, %
При нагружении моментом $M_B=50$ Н·м			
1000	0,9215	0,9489	2,7
1250	0,9330	0,9487	1,6
1500	0,9430	0,9483	0,5
1750	0,9580	0,9479	1,1
При нагружении моментом $M_B=60$ Н·м			
1000	0,9160	0,9507	3,5
1250	0,9205	0,9508	3,0
1500	0,9350	0,9506	1,6
1750	0,9440	0,9504	0,6

Таким образом, выполненные исследования показывают, что расчетные значения КПД

трансмиссии отличаются от их реальных значений. Следовательно, методика расчетного определения общего КПД трансмиссий должна быть доработана с учетом влияния факторов, приводящих к повышенным потерям в силовой цепи, таких как срок службы, уровень вибраций, наличие зазоров в сочленениях, тип и температура используемой смазки и т. д.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шеховцов, В. В. Управление динамическими свойствами силовых передач стендов / В. В. Шеховцов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1997. – № 11. – С. 32–35.
2. Шеховцов, В. В. Анализ и синтез динамических характеристик автотракторных силовых передач и средств для их испытания: монография / В. В. Шеховцов. – Волгоград, РПК «Политехник», 2004. – 224 с.
3. Ляшенко, М. В. Методы исследования динамических процессов в узлах силовых передач и системах протрессоривания гусеничных сельскохозяйственных тракторов: учеб. пособ. (гриф). Допущено УМО вузов РФ по образованию в области транспортных машин и транспортно-технологических комплексов / М. В. Ляшенко, В. В. Шеховцов, Е. М. Дейниченко, Н. С. Соколов-Добрев; ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – 150 с.
4. Шеховцов, В. В. Целенаправленное формирование собственного частотного спектра стенда для испытания трансмиссий тракторов / В. В. Шеховцов, И. В. Ходес, Вл. П. Шевчук, Н. С. Соколов-Добрев, К. В. Шеховцов // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 2. – С. 50–54.
5. Годжаев, З. А. Оптимальное проектирование валопроводов (на примере тракторов) / З. А. Годжаев, С. С. Дмитриченко, Ф. Я. Губерниев // Вестник машиностроения, 1992. – № 4.
6. Крайнев, А. Ф. Детали машин: словарь-справочник / А. Ф. Крайнев. – М.: Машиностроение, 1992. – 479 с.
7. Шеховцов, В. В. Разработка стендов и управления их динамическими свойствами для испытания трансмиссий тракторов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / Волгоградский политехнический институт (ВолгПИ). – Волгоград, 1990. – 22 с.
8. Клементьев, Е. В. Оптимизация упругих характеристик трансмиссии многофункционального диагностического стенда с целью снижения ее динамической нагруженности / Е. В. Клементьев, Н. С. Соколов-Добрев, В. В. Шеховцов // Прогресс транспортных средств и систем – 2013: матер. междунар. науч.-практ. конф., Волгоград, 24–26 сент. 2013 г. / ВолгГТУ [и др.]. – Волгоград, 2013. – С. 136–137.
9. Клементьев, Е. В. Снижение вибронгруженности многофункционального диагностического стенда от изгибных колебаний во время испытаний АТС / Е. В. Клементьев, Н. С. Соколов-Добрев, В. В. Шеховцов // Прогресс транспортных средств и систем – 2013: матер. междунар. науч.-практ. конф., Волгоград, 24–26 сент. 2013 г. / ВолгГТУ [и др.]. – Волгоград, 2013. – С. 134–135.
10. Усовершенствование конструктивных параметров испытательного стенда для снижения его динамической нагруженности [Электронный ресурс] / В. В. Шеховцов, Е. В. Клементьев, Н. С. Соколов-Добрев, В. В. Сюньков, А. М. Слюсарев, В. А. Кузьмин // 32nd Seminar of the Students Association for Mechanical Engineering, Warsaw, Poland, 15-17.05.2013: [доклады] / Military University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering. – 1 CD-ROM. – Warsaw, 2013. – P. 1–5.
11. Улучшение конструктивных параметров многофункционального диагностического стенда с целью снижения его динамической нагруженности и улучшения точности измерений / В. В. Шеховцов, Н. С. Соколов-Добрев, К. О. Долгов, Е. В. Клементьев // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. науч. ст. № 3 (130) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2014. – (Серия «Наземные транспортные системы»; вып. 8). – С. 51–54.
12. Кудрявцев, В. Н. Планетарные передачи / В. Н. Кудрявцев. – М.-Л.: Машиностроение, 1966. – 307 с.

УДК 629.114.4-235.004

*А. С. Горобцов, М. В. Ляшенко, Н. С. Соколов-Добрев, В. В. Шеховцов,
П. В. Потапов, Е. В. Клементьев, А. А. Долотов*

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА

Волгоградский государственный технический университет

В статье приведено краткое описание конструкции созданного в ВолгГТУ многофункционального испытательного стенда для определения основных эксплуатационных характеристик трансмиссий легковых и грузовых автомобилей, приведено описание его математической модели, созданной на основе пространственной динамической схемы, и приведены результаты расчетного определения массо-инерционных параметров элементов стенда.

Ключевые слова: испытательный стенд, испытания трансмиссий, анализ вибронгруженности, виброизмерительная аппаратура

*A. S. Gorobtsov, M. V. Lyashenko, N. S. Sokolov-Dobrev, V. V. Shehovtsov,
P. V. Potapov, E. V. Klementiev, A. A. Dolotov*

MATHEMATICAL MODEL OF TEST STAND

Volgograd State Technical University

This article presents brief description of multifunctional test stand design. This stand was created in VSTU for researching of operational characteristics of trucks and cars transmissions. Also stand mathematical model created on base of three-dimensional dynamic scheme is described. Results of computation determination of mass-inertial parameters of stand elements are presented.

Keywords: test stand, transmission test, analysis of vibration loads, vibration measuring equipment.

1. Общее устройство стенда

На кафедре «Транспортные машины и двигатели» ВолгГТУ для определения основных эксплуатационных характеристик трансмиссий автомобилей создан многофункциональный испытательный стенд [1, 2, 3]. Общее устройство стенда показано на рис. 1.

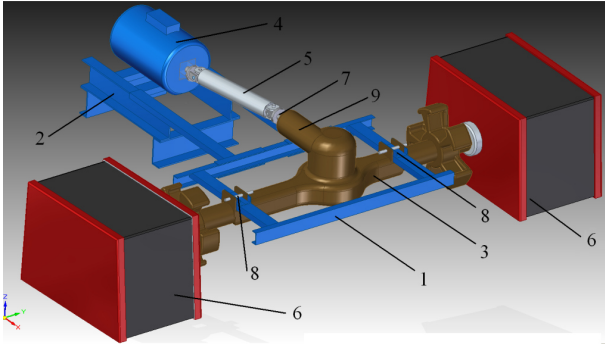


Рис. 1. Общее устройство стенда:
1, 2 – рамы; 3 – испытуемый мост; 4 – приводной электродвигатель; 5 – карданный вал; 6 – нагружающие устройства; 7 – фланец; 8 – кронштейны; 9 – корпус межосевого дифференциала

2. Разработка модели

Для осуществления возможностей моделирования [4–9] различных режимов нагружения и прогнозирования их результатов без прове-

дения длительных натурных испытаний на первом этапе на основе структурной схемы стенда (рис. 2, а) создана его плоская динамическая модель (рис. 2, б), которая, кроме сведений о составе и связи масс, содержит данные об упругих, инерционных и диссипативных параметрах ее элементов. На следующем этапе разработана пространственная структурная схема стенда (рис. 3), на основе которой в среде «Универсальный механизм» создана его пространственная динамическая модель (рис. 4).

Модель включает в себя 31 инерционную массу; на массы действуют линейные, контактные, биполярные и специальные силы (рис. 4). Подвижными массами модели являются массы вращающихся элементов трансмиссии, передающих крутящий момент (массы 1–25), корпуса трансмиссии (масса 26), рамы стенда, состоящей из двух подрамников (массы 27, 28), двух хабов нагружающего устройства DinaPack (массы 29 и 30), включающих в себя гидромашины (массы 30, 31).

Значения моментов инерции деталей и жесткости их соединений, полученные с помощью программного комплекса DASP и системы 3D автоматизированного проектирования SolidWorks [4–8], приведены в табл. 1 и 2.

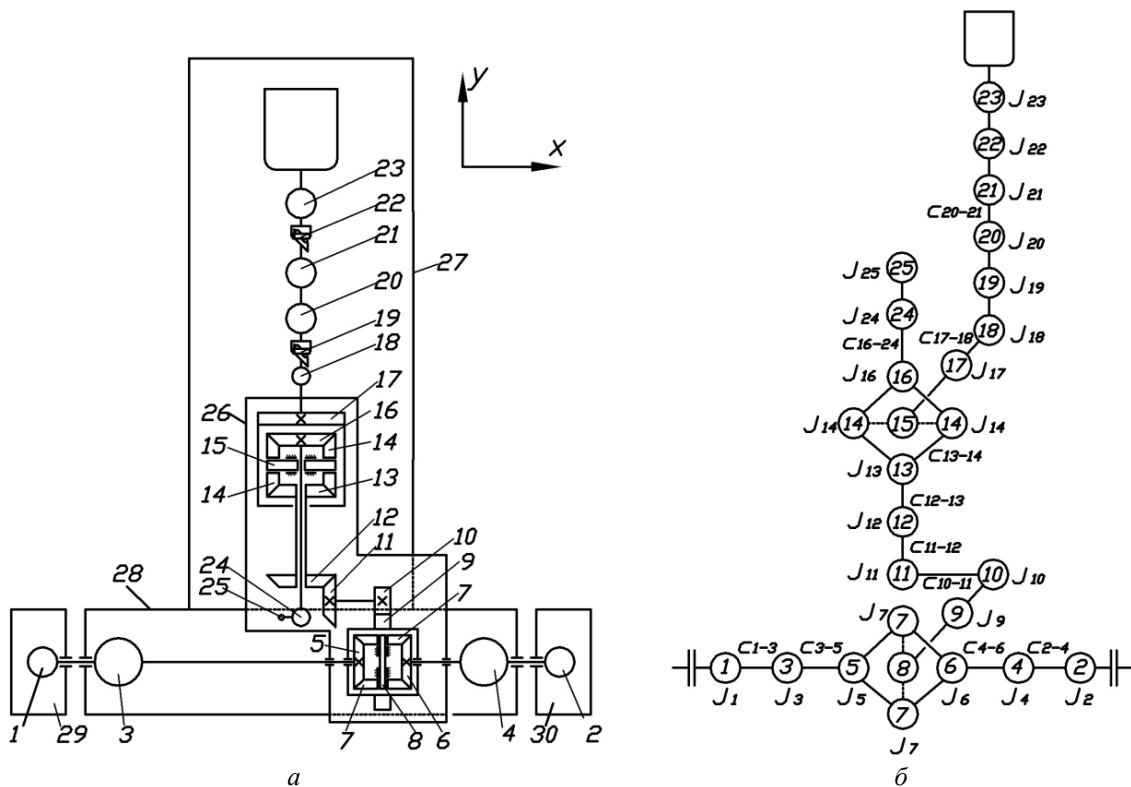


Рис. 2: а – структурная схема стенда, б – динамическая модель его силовой передачи

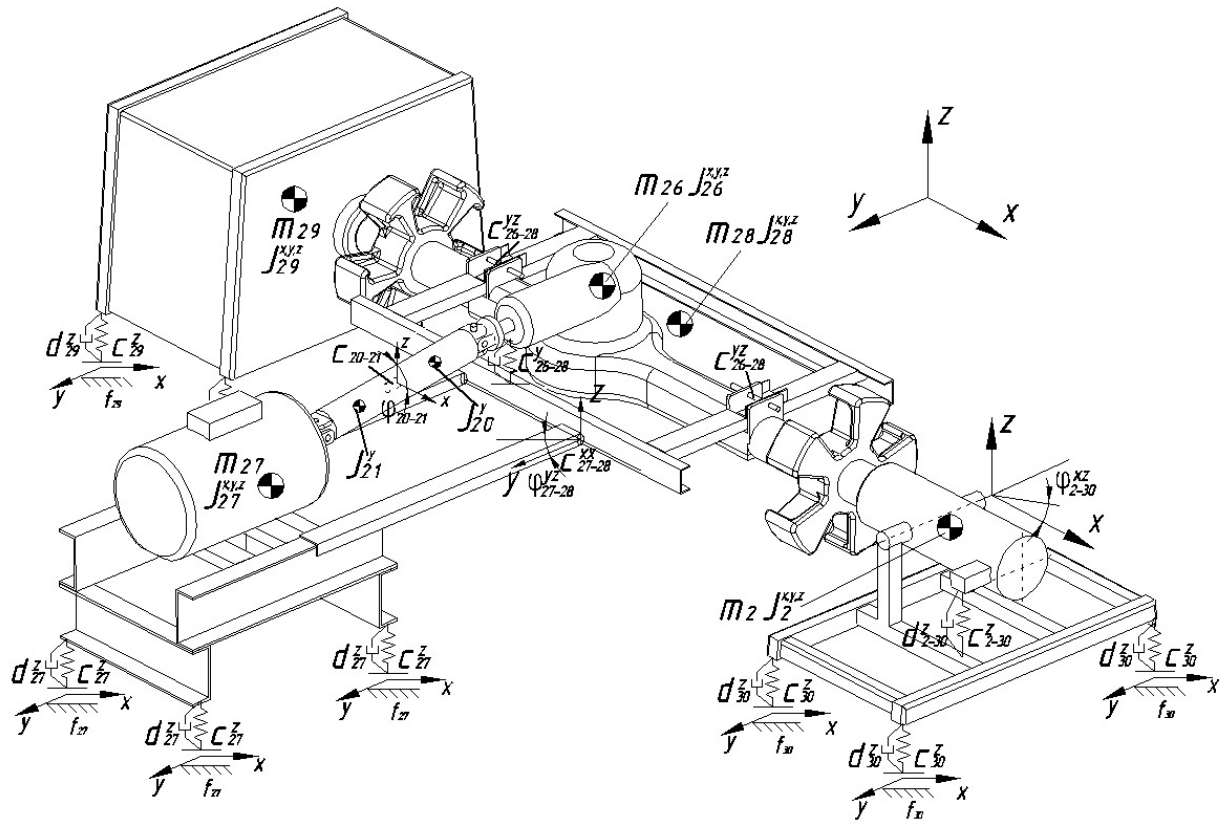


Рис. 3. Трехмерная структурная схема станда

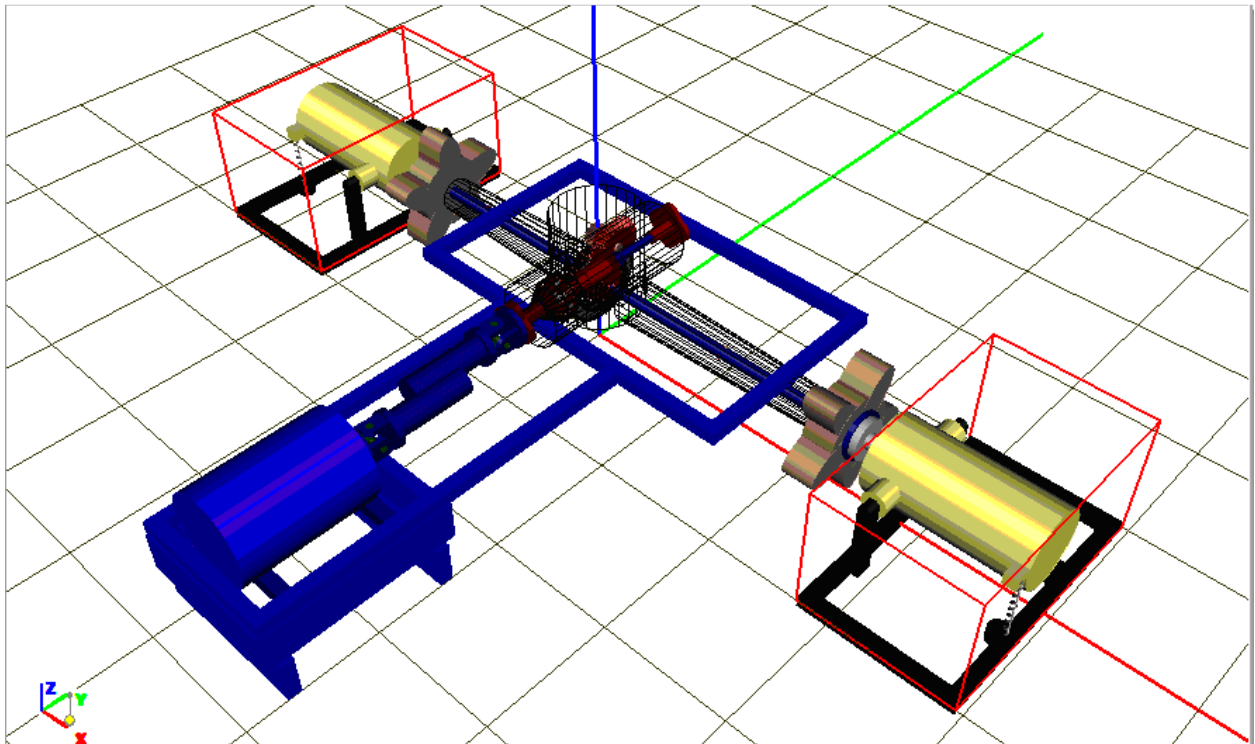


Рис. 4. Динамическая модель станда в программном пакете «Универсальный механизм»

Таблица 1

Упругие и диссипативные характеристики элементов стенда

№ участка	Приведенные к участку жесткости элементов	Линейная жесткость элемента $\times 10^6$ Н/м			Угловая жесткость элемента $\times 10^6$ Н*м/рад		
		C_x	C_y	C_z	C_{xx}	C_{yy}	C_{zz}
1-3, 2-4	2 вала, 1 шлиц. соед.	–	–	–	0,573749		
3-5	1 вал, 1 шлиц. соед.	–	–	–	0,459650	–	–
4-6	1 вал, 1 шлиц. соед.	–	–	–	0,57737	–	–
5-7, 6-7	4 зубч. зацепления	291,75	–	–	–	–	–
9-10	1 зубч. зацепление	–	329,662	–	–	–	–
10-11	1 вал, 1 шпон. соед.	–	–	–	0,36309	–	–
11-12	1 зубч. зацепление	–	47,842	–	–	–	–
12-13	4 вала, 1 шлиц. соед.	–	–	–	0,83878	–	–
13-14	4 зубч. зацепления	–	22,158	–	–	–	–
14-16	4 зубч. зацепления	–	22,158	–	–	–	–
16-24	1 вал, 2 шлиц. соед.	–	–	–	–	0,0270	–
24-25	1 ступица	–	–	–	–	–	–
17-18	1 вал	–	–	–	–	1,0299	–
20-21	2 вала	–	0,65598	–	–	–	–
27-г	Резин. виброизолят.	–	–	2,60416	–	–	–
27-28	Хомут	–	–	–	–	–	–
26-28	Хомут	–	–	–	–	–	–
29-г	Резин. виброизолят.	–	–	5,20833	–	–	–
30-г	Резин. виброизолят.	–	–	5,20833	–	–	–

Таблица 2

Массо-инерционные параметры элементов стенда

№ массы	Наименование элемента	Момент инерции, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$			Масса, кг m
		J_x	J_y	J_z	
1,2	Тормозной механизм стенда Dinarack и переходная ступица	<u>0,42547</u>	1,46696	1,41717	36,9
3	Ступица 5320-3103015-02 и половина полуоси 5320-2403071	<u>0,51152</u>	0,60070	0,60070	<u>37,39</u>
4	Ступица 5320-3103015-02 и половина полуоси 5320-2403070	<u>0,50134</u>	0,34901	0,34901	<u>35,19</u>
5	Полуосевая шестерня 53205-2403050 и половина полуоси 5320-2403071	<u>0,00789</u>	0,46767	0,46767	<u>12,77</u>
6	Полуосевая шестерня 53205-2403050 и половина полуоси 5320-2403070	<u>0,00669</u>	0,39641	0,39641	<u>10,57</u>
7	Сателлит межколесного дифференциала 53212-2403054	<u>0,0004</u>	0,00023	0,00023	<u>0,488</u>
8	Крестовина дифференциала	<u>0,00949</u>	0,00494	0,00494	<u>2,78</u>
9	Колесо ведомое 5320-2402120-10 и две чашки дифференциала 53205-2403018	<u>0,62530</u>	0,428	0,428	<u>43,69</u>
10	Шестерня цилиндрическая ведущая 5320-2402110-10	<u>0,00441</u>	0,01112	0,01112	<u>6,695</u>
11	Колесо коническое ведомое 5320-2402060	<u>0,05319</u>	0,03413	0,03413	<u>14,72</u>
12	Шестерня ведущая коническая 5320-2502017	0,03032	<u>0,00591</u>	0,03032	<u>5,62</u>
13	Шестерня привода среднего моста 5320-2402017	0,00210	<u>0,00329</u>	0,00210	<u>4,05</u>
14	Сателлит межосевого дифференциала 53212-2506054	0,00001	<u>0,00011</u>	0,00001	<u>0,19</u>
15	Крестовина межосевого дифференциала 5320-2506060,	0,00062	<u>0,00114</u>	0,00062	<u>0,705</u>

Окончание табл. 2

№ массы	Наименование элемента	Момент инерции, кг·м ²			Масса, кг
		J_x	J_y	J_z	m
16	Шестерня 5320-2506130 и половина вала промежуточного моста 5320-2502201	0,05308	<u>0,00181</u>	0,05308	<u>4,685</u>
17	Две чашки межосевого дифференциала 5320-2506018, 5320-2506019	0,08296	<u>0,04114</u>	0,08296	<u>15,68</u>
18	Фланец первичного вала 5320-2506037	0,00657	<u>0,00515</u>	0,00657	<u>2,000</u>
19,22	Крестовина карданной передачи 5320-2201025-02	0,00095	<u>0,00180</u>	0,00095	<u>1,4</u>
20	Половина карданного вала 5320-2205011	0,20842	<u>0,02614</u>	0,21174	<u>17,05</u>
21	Половина карданного вала 5320-2205011	0,20842	<u>0,02614</u>	0,21174	<u>17,05</u>
23	Фланец вала электродвигателя	0,02065	<u>0,02518</u>	0,01447	<u>7,4</u>
24	Фланец заднего моста и ведущий вал	0,06426	<u>0,01224</u>	0,06426	<u>6,96</u>
26	Картер моста 5320-2501010	1,59	38,097	38,278	<u>127,6</u>
27	Передняя рама стенда	6,82	1,45	8,26	<u>24,83</u>
28	Задняя рама стенда	3,19	7,52	10,704	<u>27,07</u>
29,30	Корпус хаба DinaPack без гидромашины	4,69	9,37	10,21	<u>88,32</u>
31	Электродвигатель и рама	12,68	8,51	12,01	<u>186,7</u>

Примечание. Подчеркнутыми являются те массо-инерционные значения, которые используются при расчете крутильных колебаний.

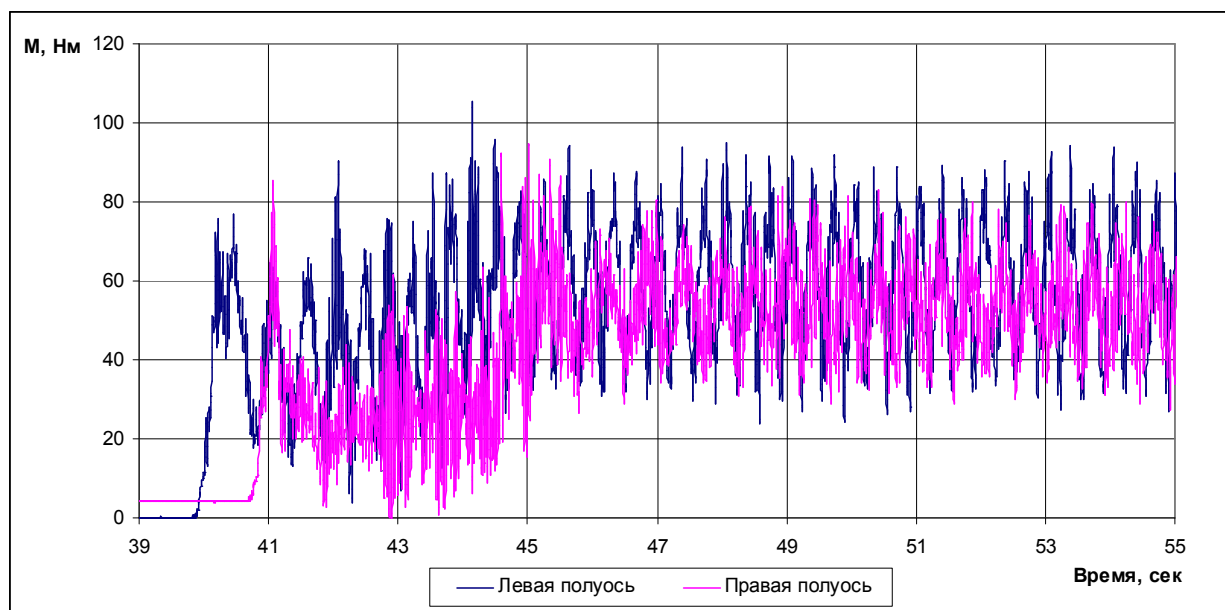


Рис. 5. Пример оциллограммы колебаний момента на левой и правой полуосях при частоте вращения вала электродвигателя 1000 об/мин

Для проверки адекватности созданной модели на начальном этапе выполнен расчет собственных частот колебаний ее масс в диапазоне от 0 до 10000 Гц. Сравнение их значений с результатами обработки экспериментальных цифровых оциллограмм колебаний масс стенда (рис. 5) показало достаточную для решения инженерных задач сходимость результатов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стендовое оборудование для испытаний силовых передач тракторов / В. В. Шеховцов, И. В. Ходес, Вл. П. Шевчук, Н. С. Соколов-Добрев, К. В. Шеховцов, Е. В. Клементьев // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 1. – С. 36–40.
2. Испытательный стенд для исследования условий работы механизмов ведущего моста грузового автомобиля / А. С. Горобцов, А. А. Долотов, Е. В. Клементьев, М. В. Ля-

шенко, П. В. Потапов, В. В. Шеховцов // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 5 (165) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2015. – (Серия «Наземные транспортные системы»; вып. 11). – С. 10–13.

3. Исследование виброактивности элементов заднего моста грузового автомобиля / А. С. Горобцов, М. В. Ляшенко, Н. С. Соколов-Добрев, В. В. Шеховцов, П. В. Потапов, Е. В. Клементьев, А. А. Долотов // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 4 (162) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2015. – (Серия «Наземные транспортные системы»; вып. 10). – С. 8–11.

4. Моделирование динамических процессов в узлах автотранспортных средств с использованием пакета визуального моделирования Matlab/Simulink: учеб. пособ. (гриф). Доп. УМО вузов РФ по образованию в области транспортных машин и транспортно-технологических комплексов / В. В. Шеховцов, М. В. Ляшенко, Н. С. Соколов-Добрев, К. О. Долгов; ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – 147 с.

5. Формирование динамических характеристик силовой передачи стэнда для испытания трансмиссий / В. В. Шеховцов, И. В. Ходес, Н. С. Соколов-Добрев, К. В. Шеховцов // Техника машиностроения. – 2012. – № 1. – С. 42–49.

6. Динамическая модель силовой передачи гусеничного сельскохозяйственного трактора тягового класса 6 /

Н. С. Соколов-Добрев, В. В. Шеховцов, И. А. Иванов, М. В. Ляшенко // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 10 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – (Серия «Наземные транспортные системы»; вып. 3). – С. 92–96.

7. Методы исследования динамических процессов в узлах силовых передач и системах подрессоривания гусеничных сельскохозяйственных тракторов: учеб. пособ. (гриф). Допущено УМО вузов РФ по образованию в области транспортных машин и транспортно-технологических комплексов / М. В. Ляшенко, В. В. Шеховцов, Е. М. Дейниченко, Н. С. Соколов-Добрев; ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – 150 с.

8. Dynamic Model with Reaction Nodes of Tracked Agricultural Tractor / Z. A. Godzajew, M. V. Lяшенко, V. V. Шеховцов, Вл. П. Шевчук, Н. С. Соколов-Добрев, V. Michalowski // Journal of KONES Powertrain and Transport. – 2007. – Vol. 14, No. 4. – С. 101–112. – Пол.

9. Тескер, Е. И. Анализ динамических моделей, характеризующих нагруженность силовых элементов трансмиссий / Е. И. Тескер, В. В. Шеховцов, М. Ф. Саломыкин // Наука, техника и высшее образование: проблемы и тенденции развития: сб. науч. тр. / Ростовский филиал Моск. гос. ун-та технол. и управл. и др. – Ростов н/Д, 2006. – С. 13–17.

УДК 621.437

Е. А. Федянов, Ю. В. Левин, С. Н. Шумский, В. А. Алексейчук

ВЛИЯНИЕ ФАЗИРОВАННОЙ ПОДАЧИ ДОБАВКИ ВОДОРОДА НА ПОКАЗАТЕЛИ РОТОРНО-ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ ВАНКЕЛЯ

Волгоградский государственный технический университет

В данной статье рассматриваются результаты экспериментальных исследований рабочего процесса роторно-поршневого двигателя ВАЗ-311 с фазированной подачей добавки водорода. Улучшение экологических и экономических показателей роторно-поршневого двигателя можно добиться за счет изменения момента подачи водорода.

Ключевые слова: роторно-поршневой двигатель Ванкеля, фазированный впрыск топлива, добавка водорода.

E. A. Fedyanov, Y. V. Levin, S. N. Shumsky, V. A. Alekseichuk

INFLUENCE OF PHASED HYDROGEN ADDITION SUPPLY TO INDICATORS OF ROTARY-PISTON WANKEL ENGINE

Volgograd State Technical University

The results of experimental research workflow rotary-piston engine VAZ-311 with phased hydrogen additive supply are presented. Improving the environmental and economic performance of the rotary-piston engine can be achieved by changing the time of hydrogen supply.

Keywords: rotary-piston Wankel engine, phased injection, the addition of hydrogen.

Роторно-поршневые двигатели (РПД) Ванкеля обладают повышенными выбросами углеводородов с отработавшими газами и несколько большим расходом топлива по сравнению с поршневыми двигателями внутреннего сгорания. Одной из основных причин этого является недогорание топливоздушной смеси в камере сгорания РПД указанного типа. Направленное движение заряда, обусловленное вращением ротора, препятствует движению заряда в сторону задней вершины ротора. Как показывают

исследования [1, 2], в том числе проведенные нами [3, 4], использование добавки свободного водорода к основному топливу приводит к уменьшению неполного сгорания топливоздушной смеси в РПД Ванкеля.

Особенности конфигурации камеры сгорания и направленного движения заряда в РПД Ванкеля позволяют осуществить расслоение топливоздушной смеси за счет фазированной подачи водорода и бензина на такте впуска [5, 6]. Подачу водорода при этом необходимо

осуществлять таким образом, чтобы топливовоздушная смесь, обогащенная водородом, располагалась преимущественно в зоне, прилегающей к задней вершине ротора, где изначально и происходит неполное сгорание топливовоздушной смеси [7].

С целью определения оптимального момента подачи водорода на такте впуска были проведены экспериментальные исследования на односекционном РПД Ванкеля ВА3-311. РПД Ванкеля ВА3-311 с рабочим объемом 649 см^3 и степенью сжатия 9,3 был установлен на испытательном стенде, оснащенный комплексом необходимой измерительной аппаратурой. Подача водорода, как и подача бензина, осуществлялась с помощью форсунок, установленных во впускном коллекторе РПД. Система управления впрыскиванием позволяла в широких

пределах варьировать моменты начала подачи топлива и длительность впрыскивания как для бензиновой форсунки, так и для форсунки, подающей водород.

Испытания проводились на осредненном режиме для городского испытательного цикла: $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,2 \text{ МПа}$. Момент опережения зажигания для лидирующей свечи «L» составлял 26 градусов по углу поворота эксцентрикового вала (ПЭВ) до ВМТ, для дожигающей свечи «T» – 30 градусов ПЭВ до ВМТ. Запись давления в камере сгорания РПД осуществлялась с помощью пьезоэлектрического датчика фирмы «Kistler» (тип 6118В), встроенного в свечу зажигания «L». Помимо давления на другие каналы АЦП, подавались импульсы с водородной форсунки и датчика положения ВМТ. Пример записи сигналов представлен на рис. 1.

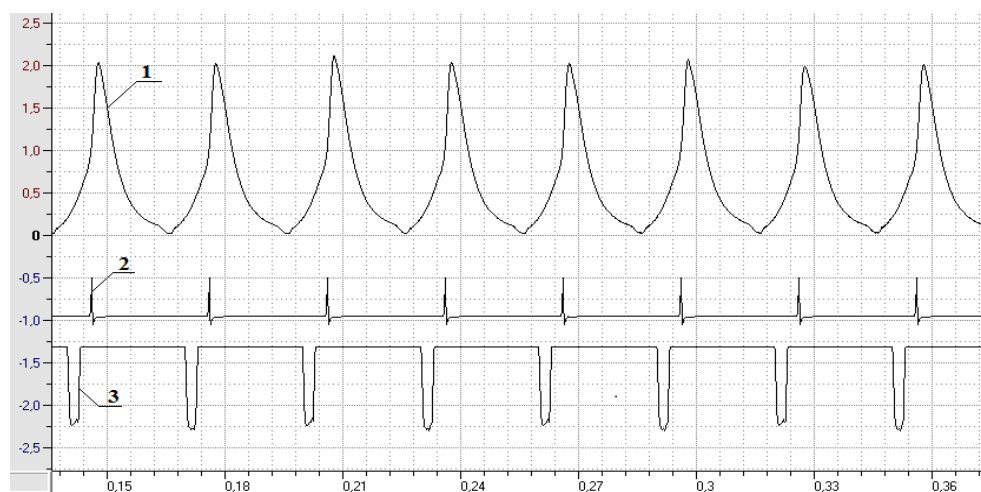


Рис. 1. Пример записи сигналов РПД:
1 – запись давления в рабочей камере РПД; 2 – отметка ВМТ; 3 – сигнал с водородной форсунки

Топливоздушная смесь в камеру сгорания подавалась стехиометрического состава, величина массовой добавки водорода при этом составляла 2 %. Момент подачи и длительность открытия бензиновой форсунки не менялся.

В таблице приведены результаты испытаний РПД с расслоением топливовоздушного за-

ряда. В каждом опыте изменялся момент начала подачи водорода (Ψ_1) относительно начала открытия впускного окна рабочей кромкой ротора. Запись сигналов с водородной форсунки и датчика ВМТ позволила определить момент начала подачи водорода по углу ПЭВ относительно ВМТ (Ψ_2) для соседней рабочей камеры по ходу вращения ротора.

Результаты испытаний с расслоением заряда

Ψ_1° ПЭВ от начала впуска	Ψ_2° ПЭВ до ВМТ	$C_x H_y$, млн ⁻¹	CO, %	σ_{Pz} , МПа	g_e , г/(кВт·ч)
45	105	500	0,4	0,06	526,9
63	87	484	0,38	0,057	524,4
80	70	452	0,33	0,056	514,7
97	53	419	0,28	0,051	504,8
113	37	422	0,32	0,057	517,1
129	21	460	0,35	0,068	529,1

Из таблицы видно, что изменение момента подачи водорода позволяет не только улучшить экологические характеристики РПД, но и уменьшить нестабильность процесса сгорания на данном режиме. Анализ цикловой нестабильности индикаторного процесса РПД был проведен по величине стандартного отклонения максимального давления, МПа:

$$\sigma_{p_z} = \sqrt{\frac{\sum (p_{zi} - p_{zcp})^2}{n-1}}, \quad (1)$$

где p_{zi} – максимальное давление в цикле, МПа; p_{zcp} – среднее значение максимального давления, полученное в результате обработки n последовательных циклов, МПа; n – число рассматриваемых последовательных циклов.

Оптимальным моментом подачи водорода по углу поворота эксцентрикового вала для режима осредненного городского ездового цикла является 97° после начала такта впуска, что соответствует 53° ПЭВ до ВМТ для соседней ка-

меры. Величина эффективного удельного расхода при этом уменьшилась на 4,2 %, а количество несгоревших углеводородов с отработавшими газами сократилось на 16,2 %.

При подаче водорода и бензина следует учитывать транспортную задержку от форсунок до кромки впускного окна РПД. Момент поступления водорода в рабочую камеру РПД через впускное окно смещается еще ближе к ВМТ. В этом случае начало попадания топливоздушнoй смеси, обогащенной водородом, в рабочую камеру РПД совпадает с моментом подачи искры на дожигающую свечу зажигания «Т» (φ_T) в соседней, по ходу вращения ротора, камере (см. рис. 2). Если водород будет поступать раньше момента времени подачи искры на дожигающую свечу «Т», то это приведет к повышенному расходу водорода, а если позже – к неполному сгоранию основной топливоздушнoй смеси у задней вершины ротора из-за недостатка добавки водорода.

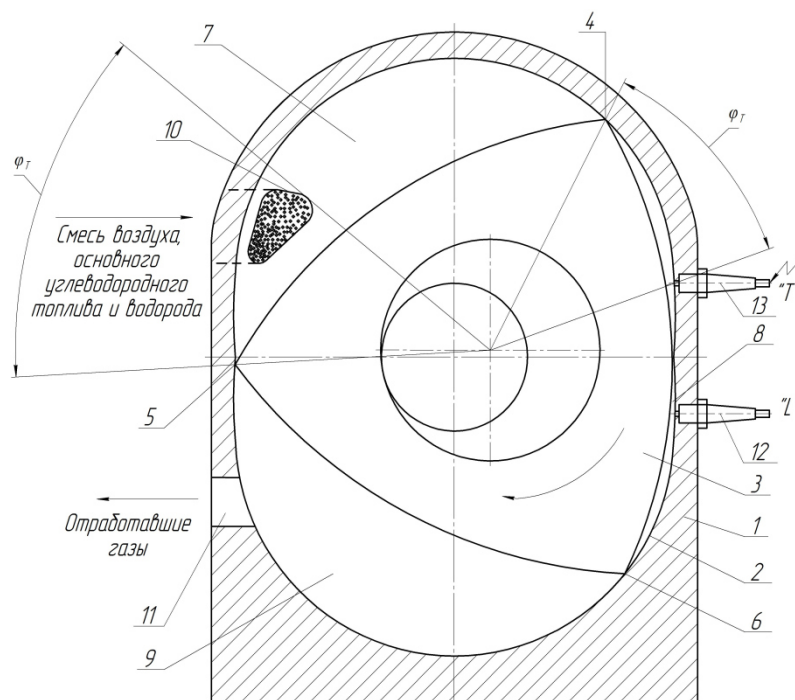


Рис. 2. Момент начала подачи водорода при расслоении топливоздушного заряда в РПД:
1 – статор; 2 – эпитрохоидная поверхность; 3 – ротор; 4, 5, 6 – вершины ротора; 7, 8, 9 – рабочие камеры РПД;
10 – боковое впускное окно; 11 – выпускное окно; 12 – лидирующая свеча зажигания «Л»; 13 – дожигающая свеча зажигания «Т»

Подача водорода в конце такта впуска позволяет при сохранении положительного эффекта уменьшить расход водорода, что важно в связи со сложностью генерации и хранения большого количества водорода на борту мобильных машин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Boretti, A. A Novel Wankel Engine Featuring Jet Ignition and Port or Direct Injection for Faster and More Complete Combustion Especially Designed for Gaseous Fuels / A. Boretti, S. Jiang, J. A. Scalzo // SAE Technical Paper. – 2015. – №. 2015-01-0007.
2. Amrouche F, Erickson P, Park J, Varnhagen S. An experimental investigation of hydrogen-enriched gasoline in a

Wankel rotary engine. International journal of hydrogen energy. 2014; 39 – p. 8525 – 8534.

3. Теоретическое исследование процесса сгорания в роторно-поршневых двигателях Ванкеля с добавками водорода / Е. А. Федянов, Ю. В. Левин, Е. А. Захаров, Е. М. Иткис // Двигателестроение. – 2014. – № 4. – С. 16–18.

4. Влияние добавки водорода на показатели роторно-поршневого двигателя Ванкеля / Е. А. Федянов, Ю. В. Левин, С. Н. Шумский, В. А. Алексейчук // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 5 (165) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2015. – (Серия «Наземные транспортные системы»; вып. 11). – С. 65–68.

5. Зиновьев, И. В. Особенности процесса сгорания и организация расслоения заряда в роторно-поршневых двигателях / И. В. Зиновьев, Е. В. Шатров // Автомобильная промышленность. – 1980. – № 12. – С. 7–10.

6. Улучшение топливной экономичности роторно-поршневого двигателя путем фазирования подачи топлива / Е. А. Федянов, Г. Н. Злотин, Е. Б. Морщихин, К. Е. Ярыгин // Двигателестроение. – 2006. – № 3. – С.

7. Пат. 2546933 РФ, МПК F02B53/10. Способ работы роторно-поршневого двигателя внутреннего сгорания / Е. А. Федянов, Е. А. Захаров, Ю. В. Левин, Е. М. Гольденберг; ВолгГТУ. – 2015.

УДК 621.43.057

К. В. Приходьков, К. И. Лютин, В. В. Осин, Д. Н. Авдеюк

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕИДЕНТИЧНОСТИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДВИГАТЕЛЯ VAZ-11194 С ПОМОЩЬЮ ИНДИЦИРОВАНИЯ

Волгоградский государственный технический университет

В статье рассмотрены основные способы оценки неидентичности рабочего процесса ДВС с искровым воспламенением. Указана возможность использования индицирования двигателя для получения представлений о характере изменения и величине неидентичности рабочего процесса. Приведены некоторые статистические характеристики максимального давления цикла в цилиндре двигателя VAZ-11194.

Ключевые слова: индикаторная диаграмма, неидентичность рабочего процесса, максимальное давление цикла.

K. V. Prikhodkov, K. I. Lutin, V. V. Osin, D. N. Avdejuk

RESEARCH OF WORK PROCESS VARIABILITY IN ENGINE VAZ – 11194 THROUGH INDICATED DIAGRAMS

Volgograd State Technical University

Basic ways of work process variabilities measurements in spark ignition engines are described. It shown that using of indicated diagrams allows obtain knowledge about work process variabilities. Some statistic dates of peak pressure in VAZ-11194 engine are presented

Keywords: indicated diagram, work process variabilities, peak pressure.

Введение

Межцикловая неидентичность (МЦН) рабочего процесса является одной из характерных особенностей двигателей внутреннего сгорания с искровым воспламенением.

Интерес к изучению указанного явления обусловлен прежде всего стремлением производителей улучшить топливную экономичность двигателя и одновременно снизить его токсичность. Установлено [1–5], что именно возрастание уровня МЦН препятствует использованию обедненных топливовоздушных смесей – одному из перспективных путей снижения расхода топлива.

Возникновение МЦН принято объяснять тремя основными факторами: неоднородностью топливовоздушной смеси в камере сгорания [3,6], стохастичностью турбулентного движения свежего заряда [7,8], нестабильностью

инициирующего воспламенение искрового разряда на свече зажигания [9]. При этом подчеркивается, что МЦН в наибольшей степени проявляется на режимах холостого хода и частичных нагрузок [10,11].

МЦН может быть исследована на основании статистических характеристик параметров различных стадий рабочего процесса.

Как свидетельствует опыт, МЦН обусловлена случайными процессами в момент формирования начального очага горения. Так, многими исследователями [12,13] проводится статистический анализ геометрических размеров сформированного очага пламени и характеристик распространения пламени. Экспериментальные данные для анализа могут быть получены, например, с помощью высокоскоростных камер и последующей декомпозицией полученных изображений [13–15]. Такая методика пред-

ставляется весьма затратной, однако позволяет с высокой точностью определить изменение формы и размеров начального очага через каждые 0,1 градус поворота коленчатого вала. В работе [16] предлагается определять скорость распространения фронта пламени с помощью пары ионизационных датчиков, устанавливаемых в камере сгорания. Данный способ представляется менее затратным, но, тем не менее для его осуществления требуется дополнительное технологическое отверстие в головке цилиндров.

Другой метод исследования МЦН основан на получении и обработке индикаторных диаграмм в последовательных циклах. Непосредственно индицированием можно получить данные о величине максимального давления в цилиндре p_z , момента достижения максимального давления, скорости нарастания давления [17]. С помощью дальнейшей обработки индикаторных диаграмм могут быть получены значения среднего индикаторного давления и сведения о динамике тепловыделения.

В настоящее время широкое распространение получили пьезоэлектрические датчики давления, интегрируемые в свечу зажигания [18]. Обладая высокой точностью измерения, такие датчики не требуют дополнительного вмешательства в конструкцию двигателя, что, несомненно, дает им преимущество при выборе исследовательского оборудования.

Экспериментальный стенд

Экспериментальные исследования проведены на четырехцилиндровом двигателе ВАЗ 11194, установленном на испытательном стенде.

Испытательный стенд с двигателем ВАЗ 11194 был оснащен всеми измерительными системами, необходимыми для снятия стандартных характеристик двигателя.

Для индицирования двигателя применялись четыре датчика давления 6115В фирмы Kistler, интегрированные в корпус свечи зажигания. Измерительный диапазон датчика 0...20 МПа, при температурном диапазоне -20...200 °С.

Сбор данных осуществлялся с помощью модуля Kistler Charge Amplifier Type 5064 C2,

обеспечивающего ошибку измерения менее 0,5 % с возможностью автоматической компенсации дрефта сигнала.

На рис. 1 показаны типовые некалиброванные индикаторные диаграммы по времени для исследуемого двигателя с одновременной записью сигнала с датчика положения коленчатого вала (ДПКВ). За начало отсчета на осциллограмме условно принимался сигнал ДПКВ, соответствующий первому зубу на шкиве привода генератора, находящемуся на 134 градусов поворота коленчатого вала до положения поршня первого цилиндра в ВМТ.

В целях получения данных о МЦН испытанного двигателя индикаторные диаграммы записывались в течение минуты, и затем обрабатывались 30 последовательных циклов. Пример результатов обработки представлен на рис. 2, который наглядно иллюстрирует неидентичность протекания рабочего процесса.

Полученные результаты

Для получения количественных данных о МЦН были определены значения среднего \bar{p}_z максимального давления цикла, среднеквадратичное отклонение σ_{p_z} и коэффициент вариаций k_{p_z} .

Анализ измерения максимального давления цикла (рис. 3) показывает, что двигателю свойственна не только межцикловая, но и межцилиндровая неидентичность. Различие максимальных давлений в цилиндрах характерно для всех исследованных режимов. Наибольшие различия наблюдаются на режиме частичной нагрузки, где \bar{p}_z во втором и третьем цилиндрах отличаются на 0,37 МПа.

Коэффициент вариации максимального давления качественно изменяется одинаково во всех цилиндрах исследованного двигателя. Максимумы k_{p_z} характерны для режима холостого хода и полной нагрузки, минимумы для режима частичной нагрузки. Однако k_{p_z} существенно отличается по каждому цилиндру. Так, например, на режиме холостого хода k_{p_z} первого цилиндра составляет 9,3 %, а во втором – на 4,5 % выше.

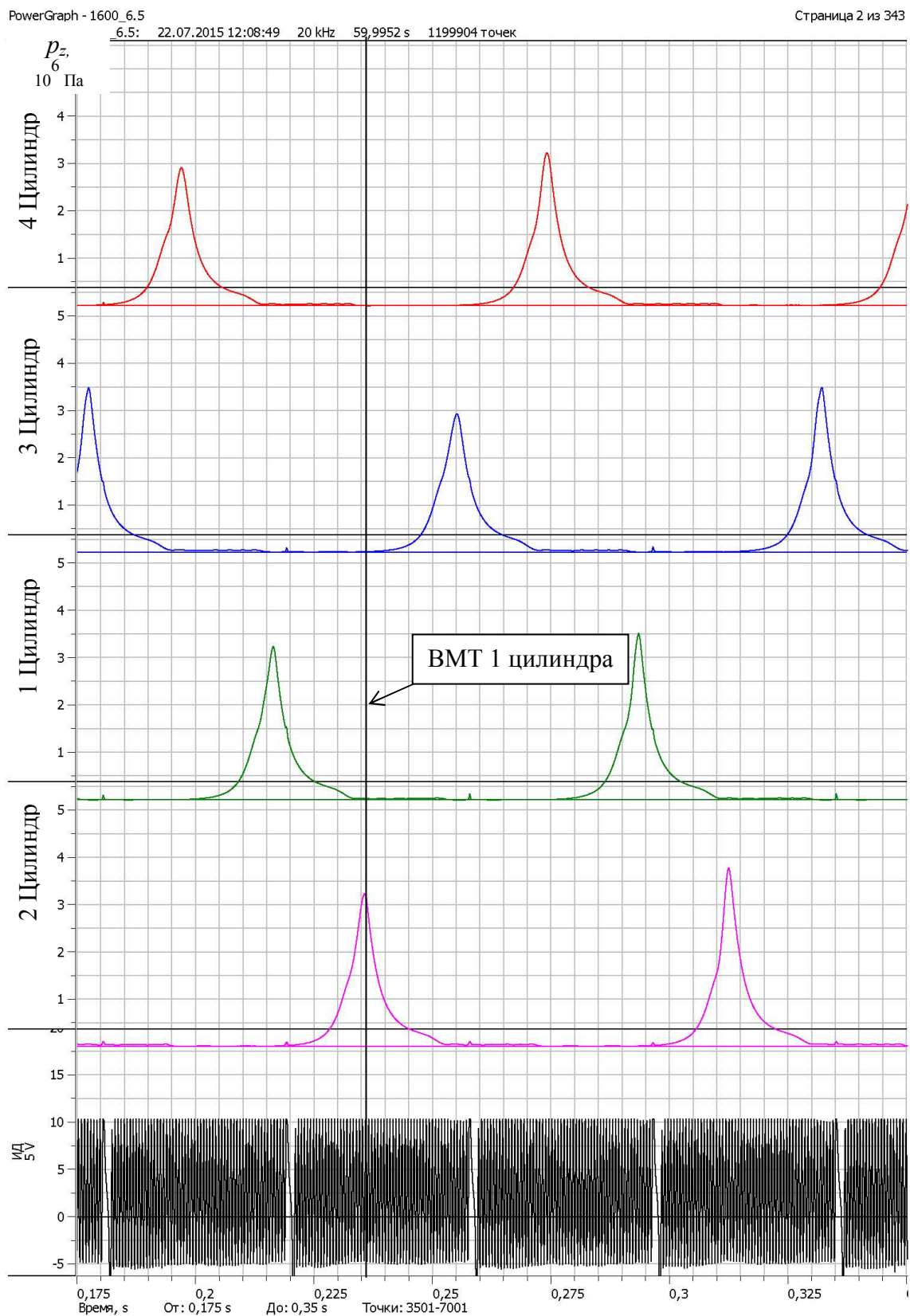


Рис. 1. Пример записи индикаторной диаграммы двигателя ВАЗ 11194. ($n = 1600 \text{ мин}^{-1}$, $N = 10 \text{ кВт}$)

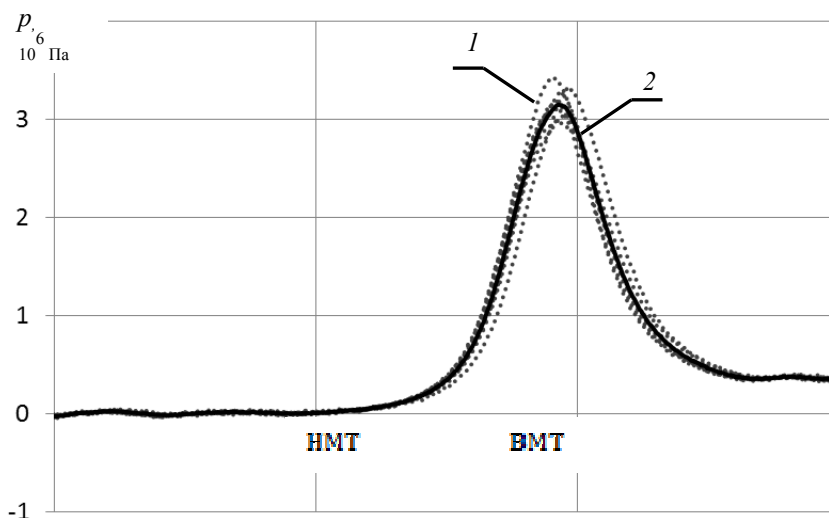


Рис. 2. Индикаторные диаграммы:
1 – в последовательных циклах; 2 – в осредненном ($n = 1600 \text{ мин}^{-1}$, $N = 10 \text{ кВт}$)

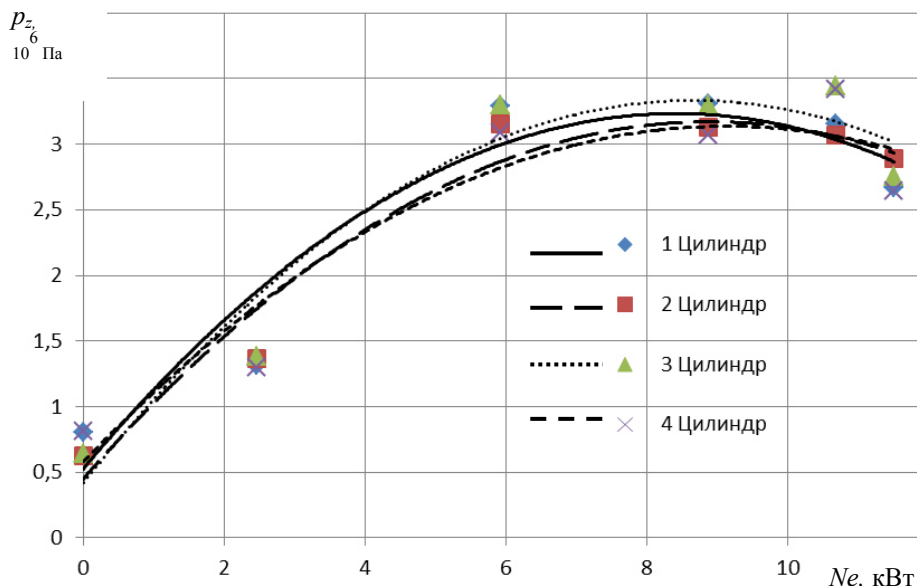


Рис. 3. Зависимость максимального давления цикла от нагрузки ($n = 1600 \text{ мин}^{-1}$)

Важным вопросом для дальнейшего исследования и моделирования МЦН является принятие гипотезы о нормальности распределения максимального давления. Проведенный анализ показал, что с вероятностью 95 % для большинства режимов может быть принята гипотеза о нормальности распределения p_z . На режиме холостого хода такая гипотеза подтверждается лишь в некоторых случаях.

В целом можно говорить, что индцирование двигателя наиболее информативно отражает неидентичность протекания рабочего процесса не только от цикла к циклу, но и по каждому цилиндру.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ozdor N., Dulger M., Sher E.* An Experimental Study of the Cyclic Variability in Spark Ignition Engines. 1996.
2. *Han S. Bin.* Cycle-to-cycle variations under cylinder-pressure-based combustion analysis in spark ignition engines // KSME Int. J. Korean Society of Mechanical Engineers, 2000. Vol. 14, № 10. P. 1151–1158.
3. *Ozdor N., Dulger M., Sher E.* Cyclic Variability in Spark Ignition Engines A Literature Survey. 1994.
4. *Ceviz M.A., Yüksel F.* Cyclic variations on LPG and gasoline-fuelled lean burn SI engine // Renew. Energy. 2006. Vol. 31, № 12. P. 1950–1960.
5. *Zlotin G.N., Svitachev A.Y., Fedyanov E.A.* Modeling the stochasticity of action of turbulence on development of initial combustion site during spark ignition // Khimicheskaya Fiz. 2001. Vol. 20, № 7. P. 105–112.

6. Pera C., Chevillard S., Reveillon J. Effects of residual burnt gas heterogeneity on early flame propagation and on cyclic variability in spark-ignited engines // *Combust. Flame*. 2013. Vol. 160, № 6. P. 1020–1032.
7. Ho C.M., Santavicca D.A. Turbulence Effects on Early Flame Kernel Growth. 1987.
8. Pera C., Knop V., Reveillon J. Influence of flow and ignition fluctuations on cycle-to-cycle variations in early flame kernel growth // *Proc. Combust. Inst.* 2014.
9. Abdel-Rehim A.A. Impact of spark plug number of ground electrodes on engine stability // *Ain Shams Eng. J.* 2013. Vol. 4, № 2. P. 307–316.
10. Федянов, Е. А. Влияние вариаций величины пробивного напряжения на динамику развития начального очага горения в двигателях с искровым зажиганием на режиме холостого хода / Е. А. Федянов, С. Н. Шумский, К. В. Приходьков, В. Н. Костычев // *Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 10 (70) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – Vol. 3. – P. 141–143.*
11. Ji C., Wang S. Strategies for improving the idle performance of a spark-ignited gasoline engine // *Int. J. Hydrogen Energy*. 2012. Vol. 37, № 4. P. 3938–3944.
12. Aleiferis P.G. et al. Flame chemiluminescence studies of cyclic combustion variations and air-to-fuel ratio of the reacting mixture in a lean-burn stratified-charge spark-ignition engine // *Combust. Flame*. 2004. Vol. 136, № 1-2. P. 72–90.
13. Bizon K. et al. POD-based analysis of cycle-to-cycle variations in an optically accessible diesel engine // *Proc. Combust. Inst.* 2009. Vol. 32, № 2. P. 2809–2816.
14. Chen H. et al. Cycle-to-cycle variation analysis of early flame propagation in engine cylinder using proper orthogonal decomposition // *Exp. Therm. Fluid Sci.* 2014. Vol. 58. P. 48–55.
15. Docquier N., Candel S. Combustion control and sensors: a review // *Prog. Energy Combust. Sci.* 2002. Vol. 28, № 2. P. 107–150.
16. Шайкин, А. П. Эмпирическая модель для прогнозирования концентрации оксидов азота при добавках водорода в ТВС двигателей с искровым зажиганием / А. П. Шайкин, П. В. Ивашин, А. Д. Дерячев // *Вектор науки Тольяттинского государственного университета*. 2015. Vol. 2–1. P. 65–70.
17. Стечкин, Б. С. Индикаторная диаграмма, динамика тепловыделения и рабочий цикл быстроходного поршневого двигателя / Б. С. Стечкин, К. И. Генкин, В. С. Золотаревский. – М.: Издательство АН СССР, 1960. – 200 р.
18. Kuratle R. Measuring Spark Plugs with Integrated Cylinder Pressure Sensor // *JSAE Rev.* 1995. Vol. 16, № 1. P. 105.

УДК 621.436

Д. Н. Авдеюк, О. А. Авдеюк, К. В. Приходьков

**АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ
МАКСИМАЛЬНЫХ ДАВЛЕНИЙ В ЦИЛИНДРЕ ДВИГАТЕЛЯ
ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С ИСКРОВЫМ ЗАЖИГАНИЕМ**

Волгоградский государственный технический университет

Разработан алгоритм для регистрации максимальных давлений в цилиндре двигателя внутреннего сгорания с использованием датчиков Kistler и программно-аппаратной платформы Arduino.

Ключевые слова: индексирование, двигатель, arduino, автоматика.

D. N. Avdeyuk, O. A. Avdeyuk, K. V. Prikhodkov

**HARDWARE AND SOFTWARE FOR REGISTRATION MAXIMUM
PRESSURE IN THE COMBUSTION ENGINES WITH SPARK IGNITION**

Volgograd State Technical University

The developed algorithm for the registration of the maximum pressure in the cylinder of the internal combustion engine using the Kistler sensors and hardware and software platform Arduino.

Keywords: indexing, engine, arduino, automatic.

Двигатель внутреннего сгорания (ДВС) – это сложное и комплексное устройство, эргономично функционирующее совместно с прочими системами автомобиля. Для обеспечения его наиболее продуктивной и долговечной работы необходимы не только надлежащие условия эксплуатации, но и периодические проверки его состояния. Поэтому диагностирование двигателей занимает одно из основных мероприятий в проверке состояния машин и их элементов, а также в устранении возможных в дви-

гателях неисправностей, продлевая тем самым срок безотказной работы машин.

Диагностика ДВС может осуществляться как на основе субъективных методов, связанных с анализом каких-либо внешних параметров работы двигателя, так и с помощью специализированного диагностического оборудования. Инструментальное исследование позволяет избежать неправильных выводов, основанных на субъективном анализе, особенно в случае недостаточной квалификации специалиста.

Существенную помощь при оценке состояния двигателя оказывает так называемая бортовая диагностика (англ. – on-board diagnostic).

Как известно, современные автомобили оснащены электронными системами, обеспечивающими оптимальное управление автомобилем в целом и двигателем в частности. В большинстве случаев каждой из систем управляет соответствующий электронный блок, работающий по определенной программе в автоматическом режиме. Это исключает необходимость в устройствах ввода и вывода информации для постоянного вмешательства извне в процесс работы (монитор, клавиатура и т. д.). Поэтому потребность в связи с электронным блоком управления и доступе к показаниям системы самодиагностики возникает только на этапе технического обслуживания или ремонта автомобиля и осуществляется специальными методами [1]. Так, например, непосредственно с блока управления двигателем можно получить информацию о разрежении во впускном коллекторе, расходе топлива и воздуха, частоте вращения коленчатого вала, наличии пропусков воспламенения и т. д. В случае отклонения параметров двигателя от программно заданных электронный блок управления может сигнализировать водителю о возникновении неисправности.

Однако такие бортовые средства диагностики не позволяют оценить протекание внутрицилиндровых процессов. Как правило, специалист-диагност при оценке рабочего процесса в ДВС ограничивается определением давле-

ния сжатия в цилиндре с помощью компрессометра [2].

Для оценки качества процесса сгорания топливоздушная смеси в цилиндре необходимо иметь данные о внутрицилиндровом давлении на протяжении как всего цикла, так и временные серии диаграмм давления в последовательных циклах. Актуальность для диагностики представляют, в частности, пиковые значения давления и его статистические характеристики на различных режимах работы двигателя.

Ручная обработка серии последовательных индикаторных диаграмм по всем цилиндрам двигателя достаточно трудоемкая задача в связи с чем была поставлена актуальная задача разработать аппаратно-программный комплекс для регистрации максимальных давлений в цилиндре двигателя внутреннего сгорания с искровым зажиганием.

Ранее в рамках программы стратегического развития ВолгГТУ на кафедре «Теплотехники и гидравлики» было приобретено и установлено уникальное оборудование фирмы Kistler, включая четыре пьезоэлектрических датчика Type 6115B, интегрированных в свечи зажигания, датчик определения угла поворота коленчатого вала и блоки усиления и преобразования сигнала с датчиков. Датчики Type 6115B позволяют измерять давление в цилиндре во время штатной работы двигателя [4, 5].

Пример индикаторной диаграммы двигателя, записываемой с помощью описанной выше аппаратуры, представлен на рис. 1.

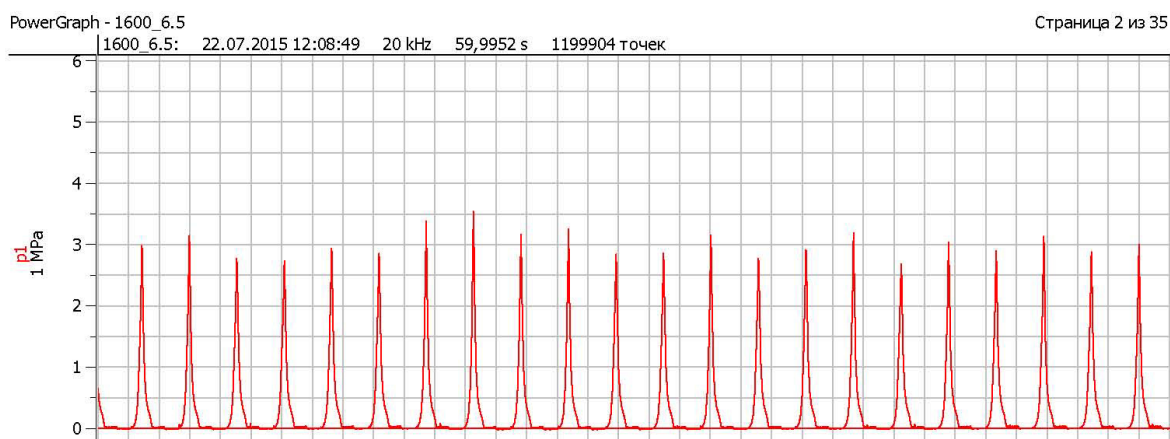


Рис. 1. Пример индикаторной диаграммы двигателя

Рис. 1 наглядно иллюстрирует неравномерность работы двигателя в отдельном цилиндре.

Для определения статистических характеристик максимальных значений давления, на

наш взгляд, целесообразно применить микроконтроллер, который сможет обработать поступающие на его входы значения с датчика.

В качестве микроконтроллера было решено

взять аппаратную платформу Arduino Uno. Эта платформа удобна тем, что на одной плате расположен как сам микроконтроллер, так и программатор.



Рис. 2. Arduino Uno

Arduino Uno контроллер построен на **ATmega328**. Платформа имеет 14 цифровых вход/выходов (6 из которых могут использоваться как выходы ШИМ), 6 аналоговых входов, кварцевый генератор 16 МГц, разъем USB, силовой разъем, разъем ICSP и кнопку перезагрузки. Для работы необходимо подключить платформу к компьютеру посредством кабеля USB, либо подать питание при помощи адаптера AC/DC или батареи.

Микроконтроллер ATmega328 поставляется с записанным загрузчиком, облегчающим запись новых программ без использования внешних программаторов. Связь осуществляется оригинальным протоколом STK500. Имеется возможность не использовать загрузчик и запрограммировать микроконтроллер через выходы ICSP (внутрисхемное программирование).

Платформа программируется посредством ПО Arduino. Среда разработки Arduino состоит из встроенного текстового редактора програм-

многo кода, области сообщений, окна вывода текста (консоли), панели инструментов с кнопками часто используемых команд и нескольких меню. Для загрузки программ и связи среда разработки подключается к аппаратной части Arduino [3].

Для вывода информации используется LCD дисплей 1602A. Где 16 – это количество символов в строке, а 02 – это количество строк.

Алгоритм работы программы для регистрации максимальных давлений в цилиндре двигателя выглядит следующим образом:

1) на аналоговый вход микроконтроллера подается сигнал с датчика температуры;

2) записываются 10 значений аналогового сигнала в массив;

3) после заполнения первого массива, записываются следующие 10 значений аналогового сигнала во второй массив (рис. 3);

4) вычисляются средние значения в каждом из массивов;

5) сравниваются полученные два значения;

6) если значение второго среднего больше, чем значение первого среднего, то программа возвращается ко 2 пункту, это означает, что значение еще растет, и оно не достигло пикового значения;

7) если значение второго среднего меньше первого, то это означает, что значение сигнала начало убывать, и было достигнуто пиковое значение;

8) далее выполняется условие, где сопоставляется полученное значение с аналогового входа микроконтроллера с напряжением на выходе датчика (0–5 вольт = 0–1023), где, например, 0–1,25 В соответствует значению 0–256, полученный с входа МК;

9) число пиковых значений записывается в соответствующий счетчик.

Всего таких счетчиков четыре.

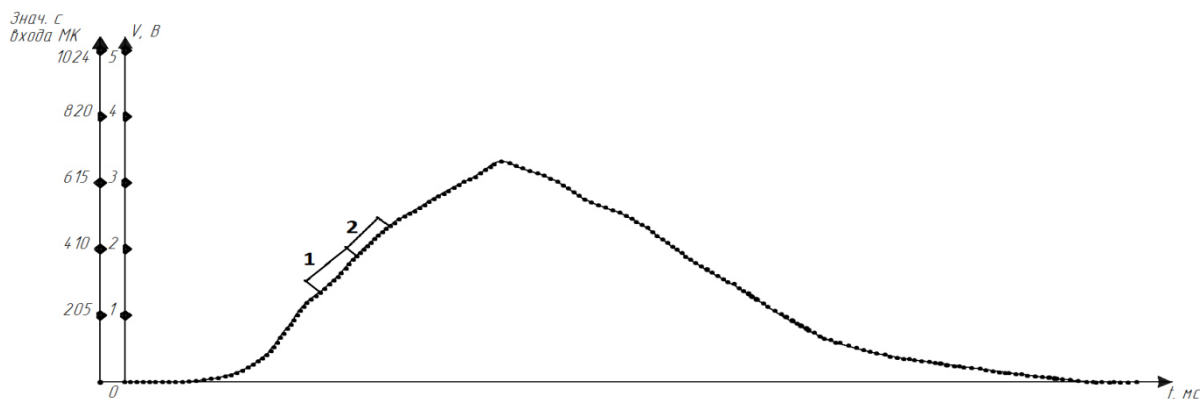


Рис. 3. Визуальное представление процесса:

1 – десять значений, записываемые в первый массив; 2 – следующие десять значений, записываемые во второй массив

В связи с тем что при разных частотах работы двигателя давление в цилиндре будет отличаться, то необходимо добавить возможность изменять чувствительность чтения входного сигнала. Для этого в схему добавлены две кнопки:

- первая для инкремента (+);
- вторая для декремента (-).

Также программно добавлено 5 режимов чувствительности:

- 1 режим: от 0 до 1,25 В;
- 2 режим: от 0 до 1,66 В;

3 режим: от 0 до 2,5 В;

4 режим: от 0 до 3,3 В;

5 режим: от 0 до 5 В.

При включении устройства, по умолчанию активен 1 режим, для перехода к следующему или предыдущему, нужно нажать кнопку инкремента или декремента соответственно.

В целом, аппаратно-программный комплекс для регистрации максимальных давлений в цилиндре двигателя внутреннего сгорания с искровым зажиганием представлен на рис. 5.

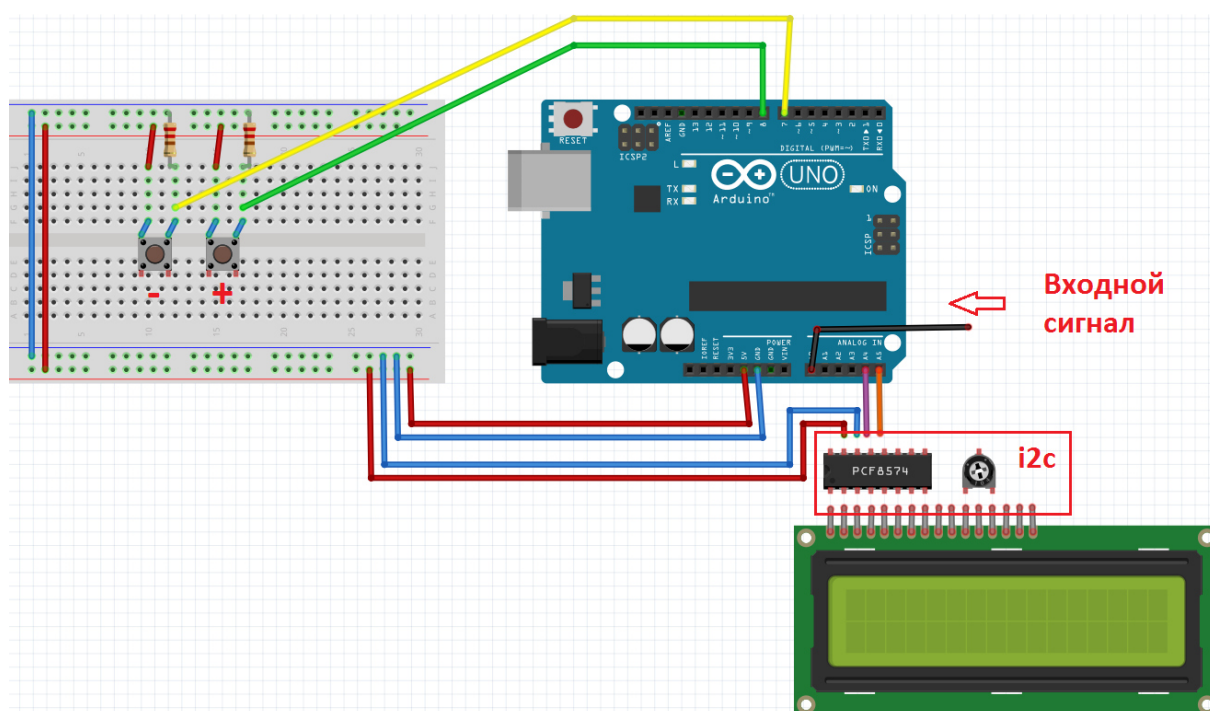


Рис. 5. Схема устройства

Таким образом, разрабатываемый программно-аппаратный комплекс позволит построить закон распределения давления в цилиндре, что дает возможность в штатном режиме работы двигателя диагностировать первые признаки неисправной его работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Компьютерная диагностика двигателя [Электронный ресурс]. – Энциклопедия журнала «За рулем» – Москва: «За рулем», 2011. – Режим доступа : <http://wiki.zr.ru/> Компьютерная диагностика двигателя
2. Проверка компрессии (давления) в цилиндрах двигателя автомобиля. Электронный ресурс : <http://cartore.ru/>

77-proverka-kompressii-v-cilindrah-dvigatelya.html. Дата обращения: 15.03.2016.

3. Arduino Uno | Аппаратная платформа Arduino. Электронный ресурс : <http://arduino.ru/Hardware/Arduino-BoardUno>. Дата обращения: 15.03.2016.

4. Исследование неидентичности рабочего процесса двигателя ВАЗ-11194 с помощью индентификации / К. В. Приходьков, К. И. Лютин, В. В. Осин, Д. Н. Авдеюк // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 5 (165) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2015. – (Серия «Наземные транспортные системы»; вып. 11). – С. 51–55.

5. Авдеюк, Д. Н. Исследование межциклового неидентичности процесса сгорания в двигателе с искровым зажиганием / Д. Н. Авдеюк, В. В. Осин, К. В. Приходьков // Сборник тезисов докладов по внутривузскому смотрю конкурсу научных конструкторских и технологических работ студентов (г. Волгоград, 12–15 мая 2015 г.) / ВолгГТУ, Совет СНТО. – Волгоград, 2015. – С. 153–154.

УДК 629.113

*П. Б. Комов***ПАРАДИГМА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ****Автомобильно-дорожный институт высшего учебного заведения
«Донецкий национальный технический университет»**

В статье представлены результаты исследования организации технической эксплуатации. Очерчена современная парадигма и требования к подготовке специалистов.

Ключевые слова: эксплуатация, организация, парадигма, образование.

*P. B. Komov***PARADIGM OF TECHNICAL EXPLOITATION OF MOTOR VEHICLES****Automobile and Highway Institute of State Higher Educational Establishment
«Donetsk National Technical University»**

The article presents the results of investigation of technical exploitation. Outlines a modern paradigm and the requirements for the training of specialists.

Keywords: operation, organization, paradigm, education.

Парадигма (от греческого *paradeigma* – пример) – это некоторая, явственно очерченная концепция, стиль мышления и методологии, то есть концептуальная модель постановки проблем и их решения, господствующая в течение определенного исторического периода в научном сообществе. В целом – это особый способ организации научного знания, задающий то или иное видение мира и соответственно образцы и модели постановки и решения исследовательских задач [1].

Смена парадигмы рассматривается как научная революция, которая в настоящее время уже явственно видна в образовании, где появляются не только новые педагогические понятия и термины (личностно-ориентированное обучение, инновационные, педагогические и психологические технологии, мониторинг профессионального развития, организация учебно-пространственной среды и др.), но и формируются абсолютно новые требования к стандартам образования [2].

Наука «Техническая эксплуатация (ТЭ) автомобилей» обладает сегодня достаточно мощным потенциалом, который позволяет ей адекватно ответить на многие требования цивилизации и в том числе занять достойное место, отпущенное ей историей, в системе подготовки специалистов в области автомобильного транспорта (АТ).

Приметой цивилизации нашего времени является глобализация – это процесс интеграции человечества в сложную взаимосвязанную единую планетарную систему и качественно новый уровень деятельности человека, который осно-

ван на новейших достижениях науки и техники. Глобализация как планетарный масштаб деятельности является выражением существенных связей общественного развития и поэтому представляет собой необходимость.

Однако современный этап глобализации, возглавляемый Западом, – это также и корпоративная неолиберальная модель. По своей сути – это модель социальной направленности, которая служит, прежде всего, интересам избранных стран [3], а поэтому глобализация для отечественной, так называемой отраслевой модели ТЭ является выражением научно-практических интересов АТ лишь стран Запада, что в развитии ТЭ формирует точку бифуркации и соответственно аттракторы ее развития.

«Точка бифуркации» и «аттракторы» – это исходные понятия синергетики, то есть, соответственно это: состояние системы, после которого возможно некоторое множество вариантов дальнейшего развития; множество траекторий, по которым возможно развитие системы после точки бифуркации [4].

Синергетика – наука, которая широко использует достижения математики и естественных наук, возможности современных компьютеров, фокусирует свое внимание на нестабильности и неравномерности, как на естественном состоянии системы. Суммарная структурная устойчивость систем здесь рассматривается как результат частичных устойчивостей составляющих, то есть в синергетике действует закон «минимизма» или принцип наименьшего действия. Этот закон известен и ши-

роко используется в биологии (закон выживания), агрохимии (формула урожайности), кибернетике (теория вето) и т. д. [4].

Мерилом устойчивости в синергетике выступает самое неустойчивое звено, которым для ТЭ сегодня явилась практика. Практика для ТЭ как организационной системы – это ее среда, которая способна изменять либо консервировать любую из таких систем. При этом, чем консервативнее среда, тем неизбежнее организационная система, которая всегда повторяет колебания среды, отзываясь на них [4].

В практике ТЭ, если использовать терминологию современных предпринимательских отношений, сложилась ситуация, которая характеризуется как утрата ТЭ своего спроса в отрасли. Для отечественной ТЭ она означает, прежде всего, наличие серьезных аномалий, которые проявились в период реформ АТ, что сегодня требует своего обязательного учета, а возможно, даже отказа от традиционных моделей ТЭ [5].

В целом, это объективный процесс, так как общеизвестно, что важной закономерностью экономического развития любого общества является его последовательная трансформация. В XIX веке – это переход от аграрной системы к индустриальной, а на рубеже XX–XXI вв. – это проведение терциарной революции, которая в развитых странах превратила сектор услуг в ведущую составную часть постиндустриальной экономики – экономику услуг. Она обусловлена поступательным движением производительных сил и возрастанием в обществе производительности труда и других факторов производства. В результате вклад сферы услуг в экономический рост стал существенно превосходить вклад промышленности (60 % всего работающего населения и 70 % ВВП [6]).

Второй особенностью постиндустриальной экономики мира есть революция информационная. Ее суть – информатизация всей жизни общества. Сегодня информация превратилась в важнейший вид ресурсов, используемый человеком. Именно поэтому современное общество называют информационным. Здесь выявлены не только высокая степень корреляции показателей экономического роста и уровня развития информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), но и тенденция к усилению роли ИКТ как средства экономического роста и даже основного условия этого роста.

Показателями информатизации являются компьютеризация экономики и быта, глобали-

зация систем связи и, прежде всего, использование телематики – совокупности средств производства, передачи и использования информации. Телематика в экономике явилась основой формирования ее нового информационного (четвертичного) сектора [6].

Процессы информатизации и терциаризации экономики являются основополагающими факторами в формировании аттракторов развития отечественной отраслевой ТЭ. Сегодня здесь формируются новые социальные отношения между производителем и потребителем услуг, где потребитель услуг диктует свои требования производителю. В условиях ИКТ он превращается в активного участника производственного процесса, где практически невозможно различить продукт и услугу [6].

Именно эти процессы диктуют необходимость проведения соответствующих исследований, направленных на познание современной парадигмы ТЭ, где юридическим признанием новой парадигмы ТЭ должно стать утверждение соответствующего стандарта высшего образования для инженеров ТЭ.

Анализ исследований и публикаций

Современный инженер ТЭ в системе образования Российской Федерации – это выпускник высшей школы уровня специалитета. Его подготовка осуществляется согласно стандарту высшего образования по направлению 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства», где достаточно четко изложены требования отрасли к знаниям и умениям специалиста данного уровня.

Исследования, проводимые на кафедре «Техническая эксплуатация и сервис автомобилей» Харьковского национального автомобильно-дорожного университета (ХНАДУ), нацеливают специалистов ТЭ на познание современной организации ТЭ путем развития нового научного направления – «системотехника АТ» [13–16].

Современным этапом развития системотехники в отрасли есть проектирование человеко-машинных, то есть автоматизированных систем управления техническим состоянием ПС на основе внедрения современных ИКТ в систему технического обслуживания и ремонта, предложенную учеными ХНАДУ – систему ОР-Д-УН (Обязательные Работы – Диагностика – Устранение Неисправностей). В Украине эта система была основой ее первого отраслевого «Положения о техническом обслуживании и ремонте

подвижного состава автомобильного транспорта» [17], и сегодня она является основой нового проекта этого Положения [18].

Специалистами АТ Донбасса в содружестве с учеными ряда стран, на протяжении многих лет проводится совместная научная работа по исследованию организации ТЭ в жизненном цикле (ЖЦ) подвижного состава (ПС) АТ на этапе его использования [7–12 и др.], где подготовка соответствующих специалистов рассматривается как основополагающая составляющая этапа использования ПС.

Предлагается исследовать тенденции организации ТЭ, сформулировать основы ее науки и практики и выдвинуть требования информатизации и терциаризации мировой экономики к организации подготовки инженеров ТЭ.

Цель статьи – формулировка современной парадигмы ТЭ и формирование требований к специалистам этапа использования ПС.

Материалы и результаты исследований

Выполнена научно-исследовательская работа (НИР) на тему «Научно-практические основы организации виртуальных предприятий по управлению техническим состоянием подвижного состава в структуре интеллектуальных транспортных систем».

Тема НИР посвящена организационно-техническому аспекту проблемы повышения качества и надежности разработки и эксплуатации информационных систем (ИС) на АТ [19], где аспект качества и надежности ИС в целом обобщен [20]:

– зависимостью решения проблемы от уровня организации общественного производства, но прежде всего, от уровня организации конкретных систем и структурных подразделений, осуществляющих непосредственное внедрение ИС;

– невозможностью экспериментальной проверки проектных решений ИС до момента внедрения уже написанных, отлаженных компьютерных программ и полной отработки их операций, выполняемых персоналом на практике.

Актуальность НИР определена:

– становлением в современном мире электронно-цифрового общества, что сформулировано в Окинавской Хартии глобального информационного общества, принятой лидерами «восьмерки» 22 июля 2000 года, где указано, что ИКТ являются одним из наиболее важных факторов, влияющих на формирование общества XXI века;

– становлением на АТ транспортной телематики, то есть интеллектуальных транспортных систем (Intelligent Transport Systems – ITS), что сегодня предусмотрено в стратегических, политических и программно-целевых документах всех развитых стран мира [21–23].

Целью НИР является повышение качества и надежности ITS на основе:

– интеграции системы ТЭ, как основополагающей системы обеспечения технической безопасности ПС, то есть ПС как важнейшего домена ITS;

– формирования в ТЭ новой логики организационных отношений и культуры эксплуатации или труда (четвертой составляющей условий эксплуатации), определяемой абсолютным приоритетом в ITS принципа «повышения безопасности и эффективности транспортных процессов», что невозможно без обеспечения технической безопасности ПС.

Объектом исследования в работе является информатизация ТЭ, которая представляет:

– комплекс мер, обеспечивающих оперативный доступ к информационным ресурсам (ГОСТ 7.0-99), то есть совокупность взаимосвязанных организационных, правовых, политических, социально-экономических, научно-технических, производственных процессов, которые направлены на создание условий для удовлетворения информационных потребностей на основе строительства, развития и использования ИС, сетей, ресурсов и ИКТ, что в целом базируется на широких возможностях современной вычислительной и коммуникационной техники.

Предметом исследования выступает организация ТЭ, которая:

– обозначает либо процесс упорядочения элементов в целенаправленное единство, либо уже упорядоченное состояние элементов (структуру), что в целом характеризует каждую систему, как производную от продукта организаторской деятельности;

– является, во-первых, важнейшей характеристикой каждой системы, так как указывает на ее энтропию и, во-вторых, является третьим обязательным условием в системотехническом обосновании систем.

Методологическая основа НИР – системный подход. В работе использованы методы сравнения, анализа и синтеза уже имеющихся на АТ статистических и эмпирических данных, а также данных теоретико-экспериментальных исследований НИР, что в целом направлено на

познание и развитие науки и практики организации ТЭ. В качестве научной базы организации использованы:

– генезис организации, то есть единство познания этапов жизненного цикла ПС, что в работе осуществлено на стыке дисциплин: системотехника; теория организации; теория автоматизированного управления; теория надежности; кибернетика; теория ТЭ;

– парадигма организации в целом, которая позволила на АТ выделить время как единое общее, присущее всему и, прежде всего, организации *ITS*, а так же установить различия в организации современных областей знаний, и на этой основе дифференцировать методики их прикладного использования в ТЭ.

Цель НИР – повышение эффективности организации ТЭ на основе информатизации.

Для достижения цели в работе решены следующие задачи:

1. Предложена методика исследования организации ТЭ.

2. Определено организационное поведение (ОП) – стратегия, тактика ТЭ и предложены ее системотехнические основы организационного проектирования в условиях, определяемых современной информатизацией АТ.

3. Сформулированы научно-технические мероприятия интеграции ТЭ в *ITS* и концептуальная модель организации ТЭ на основе использования современных ИКТ.

4. Разработана натурная модель организационных структур и процессов ТЭ – виртуальный логистический центр (Virtual Logistics Center – VLC) для управления техническим состоянием ПС в условиях современной информатизации.

5. Составлено техническое задание на организационное проектирование VLC в условиях культуры эксплуатации АТ, определяемой современными ИКТ.

Научную новизну НИР определяют:

1) процесс познания организации ТЭ:

– как социотехнической системы на основе методологии МЭТУК (Методика → Экономика + Техника + Управление → Конкурентоспособность), а также на основе системотехнического и тезаурусного подходов;

– как социальной культуры, определяемой возникновением рынка технического сервиса машин, а также *ITS* и других современных ИКТ (концепции непрерывной информационной поддержки поставок и жизненного цикла

(Continuous Acquisition and Lifecycle Support – CALS), чей тезаурус, позволил сформулировать в ТЭ новую политику менеджмента – Y-парадигму;

2) организационное проектирование ТЭ в виде последовательности организации информации, направленной на создание трехмерной информационно-временной системы, отражающей в ТЭ ее предпринимательские виды стратегии и тактики, а также мониторинг процессов на микро-, мезо-, макро- и мегауровнях, определяемых временем их продолжительности, что обусловлено:

– временной моделью организационной эффективности;

– ОП систем ТЭ и КЭ в обеспечении эффективности ЖЦ современных ПС;

3) основы новой «логистико-цифровой» парадигмы организации ТЭ, которая отражает ее интеграцию в *ITS* и использует принцип интегрированной логистической поддержки (*Integrated Logistic Support – ILS*), где оценка каждой единицы ПС ведется по параметру стоимости ЖЦ (Life Cycle Cost – LCC), что в целом рекомендовано стандартами MIL-STD-1388 (США) и DEF STAN 00-60 (Великобритания, Евросоюз);

4) комплекс практических положений по организации VLC, что основано на интеллектуальной модели организации ТЭ.

Практическая ценность НИР состоит в разработке технического задания на создание VLC по оказанию предпринимателям АТ информационных и организационных услуг для обеспечения работоспособного технического состояния ПС в условиях *ITS*.

Итогом НИР в целом, есть «очерчивание» на АТ новой «логистико-цифровой», то есть третьей парадигмы транспорта, где термин:

– «цифра» отражает современное состояние и развитие, как общества в целом, так и отрасли АТ, а также автостроения, что базируется на многогранном и безграничном использовании ИКТ и ИС;

– «логистика» на АТ отражает название логистической функции, то есть S-образную кривую бесконечных по своей численности процессов совершенствования (оптимизации) современной человеческой деятельности и создаваемых человеком систем.

Человек в современной «логистико-цифровой» парадигме транспорта рассматривается как предприниматель, что является аксиомой, обусловленной:

– предпринимательским этапом в развитии мирового капитализма (1980 г. – наши дни), то есть фактически предпринимательской идеологией общества;

– требованиями ЮНЕСКО, которые изложены этой организацией в ее докладе международной комиссии по образованию, где выпускник высшей школы рассматривается как предприниматель, то есть новый экономический человек общества, компетентность которого является залогом современного развития [24].

Дальнейшим развитием НИР является сфера образования, которая призвана «узаконить» на АТ становление «логистико-цифровой» парадигмы транспорта. Необходимо структурировать систему знаний и умений предпринимателя в отрасли, компетентный (*competence*) труд которого обязан базироваться на компетенции (*competency*) – совокупности способностей, определяющих современное поведение предпринимателя, где главной является способность целостного системного и системотехнического восприятия и замещения существующего дробления производственных функций. Это обусловлено «интеллектуализацией машин и «де материализацией труда» – общими векторами экономического развития мира в XXI веке.

На АТ предприниматель (*Pr*) определяет организационное поведение (*OP*) отрасли в современной социальной среде (*Cc*), то есть ее культуру труда (*Km* – условия эксплуатации ПС), которая есть итогом системотехнического формирования компетентностей человека (*Ч*) в среде (*C*), поведение (*П*) которого описывает в теории ОП традиционно функция К. Левина, которую для АТ целесообразно представить в виде зависимости

$$\begin{aligned} П &= f(Ч, C) \rightarrow ОП \rightarrow Km = \\ &= f(Pr, Cc) \rightarrow competency \rightarrow \text{системотехника} \end{aligned}$$

Теория ОП как наука – это в целом составляющая теории организации, изучение которой следует сегодня признать основополагающим требованием к высшему образованию в организациях высшего образования по программам специалитета направления подготовки (специальности) 23.05.01.

Изучение теории организации и использование ее парадигмы, как системообразующего фактора в построении, развитии, применении единого и стройного научного мировоззрения, системы теоретических знаний и практических

навыков, позволит специалисту-транспортнику предотвратить и устранить ошибки в областях профессиональной деятельности и аварии в ЖЦ объектов деятельности.

Область профессиональной деятельности выпускников программ специалитета специальности 23.05.01 – это предпринимательская деятельность в ЖЦ наземных транспортно-технологических средств, а также в высшем и среднем профессиональном образовании, где предпринимательство постоянно наращивает свои масштабы, как в частном, так и в государственном секторе, что в целом (предпринимательство как область деятельности всех современных специалистов) является фактически аксиомой требований ЮНЕСКО и времени;

Объект деятельности – это наземные транспортно-технологические средства, а также (обязательно) организации, предприятия, объединения, занимающиеся разработкой, производством и эксплуатацией наземных транспортно-технологических средств, так как именно виды деятельности (проектно-конструкторская; производственно-технологическая; организационно-управленческая; научно-исследовательская), то есть этапы ЖЦ транспортно-технологических средств с учетом их вида (специализации) определяют основу разработки и реализации программ подготовки специалистов, которые не могут реализовать свои компетенции вне стен (в том числе виртуальных) конкретных предприятий.

Поэтому все виды профессиональной деятельности специалиста направления подготовки 23.05.01 следует обязательно рассматривать как виды производственного предпринимательства, где познание теории организации должно лежать у истоков программы подготовки специалиста-предпринимателя, что ему обеспечит:

– готовность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала (общекультурная компетенция или ОК № 7);

– способность решать задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности (общепрофессиональные компетенции или ОПК № 1).

Предпринимательство – это целеустремленная деятельность по созданию «идеальных», наиболее совершенных (а не просто какие получаются) наземных транспортно-технологиче-

ских средства, а также производственно-коммерческих систем и производственных отношений на каждом из этапов ЖЦ этих объектов профессиональной деятельности. Однако это миссия логистики и логистического мышления, что характеризует логистику как общую методологию предпринимательства, которая и формирует «логистико-цифровую» парадигму транспорта, и которая становится все более выраженной с внедрением в отрасль «умных», то есть «беспилотных» наземных транспортно-технологических средств.

В соответствии с чем, «логистико-цифровая» парадигма должна быть отражена в соответствующих документах, определяющих подготовку специалистов-транспортников, где любой образовательный стандарт высшего профессионального образования – это:

- квинтэссенция парадигмы;
- официальное оформление сложившейся системы знаний в науке и практике того или иного направления деятельности человека.

Поэтому государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 23.05.01 обязан предоставлять предпринимателям на всех этапах ЖЦ наземных транспортно-технологических средств любой специализации целостное системотехническое видение объектов профессиональной деятельности, а программы подготовки специалистов, определяемые этапом ЖЦ объектов, нацеливать специалистов (прежде всего инженеров-конструкторов), на применение концепции системотехнического подхода к проектированию объектов профессиональной деятельности. При этом практическая сторона «реализации системотехники» должна базироваться на использовании ИС и ИКТ, что в целом является залогом получения обществом наибольшего социально-экономического эффекта.

Задачи и программы подготовки специалистов (инженеров-технологов) в сфере производственно-технологической деятельности обязаны базироваться на концепции комплексной автоматизации процессов, что в целом относится ко всем этапам (соответственно, программам) ЖЦ объектов профессиональной деятельности разной специализации. При этом работа должна ориентироваться на внедрении передовых научно-технических достижений в области машиностроения, эксплуатационной надежности, электроники, телематики, информатики,

математики, экономики, организации производства с целью повышения качества, как самих объектов профессиональной деятельности, так и выполняемых ими работ (услуг).

Задачи научно-исследовательской деятельности, которые наиболее характерны для специалистов в области высшего и среднего профессионального образовании, обязаны отвечать становлению в современном мире электронно-цифрового общества. Однако для каждого этапа (то есть программ подготовки специалистов) ЖЦ объектов – это задачи, ориентирующие специалистов на процессы информатизации, глобализации и виртуализации, происходящие во всех сферах экономики, на создание рынка информации и управления в дополнение к традиционным рынкам товаров, труда и капитала, где главным является:

- проведение теоретических и экспериментальных исследований проблем проектирования, производства и эксплуатации объектов профессиональной деятельности в виде сложных машин и информационных систем;

- исследование, выбор и разработка методик анализа, синтеза, прогнозирования и оптимизации качества и надежности процессов и структур в областях и объектах профессиональной деятельности;

- использование информационных экспертных систем (expert system – ES) искусственного интеллекта (artificial intelligence – AI) для анализа состояния и перспектив развития областей и объектов профессиональной деятельности;

- разработка математических моделей, методов, компьютерных технологий и систем поддержки принятия решений в научных исследованиях, проектно-конструкторской деятельности, управлении технологическими, экономическими, социальными системами и в гуманитарных областях профессиональной деятельности инженера специальности 23.05.01.

Современные задачи инженера в условиях предпринимательской идеологии общества и в условиях развития «логистико-цифровой» парадигмы АТ не менее обширны. Для инженера каждого этапа ЖЦ объектов профессиональной деятельности (конструкторов, технологов, инженеров эксплуатации) они основаны на реализации в их деятельности концепции корпоративных информационных систем (КИС), то есть комплекса программно-аппаратных средств, работающих в едином информационном про-

странстве и обеспечивающих бизнес-процессы организации стратегических информационных систем (strategic information systems – SIS), где главным является:

- определение целей и задач предпринимательской деятельности в ЖЦ наземных транспортно-технологических средств;

- регулирование предпринимательской деятельности предприятий, организаций и их объединений, занимающиеся разработкой, производством и эксплуатацией наземных транспортно-технологических средств;

- использование системы бизнес-планирования (Enterprise requirements planning – ERP) на основе методологии (стандарта) MRP – II в сочетании с модулем финансового планирования (Finance requirements planning – FRP), то есть набора принципов, моделей и процедур управления и контроля, служащих повышению показателей экономической деятельности предприятий;

- использование корпоративной информационной системы (Customer relationship management – CRM) для эффективного маркетинга, продаж и обслуживания клиентов предприятий ЖЦ объектов профессиональной деятельности;

- использование информационных систем класса Business intelligence (BI), предназначенных для построения отчетов и анализа информации о деятельности предприятий и их окружения в ходе работы над задачами, связанными с принятием решений на основе фактических данных.

Выводы

ИКТ и ИС являются основой современной информатизации транспорта, а его достаточно бурное и трудно прогнозируемое, но вместе с тем эффективное развитие указывает на интенсивный процесс смены парадигмы отрасли.

На АТ уже сформировалась новая «логистико-цифровая» парадигма, которая настоятельно требует своего «официального оформления», где достаточно действенным официальным документом может стать разработка соответствующего государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки (специальности) 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства» (уровень специалитета).

Принятие образовательного документа, может явиться для парадигмы АТ, во-первых, сосредоточением ее познавательного потенциала, который регулирует смену любой парадигмы,

и, во-вторых – дисциплинарной матрицей, характеризующей совокупность убеждений, ценностей, технических средств и так далее, которые объединяют специалистов в данное сообщество.

В истории транспорта России первым официальным документом смены его парадигмы явилось распоряжение министра путей сообщения № 7453 от 11.08.1896 года, в котором были фактически определены лишь условия безопасной эксплуатации самодвижущихся экипажей при их встрече с экипажами, запряженными лошадьми. В условиях становления Донбасса и становления систем образования и транспорта, государственный образовательный стандарт может явиться эффективным средством системотехнического подхода к построению этих двух (образование и транспорт) важнейших для каждой страны систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смена парадигм. Научный метод и научная истина. Основные принципы современного естествознания Структурные уровни организации материи. [Электронный ресурс] – Режим доступа : www.grandars.ru Естествознание) Концепция естествознания (дата обращения: 06.02.2016)
2. Зимняя, И. А. Ключевые компетенции – новая парадигма результата образования [Текст]: И. А. Зимняя / Высшее образование. – 2002. – № 5. – С. 34–42.
3. Падалка, Н. В. Глобализация как феномен современной культуры: Философско антропологический аспект: дис. ... канд. филос. наук ВАК: 090013 / Н. В. Падалка. – С-Петербург, 2004. – 162 с.
4. Самоорганизация и само дезорганизация. Электронный учебник. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http:// de.ifmo.ru/bk_netra/page.php?tutindex=12&index=28&lauer=1](http://de.ifmo.ru/bk_netra/page.php?tutindex=12&index=28&lauer=1). (дата обращения: 08.11.2013)
5. Российская автотранспортная энциклопедия. Техническая эксплуатация, обслуживание и ремонт автотранспортных средств. – Т. 3. – М: РООИП, 2000. – 456 с.
6. Постиндустриальная хозяйственная система [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.europestorey.ru/floras-79-1.html>. (дата обращения: 08.11.2013).
7. Комов, А. Б. Повышение надежности трансмиссии транспортного средства [Текст]: монография / А. Б. Комов, П. Б. Комов, И. В. Грицук. – Донецк : ДонИЖТ, 2010. – 144 с.
8. Математическое моделирование на транспорте: процессы и структуры [Текст]: монография / П. Б. Комов, А. Б. Комов, И. В. Грицук, Ю. В. Прилепский, В. М. Гущин, Р. И. Рыбалко, В. В. Коломиец. – Донецк : Ноулидж, 2012. – 328 с.
9. Интеграция технической эксплуатации автомобилей в структуры и процессы интеллектуальных транспортных систем [Текст]: монография / В. П. Волков, Н. П. Матейчик, О. Я. Никонов, П. Б. Комов, И. В. Грицук, Ю. В. Волков, Е. А. Комов. – Донецк : Ноулидж, 2013. – 400 с.
10. Інформаційні технології в технічній експлуатації автомобілів [Текст]: навчальний посібник / В. П. Волков, В. П. Матейчик, М. Смешек, П. Б. Комов, І. В. Грицук, Т. В. Волкова, С. О. Комов. – Донецьк : Ноулідж, 2014. – 324 с.

11. Интелектуальні системи моніторингу транспорту [Текст]: монографія / В. П. Волков, В. П. Матейчик, П. Б. Комов, І. В. Грицук, М. Смешек, Т. В. Волкова, М. П. Цюман. – Харків: НТМТ, 2015. – 246 с.

12. Системи прогріву двигунів внутрі-шнього згорання: основи функціонування [Текст]: монографія / В. П. Волков, І. В. Грицук, Ю. Ф. Гутаревич, В. Д. Александров, В. П. Поддубний, Ю. В. Прилепський, П. Б. Комов, Д. С. Адров, В. С. Вербовський, З. І. Краснокутська, Т. В. Волкова. – Донецьк: ЛАНДОН-XXI, 2015. – 314 с.

13. *Говорущенко, Н. Я.* Системотехніка транспорту (на прикладі автомобільного транспорту) [Текст] / Н. Я. Говорущенко, А. Н. Туренко; в 2 ч. Ч. 1. – Харків: РІО ХГАДТУ, 1998. – 255 с.

14. *Говорущенко, Н. Я.* Системотехніка транспорту (на прикладі автомобільного транспорту) [Текст] / Н. Я. Говорущенко, А. Н. Туренко; в 2 ч. Ч. 2. – Харків: РІО ХГАДТУ, 1998. – 219 с.

15. *Говорущенко, Н. Я.* Системотехніка проектування транспортних машин [Текст]: учеб. пособие / Н. Я. Говорущенко, А. Н. Туренко. – Харків: ХНАДУ, 2002. – 166 с.

16. *Говорущенко, Н. Я.* Системотехніка автомобільного транспорту (расчетные методы исследований) [Текст]: монографія / Н. Я. Говорущенко. – Харків: ХНАДУ, 2011. – 292 с.

17. Положення про профілактичне обслуговування і ремонт рухомого складу автомобільного транспорту [Текст]. – К.: Міністерство транспорту України, 1994. – 36 с.

18. Положение о профилактическом обслуживании

и ремонте транспортных машин [Текст]: методические рекомендации. – Харьков: РІО ХГАДТУ, 1998. – 39 с.

19. Основы организации информационной поддержки жизненного цикла изделий в системе технической эксплуатации автомобилей // Информационные технологии и инновации на транспорте [Текст]: материалы международной научно-практической конференции / А. Б. Комов, А. П. Комов, Е. А. Комов, П. Б. Комов; под общ. ред. д.т.н., проф. А. Н. Новикова (19–20 мая 2015 г.). – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2015. – С. 127–134.

20. *Леонтьев, Е. А.* Надежность экономических информационных систем [Текст]: учеб. пособие / Е. А. Леонтьев. – Тамбов: Тамб. гос. техн. ун-т, 2002. – 128 с.

21. *Власов, В. М.* Информационные технологии на автомобильном транспорте [Текст]: учебник для студ. учреждений высш. образования / В. М. Власов, Д. Б. Ефименко, В. Н. Богумил; под ред. В. М. Власова. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 256 с.

22. *Пржибыл, П.* Телематика на транспорте [Текст] / П. Пржибыл, М. Свитек; под ред. В. В. Сильянова. – М.: МАДИ (ГТУ), 2003. – 539 с.

23. *Амбарцумян, В. В.* Краткое изложение содержания трехтомника «Современная концепция безопасности дорожного движения» [Текст] / В. В. Амбарцумян; под общ. ред. д.т.н. проф. В. В. Сильянова. – Лос-Анжелос: ИнфоПресс, 2008. – 112 с.

24. *Делор, Жак.* Образование – сокровище / Делор Жак. – М.: Московская школа политических исследований, 2002. – 472 с.

УДК 656.11

А. А. Кураксин, А. В. Шемякин

МЕТОД ВЫЯВЛЕНИЯ УЗКИХ МЕСТ В ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ ГОРОДА НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА МЕЗОСКОПИЧЕСКОМ УРОВНЕ

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет
имени П. А. Костычева»

В статье представлен метод выявления мест с недостаточной пропускной способностью на УДС крупного города. Анализ производится на основе разработанной динамической мультимодальной транспортной модели на мезоскопическом уровне на примере центральной части города Рязани.

Ключевые слова: транспортный поток, интенсивность движения, узкое место, мезоскопическое моделирование, мезоскопическая модель.

A. A. Kuraksin, A. V. Shemyakin

METHOD IDENTIFY BOTTLENECKS IN THE TRANSPORT NETWORK CITIES BASED ON DYNAMIC MODELING OF TRAFFIC FLOWS ON THE MESOSCOPIC LEVEL

Agrotechnological Ryazan State University named
after P.A. Kostycheva

The article presents a method to identify areas with insufficient capacity on the ground of the city. The identification is made on the basis of the developed dynamic multi-modal transport model at the mesoscopic level by the example of the Central part of the city of Ryazan.

Keywords: traffic flow, traffic bottleneck, mesoscopic modeling, mesoscopic model.

В настоящее время высокий уровень автомобилизации городов привел к глобальным социально-экономическим проблемам в сфере

экономики, труда, экологии и многих других сферах жизни человека. В сущности, проблема автомобилизации в крупных городах складыва-

ется из нескольких причин: неконтролируемое повышение уровня автомобилизации, низкая цена владения автомобилем, концентрация рабочих мест в центральной части городов, недостаточное развитие и чрезмерная капиталоемкость строительства автомобильных дорог, отсутствие практики транспортного планирования в крупных городах.

Следствием вышеуказанных проблем становятся различного рода проблемы. В данной статье мы хотим изложить метод выявления узких мест в транспортной системе города Рязань на основе мезоскопического моделирования.

В начале изложим основные методы и инструментарий для анализа узких мест на УДС города. Под узким местом будем подразумевать участки УДС с недостаточной пропускной способностью (где коэффициент загрузки $Z \geq 1$). На таких участках наблюдаются регулярные заторы и повышенное количество ДТП.

Методической основой при исследовании узких мест транспортной сети города Рязани были: 1) специализированное программное обеспечение для мезоскопического моделирования транспортных потоков DTALite/NEXTA [1]; 2) технология создания мезоскопических моде-

лей транспортных систем, разработанная автором данной статьи [2]; 3) методы натурного исследования параметров скорости транспортных потоков на УДС города Рязань с помощью технологий GPS; 4) методы натурного исследования интенсивности движения (ИД) транспортных потоков на УДС города Рязань с помощью видеонаблюдения на участках УДС города Рязань.

Целью исследования является разработка метода выявления узких мест на УДС городов с учетом прогнозирования проницаемости транспортных заторов на основе мезоскопического моделирования транспортных потоков.

Уровень превышения ИД пропускной способности позволит специалистам наиболее рационально подбирать мероприятия по компенсации недостающей пропускной способности при условии, что данные мероприятия не противоречат сложившейся практике транспортного и градостроительного планирования в конкретном городе [3].

Исследование в центральной части города Рязани проводилось с целью выявления существующих узких мест в утренний пиковый период на десяти пересечениях (рис. 1).

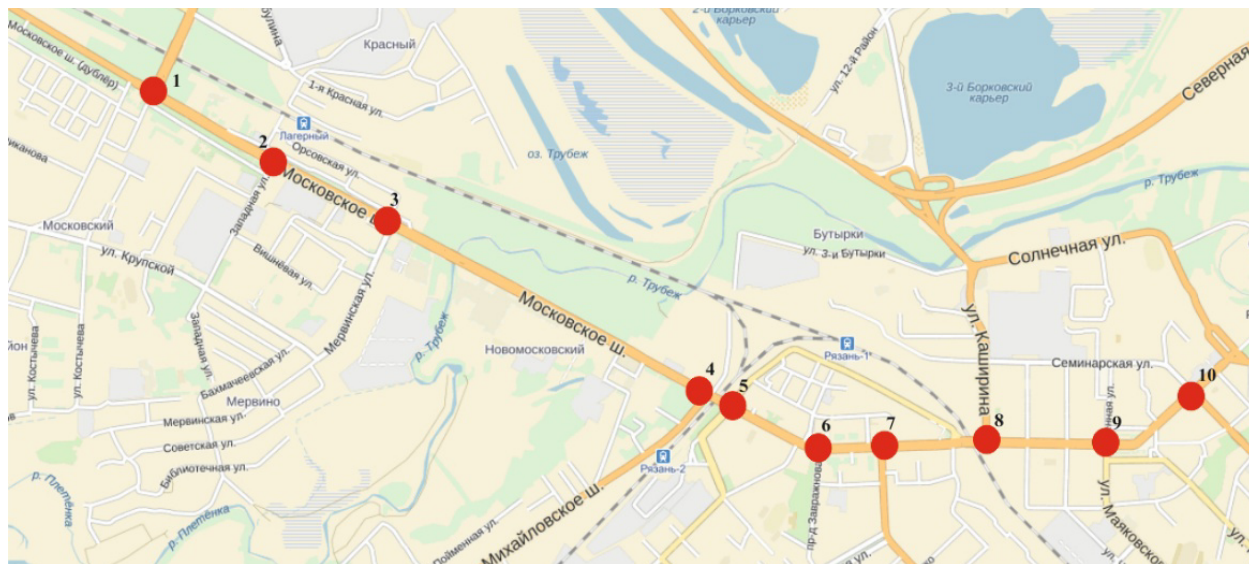


Рис. 1. Схема размещения точек для подсчета ИД на территории центральной части города Рязани

Для анализа исследуемой области была разработана мезоскопическая модель исследуемой области по технологии, представленной в работе [2].

Главной особенностью мезоскопического уровня моделирования является способность модели воспроизводить сложные процессы образования и распространения транспортных

заторов на УДС города и фактически анализировать узкие места, не прибегая к детальному моделированию отдельных агентов в транспортном потоке [4].

В таких моделях поток описывается плотностью распределения автомобилей в фазовом пространстве, а динамика фазовой плотности описывается кинетическим уравнением [5, 6].

Таким образом, мезоскопический подход при моделировании транспортных потоков позволяет имитировать динамику транспортного потока, при этом геометрические параметры транспортных средств и психофизиологические характеристики поведения водителей, описываются упрощенными математическими моделями.

Технология построения мезоскопической модели реализуется на базе программного обеспечения DTALite/NEXTA [1].

В общем случае технология разделяется на следующие условия, которые необходимо выполнить при разработке модели (рис. 2).

Также для оценки качества модели был собран ряд натуральных данных с помощью метода видеофиксации транспортных потоков и технологий GPS трекинга.

В табл. 1 приведены сводные данные об интенсивности движения в точках проведения измерений.

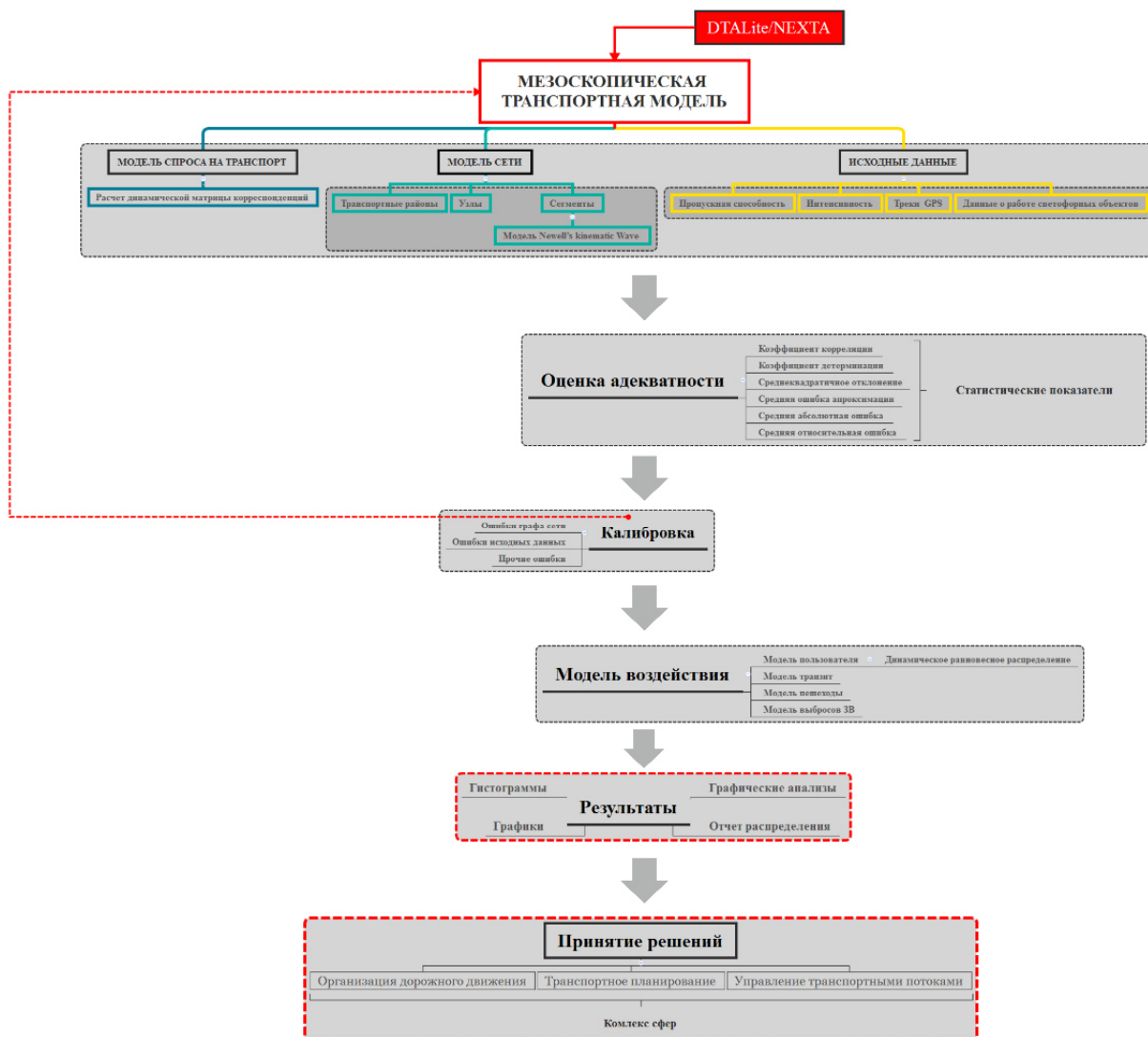


Рис. 2. Схема создания мезоскопической модели транспортной системы

Таблица 1

Сводные данные по ИД ТП в точках проведения измерений

Номер точки обследования	Подход на пересечении	Входящая пиковая интенсивность движения на подходах пересечения
1	Московское шоссе (в сторону центру города)	1440
	Московское шоссе (в сторону г. Москва)	1756
	Путепровод на микрорайон Приокский	1604
	Московское шоссе (дублер)	288

Окончание табл. 1

Номер точки обследования	Подход на пересечении	Входящая пиковая интенсивность движения на подходах пересечения
2	Московское шоссе (в сторону центра г. Рязань)	1467
	Московское шоссе (в сторону г. Москва)	1889
	ул. Западная	523
3	Московское шоссе (в сторону центра г. Рязань)	1575
	Московское шоссе (в сторону г. Москва)	1917
	ул. Мервинская	814
4	Московское шоссе (в сторону центра г. Рязань)	1678
	Московское шоссе (в сторону г. Москва)	2698
	Михайловское шоссе	939
5	Московское шоссе (в сторону центра г. Рязань)	2529
	Первомайский проспект (в сторону г. Москвы)	1591
	ул. Вокзальная (со стороны ж/д вокзала Рязань 2)	918
	ул. Вокзальная (со стороны ж/д вокзала Рязань 1)	875
6	Первомайский проспект (в сторону центра г. Рязань)	1798
	Первомайский проспект (в сторону г. Москвы)	1498
	проезд Завражного	265
7	Первомайский проспект (в сторону центра г. Рязань)	1657
	Первомайский проспект (в сторону г. Москвы)	1474
	ул. Дзержинского	1200
8	Первомайский проспект (в сторону центра г. Рязань)	1902
	Первомайский проспект (в сторону г. Москвы)	1680
	ул. Каширина	957
9	Первомайский проспект (в сторону центра г. Рязань)	1516
	Первомайский проспект (в сторону г. Москвы)	1506
	ул. Маяковского	330
	ул. Сенная	614
10	Первомайский проспект (в сторону центра г. Рязань)	1079
	ул. Соборная	904
	ул. Ленина	1145
	ул. Семинарская	960

На рис. 3 представлены данные, полученные в ходе исследований области моделирования методами GPS трекинга.

В соответствии с технологией построения мезоскопической модели была произведена оценка адекватности разрабатываемой модели по данным интенсивности движения на перегонах моделируемой УДС, полученных при экспериментальных исследованиях.

В табл. 2 представлены рассчитанные статистические показатели адекватности динамической модели центральной части города Рязани.

На рис. 4 представлена разработанная по технологии мезоскопическая модель центральной части города Рязань.

Разработанная мезоскопическая модель позволяет учитывать создание и распространения транспортных заторов на УДС городов на основе кинематической волновой теории. Одной из таких моделей является модель Newell's kinematic Wave (далее NKW), разработанная известным специалистом в области прикладной математики и теории транспортных потоков Гордоном Френком Ньюэллом (Gordon F. Newell) [5, 6].

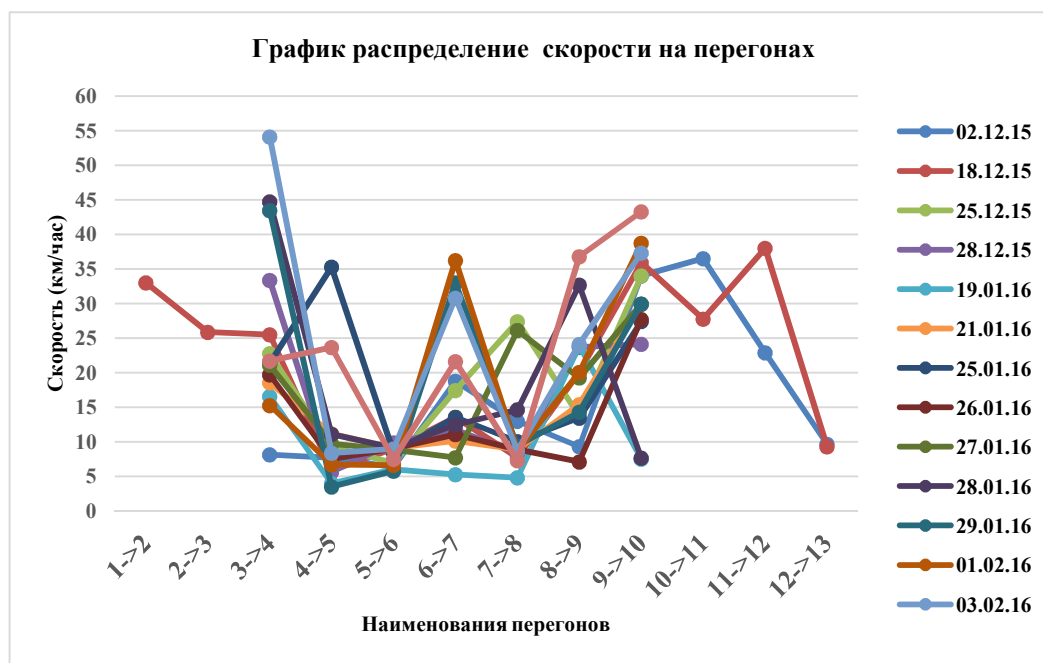


Рис. 3. График распределения средней скорости на моделируемой УДС

Таблица 2

Рассчитанные показатели адекватности транспортной модели

Сравниваемый показатель	Количество измерений	Коэффициент корреляции (-1 до +1)	Коэффициент детерминации (0 до 1)	Среднеквадратичное отклонение	Средняя ошибка аппроксимации (не более 10%)	Средняя абсолютная ошибка	Средняя относительная ошибка %
Интенсивность	17	0,86	0,69	25	5,75%	830	24,7

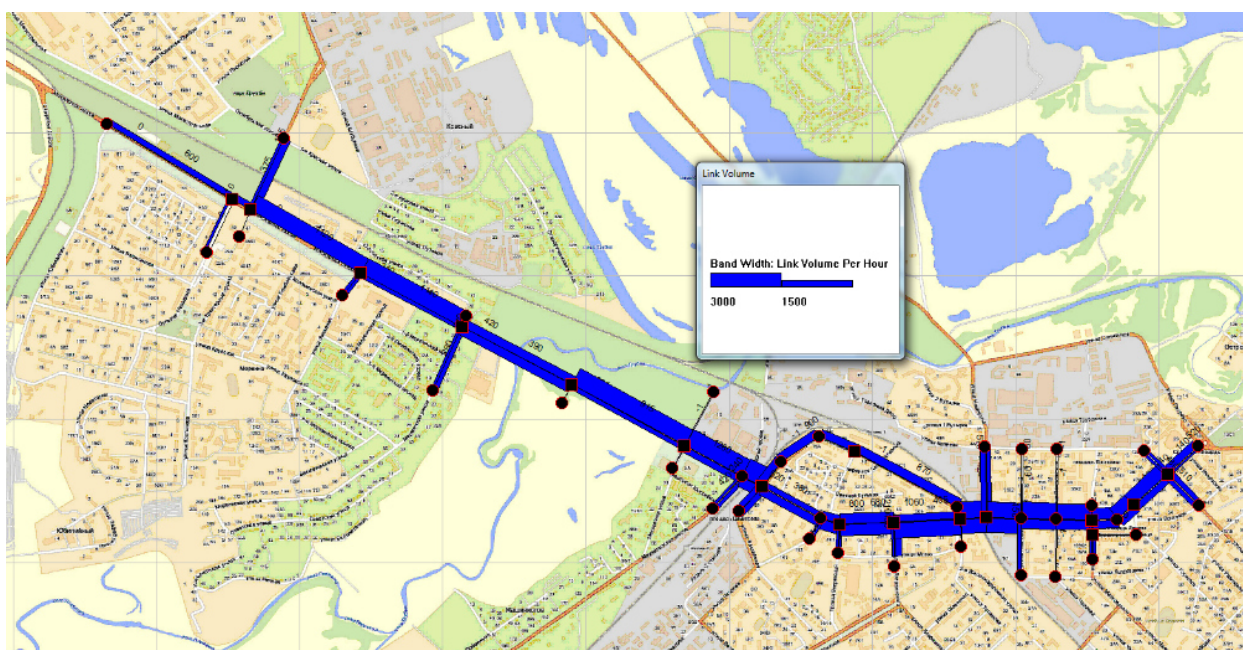


Рис. 4. Мезоскопическая модель центральной части города Рязани

Движение транспортных потоков по перегонам УДС в соответствии с моделью NKW реализуется с использованием треуголь-

ной диаграммы транспортного потока, показывающей связь основных макропараметров [7–10].

В самом простом случае процесс учета распространения транспортного затора на перегоне можно представить в виде следующего уравнения:

$$dN = \left(-k + \frac{q}{w_s}\right) dx = -k_{jam}(a) \cdot lena \cdot nlan(a), \quad (1)$$

где dN – изменение ударной волны; w_s – обратная скорость ударной волны; $lena$ – длина некоторого сегмента на графе; $nlan$ – количество полос для движения.

Для того чтобы произвести расчеты в соответствии с выражением (1) в мезоскопической модели используются суммарная интенсивность покидающих перегон дороги транспорт-

ных средств. Если интенсивность покидающих предыдущий перегон транспортных средств эквивалентна пропускной способности следующего перегона (коэффициент загрузки $z \geq 1$), то происходит распространение затора в соответствии с выражением (1).

Данный алгоритм в настоящее время в полной мере реализован в программном обеспечении DTALite/NEXTA [1].

В ходе моделирования транспортной системы центральной части города Рязани был выявлен ряд узких мест, изображенных на рис. 5 красными точками с различным радиусом (чем больше радиус, тем выше коэффициент загрузки).

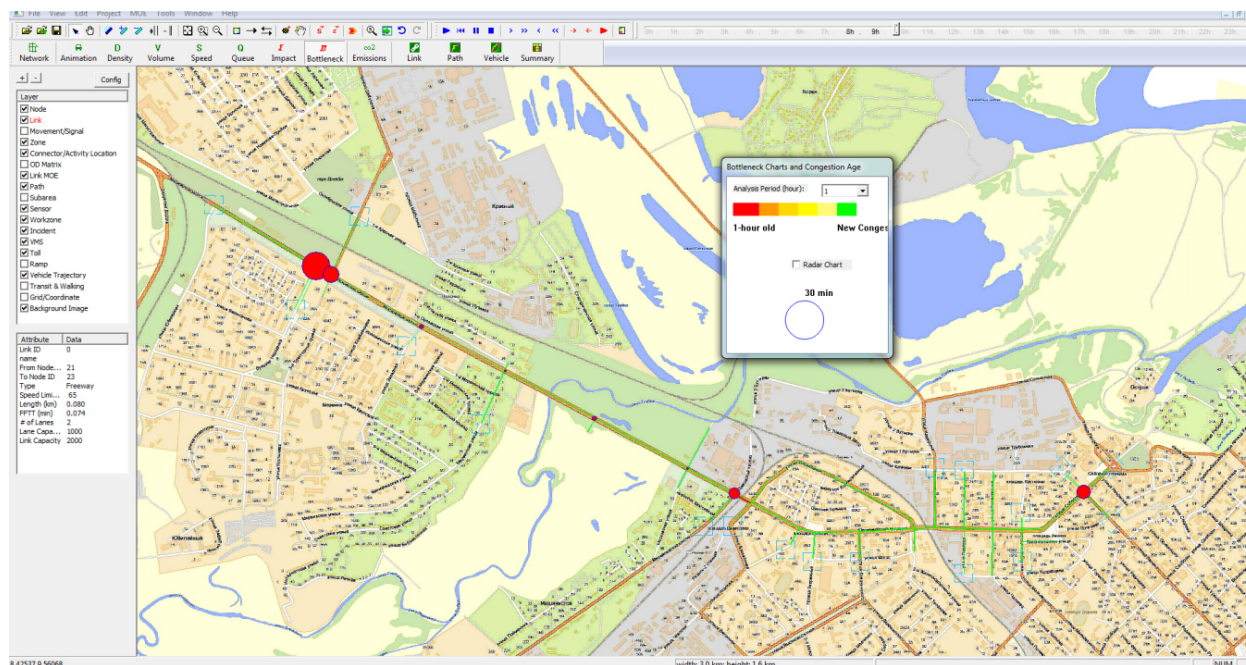


Рис. 5. Выявленные в ходе исследований узкие места в транспортной системе города Рязани

Перегрузки на исследуемой части УДС города Рязани были выявлены на следующих пересечениях: 1) ул. Народный бульвар – Московское шоссе; 2) Московское шоссе – путепровод на микрорайон Приокский; 3) Михайловского шоссе – Московского шоссе; 4) ул. Соборная – ул. Ленина.

Рассмотрим характеристику потоков на примере пересечения ул. Народный бульвар – Московское шоссе подробнее (рис. 6).

Из модели видно, что поток транспортных средств нагружает подход при движении в центр города Рязани в два этапа с 07:30 до 8:30 и с 09:00 до 10:00. Такая неравномерность свидетельствует о двух видах рабочих корреспонденций, связанных со сферой занятости лю-

дей. В первом случае корреспонденции направляются к рабочим местам офисного типа и к крупным промышленным предприятиям. Во втором случае пользователи стремятся к местам работы в сфере услуг.

Выявленный дефицит пропускной данного узла в направлении центра города составляет порядка 700–800 ТС/час. Таким образом, для ликвидации выявленного узкого места необходимо разработать ряд организационных или архитектурно планировочных мероприятий, направленных на решение выявленной проблемы. Оценку эффективности мероприятий можно проводить на разработанной мезоскопической модели.



Рис. 6. График входящей и исходящей ИД на пересечении ул. Народный бульвар – Московское шоссе

Очевидно, что данный подход позволяет транспортному инженеру оценить нехватку резервов пропускной способности УДС в количественном выражении. Подобные метрики могут служить, в частности, обоснованием выделения средств на реконструкцию отдельных участков УДС города.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Code.google.com URL: <https://code.google.com/archive/p/nexa/> (дата обращения: 19.02.2016).
2. Кураксин, А. А. Разработка технологии создания мезоскопической модели транспортной системы крупного города // II Молодежная МНПК «Молодые ученые – альтернативной транспортной энергетике» / А. А. Кураксин, А. В. Шемякин. – Воронеж: 2015. – С. 781–786.
3. Якимов, М. Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов: монография / М. Р. Якимов. – М.: Логос, 2013. – 188 с.
4. Hassin R., Zemel E. On shortest paths in graphs with random weights // *Mathematics of Operations Research*, Vol. 10, No. 4, 1985. pp. 557-564.
5. Klar A., Wegener. A Hierarchy of Models for Multilane Vehicular Traffic I & II: Modelling // *SIAM Journal of Applied Mathematics*, Vol. 59, 1999. pp. 983–1001.
6. Newell, G. F., 1993a. A simplified theory on kinematic waves in highway traffic, part I: general theory. *Transportation Research Part B*, Vol. 27(4), pp. 281–287.
7. Newell, G. F. 1993b. A simplified theory on Kinematic wave in highway traffic, Part II: Queuing at Freeway Bottlenecks. *Transportation Research*, Vol. 27B, No. 4, pp. 289–303.
8. Pipes L.A. An Operational Analysis of Traffic Dynamics // *Journal of Applied Physics*, Vol. 24, 1953. pp. 274–287.
9. Forbes T.W., Zagorski H.J., Holshouser E.L., and Deterline W.A. Measurement of Driver Reactions to Tunnel Conditions // *Highway Research Board, Proceedings*, Vol. 37, 1958. pp. 345–357.
10. Prigogine I. A Boltzmann-like Approach to the Statistical Theory of Traffic Flow // *Operations Research*, Vol. 8, No. 6, 1960. P. 789.
11. A simplified theory on kinematic waves in highway traffic, part III: multi-destination flows. *Transportation Research Part B*, Vol. 27(4), pp. 305–313.

УДК 656.13.08

*Ю. Я. Комаров¹, Н. М. Зотов¹, Ву Тхи Ван Ань²***СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В ГОРОДЕ ХАНОЕ****Волгоградский государственный технический университет,
г. Волгоград (РФ)*****Университет народной полиции, г. Хошимин (СРВ)**

Статья посвящена оценке состояния транспортных магистралей, организации и безопасности дорожного движения в столице СРВ г. Ханое. Сделан ряд предложений по уменьшению факторов, способствующих образованию задержек транспортных потоков и снижению числа ДТП.

Ключевые слова: организация дорожного движения, дорожно-транспортные происшествия, город Ханой, транспортные магистрали.

*Yu. Ya. Komarov¹, N. M. Zotov¹, Thi Van Anh Vu²***IMPROVEMENT OF TRAFFIC ORGANIZATION IN THE CITY OF HANOI**¹ **Volgograd State Technical University, Volgograd (RF)**² **People's Police University, Ho Shi Minh City (Viet Nam)**

The paper focuses on assessment of situation/state of transport highways, traffic management and road safety in Hanoi, the capital of Vietnam. Several proposals are presented for reducing the factors that are responsible for delay in traffic flow and reduce the number of road accidents.

Keywords: Traffic management, road accident, city Hanoi...

Столица Социалистической Республики Вьетнам (СРВ) – г. Ханой является одним из старейших городов мира. В 2010 г. город отпраздновал свое тысячелетие, и сейчас столица СРВ представляет собой быстро растущий город. Так, около 50 лет назад в Ханое проживало 640 тыс. человек, а сейчас – 6,5 млн. человек; т. е. население Ханоя за этот период выросло почти в 10 раз. Население же всей страны при этом увеличилось только в три раза.

Население и площадь Ханоя наиболее существенно изменились после включения в состав города его пригородов, поскольку они фактически уже стали неотъемлемой частью столицы Вьетнама. После изменения границ города его площадь составила 3344,4 км². Одновременно с изменением границ города было принято решение и о переносе местоположения его административного центра, что вызвало необходимость перепланировки улично-дорожной сети, обеспечивающей наиболее эффективные и безопасные условия для перемещения людей и грузов.

В настоящее время транспортный парк Ханоя включает в себя следующие транспортные средства: мотоциклы – 66 %, велосипеды – 28 %, автомобили – 6 %. На один автомобиль приходится пять велосипедов и 11 мотоциклов. В 2010 г. парк легковых автомобилей города увеличился на 48 тыс. штук и достиг величины

306 тыс. штук, а число мотоциклов выросло на 338 тыс., достигнув величины 4000 тыс. штук. Эти соотношения показывают, что число автомобилей растет более интенсивно.

Интенсивность движения по различным направлениям на некоторых улицах неодинакова. Например, по фотографии (рис. 1) видно, что в момент съемки (примерно 17 час.) интенсивность движения в сторону точки съемки намного выше, чем – в противоположную сторону.

Также хорошо видно, что велосипедисты и мотоциклисты «просачиваются» в зазоры между автомобилями, что, безусловно, снижает скорость движения автотранспорта после появления разрешающего сигнала светофора.

По прогнозам специалистов, для построения одной новой транспортной дороги необходимо затратить не менее семи лет, но за это время количество всех транспортных средств увеличится более чем в два раза. Общая площадь автомобильных дорог составляет приблизительно 5–7 % от площади территории города Ханоя, а необходимо – 20 % [2].

Общая длина дорог г. Ханоя достигает 6635 км (в т.ч. 10 % в Центральном районе и 90 % – в других районах). В ряде районов на проезжей части дорог имеются отдельные полосы для движения общественного транспорта, пешеходов, но их явно недостаточно.



Рис. 1. Формирование «пробки» перед выездом на перекресток Нга Ты Шо

В Ханое из-за несовершенства схемы сети дорог, быстрого роста числа транспортных средств, увеличения интенсивности транспортных потоков, несовершенства системы управления транспортными потоками достаточно часто возникают заторовые ситуации, которые, как известно, могут характеризоваться временем за-

держки движения для одного транспортного средства. Так, в 2009 г. в Ханое зарегистрировано 260 «пробок» длительностью нахождения в ней более часа, а число «пробок» длительностью менее часа составило 424 случая [3].

Большинство «пробок» в городе чаще всего возникает в праздничные дни, а их места концентрируются в центре города (см. рис. 2). В таких случаях необходимо не допускать формирования систем дорог типа «бутылочно-горлышка», путем строительства ряда параллельных и расходящихся дорог. «Пробки» на улицах вьетнамской столицы стали привычным явлением. Во многих случаях сами участники транспортного движения не совсем четко осознают свою ответственность за соблюдение правил дорожно-транспортного движения. На перекрестках, где часто образуются заторовые ситуации, они едут, нарушая правила, часто водители мотоциклов везут по два-три человека или перевозят товар негабаритного размера. А такие нарушения правил дорожного движения мотоциклистами, как поворот без включения сигнала поворота или включение сигнала поворота направо при совершении поворота налево, являются весьма распространенными, что нередко приводит не только к образованию «пробок», но и к дорожно-транспортным происшествиям (ДТП).



Рис. 2. «Пробка» на одной из самых широких односторонних магистралей

Городская система пассажирских транспортных средств включает в себя автобусы (1254 шт.), такси (около 14000 шт.), частные мотоциклы (4,5 млн. шт.), велосипеды (1,5 млн. шт.). Хотя система общественных автобусов обеспечивает только малую часть перевозок

пассажира, она уже находится в перегруженном состоянии. По статистике Организации Общественного Транспорта СРВ, сейчас в городе Ханое в часы «пик» на главных магистралях и улицах автобусы вместимостью 60–80 пассажиров обычно перевозят в 2–3 раза больше

пассажирам (150 и более пассажиров). Это явление вызывает крайне негативное отношение у пассажиров к муниципальным автобусам. На сегодняшний день автобусы перевозят менее 7 % населения от числа перемещающихся лиц по городу, поэтому остальная часть вынуждена использовать мотоциклы и велосипеды. При этом, с учетом увеличения границ города, а значит и дальности требуемых поездок до 50 км по каждому направлению, использование малых транспортных средств становится весьма затруднительным.

Один из авторов данной работы обеспечил исследование структуры транспортных средств и интенсивности дорожного движения на данном участке. Им же собран материал о характере возникающих там «пробок» и статистике ДТП [3].

В табл. 1 приведены общие сведения о ДТП на указанном участке.

Таблица 1

Общая статистика ДТП на обследованном участке за период с 2005 по 2009 гг.

Год обследования	Число ДТП на участке	Число пострадавших в ДТП	
		Ранено	Погибло
2005	13	6	7
2006	12	7	8
2007	13	7	8
2008	29	15	13
2009	24	8	16

В табл. 2 приведены характерные причины, вызывающие ДТП. В таблице не указаны ДТП по вине пешеходов, действия которых заслуживают отдельного анализа. Здесь только отметим, что пешеходы часто переходят улицу в том месте, где им угодно, а не там, где для этого существуют специально построенные пешеходные переходы. Кроме этого, на многих улицах городские власти запретили ставить мотоциклы на тротуарах перед зданиями, чтобы освободить тротуары для пешеходов, однако люди по-прежнему ходят по проезжей части, иногда сбиваясь в шеренгу по трое-четверо, разговаривая по телефону или друг с другом, и не обращая внимания на транспортный поток на улице. Хотя в последние два года в Ханое был построен целый ряд специальных пешеходных переходов, их сооружение не оказало ожидаемого эффекта на ликвидацию пробок и повышение безопасности для пешеходов.

Таблица 2

Распределение ДТП на обследованном участке по причинам возникновения (%)

Превышение скорости движения	20,7
Использования неверного ряда движения	26,3
Невнимательность водителей	12,8
Несоблюдение правил обгона	3,4
Выезд на встречную полосу движения	25,4
Несовершенство системы управления дорожным движением	11,4

В итоге проведенного анализа был разработан ряд рекомендаций по улучшению организации движения городского транспорта в городе Ханое, в частности, на участке улиц Чан Фут – Тай Щон. Предлагается:

- повысить интенсивность движения общественных автобусов, движущихся через обследованный участок Чан Фу – Тай Щон с 3000 единиц в день в настоящее время до 6000 единиц в день;

- ограничить движение частных транспортных средств (мотоциклов и велосипедов), движущихся к центру и от центра города в «часы пик» (примерно на 100000 единиц); увеличить количество перехватывающих парковок для частных транспортных средств как в центре города, так и в загородных районах.

- организовать реверсивное движение на участке от пересечения между улицей Хуат Зуй Тьен и улицей Нгуен Чай до пересечения между улицей Нгуен Туан и улицей Нгуен Чай, выделив по одной полосе для каждого направления движения; установить соответствующие режимы регулирования дорожного движения в зависимости от изменения интенсивности транспортных средств в различные периоды суток, дни недели; установить электронные дорожные знаки ограничения минимальной скорости движения транспортных средств, движущихся к перекресткам;

- установить светофорные объекты на трех нерегулируемых пересечениях (Льонг Тхе Винь – Нгуен Чай; Нгуен Куй Дык – Нгуен Чай; Нгуен Туан – Нгуен Чай); применять циклы для каждого из них в соответствии с интенсивностью транспортных потоков в «часы пик» для обеспечения безопасности движения и снижения время ожидания на стоп – линии.

- применить систему скоростных автобусных перевозок (САП) как главный способ решения транспортной проблемы города Ханоя. Применять автобусы двух типов: автобус первого типа –

большой автобус вместимостью 280 мест на главных магистралях города с длинными перегонами (четыре остановки на расстоянии 10 км); автобус второго типа – мини-автобус вместимостью 30 мест на остальных дорогах города; открытие новых маршрутов для автобусов малой вместимостью на второстепенных дорогах города.

Оценим предлагаемые мероприятия по совершенствованию существующих схем организации дорожного движения г. Ханоя на примере участка улично-дорожной сети одного из районов города.

Была создана транспортная модель участка улично-дорожной сети Чан Фу – Тай Щон. Предварительно были изучены существующие схемы организации дорожного движения на пересечениях улицы Нгуен Чай со следующими улицами: Лыонг Тхе Винь и Нгуен Ку Дык, Хуат Зуй Тьен и Нгуен Туан. Рассмотренный участок улично-дорожной сети Чан Фу – Тай Щон включает четыре пересечения.

В программном продукте AIMSUN NG была создана модель рассматриваемого участка улично-дорожной сети (улица Чан Фу – Тай Щон), представленная на рис. 3 и учитывающая:

- количество полос для движения на каждом перегоне;
- возможные разрешенные направления движения на каждом пересечении;
- предельно-допустимые скорости движения для каждого перегона;
- местоположения светофоров, продолжительность циклов и их фаз на всех регулируемых пересечениях;
- правила приоритета проезда и местоположение знаков приоритета на нерегулируемых перекрестках;
- места временных стоянок транспортных средств.

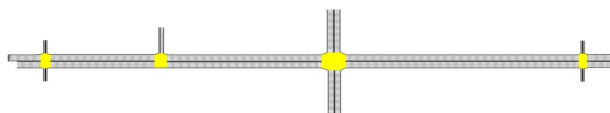


Рис. 3. Созданная модель участка улично-дорожной сети Чан Фу – Тай Щон (от улицы Лыонг Тхе Винь до улицы Нгуен Туан)

Для создания транспортной модели использовались следующие входные данные:

- интенсивность транспортных потоков, измеренная на основных пересечениях Чан Фу – Тай Щон в часы «пик». Причем состав транспортного потока дифференцировался по следующим типам автотранспортных средств: ве-

лосипед, мотоцикл, легковой автомобиль, автобус, грузовой автомобиль;

- интенсивность транспортных потоков на главных входных секциях сети, а именно: ул. Лыонг Тхе Винь, ул. Нгуен Куй Дык, ул. Хуат Зуй Тьен, и ул. Нгуен Туан.

Предлагаемые мероприятия позволили существенно улучшить транспортную ситуацию на обследованном участке улично-дорожной сети г. Ханоя. Так, в частности, в результате моделирования с помощью пакета прикладных программ AIMSUN NG получены следующие результаты:

- повышена средняя скорость транспортного потока на участке Лыонг Тхе Винь, Нгуен Куй Дык – Нгуен Чай в среднем в 3 раза (с 7,2 км/ч на 20,15 км/ч); на участке Хуат Зуй Тьен – Нгуен Чай – в 1,5 раза (с 6,7 км/ч на 10,1 км/ч); на участке Нгуен Туан – Нгуен Чай – в 4 раза (с 5,3 км/ч на 22,45 км/ч);
- снижено время ожидания транспортных средств на стоп-линии на участке Лыонг Тхе Винь, Нгуен Куй Дык – Нгуен Чай в среднем в 5 раз (со 140 с до 28 с); на участке Хуат Зуй Тьен – Нгуен Чай – в 1,5 раза (с 36,5 с до 22,8 с); на участке Нгуен Туан – Нгуен Чай – в 8 раз (со 160 с до 19 с).

Таким образом, повышается качество обслуживания населения общественным транспортом, безопасность дорожного движения, а также снижается риск возникновения ДТП на улично-дорожной сети г. Ханоя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Открытая энциклопедия CPB [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа : http://vi.wikipedia.org/wiki/Xe_buut.
2. Новости на 24 часа [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа : <http://vnexpress.net/gl/xa-hoi/2010/06/3ba1c93d/>.
3. Рапорт об основных ситуациях обеспечения безопасного дорожного движения в г. Ханое 2009 (Bao sao tong ket tinh hinh, ket qua cong tac dam bao TTATGT thanh pho Ha Noi nam 2009) / Полицейский отдел Ханоя. – Ханой, 2009. – 23 с.
4. Буй Хоанг Лам. Влияние основных дорожных факторов на безопасность движения в условиях Вьетнама / Буй Хоанг Лам. – Москва, 2011. – 23 с.
5. Комаров, Ю. Я. Основные подходы к повышению скорости сообщения на общественном автомобильном транспорте в г. Волгограде / Ю. Я. Комаров, С. В. Ганзин, С. В. Колесников, Д. Ю. Комаров // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 10 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – (Серия «Наземные транспортные системы»; вып. 6).
6. Комаров, Ю. Я. Некоторые проблемы организации дорожного движения в г. Ханое / Ю. Я. Комаров, Нгуен Тхи Луен // сб. науч. тр. Sworld «Современные направления теоретических и прикладных исследований – 2012»: междунауч.-практ. конф. Т. 1: Транспорт. Туризм и рекреация. География / Одес. нац. морской ун-т [и др.]. – Одесса, 2012.
7. Комаров, Ю. Я. Проблема обеспечения безопасности дорожного движения в г. Ханое / Ю. Я. Комаров, Тхи Ван Ань Ву, Н. М. Зотов // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 2 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – (Серия «Наземные транспортные системы»; вып. 5).

УДК 656.13

*И. М. Рябов¹, С. В. Данилов², Ш. М. Минатуллаев³***МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ ПЕРЕВОЗОЧНОЙ СИСТЕМЫ
В ПЕРИОД ПРОВЕДЕНИЯ МАССОВЫХ МЕРОПРИЯТИЙ В КУРОРТНОЙ ЗОНЕ**¹ Волгоградский государственный технический университет² Северо-Кавказская Государственная гуманитарно-технологическая академия³ Дагестанский государственный аграрный университет им. Джембулаева

Статья посвящена моделированию работы перевозочной системы по обслуживанию спортивных объектов производится на основе изучения транспортного спроса (участников соревнований и зрителей) одновременно по всем существующим автобусным и железнодорожным маршрутам пассажирского транспорта и по времени суток, с учетом ограничений провозных возможностей видов транспорта.

Ключевые слова: транспортный спрос, моделирование, пассажиропоток, транспортно-пересадочный узел, маршрут движения, микромодель.

*I. M. Ryabov¹, S. V. Danilov², SH. M. Minatullaev³***SIMULATION OF MULTI-MODAL TRANSPORT SYSTEM
AT THE TIME OF THE EVENTS IN THE RESORT AREA**¹ Volgograd state technical University² North-Caucasian State humanitarian-technological Academy³ Dagestan State Agricultural University im. Dzhambulaeva M. M.

The article is devoted to the simulation of transportation systems maintenance of sports facilities is made on the basis of a study of transport demand (participants and spectators) at the same time on all existing bus and train routes for passenger transport and by time of day, given the constraints of the carrying capacity of transport modes.

Keywords: transport demand modeling, passenger traffic, transport hub, the movement route, micro model.

Мультимодальные перевозки пассажиров – это перевозки с участием различных видов транспорта в процессе реализации заявленных туров выездного, въездного и внутреннего назначения, при единстве всех звеньев транспортно-технологической цепи, обеспечивающей доставку пассажиров и багажа в любую точку назначения с использованием сквозного тарифа, по единому перевозочному документу под управлением единого оператора. Моделирование работы мультимодальной перевозочной системы по обслуживанию спортивных объектов производится на основе изучения транспортного спроса (например, участников соревнований и зрителей) одновременно по всем существующим автобусным и железнодорожным маршрутам пассажирского транспорта и по времени суток. При этом учитываются ограничения провозных возможностей видов транспорта. Моделирование работы мультимодальной перевозочной системы необходимо для улучшения качества транспортного обслуживания пассажиров в транспортно-пересадочных узлах (ТПУ) различных видов транспорта [1]. При этом сложность заключается в необходимости одновременного распределения пасса-

жирских потоков во времени и в пространстве. Распределение пассажирских потоков по времени означает учет ожидания транспортного обслуживания на каждом маршруте, что приводит к распределению пиков транспортного спроса по более длительному периоду времени (периоду времени больше, чем длительность пика транспортного спроса при провозной возможности маршрута меньше пикового транспортного спроса).

Распределение пассажирских потоков в пространстве означает возможность выбора альтернативного маршрута следования (или вида транспорта) при изменении уровня загрузки или времени ожидания на ранее выбранном кратчайшем маршруте [2]. Выбор альтернативного маршрута следования возможен в процессе распределения пассажиропотока по времени. В результате определяется распределение пассажирских потоков по транспортной сети (в плане) по маршрутам, по видам транспорта и по времени суток.

Принципиальное отличие методики от распределения без ограничений провозной возможности, используемой в настоящее время, заключается в учете фактора времени в процес-

се распределения. Если методика распределения пассажиропотоков без ограничений провозной возможности рассматривает условно статическое по времени распределение пассажирских потоков по транспортной (маршрутной) сети, то методика распределения пассажиропотоков с ограничениями провозной возможности рассматривает динамическое изменение распределения пассажирских потоков по транспортной сети с течением времени.

Добавление шкалы времени для состояния транспортной сети позволяет достичь увеличения возможностей моделирования [3]. Новая транспортная макро- и микро-моделей. Функции микромоделей – учет фактора времени, ограничений пропускной возможности элементов транспортной сети и их влияние на состояние транспортных потоков.

Методика распределения пассажирских потоков включает:

- расчет транспортного спроса;
- распределение транспортного спроса;
- обработку (анализ) результатов, исследований.

Расчет транспортного спроса выполняется по классической методике, без учета ограничений провозной возможности транспорта, но с дополнением диаграммы его распределения по времени. Вначале производится расчет начального (ненагруженного) состояния транспортной сети. В результате определяются кратчайшие пути по сети, матрицы сопротивлений и корреспонденций между пунктами отправления и прибытия [4]. Матрица корреспонденций рассчитывается один раз в начале или загружается из исходных данных. Она используется в процессе распределения транспортного спроса.

На основе расчета пассажиропотока для каждого маршрута определяются технико-эксплуатационные показатели работы подвижного состава.

Интенсивность (частота) движения подвижного состава « γ » транспорта общего пользования:

$$\gamma = \frac{P_m}{q}, \text{ авт./ч,} \quad (1)$$

где P_m – пассажиропоток на маршруте, пасс./ч;
 q – вместимость подвижного состава, пасс./авт.

Интервал движения ПС на маршруте:

$$Y = 60 / \gamma \text{ мин,} \quad (2)$$

где 60 – количество минут в часе.

Длина маршрута L_m определяется как сумма длин участков маршрута.

Продолжительность оборотного рейса:

$$t_p = \frac{2L_m}{V_s}, \text{ ч.} \quad (3)$$

Количество подвижного состава в движении на маршруте:

$$A_{дв} = \frac{t_p}{I}. \quad (4)$$

Инвентарное количество выпуска подвижного состава по предприятию:

$$A_{инв} = \frac{A_{дв}}{\alpha_b}, \quad (5)$$

где α_b – коэффициент выпуска подвижного состава на линию.

Результатом расчета является суммарное количество подвижного состава пассажирского транспорта, которое необходимо иметь для качественного обслуживания пассажиров.

Распределение транспортного спроса по времени осуществляется в соответствии с диаграммой распределения транспортного спроса.

Эта диаграмма загружается из исходных данных и показывает, как корреспонденция распределяется по отрезкам времени без ограничений провозной возможности – в каждый расчетный отрезок времени отправляется определенная доля корреспонденции. На этом же этапе определяется моделируемый период времени – период времени, требуемый для обслуживания транспортного спроса. Моделируемый период времени может определяться с учетом диаграммы распределения транспортного спроса по времени и времени транспортного обслуживания или задаваться в качестве исходных данных.

Распределение пассажирских потоков с учетом ограничений провозной возможности – самый емкий этап расчета. В качестве исходных данных используется выявленный на основе исследований транспортный спрос. Для обслуживания расчетного транспортного спроса требуется соответствующее транспортное предложение – провозная возможность транспортной (маршрутной) сети. Каждый элемент транспортной сети способен обслужить определенное количество пассажиров в единицу времени. В качестве расчетной единицы времени принимается отрезок времени t (мин). Чем меньше отрезок t , тем выше точность моделирования распределения пассажиропотоков по времени, но тем больше вычислительная емкость расчета.

Моделируемый период времени делится на последовательность расчетных отрезков времени. В каждый отрезок времени состояние (загрузка, сопротивление) транспортной сети определено по результатам распределения пасса-

жиропотоков в предыдущий отрезок времени. Этому текущему состоянию транспортной сети соответствует свой набор кратчайших путей для передвижения пассажиров от каждого пункта отправления в каждый пункт прибытия. Рассчитывается физическая величина транспортного спроса (расчетная группа пассажиров) в расчетный отрезок времени t как произведение ячейки матрицы корреспонденций на долю корреспонденции, соответствующей этому отрезку времени в диаграмме распределения транспортного спроса по времени. Эта расчетная группа пассажиров направляется по кратчайшему пути по транспортной сети. В процессе этого распределения изменяется состояние (загрузка, сопротивление) элементов транспортной сети вдоль кратчайшего пути. Поскольку состояние транспортной сети изменяется, то пересчитываются кратчайшие пути по сети для следующего цикла расчета (для следующего отрезка времени). В каждый отрезок времени t каждая расчетная группа пассажиров (доля транспортного спроса) выбирает текущий кратчайший путь с учетом текущего времени ожидания и транспортного обслуживания.

Распределение пассажиропотоков по элементам транспортной сети в каждый отрезок времени сохраняется в качестве результатов расчета для последующей обработки.

Обработка результатов расчета заключается в построении диаграмм распределения пассажиропотоков по времени по каждому расчетному сечению транспортной сети или маршруту, а также определении уровней загрузки элементов транспортной сети в каждый отрезок времени. Реализация предложенной методики осуществляется на примере моделирования пассажирских потоков на въезд в транспортно-пересадочный узел «Олимпийский парк» в г. Сочи. Транспортное предложение отражено в табл. 1.

Таблица 1

Транспортное предложение по всем автобусным (B1, 2.....B11) железнодорожным (R1, R4) маршрутам по ТПУ «Олимпийский парк»

Маршруты	Количество ПС		Пров. возм., пасс./ч	Пров. возм., пасс./15мин
	Автоб./15мин	Автоб./ч		
B1	7,5	30	1702	427
B3	3	12	1164	291
B5	0,5	2	114	28
B6	7,5	30	2910	727
B11	1	4	226	56
R1	1,5	6	12300	3075
R4	0,25	1	2050	512
	19,5	78	20466	5118

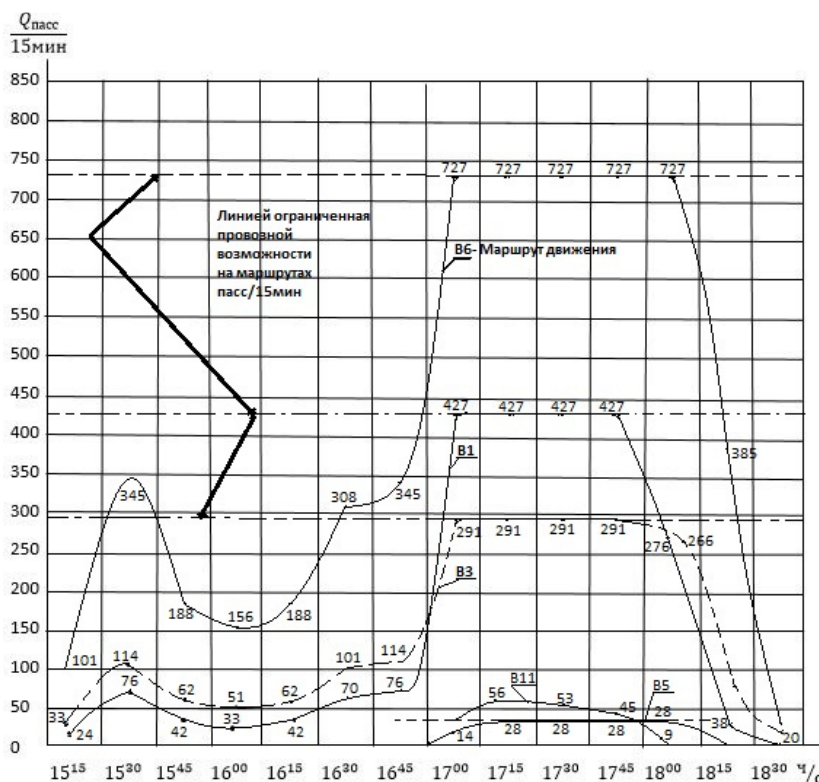


Рис. 1. Диаграммы распределения пассажиропотока на автобусных маршрутах на въезде к транспортно-пересадочному узлу «Олимпийский парк» г. Сочи с учетом ограничений их провозной возможности в 15-минутном интервале (данные исследований авторов)

Окончание табл. 2

Маршруты	В1	В3	В5	В6	В11	R1	R2
Интервал, ч/мин	Пасс/15 мин	Пасс/15 мин	Пасс/15 мин	Пасс/15 мин	Пасс/15 мин	Пасс/15 мин	Пасс/15 мин
1:00	79	266	18	518	17	2	146
1:15	0	0	0	0	0	161	0
1:30	0	0	0	0	0	0	0
1:45	0	0	0	0	0	175	0
2:00	0	0	0	0	0	240	0
2:15	0	0	0	0	0	336	0

Таблица 3

Суммарный пассажиропоток с учетом ограниченной провозной возможности на выезд из ТПУ «Олимпийский парк», по видам транспорта

Интервал	Пассажиропоток по видам		Суммарный пассажиропоток (автоб+жд)	Провозная Возможность пасс/15мин
	Автоб., пасс/15мин	Жд., пасс/15мин		
23:15	933	375	1451	5118
23:30	1503	3075	4715	5118
23:45	1531	3153	4793	5118
0:00	1531	3588	5119	5118
0:15	1531	3588	5119	5118
0:30	1531	3588	5119	5118
0:45	1263	3359	4879	5118
1:00	578	307	810	5118
Итого	10400	21062	32330	

Анализ данных табл. 2 и 3 показывает, что наиболее загруженными являются автобусные маршруты В1, В3, В6 и железнодорожный R1 в связи с тем, что основной пассажиропоток приходится на них. Период вывоза зрителей приходится с 23:15 до 01:00.

При вывозе пассажиров из ТПУ «Олимпийский парк» все маршруты работают с полной загрузкой на протяжении почти всего времени. В пиковый период – с 23:30 до 0:45 маршруты работали с полной загрузкой провозной возможности обоих видов транспорта, что указывает на достаточно высокий уровень качества обслуживания всех пассажиров ТПУ «Олимпийский парк», – центрального олимпийского объекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кравченко, Е. А.* Организация движения массового пассажирского транспорта: учеб. пособие / Е. А. Кравченко, А. Е. Кравченко. – Краснодар : Издательство Дом – Юг, 2011. – 200 с.
2. Попов А. А. Формирование и распределение пассажирских потоков на транспортной сети города : дис. ... канд. техн. наук / А. А. Попов. – МГСУ, 2005. – 22 с.
3. *Кравченко, Е. А.* Организация перевозочных услуг и безопасность транспортного процесса: учебник для студ. учреждений высшего образования / А. И. Рябчинский, В. А. Гудков, Е. А. Кравченко. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : издательский центр «Академия», 2014. – 256 с. – (Сер. Бакалавриат).
4. *Кравченко, А. Е.* Формирование системы перевозочных процессов пассажирским автомобильным транспортом в курортных зонах (текст): монография / А. Е. Кравченко; М-во обр. и науки РФ, ГОУ ВПО КубГТУ. – Краснодар Издательский Дом- Юг, 2010. – 468 с.

Редактор
В. В. Свитачева

Компьютерная верстка:
Е. В. Макарова

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-64543 от 22 января 2016 г.
Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий
и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Адрес редакции и издателя: 400005, г. Волгоград, пр. В. И. Ленина, 28.
Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ)
Телефон: гл. редактор – (8442) 23-00-76
E-mail: rector@vstu.ru

Темплан 2016 г. Поз. № 25ж. Подписано в печать 28.09.2016 г. Формат 60 x 84 1/8.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл.-печ. л. 6,51. Уч.-изд. л. 6,20.
Тираж 100 экз. Заказ №
Оригинал-макет и электронная версия подготовлены РИО ИУНЛ ВолГТУ
400005, г. Волгоград, пр. В. И. Ленина, 28, корп. 7.
Отпечатано в типографии ИУНЛ ВолГТУ
400005, г. Волгоград, пр. В. И. Ленина, 28, корп. 7.

В научно-техническом журнале «ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ» публикуются статьи, которые содержат результаты теоретических и экспериментальных исследований, представляют научный и практический интерес для широкого круга специалистов в области экономики.

Вопрос об опубликовании статьи или ее отклонении решает редакционная коллегия сборника, которая утверждается ректором университета, ее решение является окончательным. Редколлегия направляет представленный для издания материал на рецензирование.

Рукопись должна быть набрана и сверстана в текстовом редакторе Word и распечатана на лазерном принтере в режиме полной загрузки тонера. Формат бумаги А4 (210×297 мм).

Для ускорения подготовки издания необходимо представлять файлы статей на дискетах или компакт-дисках (CD) в полном соответствии с распечатанным оригиналом. Дискета должна быть вложена в отдельный конверт, на этикетке дискеты указываются фамилии авторов статьи.

При наборе текста следует соблюдать следующие требования: поля – верхнее – 2,0 см, нижнее – 3,0 см, левое – 2,5 см, правое – 2,5 см; шрифт Times, кегль 14, интервал полуторный.

Текст набирается с применением автоматического переноса слов, перед знаками препинания (в том числе внутри скобок) пробелы не допускаются, после них ставится один пробел. Разрядка слов не допускается, следует избегать перегрузки статей большим количеством формул, рисунков, таблиц. Для набора символов в формульном редакторе MS Equation (MS Word) использовать установки (Стиль/Размеры) только по умолчанию; рисунки должны быть выполнены в редакторах векторной графики, таких как CorelDRAW или в любом приложении к Word. Допускается сканирование рисунков в программе Microsoft Photo Editor.

Инициалы и фамилия автора (авторов) пишутся над заглавием статьи. Ниже заглавия, перед основным текстом, указывается организация или предприятие, в котором работает автор статьи. В конце статьи ставится полное название учреждения, которое рекомендует статью для публикации, дата и подпись автора (всех авторов).

Литературные ссылки должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ 7.1–2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления». Библиографический список использованной литературы, составленный в порядке упоминания в тексте, дается в конце статьи; связь с основным текстом осуществляется цифровым порядковым номером в квадратных скобках в строке. Подстрочные ссылки не допускаются.

Иностранные фамилии и термины в тексте следует приводить в русском переводе. В библиографическом списке фамилии авторов, полное название книг и журналов приводится на языке оригинала.

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

При обозначении единиц физических величин должна применяться Международная система единиц (СИ).

Объем статьи не должен превышать 8 страниц бумаги формата А4, включая таблицы и библиографический список; число рисунков – не более четырех, включая рисунки, помеченные буквами *a*, *b*, и т. д. Рекомендуется включать в сборник статьи с авторским коллективом не более четырех человек с участием каждого автора в одной–двух статьях.

Статьи должны представлять сжатое четкое изложение результатов, полученных автором без повторов приводимых данных в тексте статьи, таблицах и рисунках. К статье должны быть приложены: сведения об авторах (полное имя, отчество, фамилия, ученая степень, звание, домашний адрес, номер телефона служебный, домашний, E-mail), документация, подтверждающая возможность ее открытого опубликования.