Грузовик

10
2018

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

Учредитель ООО "Научно-техническое издательство "Инновационное машиностроение"
Главный редактор С.Н. ПЕДЕНКО

Редакционный совет

Д.Х. Валеев, д-р техн.наук
В.А. Волчков
С.М. Гайдар, д-р техн.наук
Л.В. Грехов, д-р техн.наук, проф.
В.А. Зорин, д-р техн.наук
В.В. Комаров, канд.техн.наук
В.А. Марков, д-р техн.наук, проф.
А.Н. Ременцов, д-р пед.наук, канд.техн.наук
О.Н. Румянцева, ген.дир.ООО "Издательство "Инновационное машиностроение"
А.Ф. Синельников, канд.техн.наук, проф.
А.А. Солнцев, д-р техн.наук
В.С. Устименко, канд.техн.наук
Х.А. Фасхиев, д-р техн.наук, проф.
Н.Д. Чайнов, д-р техн.наук, проф.

Корпункт:
Я.Е.Карповский (г.Минск)

Адрес редакции:
107076, Москва, Колодезный пер., дом 2-а, стр. 12
Тел. (499) 269-48-96
E-mail: gruzovik@mashin.ru; http://www.mashin.ru

Адрес издательства
107076, Москва, Колодезный пер., дом 2-а, стр. 2
Тел.(495) 661-03-36

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Регистрационный номер ПИ № ФС77-63955 от 09.12.2015 г.

Подписной индекс:
по объединенному каталогу
"Пресса России" 39799

ООО «Издательство «Инновационное машиностроение», "Грузовик", 2018

Перепечатка материалов из журнала «Грузовик» возможна при обязательном письменном согласовании с редакцией журнала. При перепечатке материалов ссылка на журнал «Грузовик» обязательна.

За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

В НОМЕРЕ:

Конструкция

3 *Чернышов К. В., Рябов И. М., Поздеев А. В., Пылинская Т. В.* Анализ принципов регулирования демпфирования "скайхук" и "граундхук" в подвеске автомобиля

7 *Аналитики* заглянули в будущее

Энергетическое машиностроение

8 *Мягков Л. Л., Сивачев В. М.* Моделирование теплообмена при кипении с недогревом в полости охлаждения двигателя. Часть 2

14 *Эммиль М. В.* Турбулентная структура сильно закрученного потока в модели камеры сгорания газотурбинного двигателя

18 *К переходу* на этанол готовы

Исследования. Расчет

19 *Козловский В. Н., Пьянов М. А., Клейменов С. И., Шакурский М. В.* Производственный комплекс диагностики работоспособности системы электрооборудования автомобилей

23 *Фадеев И. В.* Влияние загрязнений на долговечность дизельного двигателя

Транспортный комплекс

30 *Кудряшов М. А., Айриев Р. С.* Потребительская оценка качества услуг аэроэкспресс в Московском авиационном узле

34 *Макеев В. Н., Плешков Д. Д., Неранов Р. Г.* Оценка инерционности и надежности транспортного процесса в лесной промышленности

Профессия

38 *Савельев А. В., Рыбин Н. Н.* Применение микроэлементного метода для оценки организации рабочих мест

Безопасность

42 *Зорин В. А., Пегачков А. А.* Оценка рисков по результатам диагностирования автомобилей

46 ***Пресс-тур***

Журнал входит в Перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней http://perechen.vak2.ed.gov.ru/
Система Российского индекса научного цитирования www.elibrary.ru.
Двухлетний импакт-фактор РИНЦ 2016 г. — 0,296. Место в рейтинге SCIENCE INDEX за 2016 г. по тематике "Транспорт" — 30; по тематике "Машиностроение" — 58.

Информация на сайте "Autotransportnik.ru"

Truck

10
2018

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND INDUSTRIAL MAGAZINE

Founder JSC Scientific and Technical Publishing House "Innovative Engineering"
Editor-in-Chief S.N. PEDENKO

Editorial council

D.Kh. Valeev, dr.en.s.
V.A. Volchkov
S.M. Gaydar, dr.en.s., prof,
L.V. Grekhov, dr.en.s., prof.
V.A. Zorin, dr.en.s.
V.V. Komarov, PhD in en.s.
V.A. Markov, dr.en.s., prof.
A.N. Rementsov, dr.Hab, PhD in en.s.
O.N. Rumyantseva, General Director, JSC "Publisher "Innovative Engineering"
A.F. Sinel'nikov, PhD in en.s., prof.
A.A. Solntsev, dr.en.s.
V.S. Ustimenko, PhD in en.s.
Kh.A. Faskhiev, dr.en.s., prof.
N.D. Chaynov, dr.en.s., prof.

Correspondent's office:
Ya.E. Karpovsky (Minsk)

Address of the editorial office:
107076, Moscow, Kolodezny Lane, house 2-a, str. 12
Ph. (499) 269-48-96
E-mail: gruzovik@mashin.ru; snp748@yandex.ru
http://www.mashin.ru

Address of publishing house
107076, Kolodezny Lane, house 2-a, str. 2
Ph. (495) 661-03-36

The magazine is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Communications (Roskomnadzor).
Registration number PI number FS77.-63955 on December 9, 2015

Subscription index:
according to the integrated catalog "Press of Russia" 39799

JSC Innovatsionnoye mashinostroyeniye Publishing House, "Truck", 2018

The reprint of materials from the "Truck" magazine is possible at obligatory written coordination with editorial office of the magazine. At the link to the "Truck" magazine is obligatory for a reprint of materials.

For contents of advertizing materials responsibility is born by the advertiser.

CONTENTS:

Design

3 *Chernyshov K. V., Ryabov I. M., Pozdeev A. V., Pylinskaya T. V.* Analysis of the principles of regulating the damping "skayhuk" and "graundhuk" in the suspension of the vehicle

7 *Analysts* looked into the future

Energy engineering

8 *Myagkov L. L., Sivachev V. M.* Modeling of subcooled boiling heat transfer in internal combustion engine water jacket. Part 2

14 *Emmil M. V.* Structure is highly turbulent swirling flow in a model combustion chamber of gas turbine engine

18 *To the* transition to ethanol ready

Research. Calculation

19 *Kozlovskiy V. N., Pianoff M. A., Kleimenov S. I., Shakurskiy M. V.* The industrial complex of diagnostics of working capacity of system of an electric equipment of cars

23 *Fadeev I. V.* The impact of pollution on the durability of the diesel engine

Transportation complex

30 *Kudryashov M. A., Ayriev R. S.* Consumer appraisal of the quality of "aeroexpress" services in moscow aviation hub

34 *Makeev V. N., Pleshkov D. D., Neranov R. G.* Determination of the optimal level of inertia and reliability coefficient of the transport and cargo process of timber enterprise

Profession

38 *Savelyev A. V., Rybin N. N.* Microelement method application for the assessment of working places organization

Security

42 *Zorin V. A., Pegachkov A. A.* Assessment of risks by results of diagnosing of cars

46 ***Press tour***

The journal is included in the list approved by the WAC RF publishers for publications of papers candidates degrees http://perechen.vak2.ed.gov.ru/
System of Russian Science Citation Index www.elibrary.ru.
The system of the Russian index of scientific quoting www.elibrary.ru.
The two-year impact factor INDEX 2016 — 0.296.Place in the rating of SCIENCE INDEX for 2016 on the subject "Transport" — 30; on the subject "Mechanical Engineering" — 58.
http://elibrary.ru/title_about.asp?id=9777
Information on the site "Autotransportnik.ru"

УДК 629.113

К. В. Чернышов, канд. техн. наук, доцент**, И. М. Рябов,** д-р техн. наук, профессор,
А. В. Поздеев, канд. техн. наук, доцент, **Т. В. Пылинская,** Волгоградский государственный технический университет
E-mail: chernykv@rambler.ru

АНАЛИЗ ПРИНЦИПОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЕМПФИРОВАНИЯ "СКАЙХУК" И "ГРАУНДХУК" В ПОДВЕСКЕ АВТОМОБИЛЯ

Статья посвящена анализу принципов регулирования демпфирования "skyhook" и "groundhook" в подвеске автомобиля. Основы теории регулирования демпфированием амортизатора заложены советским исследователем Р. И. Фурунжиевым, американскими учеными Д. Карноппом (D. C. Karnopp), М. Кросби (M. J. Crosby) и Р. Харвудом (R. A. Harwood) и позже, чешским ученым М. Валашеком (M. Valášek). Предложенные ими методы регулирования демпфирования получили названия "skyhook", "semi-active" и "groundhook". В статье проведено исследование математических моделей указанных принципов регулирования демпфирования, рассмотрены пути развития и перспективы использования этих принципов. В результате проведенного литературного обзора и анализа принципов регулирования демпфирования "skyhook" и "groundhook" выявлены их существенные недостатки.

Ключевые слова: *подвеска автомобиля, амортизатор, регулирование демпфирования, принцип регулирования "skyhook", принцип регулирования "semi-active", принцип регулирования "groundhook".*

The article is devoted to analysis of principles of regulated damping "skyhook" and "groundhook" in the suspension of the car. Fundamentals of the theory of regulation of the damping of the shock absorber founded by Soviet researcher R. I. Furunzhiev, American scientists D. C. Karnopp, M. J. Crosby and R. A. Harwood and, later, the Czech scientist M. Valášek. The proposed control methods of damping are called "skyhook", "semi-active" and "groundhook". The article deals with the study of mathematical models of these principles of adjustment discussed development and prospects of using these principles. As a result of the literature review and analysis of the principles of regulated damping "skyhook" and "groundhook" revealed their significant drawbacks.

Keywords: *car suspension shock absorber, damping regulation, the principle of regulation "skyhook" principle of regulation "semi-active" control principle "groundhook".*

(Рисунки на 2—4-й полосах обложки)

Проблеме регулирования демпфирования в виброзащитной системе посвящены работы многих ученых [1—20]. В 1965 г. Р. И. Фурунжиев [1], используя принцип максимума Л. С. Понтрягина, показал на примере двухмассовой модели автомобиля, что оптимальным регулированием демпфирования является мгновенное отключение его на тех участках цикла колебаний, когда направления движения подрессоренной и неподрессоренной масс совпадают, и при этом абсолютная скорость неподрессоренной массы больше абсолютной скорости подрессоренной массы в вертикальном направлении, с последующим мгновенным включением при изменении этих условий на противоположные. Математически этот алгоритм для двухмассовой системы (рис. 1) можно записать следующим образом:

$$\begin{cases} m_1\ddot{z}_1 + uk\left(\dot{z}_1 - \dot{z}_2\right) + c_1\left(z_1 - z_2\right) = 0; \\ m_2\ddot{z}_2 + c_2\left(z_2 - q\right) - uk\left(\dot{z}_1 - \dot{z}_2\right) - c_1\left(z_1 - z_2\right) = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где u — управляющий параметр:

$$u = \begin{cases} 1 \text{ при } \left(\dot{z}_1 - \dot{z}_2\right)\dot{z}_1 > 0; \\ 0 \text{ при } \left(\dot{z}_1 - \dot{z}_2\right)\dot{z}_1 < 0. \end{cases} \quad (2)$$

Р. И. Фурунжиев отметил также, что упругодемпфирующая характеристика подвески при таком регулировании (зависимость усилия на подвеске от ее деформации) имеет форму "бабочки".

В европейской и американской литературе первые упоминания о возможности регулирования демпфирования в цикле колебаний относятся к первой половине 70-х годов XX столетия. Алгоритм регулирования, аналогичный алгоритму

Р. И. Фурунжиева, был предложен в качестве альтернативы дорогостоящим, весьма сложными и энергозатратным активным подвескам американскими учеными Д. Карноппом (D. C. Karnopp) и М. Кросби (M. J. Crosby) в работах "The Active Damper — a New Concept for Shock and Vibration Control" (1973 г.) [2] и "Vibration Control Using Semi-Active Force Generations" (написана в соавторстве с Р. Харвудом в 1974 г.) [3]. Подвески с таким принципом регулирования демпфирования получили название полуактивных (semi-active suspensions).

Д. Карноппом была предложена также и другая концепция — плавного изменения демпфирования с целью приближения действия штатного амортизатора к действию мнимого амортизатора, расположенного между подрессоренной массой и некоторой неподвижной в вертикальном направлении точкой (концепция "skyhook"). Схемы одномассовой и двухмассовой систем с мнимыми амортизаторами, действующими по принципу "skyhook", представлены на рис. 2.

Исследуем указанные принципы регулирования демпфирования, рассмотрим пути их развития и перспективы использования.

Принцип регулирования "skyhook" можно описать, используя управляющий параметр *u*, следующим образом для одномассовой системы:

$$m\ddot{z} + uk\left(\dot{z} - \dot{q}\right) + c\left(z - q\right) = 0, \qquad (3)$$

где

$$u = \frac{\dot{z}}{\dot{z} - \dot{q}}, \qquad (4)$$

или для двухмассовой системы:

$$\left.\begin{aligned} & m_1\ddot{z}_1 + uk\left(\dot{z}_1 - \dot{z}_2\right) + c_1\left(z_1 - z_2\right) = 0; \\ & m_2\ddot{z}_2 + c_2\left(z_2 - q\right) - uk\left(\dot{z}_1 - \dot{z}_2\right) - \\ & - c_1\left(z_1 - z_2\right) = 0 \end{aligned}\right\}, \qquad (5)$$

где

$$u = \frac{\dot{z}_1}{\dot{z}_1 - \dot{z}_2}. \qquad (6)$$

Следует отметить, что уравнения (5) с управляющим параметром (6) относятся не к схеме, показанной на рис. 2, *б*, а к реализации концепции "skyhook" в подвеске автомобиля, то есть к схеме, показанной на рис. 1, что вносит соответствующие коррективы в эту концепцию. В частности, мнимый амортизатор не оказывает непосредственного воздействия на неподрессоренную массу (рис. 2, *б*), а в реальном амортизаторе этого воздействия избежать невозможно.

Параметр *k* назовем базовым коэффициентом демпфирования. Тогда произведение *uk* можно назвать действующим коэффициентом демпфирования. Изменение управляющего параметра *u* в этих уравнениях определяет закон изменения действующего коэффициента демпфирования. На рис. 3 показаны осциллограммы колебаний одномассовой колебательной системы с регулированием "skyhook" с базовыми уровнями демпфирования $\psi = \frac{k}{2\sqrt{cm}}$: 0,25 и 1. Очевидно, что, увеличивая базовый коэффициент демпфирования *k*, можно достичь теоретически сколь угодно малых перемещений подрессоренной массы. Очевидно, однако, и то, что такой принцип регулирования требует отрицательных значений действующего коэффициента демпфирования, когда знаки числителя и знаменателя в выражениях (4) и (6) не совпадают, что невозможно осуществить без подвода энергии к подвеске. Поэтому в позднейшей литературе [4] алгоритм регулирования "skyhook" представляют в другом виде:

— для одномассовой колебательной системы:

$$u = \begin{cases} \dfrac{\dot{z}}{\dot{z} - \dot{q}} & \text{при} \quad \left(\dot{z} - \dot{q}\right)\dot{z} > 0; \\ 0 & \text{при} \quad \left(\dot{z} - \dot{q}\right)\dot{z} < 0, \end{cases} \qquad (7)$$

— для двухмассовой колебательной системы:

$$u = \begin{cases} \dfrac{\dot{z}_1}{\dot{z}_1 - \dot{z}_2} & \text{при} \quad \left(\dot{z}_1 - \dot{z}_2\right)\dot{z}_1 > 0; \\ 0 & \text{при} \quad \left(\dot{z}_1 - \dot{z}_2\right)\dot{z}_1 < 0. \end{cases} \qquad (8)$$

Осциллограмма колебаний одномассовой системы в резонансе при $\psi = 1$ с регулированием демпфирования по алгоритму (7) приведена на рис. 4.

Но и алгоритмы (7) и (8) имеет свои недостатки. Первым недостатком является сложность обеспечения закона изменения демпфирования $\frac{\dot{z}}{\dot{z} - \dot{q}}$ или $\frac{\dot{z}_1}{\dot{z}_1 - \dot{z}_2}$, которую в англоязычной литературе связывают со сложностью определения вертикальной скорости подрессоренной массы. Этот недостаток пытаются устранить введением постоянного значения действующего коэффициента демпфирования, переходя тем самым к алгоритму "semi-active control suspension":

— для одномассовой колебательной системы:

$$u = \begin{cases} 1 & \text{при} \quad \left(\dot{z} - \dot{q}\right)\dot{z} > 0; \\ 0 & \text{при} \quad \left(\dot{z} - \dot{q}\right)\dot{z} < 0, \end{cases} \qquad (9)$$

— для двухмассовой колебательной системы:

$$u = \begin{cases} 1 & \text{при} \quad (\dot{z}_1 - \dot{z}_2)\dot{z}_1 > 0; \\ 0 & \text{при} \quad (\dot{z}_1 - \dot{z}_2)\dot{z}_1 < 0. \end{cases} \tag{10}$$

Значение базового параметра k выбирают постоянным для данного автомобиля или делают ступенчато переменным в зависимости от дорожных условий и режима движения.

Второй недостаток заключается в дискомфорте, ощущаемом пассажирами при испытаниях подвесок с алгоритмами регулирования "skyhook" и "semi-active", и значительном шуме при включении-отключении демпфирования [5].

Третий недостаток заключается в том, что неподрессоренная масса в двухмассовой колебательной системе при регулировании по алгоритмам "skyhook" остается практически без демпфирования, и при достижении собственной частоты неподрессоренной массы ее колебания на математической модели бесконечно возрастают (рис. 5), что на практике будет соответствовать отрывам колес от дороги и потере автомобилем устойчивости и управляемости.

С целью решения проблемы устойчивости и управляемости автомобиля в 1998 году чешским ученым М. Валашеком (M. Valášek) [6] была предложена концепция "groundhook" (рис. 6).

Концепция "groundhook" предполагает плавное изменение демпфирования с целью приближения действия штатного амортизатора к действию мнимого амортизатора, связывающего неподрессоренную массу с поверхностью дороги. Основной задачей такого регулирования является уменьшение деформаций шин и колебаний колес.

Принцип регулирования "groundhook" в подвеске автомобиля можно описать следующим образом:

$$\begin{cases} m_1\ddot{z}_1 + uk(\dot{z}_1 - \dot{z}_2) + c_1(z_1 - z_2) = 0; \\ m_2\ddot{z}_2 + c_2(z_2 - q) - uk(\dot{z}_1 - \dot{z}_2) - c_1(z_1 - z_2) = 0, \end{cases} \tag{11}$$

где

$$u = -\frac{\dot{z}_2 - \dot{q}}{\dot{z}_1 - \dot{z}_2}. \tag{12}$$

Данный закон регулирования "groundhook", так же как закон регулирования (6) "skyhook", относится к схеме подвески, показанной на рис. 1.

При внешней привлекательности амплитудно-частотных характеристик такой системы (рис. 7), являющихся результатом частных решений уравнений (11), закон регулирования (12) не работоспособен, поскольку проверка системы на устойчивость при этом законе регулирования дает отрицательный результат.

Единое однородное уравнение, к которому приводится система (11), выглядит следующим образом:

$$z^{(4)} + \mu 2hz''' + \left(\omega_{01}^2 + \mu\omega_{01}^2 + \omega_{02}^2\right)z'' + \omega_{01}^2\omega_{02}^2 z = 0. \tag{13}$$

Составим матрицу Гурвица:

$$H = \begin{pmatrix} \mu 2h & 0 & 0 & 0 \\ 1 & \omega_{01}^2 + \mu\omega_{01}^2 + \omega_{02}^2 & \omega_{01}^2\omega_{02}^2 & 0 \\ 0 & \mu 2h & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \omega_{01}^2 + \mu\omega_{01}^2 + \omega_{02}^2 & \omega_{01}^2\omega_{02}^2 \end{pmatrix}. \tag{14}$$

Найдем главные миноры этой матрицы:

$$\Delta_1 = \mu 2h > 0,$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} \mu 2h & 0 \\ 1 & \omega_{01}^2 + \mu\omega_{01}^2 + \omega_{02}^2 \end{vmatrix} = \mu 2h\left(\omega_{01}^2 + \mu\omega_{01}^2 + \omega_{02}^2\right) > 0,$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} \mu 2h & 0 & 0 \\ 1 & \omega_{01}^2 + \mu\omega_{01}^2 + \omega_{02}^2 & \omega_{01}^2\omega_{02}^2 \\ 0 & \mu 2h & 0 \end{vmatrix} = -\mu^2 4h^2\omega_{01}^2\omega_{02}^2 < 0,$$

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} \mu 2h & 0 & 0 & 0 \\ 1 & \omega_{01}^2 + \mu\omega_{01}^2 + \omega_{02}^2 & \omega_{01}^2\omega_{02}^2 & 0 \\ 0 & \mu 2h & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \omega_{01}^2 + \mu\omega_{01}^2 + \omega_{02}^2 & \omega_{01}^2\omega_{02}^2 \end{vmatrix} = -\mu^2 4h^2\omega_{01}^4\omega_{02}^4 < 0.$$

Поскольку существуют миноры, меньшие нуля, система является неустойчивой. Поэтому амплитудно-частотные характеристики (рис. 7) не могут быть реализованы и являются воображаемыми.

Таким образом, закон регулирования "groundhook" как идеальный закон, к которому необходимо стремиться для удержания колес у дороги, не является перспективным.

Конечно, регулирование "groundhook" по закону (12), так же как идеальное регулирование "skyhook", требует отрицательных значений действующего коэффициента демпфирования, когда знаки числителя и знаменателя в выражении (12) совпадают. Вследствие невозможности выполнения этих условий алгоритм регулирования "groundhook" часто представляют в виде:

$$u = \begin{cases} \dfrac{\dot{z}_2 - \dot{q}}{\dot{z}_1 - \dot{z}_2} & \text{при} \quad (\dot{z}_1 - \dot{z}_2)\dot{z}_1 < 0; \\ 0 & \text{при} \quad (\dot{z}_1 - \dot{z}_2)\dot{z}_1 > 0. \end{cases} \qquad (15)$$

Однако такой алгоритм не решает проблему потери устойчивости системы.

Таким образом, в результате проведенного анализа принципов регулирования демпфирования "skyhook" и "groundhook" выявлены их существенные недостатки:

1) невозможность практической реализации законов регулирования демпфирования "skyhook" (4) в одномассовой колебательной системе и (6) в двухмассовой колебательной системе на протяжении всего цикла колебаний вследствие невозможности обеспечения отрицательных значений этих отношений без подвода энергии к подвеске;

2) невозможность практической реализации законов регулирования демпфирования "skyhook" (7) в одномассовой колебательной системе и (8) в двухмассовой колебательной системе вследствие их сложности;

3) дискомфорт, ощущаемый пассажирами при испытаниях подвесок с алгоритмами регулирования "skyhook" и "semi-active" и значительном шуме при включении-отключении демпфирования;

4) бесконечный рост амплитуд колебаний неподрессоренной массы в двухмассовой колебательной системе на математической модели при регулировании по алгоритмам "skyhook", что на практике будет соответствовать отрывам колес от дороги и потере автомобилем устойчивости и управляемости;

5) бесперспективность закона регулирования "groundhook", поскольку при этом законе регулирования колебательная система является неустойчивой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Фурунжиев Р. И.** Исследование некоторых вопросов демпфирования колебаний автомобиля: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Минск, 1965. — 17 с.
2. **Crosby M. J., Karnopp D. C.** The Active Damper — a New Concept for Shock and Vibration Control // 43rd Shock and Vibration Bulletin, Part H, June, 1973. — P. 46—73.
3. **Karnopp D. C., Crosby M. J., Harwood R. A.** Vibration control using semi-active force generators // Transactions of the ASME. Journal of Engineering for Industry. — 1974. — Vol. 96. — P. 619—626.
4. **Semi-active** Suspension Control: Improved Vehicle Ride and Road Friendliness / E. Guglielmino, T. Sireteanu, Ch. W. Stammers, Gh. Ghita, M. Giuclea. — Springer-Verlag London Limited, 2008. — 308 p.
5. **Hyvärinen J-P.** The improvement of full vehicle semi-active suspension through kinematical model. — Oulun Yliopisto, Oulu, 2004. — 157 p.
6. **Extended ground-hook** — new concept of semi-active control of truck's suspension / M. Valášek et al. // Vehicle system dynamics. — 1997. — Vol. 27, No. 5—6. — P. 289—303.
7. **КПД** амортизатора транспортного средства при резонансе / И. М. Рябов, В. В. Новиков, К. В. Чернышов, А. В. Васильев // Эффективность эксплуатации транспорта: Межвузовский научный сборник. — Саратов: Саратовский государственный технический университет, 1995. — С. 81—86.
8. **Исследование** циклового способа регулирования неупругого сопротивления подвески АТС / И. М. Рябов, В. В. Новиков, К. В. Чернышов, А. В. Васильев // Эксплуатация современного транспорта: Межвуз. науч. сб. — Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т и др., 1997. — С. 96—102.
9. **Новый способ** гашения колебаний / И. М. Рябов, В. В. Новиков, К. В. Чернышов, А. В. Васильев, О. В. Осинцев // Труды Союза инженеров-механиков и др. — София, 1998. — Ч. 3. — С. 153—156.
10. **Распределение** энергии в цикле колебаний подвески АТС / И. М. Рябов, В. В. Новиков, К. В. Чернышов, А. В. Васильев, О. В. Осинцев // Справочник. Инженерный журнал. — 1998. — № 4. — С. 31—33.
11. **Математическая модель** демпфера с маятниковым управлением / В. В. Новиков, К. В. Чернышов, А. В. Васильев, И. М. Рябов // Наземные транспортные системы: Межвузовский сборник научных трудов. — Волгоград: ВолгГТУ, 1999. — С. 106—111.
12. **Пат. 2142585 РФ**, МПК 6 F 16 F 7/10, B 60 G 13/18 Амортизатор / И. М. Рябов, В. В. Новиков; ВолгГТУ, 1999.
13. **Чернышов К. В.** Результаты решения математической модели колебательной системы, содержащей демпфер с оптимальным управлением, методом поэтапного интегрирования // Наземные транспортные системы: Межвуз. сб. науч. тр. — Волгоград: ВолгГТУ, 2000. — С. 51—54.
14. **Новиков В. В., Рябов И. М.** Оценка виброзащитных свойств подвески АТС // Справочник. Инженерный журнал. — 2004. — № 12. — С. 61—64.
15. **Чернышов К. В., Новиков В. В., Рябов И. М.** Оптимальное управление демпфированием подвески на основе принципа максимума // Тракторы и с.-х. машины. — 2006. — № 2. — С. 13—15.
16. **Новиков В. В., Рябов И. М., Чернышов К. В.** Виброзащитные свойства подвесок автотранспортных средств: монография. — Волгоград: ВолгГТУ, 2009. — 338 с.
17. **Динамика движения.** Ч. 2. Характеристики и виброзащитные свойства пневмогидравлических рессор: учеб. пособ. (гриф). Доп. УМО вузов по университетскому политехническому образованию / В. В. Новиков, И. М. Рябов, В. И. Колмаков, К. В. Чернышов. — Волгоград: ВолгГТУ, 2009. — 127 с.
18. **Синтез алгоритмов** оптимального управления демпфированием и жесткостью подвески АТС / А. В. Поздеев, В. В. Новиков, К. В. Чернышов, И. М. Рябов // Грузовик. — 2011. — № 6. — С. 2—6.
19. **Регулируемые** пневматические и пневмогидравлические рессоры подвесок автотранспортных средств: Монография / А. В. Поздеев, В. В. Новиков, А. С. Дьяков, А. В. Похлебин, И. М. Рябов, К. В. Чернышов. — Волгоград: ВолгГТУ, 2013. — 244 с.
20. **Чернышов К. В., Хрипков М. Ю.** Обзор основных алгоритмов регулирования демпфирования в подвеске автомобиля // Символ науки. — 2016. — № 4. Ч. 3. — С. 140—144.

АНАЛИТИКИ ЗАГЛЯНУЛИ В БУДУЩЕЕ

Российские эксперты предсказали перспективы развития автомобильной промышленности до 2025 г. и назвали несколько сценариев развития этой отрасли.

Точные прогнозы по рынку электрического транспорта представила Ассоциация Участников Закупок, использовавшая в качестве основных показателей закрытый аналитический отчет агентства Megaresearch (Ассоциация Участников Закупок (АУЗ) — некоммерческое объединение юридических лиц, осуществляющих общественный контроль за соблюдением законодательства об электронных закупках: 44-ФЗ и 223-ФЗ).

Агентство изучило перспективный рынок электроавтомобилей на ближайшие 7 лет и предсказало наиболее вероятный сценарий, по которому он будет развиваться.

Согласно отчету сегодня электрические автомобили выпускаются во многих странах мира. По объемам производства первое место занимает Китай, выпустивший еще пару лет назад более 135 000 экологичных микроавтобусов. Второе место — у Норвегии, третье — у Швеции (с долей производства электромобилей в размере 8,5 %). А четвертое и пятое занимают Исландия и Америка.

Самым большим потребителем легковых электроавтомобилей, по сведениям АУЗ, является Норвегия: количество таких машин там уже превышает 80 000 шт. Для сравнения, в России аналогичный показатель в несколько раз меньше: за год количество новых приобретаемых автомобилей не превышает нескольких сотен единиц. В общем объеме покупок лидирует Москва и Московская область (в среднем на уровне 37 % в общем объеме), Приморский край (15 %), Самарская область (6 %), Хабаровский край, Санкт-Петербург, Краснодарский край, Ставропольский край. А вот что касается других видов электротранспорта в России, то здесь ситуация чуть лучше: электробагги, вездеходы, квадроциклы и скутеры ежегодно поставляются в количестве более 600 шт.

Несмотря на это, ситуация с экологически чистой техникой в России пока не самая радужная. Как отметили аналитики Megaresearch, при самом благоприятном сценарии развития наша страна все-равно будет отставать от мировых темпов роста электротранспорта на 5 лет. Только к 2020 г. доля электромобилей на отечественном рынке может достичь 1,5 %, что составит примерно 25 000 ед.

Но даже при самом благоприятном сценарии электромобили останутся недоступными для всех желающих. Прежде всего, по причине высоких цен на комплектующие. Поэтому основная часть электромобилей будет представлена в премиальном сегменте. Только к 2025 г. следует ожидать появления электромобилей в среднем ценовом сегменте и то при условии падения цен на комплектующие и сохранение относительной стабильности курсов валют в нашей стране. В противном случае будет реализован пессимистичный сценарий, при котором отставание России от мировых тенденций составит уже 7 лет.

Чтобы сохранять лидерство в этой отрасли, различные страны используют дополнительные методы стимулирования. Например, в той же Норвегии владельцам электрического транспорта предоставляют право бесплатного проезда по платным дорогам, организуют бесплатные стоянки в городской черте, снимают обязательства по оплате различных налогов, которыми облагаются владельцы машин со стандартными двигателями внутреннего сгорания. Как заявляют сами автовладельцы, в масштабе года это позволяет экономить существенные средства.

Но в отличие иностранцев, в нашей стране пока действует ряд сдерживающих факторов, затрудняющих масштабное использование электромобилей. На первом месте по значимости — стоимость аккумуляторных батарей. Этот фактор обошел по важности даже отсутствие необходимой инфраструктуры для обслуживания и зарядки машин (что является второй причиной, ведь в России менее 200 зарядных станций, которые принадлежат менее чем 10 компаниям). А вот третьей и четвертой причинами стало обеспечение безопасной эксплуатации электротранспорта и внедрение благоприятной политики на государственном уровне. Как прогнозируют аналитики Megaresearch, только при эффективной работе по этим направлениям следует ожидать существенного увеличения интереса граждан к нестандартному транспорту.

Эксперты отмечают, что существует целый набор и других эффективных методов, которые позволят нарастить количество электромобилей в нашей стране. По мнению специалистов, существует необходимость во внедрении мер поддержки, направленных на сокращение стоимости владения транспортом и повышение удобства пользования электромобилями. Также способствует росту введение нулевых пошлин на импортную продукцию, развитие налоговых льгот на транспорт, внедрение льгот по акцизам при покупке машин, внедрение экологического налога на выбросы CO_2. Существуют и мене масштабные меры: развитие сети бесплатных зарядок на общественных станциях, создание бесплатных стоянок, введение скидок на приобретение полиса страхования автогражданской ответственности, бесплатный проезд по всем видам дорог, доступ на полосы движения общественного транспорта.

Все это в совокупности поможет нашейё стране оперативно освоить новый вид автотранспорта. Переоценить значимость которого достаточно сложно. Электромобили способствуют укреплению технологической безопасности государства в период колебаний цен на топливные ресурсы, закладывают фундамент на период истощения топливных ресурсов и способствуют улучшению экологической обстановки во всем мире.

Пресс-служба Ассоциации Участников Закупок

УДК 621.436

Л. Л. Мягков, канд. техн. наук, доцент, e-mail: mll-08@mail.ru,
В. М. Сивачев, аспирант, e-mail: vladsivachev@yandex.ru, Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ С НЕДОГРЕВОМ В ПОЛОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ. ЧАСТЬ 2

Приведен обзор подходов к моделированию двухфазных потоков охлаждающей жидкости и математических моделей для описания теплового потока на стенке в режиме кипения с недогревом. Проведена верификация предлагаемой модели для теплового потока на основании опубликованных экспериментальных данных. Сделан вывод о возможности использования данной модели для расчета параметров теплообмена на охлаждаемых поверхностях двигателя.

Ключевые слова: *дизельный двигатель, система охлаждения, крышка цилиндров, кипение с недогревом.*

The review of different approaches of two-phase cooling flow simulation and mathematical models of wall heat flux in terms of subcooled boiling is presented. The verification of the proposed model has been performed on the basis of the published experimental data. It is suggested that boiling model can be used for determination of the thermal state of cylinder liner and head.

Keywords: *diesel engine, cooling system, cylinder head, subcooled boiling.*

Модель кипения, основанная на линейной суперпозиции, также была предложена Дж. Ченом [17] для кипения насыщенного потока воды. Однако в дальнейшем была переформулирована для кипения с недогревом:

$$q_W = F\alpha_{\text{конв}}\left(T_W - T_\infty\right) + S\alpha_{\text{кип}}\left(T_W = T_{SAT}\right). \quad (2)$$

Расчет конвективного теплового потока Чен предложил вести на основе известной зависимости Диттуса-Болтера:

$$\alpha_{\text{конв}} = 0,023\,\mathrm{Re}_l^{0,8}\,\mathrm{Pr}_l^{0,4}\,\frac{\lambda_l}{D_h}, \quad (3)$$

где λ — коэффициент теплопроводности; Re, Pr — критерии подобия Рейнольдса и Прандтля, D_h — гидравлический диаметр канала.

В свою очередь, интенсивность теплообмена вследствие кипения жидкости определялась Ченом по формуле, полученной Х. Форстером и Н. Зубером для кипения в большом объеме [18]:

$$\alpha_{\text{кип}} = 0,00122\frac{\lambda_l^{0,79}c_{p,l}^{0,45}\rho_l^{0,49}}{\sigma^{0,5}\mu_l^{0,29}L^{0,24}\rho_g^{0,24}}\times \times\Delta T_{SAT}^{0,24}\left[p_{SAT}\left(T_W\right) - p_{SAT}\left(T_{SAT}\right)\right]^{0,75}. \quad (4)$$

Для расчета давления насыщения использовалась следующая зависимость [19]:

$$p_{SAT}\left(T_W\right) = 133,32e^E,$$

где $E = 18,3036 - \dfrac{3816,44}{R_W - 46,13}$.

Чен усовершенствовал модель своих предшественников путем учета в явном виде взаимодействия между жидкой и паровой фазами. Он выделил два конкурирующих влияния на полный тепловой поток.

1. Усиленный конвективный перенос вследствие отрыва пузырей (коэффициент F в уравнении (2)). Поскольку при кипении с недогревом массовая доля паровой фазы обычно мала, в расчетах принимается $F \approx 1$ [20].

2. Подавление пузырькового кипения вследствие движения жидкости (коэффициент S в уравнении (2)). Эффект подавления связан с меньшим эффективным перегревом стенки в потоке жидкости по сравнению с кипением в большом объеме благодаря более тонкому тепловому пограничному слою, в котором растут пузырьки. Кроме того, вследствие движения жидкости уменьшается

время контакта пузырьков со стенкой. Чен получил графическую зависимость S от Re_l и F, для которой впоследствии Дж. Кольиер предложил нижеприведенную аппроксимацию:

$$S = \frac{1}{1 + 0{,}12\left(\mathrm{Re}_l \cdot 10^{-4}\right)^{1{,}14}}. \qquad (5)$$

Введение коэффициента S исключает определение точки перехода от ЧРК к ПРК, которая зависит от большого числа эмпирических параметров. С другой стороны, в модели Чена коэффициент S зависит только от среднерасходного числа Рейнольдса Re_l, что приводит к двум недостаткам: во-первых, не учитывается локальное поле скорости жидкости вблизи стенки, а во-вторых, в геометрически сложной CFD-области полости охлаждения трудно определить среднерасходное число Re_l. Чтобы преодолеть указанные недостатки, А. Кобор [20] разработал так называемую BDL(Boiling Departure Lift-off)-модель, которая моделирует эффект подавления на основе локальной динамики пузырьков. В связи с этим, BDL-модель использует предложенный Л. Цзэном [21] метод расчета радиуса пузырька в момент отрыва от центра парообразования ($R = R_W$) и в момент начала его подъема относительно стенки ($R = R_L$). Радиус R_W и угол наклона пузырька θ, возникающего под действием гидродинамических сил, определяются решением уравнений баланса сил в момент отрыва. В свою очередь, R_L находится путем решения аналогичных уравнений равновесия при допущении, что в момент подъема скорости пузырька и жидкости равны. В результате коэффициент S находится как:

$$S = S_{FLOW} = \frac{R_W}{R_L}.$$

Дальнейшее совершенствование BDL-модель получила в работе Х. Штейнера [20], который предложил ввести дополнительный множитель S_{SUB}, учитывающий эффект недогрева жидкости. Расчет S_{SUB} основан на так называемой экстраполированной толщине перегретого слоя δ_{th} (рис. 1). В результате недогрева значительная часть δ_{th} находится при температуре ниже, чем T_{SAT}. Растущий пузырек не может выдаваться в недогретый слой, так как конденсация происходит на верхушке пузырька, как только он достигает зоны с $T < T_{SAT}$. Это приводит к рассмотрению эффективной толщины δ_{th}^e:

$$\delta_{th} = \frac{T_W - T_\infty}{\left.\dfrac{dT}{dy}\right|_W}, \quad \delta_{th}^e = \frac{T_W - T_{SAT}}{\left.\dfrac{dT}{dy}\right|_W},$$

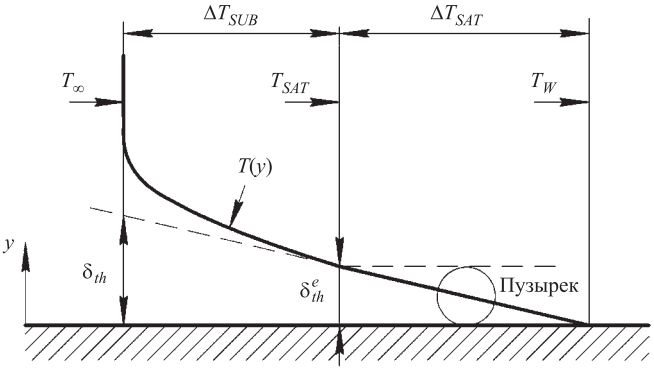


Рис. 1. Перегретый тепловой пограничный слой в потоке недогретой жидкости

где $\left.\dfrac{dT}{dy}\right|_W$ — производная температуры в пограничном слое в точке $y = 0$.

Исходя из вышесказанного, коэффициент S_{SUB} является отношением величин δ_{th}^e и δ_{th}, представляющим собой меру недогрева. Таким образом, согласно Х. Штейнеру:

$$S = S_{FLOW} S_{SUB} = \frac{R_W}{R_L} \frac{T_W - T_{SAT}}{T_W - T_\infty}.$$

На базе аддитивного подхода Чена выполнено подавляющее большинство работ по моделированию процесса кипения с недогревом в полостях охлаждения ДВС [4, 5, 13, 14 и др.]. Вместе с тем модель Чена была подвергнута сомнениям в работах З. Лиу и Р. Винтертона [22], а также С. С. Кутателадзе [23]. Их эксперименты показали, что рассчитанный коэффициент теплоотдачи α_W значительно превышен в области высокого паросодержания и занижен в области низкого паросодержания. Поскольку в области высокого паросодержания даже при относительно небольшом массовом расходе фактические скорости фаз могут быть высокими, механизм пузырькового кипения должен быть подавлен в большей степени, чем предсказано по соотношению Чена. В этой связи С. С. Кутателадзе предложил следующее уравнение для коэффициента теплоотдачи при кипении:

$$\alpha_W = \sqrt{\alpha_{\text{конв}}^2 + \alpha_{\text{кип}}^2}.$$

В свою очередь, З. Лиу и Р. Винтертон скомбинировали подходы С. С. Кутателадзе и Дж. Чена, получив:

$$q_W = \sqrt{\left(F q_{\text{конв}}\right)^2 + \left(S q_{\text{кип}}\right)^2}.$$

Помимо вышеописанной модели Чена, также известна модель Д. А. Лабунцова [24], которая применялась для расчета теплообмена в крышках цилиндра в режиме ЧРК:

$$\alpha_W = \alpha_{\text{конв}} \frac{4\alpha_{\text{конв}} + \alpha_{\text{кип}}}{5\alpha_{\text{конв}} - \alpha_{\text{кип}}}.$$

Приведенные выше модели кипения с недогревом ограничиваются предсказанием величины полного теплового потока на стенке и не включают в себя моделирование каких-либо подробных механизмов теплообмена. По этой причине эти модели не дают информации о разделении теплового потока на стенке между жидкой и паровой фазами. Однако знание только q_W порой недостаточно, так как теплогидравлические характеристики двухфазного потока непосредственно связаны с объемной долей паровой фазы, которая, в свою очередь, зависит от того, как разделяется q_W между фазами [16]. Одна из наиболее известных моделей для расчета и разделения теплового потока была получена Н. Курулом и М. Подовски [25]. Они разработали механистическую модель, в которой q_W представляет собой сумму трех компонентов: теплового потока однофазной конвекции $q_{\text{конв}}$, нестационарной теплопроводности $q_{\text{нт}}$ и испарения $q_{\text{исп}}$:

$$q_{\text{конв}} = A_{fc}\rho_l c_{p,l} u_l St_l \left(T_W - T_\infty\right),$$

$$q_{\text{нт}} = t_{\text{нт}} f \frac{2\lambda_l \left(T_W - T_\infty\right)}{\sqrt{\pi a_l t_q}}, \quad q_{\text{исп}} = \rho_g L V_L f N_a,$$

где A_{fc} — доля поверхности нагрева, неподверженная влиянию пузырьков; St_l — число Стэнтона; $t_{\text{нт}}$ — время нестационарной теплопроводности; f — частота отрывов пузырьков; a — коэффициент температуропроводности; V_L — объем пузыря при подъеме; N_a — число активных центров парообразования.

Описанная модель была создана для исследования кипения в ядерной промышленности [16], где используется более высокое давление и, следовательно, объемное расширение пузырьков пара относительно невелико по сравнению с СО ДВС. В связи с этим модель Курула и Подовски считается ненадежной и численно неустойчивой в случае низких давлений [5, 31]. Также недостатком модели является тот факт, что для ее применения требуется знание внутренних характеристик кипения: отрывного диаметра пузырька, частоты отрывов, числа центров парообразования, времени ожидания нового пузырька. Рядом авторов [12, 28, 29] отмечено, что эти параметры хорошо описывают природу кипения в большом объеме, однако, на практике они неизвестны, так как существуют непреодолимые препятствия в их адекватной оценке вследствие стохастической природы процесса кипения. Наконец, можно отметить, что нет принципиальной необходимости использовать модели для разделения теплового потока применительно к СО ДВС, так как в этом случае объемные доли паровой фазы малы и потому незначительно влияют на теплогидравлические характеристики потока ОЖ.

В отличие от механистических моделей, эмпирические модели кипения с недогревом представляют тепловой поток на стенке, в основном как степенную функцию перегрева стенки [11]. Они определяют условия теплообмена отдельно для каждой области кипения, в частности, для режима ЧРК наиболее известная корреляция принадлежит Р. Бойду и Х. Менгу [26]:

$$q_{W,\,\text{ЧРК}} = a + b\left(\Delta T_{SAT}\right)^n,$$

где a, b, n — эмпирические коэффициенты.

Для расчета параметров теплообмена при ПРК одна из первых зависимостей была предложена В. МакАдамсом [16]:

$$q_{W,\,\text{ПРК}} = 4{,}77\Delta T_{SAT}^{3{,}86}.$$

В свою очередь, модель М. Ша была получена на основе так называемого безразмерного критерия кипения $Bo = q_W/\left(\rho_l L u_\infty\right)$, представляющего собой отношение "скорости кипения" к скорости ядра потока u_∞:

$$q_{W,\,\text{ПРК}} = \left[230\alpha_{\text{конв}}\left(\rho_l u_\infty\right)^{-0{,}5}\Delta T_{SAT}\right]^2.$$

Данная модель была модифицирована С. Кандликаром [27], который ввел дополнительный параметр F_{fl}, представляющий собой долю поверхности нагрева, покрытой жидкостью:

$$q_{W,\,\text{ПРК}} = \left[1058\alpha_{\text{конв}}\left(\rho_l u_\infty\right)^{-0{,}7} F_{fl}\Delta T_{SAT}\right]^{10/3}.$$

Достоинством эмпирических моделей является тот факт, что в них не присутствуют никакие параметры, связанные с геометрией канала охлаждения, что упрощает их внедрение в CFD-расчет. Недостатком же, в основном, является некорректное описание теплового потока в режиме ЧРК вблизи точки начала кипения, где $q_{W,\,\text{ЧРК}}$ стремиться к нулю при снижении перегрева. Кроме того, в зависимости от режима (ЧРК или ПРК)

необходимо вести расчет по соответствующей модели, обеспечивая своевременное переключение между ними в ходе вычислений.

Проведенный обзор литературы позволяет подойти к разработке математической модели кипения с недогревом в крышках цилиндров двигателя.

Модель кипения с недогревом

Для описания плотности теплового потока на стенке при кипении с недогревом предлагается использовать следующую зависимость, которая позволяет в явном виде учесть влияние скорости и недогрева потока на процесс кипения:

$$q_W = q_{\text{конв}} + \frac{1}{1 + 0{,}12\left(\mathrm{Re}_l \cdot 10^{-4}\right)^{1{,}14}} \times \\ \times \frac{T_W - T_{SAT}}{T_W - T_\infty} q_{\text{кип}}. \quad (6)$$

Конвективный тепловой поток $q_{\text{конв}}$ может быть определен локально в CFD, либо приближенно по критериальному уравнению Диттуса-Болтера (3). В свою очередь, тепловой поток $q_{\text{кип}}$ определяется по зависимости (4), предложенной Форстером и Зубером для кипения в большом объеме.

Верификация модели была проведена по экспериментальным данным, опубликованным авторами в [30, 31]. Для этого в соответствии с формулой (6) были построены кривые кипения при различных скоростях, недогревах потока и давлениях в системе охлаждения, в частности, для следующих расчетных случаев:

1. $u = 0{,}14$ м/с, $T_\infty = 80$ °C, $p = 125$ кПа.
2. $u = 0{,}42$ м/с, $T_\infty = 85$ °C, $p = 175$ кПа.
3. $u = 0{,}28$ м/с, $T_\infty = 80$ °C, $p = 200$ кПа.
4. $u = 0{,}28$ м/с, $T_\infty = 85$ °C, $p = 150$ кПа.
5. $u = 0{,}42$ м/с, $T_\infty = 90$ °C, $p = 200$ кПа.

Результаты представлены на рис. 2 и 3.

Сравнение экспериментальных и расчетных данных показало, что предложенная математическая модель позволяет определять плотность теплового потока в зависимости от температуры перегрева стенки с точностью до 30 %, что является характерным значением для процесса пузырькового кипения, отличающегося большими приращениями q_W при незначительном изменении ΔT_{SAT} [12, 29].

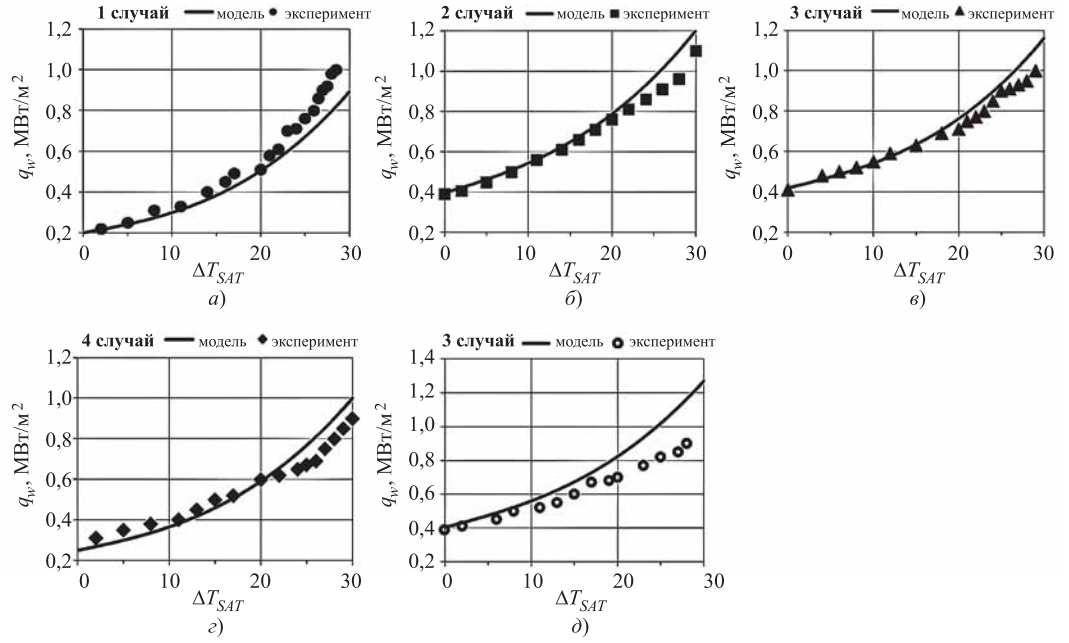


Рис. 2. Сравнение расчетных и экспериментальных кривых кипения для пяти расчетных случаев:

а — первый случай; *б* — второй случай; *в* — третий случай; *г* — четвертый случай; *д* — пятый случай

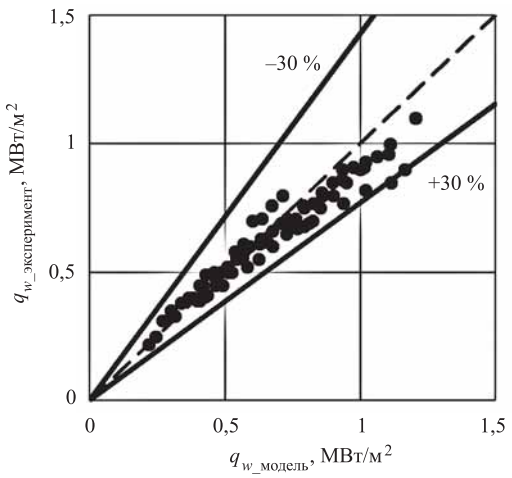


Рис. 3. Погрешность результатов расчета

Несмотря на то что погрешность оказалась велика для вычисленных тепловых потоков, она не превышает 5 °С для вычисляемой температуры стенки T_W при известном q_W. Точность модели с точки зрения определяемой T_W более важна в контексте расчета охлаждения крышки цилиндров, так как в данном случае тепловой поток известен, а целью задачи сопряженного теплообмена является нахождение температуры теплоотдающей поверхности. Принимая также во внимание существование погрешности экспериментального определения температуры стенки (±2 °С), можно заключить, что уровень погрешности предложенной математической модели является приемлемым. К достоинствам модели можно отнести:

1) отсутствие эмпирических коэффициентов и параметров, которые необходимо определять перед расчетом (коэффициенты, учитывающие сочетание металл-жидкость; внутренние характеристики кипения и т. д.);

2) учет влияния на процесс кипения скорости и недогрева потока;

3) описание кривой кипения в зонах ЧРК и ПРК на основе одной зависимости.

Выводы

1. Пузырьковое кипение является эффективным режимом теплообмена, преимущества которого могут быть использованы при проектировании систем охлаждения ДВС.

2. Моделирование кипения охлаждающей жидкости целесообразно проводить на основе однофазного метода.

3. Для описания теплового потока на стенке в режиме кипения с недогревом широко используется аддитивный подход Дж. Чена.

4. Предлагаемая математическая модель позволяет с достаточной точностью вычислять температуру теплоотдающей поверхности в зависимости от плотности теплового потока и может быть использована при определении температурных полей крышек цилиндров двигателя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Robinson K., Hawley J. G., Campbell N. A. F.** Experimental and modelling aspects of flow boiling heat transfer for application to internal combustion engines // Journal of Automobile Engineering. — 2003. — Vol. 217, No. 10. — P. 877—889.
2. **Чайнов Н. Д., Мягков Л. Л., Маластовский Н. С.** Моделирование теплообмена на охлаждаемых поверхностях крышек цилиндров двигателей // Машиностроение. — 2011. — № 10. — С. 52—56.
3. **Сопряженная задача** теплообмена при определении температурного поля крышки цилиндра среднеоборотного дизеля / Н. Д. Чайнов, Л. Л. Мягков, А. Х. Володин и др. // Двигатели внутреннего сгорания. — 2009. — № 2. — С. 3—7.
4. **A Model** for Application of Chen's Boiling Correlation to a Standard Engine Cooling System / M. Cardone, A. Senatore, D. Buono et al. // SAE paper. — 2008. — № 01-1817. P. 12.
5. **Punekar H., Das S.** Numerical simulation of subcooled nucleate boiling in cooling jacket of IC engine // SAE paper. — 2013. — № 01-1651. — P. 12.
6. **Маластовский Н. С.** Методика определения локальных граничных условий со стороны охлаждения при расчете температурных полей крышек цилиндров двигателей: дис. ... канд. техн. наук. — М., 2011. — 156 с.
7. **Петриченко Р. М.** Системы жидкостного охлаждения быстроходных двигателей внутреннего сгорания. — Л.: Машиностроение, 1975. — 224 с.
8. **Рамазанов М. И.** Гидродинамика и локальный теплообмен в полостях охлаждения двигателей внутреннего сгорания: дис. ... канд. техн. наук. — М., 2002. — 160 с.
9. **Краснокутский А. Н.** Методика определения теплового и напряженно-деформированного состояния крышек цилиндров транспортных дизелей с учетом неупругого деформирования материалов: дис. ... канд. техн. наук. — М., 1992. — 166 с.

10. **Жилин А. А., Жаров А. В.** Численное моделирование теплообмена в рубашке охлаждения двигателя внутреннего сгорания // Известия МГТУ "МАМИ". — 2009. — № 2. — С. 69—79.
11. **Increased** Cooling Power with Nucleate Boiling Flow in Automotive Engine Applications / H. Steiner, G. Brenn, F. Ramstorfer et al. // New Trends and Developments in Automotive System Engineering. — 2011. — P. 249—272.
12. **Толубинский В. И.** Теплообмен при кипении. — Киев: Наукова думка, 1980. — 316 с.
13. **Bo T.** CFD Homogeneous Mixing Flow Modelling to Simulate Subcooled Nucleate Boiling Flow // SAE paper. — 2004. — № 01-1512. — P. 14.
14. **Numerical** Simulation of Boiling Heat Transfer in Water Jacket of DI Engine / F. Dong, Q. Fan, Y. Cai et al. // SAE paper. — 2010. — № 01-0262. — P. 11.
15. **Rohsenow W. M.** A method of correlating heat transfer data for surface boiling of liquids // ASME. — 1952. — Vol. 74. P. 969—976.
16. **Warrier G. R., Dhir V. K.** Heat transfer and wall heat flux partitioning during subcooled flow nucleate boiling — a review // ASME Journal of Heat Transfer. — 2006. — Vol. 128. P. 1243—1256.
17. **Chen J. C.** Correlation for boiling heat transfer to saturated fluids in convective flow // Industrial & Engineering Chemistry Process Design and Development. — 1966. — Vol. 5, No. 3. — P. 323—329.
18. **Forster H. K., Zuber N.** Dynamics of vapor bubbles and boiling heat transfer // AIChE Journal. — 1955. — Vol. 1. — P. 531—535.
19. **Reid R. C., Prausnitz J. M., Poling B. E.** The properties of gases and liquids. — New York: McGrawHill, 1987. — 741 p.
20. **Steiner H., Kobor A., Gebhard L.** A wall heat transfer model for subcooled boiling flow // International Journal of Heat Mass Transfer. — 2005. — Vol. 48. P. 4161—4173.
21. **A unified model** for the prediction of bubble detachment diameters in boiling systems-II. Flow boiling / L. Z. Zeng, J. F. Klausner, D. M. Bernhard et al. // International Journal of Heat Mass Transfer. — 1993. — Vol. 36, No. 9. P. 2271—2279.
22. **Liu Z., Winterton R. H. S.** A general correlation for saturated and subcooled flow boiling in tubes and annuli, based on a nucleate pool boiling equation // International Journal of Heat Mass Transfer. — 1991. Vol. 34. — P. 2759—2766.
23. **Kutateladze S. S.** Boiling Heat Transfer // International Journal of Heat Mass Transfer. — 1961. — Vol. 4. — P. 31—45.
24. **Лабунцов Д. А.** Физические основы энергетики. Избранные труды по теплообмену, гидродинамике, термодинамике. — М.: Издательство МЭИ, 2000. — 388 с.
25. **Podowski M. Z.** Toward mechanistic modeling of boiling heat transfer // Nuclear engineering and technology. — 2012. — Vol. 44, No. 8. — P. 889—896.
26. **Boyd R. D., Meng X.** Boiling curve correlation for subcooled flow boiling // International Journal of Heat Mass Transfer. — 1996. — Vol. 38. — P. 758—760.
27. **Kandlikar S. G.** Heat transfer characteristics in partial boiling, fully developed boiling and significant void flow regions of subcooled flow boiling // ASME Journal of Heat Transfer. — 1998. — Vol. 120, No. 2. — P. 395—401.
28. **Pioro I. L., Rohsenow W., Doerffer S. S.** Nucleate Pool-Boiling Heat Transfer. I: review of parametric effects of boiling surface // International Journal of Heat Mass Transfer. — 2004. — Vol. 47. — P. 5033—5044.
29. **Кутателадзе С. С.** Теплопередача при конденсации и кипении. Изд. 2-е, пер. и доп. — М.: Машгиз, 1952. — 232 с.
30. **CFD** implementation and experimental validation of the Chen model for heat transfer in nucleate boiling / C. Paz, E. Suárez, M. Concheiro et al. // Computational Methods in Multiphase Flow VII. — 2013. — Vol. 79. — P. 377—385.
31. **Implementation** of a nucleate boiling flux partitioning model for a CFD simulation of compact heat exchangers based on the local estimation of bulk properties / C. Paz, J. Porteiro, A. Copo et al. // Advances in Fluid Mechanics X. — 2014. — Vol. 82. P. 27—36.

УДК 621.43.013

М. В. Эммиль, канд. техн. наук, профессор, Московский политехнический университет
E-mail: emmilmikel@rambler.ru

ТУРБУЛЕНТНАЯ СТРУКТУРА СИЛЬНО ЗАКРУЧЕННОГО ПОТОКА В МОДЕЛИ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Рассматривается течение закрученного потока воздуха за кольцевыми лопаточными завихрителями в жаровой трубе камеры сгорания газотурбинного двигателя. Представлены профили скоростей и результаты измерения интенсивности турбулентности в различных зонах камеры сгорания.

Ключевые слова: *газотурбинный двигатель, камера сгорания, поток воздуха, профиль скоростей, турбулентность.*

Twisted air stream from blade swirled in the combustion chamber gas turbine engine are being considered. Flow velocity profiles and turbulent rate characteristics in different stream zones are also presented.

Keywords: *gas turbine engine, combustion chamber, air flow, velocity profiles, turbulence.*

Закрученные струйные течения широко используются в различных устройствах для сжигания топлива, в том числе в различных тепловых двигателях [1—4]. Закручивание потока воздуха в камере сгорания интенсифицирует процессы турбулентного смешения и, следовательно, процессы горения, поскольку основное влияние на них оказывают газодинамические факторы. Закрутка потока является простым и эффективным средством изменения формы и размеров пламени. Учитывая сложность измерений ввиду пространственного течения и высокого уровня турбулентности закрученного потока, а также сложность теоретического исследования из-за наличия в уравнениях движения градиентов давления и рейнольдсовых напряжений трения, накопление экспериментальных данных имеет большое значение. В данной статье приводятся результаты исследования течения сильно закрученных струй за кольцевыми лопаточными завихрителями в свободном пространстве и в модели камеры сгорания ГТД, которые проводились автором в московском авиационном институте.

В опытах использовались лопаточные завихрители с углами установки лопаток по отношению к оси потока 65 и 75 град. Втулочное отношение обоих завихрителей равнялось 0,5, то есть завихрители были геометрически подобны. Расход воздуха в опытах составлял 0,003...0,130 кг/С. Измерения скорости проводились полусферическими насадками с диаметрами головки 6 и 10 мм, которые тарировались в потоке за соплом Витошинского, вторичными приборами являлись спиртовые микроманометры ММН. Измерение турбулентных пульсаций проводилось в модели камеры сгорания ГТД термоанемометром ЭТА-5А.

В приосевой области сильно закрученных турбулентных струй возникает зона обратных токов, основной причиной появления которой является центробежный эффект, развивающийся в поле течения. Центробежный эффект заключается в том, что при закрутке потока давление в центральной зоне струи понижается и появляющийся в связи с этим градиент давления вызывает силу давления, которая противодействует центробежной силе в каждом сечении струи.

Частица жидкости на выходе из лопаточного завихрителя удерживается в равновесии благодаря действию сил давления и сил турбулентной вязкости (действие турбулентных напряжений трения). При этом условие неразрывности потока не позволяет образоваться вакууму в центральной части струи, а приводит к появлению радиальных перетеканий жидкости и образованию зоны циркуляции (центробежный эффект). Математически условие равновесия турбулентного закрученного потока выражается уравнением для радиальной составляющей скорости в системе уравнений Рейнольдса.

Картина линий тока в поле течения сильно закрученной струи показана на рис. 1. Линии тока, представляющие собой равных линии равных расходов, рассчитаны путем графического инте-

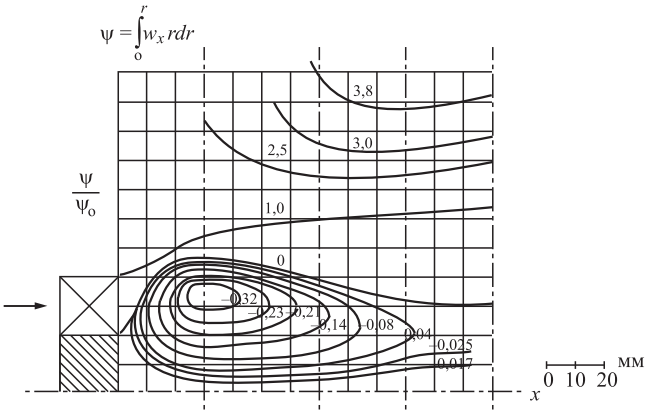


Рис. 1. Линии тока в зоне циркуляции. Завихритель с φ = 65°, *R* = 40 мм

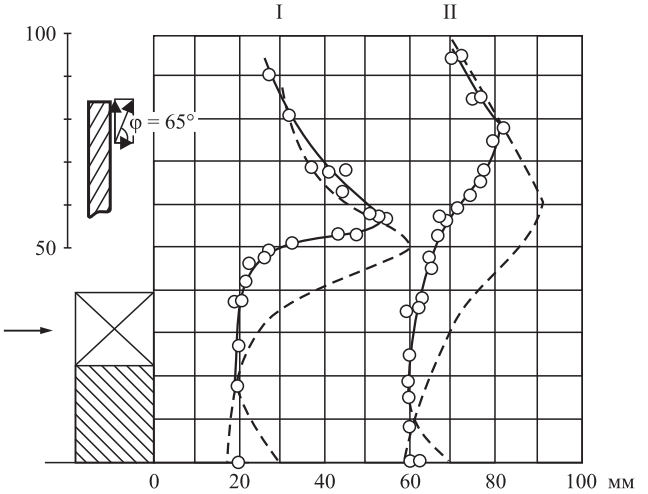


Рис. 2. Профили осевых и радиальных скоростей в зоне циркуляции:

пунктир — профили w_x; точки — результаты измерений w_r; сплошная пологая линия — граница зоны обратных токов

грирования полей осевых скоростей. Центр зоны циркуляции находится на безразмерном расстоянии x/R = 0,75 от завихрителя (x — расстояние до центра циркуляции, R — наружный радиус завихрителя), что соответствует исследованиям, представленным в работе [2].

Из рассмотрения картины линий тока на рис. 1 следует, что радиальные скорости в зоне циркуляции в сечениях правее центра вихря должны иметь характерный профиль. На внешней границе там, где окружающий воздух втекает в пограничный слой, линии тока располагаются вертикально, а радиальная скорость w_r должна иметь отрицательное значение. Далее, вниз по сечению, вследствие общего расширения струи линии тока наклонены вверх, в сторону внешней границы струи, а радиальные скорости имеют положительные значения. В области между основным и обратным течениями радиальные скорости отрицательны, что и обеспечивает расход обратного тока. У оси потока вследствие горизонтального положения линий тока и симметрии потока радиальная скорость равна нулю.

На рис. 2 приведены профили осевых w_x и радиальных w_r скоростей для двух первых сечений в области развитого обратного тока, измеренные в струе, представленной на рис. 1. Вид профилей соответствует линиям тока и приведенным выше соображениям, основанным на физической картине течения. Следует отметить, что точное измерение радиальных составляющих вектора скорости в турбулентном потоке задача труднодостижимая, поскольку реальные условия измерений не соответствуют условиям тарировки пятидырчатого насадка. Тем не менее, повторяемость в опытах была вполне удовлетворительной. Расхождение экспериментального профиля w_r с ожидаемым около оси струи вызывается погрешностями измерений в условиях высокой турбулентности. Подобный вид профиля радиальной скорости приводится также в работе [2].

В работе [3] представлен безразмерный профиль избыточной скорости в двух первых сечениях сильно закрученной струи, показанной выше на рис. 1, то есть в области зоны обратных токов, который практически совпадает с безразмерной кривой в начальном участке осесимметричной затопленной струи по данным Г. Н. Абрамовича [5]. Подобные результаты были получены в камере сгорания ГТД А. И. Михайловым и др. [6].

Для изучения влияния закрутки потока на интенсивность смешения в струе были поставлены специальные опыты, в которых воздух подогревался до температуры 50 °С. Такой низкий подогрев позволял считать струю изотермической и в то же время давал возможность с помощью простых измерений температуры термопарой хромель — копель получить интересные результаты по интенсивности перемешивания в закрученных струях.

Как видно из протекания кривых на графике рис. 3, закрутка потока сильно влияет на величину отношения $\frac{t_{\max}}{t_0}$, где t_0 — начальная температура потока на выходе из завихрителя. Такая косвенная характеристика интенсивности смешения в закру-

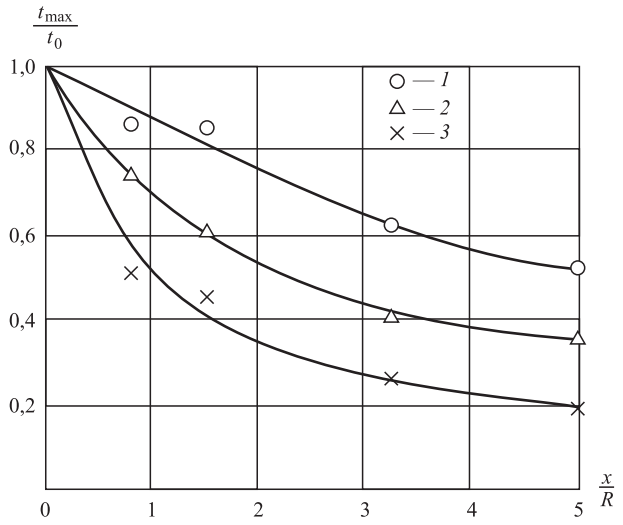


Рис. 3. Затухание максимальных значений температур в свободной закрученной струе:

1 — φ = 45°; *2* — φ = 65°, φ = 75°

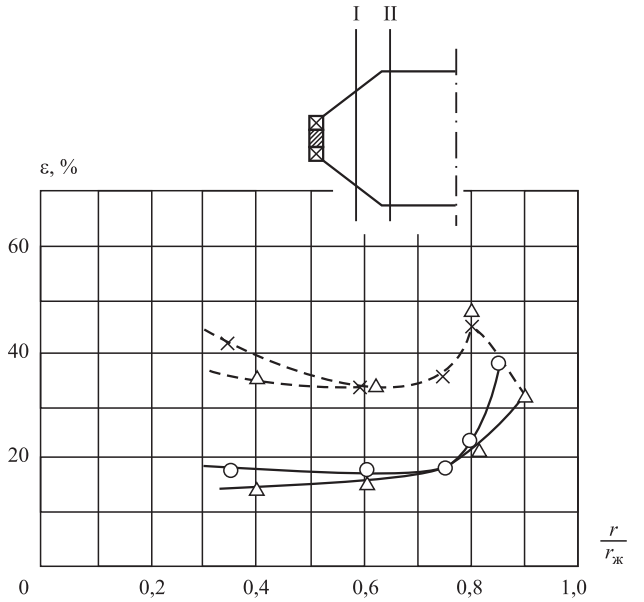


Рис. 4. Характеристики интенсивности турбулентности в натурной модели камеры сгорания:

I сечение: пунктир *x* — $\varepsilon_{w,}$ сплошная о — $\varepsilon_{w\max}$; II сечение: пунктир Δ — $\varepsilon_{w,}$ сплошная Δ — $\varepsilon_{\bar{w}\max}$

ченном потоке подтверждается измерениями уровня турбулентности в камере сгорания авиационного ГТД и в натурной модели камеры сгорания, которые проводились автором с использованием аппаратуры термоанемометра ЭТА-5А с однониточным датчиком толщиной 19 мкм. Измерения проводились ряд лет назад, и результаты ранее не публиковались. Измерения такой устаревшей аппаратурой позволяли получить только "суммарную" величину интенсивности пульсаций, то есть сигнал получали при расположении нити перпендикулярно вектору скорости. Результаты разделения пульсаций методом трех поворотов нити в этой статье не представлены. Интенсивность турбулентности — это отношение среднеквадратичной величины пульсации скорости, которая осредняется термоанемометром к средней скорости в точке измерения $\varepsilon = \frac{w'}{\bar{w}}$.

Местная интенсивность турбулентности характеризует общий уровень турбулентности и позволяет оценить влияние на него особенностей газовой динамики в различных зонах камеры сгорания. Представленные ниже результаты позволяют оценить интенсивность смешения в камере сгорания с качественной стороны, поскольку остаются неизвестными численные значения напряжений турбулентного трения и коэффициенты турбулентной диффузии.

На рис. 4 приведен график распределения интенсивностей турбулентности в модели камеры сгорания ГТД с лопаточным завихрителем.

Как видно на графике рис. 4, максимальная величина интенсивности турбулентности равна 48 %. Величина интенсивности турбулентности, отнесенная к максимальной в сечении средней скорости, обозначена на рис. 5 сплошной линией.

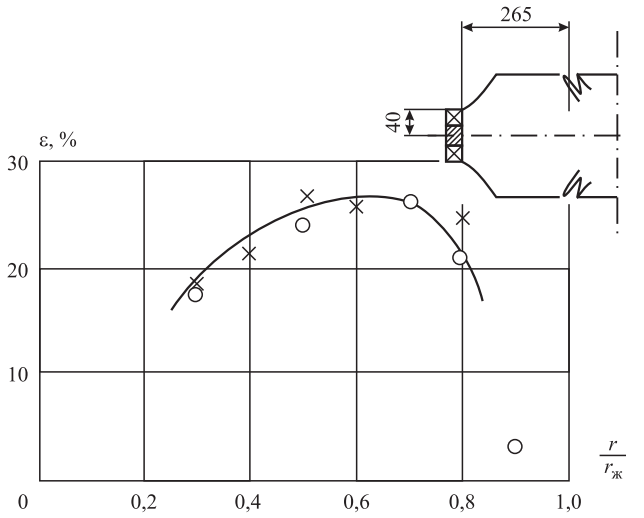


Рис. 5. Распределение интенсивности турбулентности в зоне втекания струй вторичного воздуха:

о — сечение за боковой струей; *x* — сечение между боковыми струями

Максимальное значение этой величины находится вблизи границы зоны обратных токов.

На рис. 5 показан профиль величины интенсивности турбулентности в сечении $\frac{x}{R} \approx 7$ за сечением ввода струй вторичного воздуха. Максимальный уровень турбулентных пульсаций, как видно на графике, составляет 27 %, что меньше, чем в головной части камеры сгорания. Измерения проводились в двух сечениях — за боковой струей и между двумя боковыми струями в соседних сечениях. Как видно на графике рис.5, различий в величине интенсивности турбулентности практически нет, что объясняется выравниванием уровня турбулентных пульсаций до сечения замера. Сравнительные измерения проводились в жаровых трубах с боковыми отверстиями диаметрами 20, 40 и 60 мм, при этом расход через все девять боковых отверстий не менялся и, следовательно, менялись только скорости истечения боковой струи в сносящий поток. Максимум интенсивности турбулентности соответствует относительному шагу отверстий $\overline{t} = \frac{t}{d_0}$,

где d_0 — диаметр бокового отверстия.

В работе [6] была исследована структура потока при горении и при холодной продувке с углом установки лопаток завихрителя 55 градусов. Показано, что при горении зона обратных токов постепенно сужается и на некотором расстоянии от лопаточного завихрителя исчезает. Интересно отметить, что в сечении в конце переходного конуса границы зоны обратных токов с горением и без горения совпадают, а затем зона обратных токов при горении быстро исчезает ([6] рис. 5).

Заключение

1. Исследована газодинамическая структура сильно закрученного потока в модели камеры сгорания ГТД. Показано, что особенностью сильно закрученной струи является наличие в приосевой области зоны циркуляции с зоной обратных токов, что является следствием центробежного эффекта.

2. Проведены измерения интенсивности турбулентности в модели камеры сгорания ГТД. Результаты опытов показали существенное увеличение уровня турбулентности в закрученном потоке, достигающее 50 % по сравнению с обычными прямыми струями (~12 %).

3. Ссылка на результаты работы [2] показала, что при горении в камере зона обратных токов становится меньше в диаметре и быстро, практически до ввода боковых струй вторичного воздуха, сокращается.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Машиностроение.** Энциклопедия. Том IV. Двигатели внутреннего сгорания / Л. В. Грехов, Н. А. Иващенко, В. А. Марков и др.; под ред. А. А. Александрова, Н. А. Иващенко. — М.: Машиностроение, 2013. — 784 с.
2. **Лефевр А.** Процессы в камерах сгорания ГТД / Пер. с англ. — М.: Мир, 1986. — 566 с.
3. **Эммиль М. В.** Закрученные струи за кольцевыми лопаточными завихрителями. Исследование двухфазных, магнитогидродинамических и закрученных турбулентных струй // Труды МАИ. Вып. 248. — М., 1972. С. 93—100.
4. А. Закрученные струи за кольцевыми лопаточными завихрителями в камере сгорания ГТД. Исследование двухфазных, магнитогидродинамических и закрученных турбулентных струй // Труды МАИ. Вып. 248. — М., 1972. С. 84—92.
5. **Абрамович Г. Н.** Прикладная газовая динамика. — М.: Наука, 1976. — 888 с.
6. **Михайлов А. И., Горбунов Г. М.** и др. Рабочий процесс и расчет камер сгорания газотурбинных двигателей. — М.: Оборонгиз, 1959. — 285 с.

К ПЕРЕХОДУ НА ЭТАНОЛ ГОТОВЫ

Увеличение производства этанола для нужд мировой транспортной системы может стать существенным фактором в снижении выбросов углекислого газа на планете. У Scania уже есть экологичные решения для перехода на возобновляемое топливо.

Этанол уже давно считается самым перспективным видом биотоплива для тяжелой техники. Его производство налажено лучше всего, и предполагается, что при должном развитии соответствующей инфраструктуры этанол способен со временем полностью заменить нефть.

"Это уже не новый вид топлива, этанол хорошо распространен, — говорит Урбан Вестльюнг (Urban Wästljung), старший советник по вопросам государственной политики и экологичного развития компании Scania. — В отрасли известны методы эффективного управления производством этанола. Конечно, это топливо в целом дороже нефти, но в то же время у него большой потенциал снижения CO_2 как с точки зрения эффективности, так и с точки зрения экономичности".

Уже более 30 лет Scania строит автомобили, способные работать на этаноле. "Scania обладает технологией, позволяющей использовать этанол ED95 в смеси с топливной присадкой в дизельном двигателе", — рассказывает г-н Вестльюнг.

Власти Парижа запретят использование дизельного топлива

Снижение влияния на окружающую среду становится ведущим принципом ведения бизнеса, и этанол, по всей видимости, будет одним из самых востребованных источников энергии. Так, власти Парижа к 2020 г. введут запрет на использование дизельного топлива в городе.

Самым экономически выгодным сырьем для производства этанола является сахарный тростник, а его крупнейшим производителем — Бразилия, которая считается первой в мире страной с экологически рациональной экономикой на основе биотоплива. Интерес для промышленности также представляет остаточный материал от производства сахарного тростника.

Еще в 1976 г. бразильское правительство ввело требование, обязующее транспортных операторов использовать смеси безводного этанола с бензином. На сегодняшний день в этой стране нет легковых автомобилей, работающих на чистом бензине.

"Сахарный тростник — более рентабельное сырье для производства этанола, чем кукуруза, которая главным образом выращивается для этаноловой промышленности США. Кроме того, этанол на основе тростника обуславливает только 14 % выбросов диоксида углерода топлива", — говорит Аманда Десуза (Amanda DeSouza), научный сотрудник университетов Иллинойса и Сан-Паулу, а также один из соавторов нового исследования, опубликованного в журнале Nature Climate Change.

Доводы в пользу сахарного тростника

В этом исследовании говорится о том, что производство сахарного тростника в Бразилии, способствующее переходу на биоэтанол, поможет снизить глобальные выбросы CO_2 на 5,6 %. Кроме того, ученые приводят аргументы в защиту трансформации сотен тысяч гектаров (что превышает посевные площади штатов Техас и Калифорния вместе взятых) бразильских земель под выращивание сахарного тростника.

Они предполагают, что это можно осуществить без ущерба для экологически уязвимых районов. Важно отметить, что в анализе были учтены выбросы CO_2, которые возникнут в процессе переустройства земель.

Йонас Штромберг (Jonas Strömberg), директор отдела экологических решений Scania, добавляет, что Европа также может производить больше этанола. "У нас есть более 25 млн гектаров заброшенных сельскохозяйственных угодий, которые можно приспособить под производство этанола и биодизеля. Это значительно укрепит энергонезависимость ЕС, так как позволит частично отказаться от импорта нефти. Благодаря этому в Европе также ускорится переход тяжелой транспортной отрасли с дизеля на этанол. Никаких технических препятствий для этого не существует".

Пресс-служба ООО "Скания-Русь"

УДК 629.113

В. Н. Козловский, д-р техн. наук, СамГТУ, г. Самара, **М. А. Пьянов,** канд. техн. наук, ПАО "АВТОВАЗ", г. Тольятти, **С. И. Клейменов,** ООО "Бизнес-Консалт", г. Тольятти, **М. В. Шакурский,** канд. техн. наук, СамГТУ, г. Самара
E-mail: kozlovskiy-76@mail.ru

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОМПЛЕКС ДИАГНОСТИКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

В статье представлены результаты разработки производственного комплекса диагностики работоспособности системы электрооборудования автомобилей.

Ключевые слова: *автомобилестроение, автомобиль, диагностика, система электрооборудования.*

The article presents the results of a comprehensive theoretical study of the possibility of assessing the performance of components of the electrical equipment system of cars in the modes of transients.

Keywords: *automotive, automobile, diagnostics, electrical system.*

В основе предлагаемого метода диагностирования комплекса электрооборудования автомобиля лежит высокоточное измерение потребляемого тока устройств электрооборудования при коммутации и дальнейшая обработка результатов измерений, позволяющая определить комплектующие, вышедшие из строя [4]. Кроме того, этот метод позволяет определить электрокомпоненты, имеющие отклонения технических характеристик (от заявленных производителем), и, как правило, приводящие к выходу из строя электрооборудования в процессе эксплуатации автомобиля. Для реализации предлагаемого метода диагностирования был разработан диагностический комплекс, реализующий соответствующий алгоритм. При разработке диагностического комплекса была учтена нестабильность напряжения бортовой сети автомобиля.

Система технического диагностирования электрооборудования автомобиля (диагностический комплекс) обеспечивает [5, 6]: тестирование элементов электрооборудования автомобилей в процессе сборки на главном конвейере; тестирование и диагностику работоспособности всех элементов электрооборудования автомобилей с целью выявления дефектов и устранения выявленных дефектов на ремонтных участках (в том числе элементов системы электронного впрыска как при работающем, так и при неработающем двигателе); хранение результатов тестирования с привязкой к VIN-номеру автомобиля, номеру комплектации; хранение результатов тестирования и получение статистических данных по запросам с корпоративных рабочих мест; отслеживание тестируемого автомобиля в системе технического обслуживания автомобиля в процессе эксплуатации; сбор и хранение информации о дефектах, причинах и способах их устранения, как в процессе производства, так и в процессе технического обслуживания во время эксплуатации.

Кодификатор дефектов в системе соответствует единому кодификатору дефектов автопроизводителя в эксплуатации. Выявленные дефекты фиксируются в системе управления сборкой автомобилей по VIN-номеру и номеру комплектации для дальнейшей работы с гарантийными автомобилями и статистического анализа качества как самого автомобиля, так и электротехнических комплектующих. Дефекты, причины и способы их устранения представлены в системе анализа причин дефектов в виде "дерева отказов".

Сервис диагностического комплекса предусматривает: автоматическую загрузку операционной системы, пуск и выполнение программы пользователя после включения питания оборудования; осуществление удобного интерфейса для оперативной работы обслуживающего персонала; визуализацию происходящего процесса проверки; исключение возникновения аварийных ситуаций при пропадании питания и при включении электропитания после потери питания; сохранение всей информация, содержащейся в системе управления,

Рис. 1. Работа с программным обеспечением без манипуляторов

необходимой для продолжения работы как в случае кратковременного пропадания электроэнергии, так и в случае длительного отключения; возможность изменения всех экранных и печатных форм из пакета программирования оболочки программы пользователя; возможность работы с программным обеспечением сервисного персонала только с помощью клавиатуры, без манипуляторов типа мышь, трекбол, световых перьев и прочего (рис. 1); удобство и безопасность при работах по ремонту, диагностированию и обслуживанию оборудования; выдачу сообщений о неисправностях на экране монитора без запроса оператора; регистрацию времени возникновения, продолжительности и времени окончания аварийных ситуаций, неисправностей оборудования, режимов и состояний, в которых находилось оборудование; сохранение данных о диагностике в базе данных Access; проведение периодической калибровки диагностического комплекса.

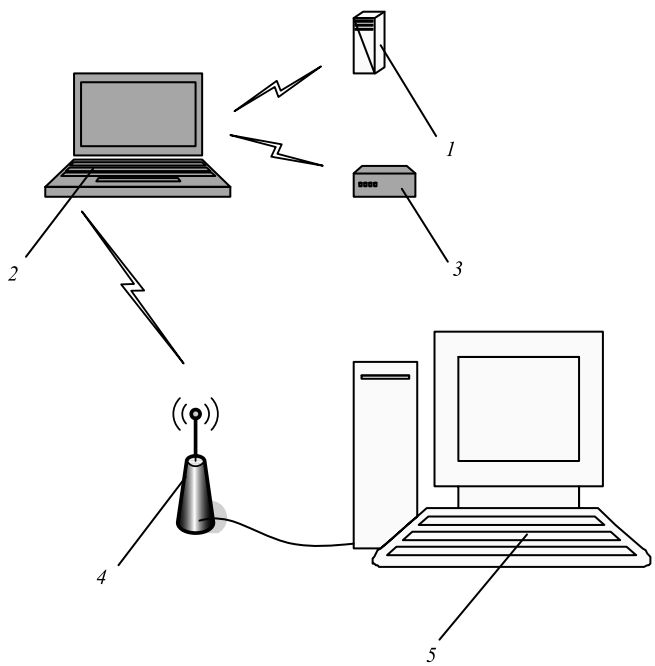


Рис. 2. Структурная схема диагностического комплекса:
1 — измерительный модуль; *2* — носимый пульт оператора; *3* — адаптер автомобильных интерфейсов; *4* — точка радиодоступа; *5* — базовая станция

На рис. 2 представлена структурная схема диагностического комплекса. Базовая станция *5* диагностического комплекса представляет собой автоматизированное рабочее место, выполненное в исполнении IP54 (в прочном корпусе для промышленного использования), на основе IBM-совместимой рабочей станцией.

Базовая станция предназначена для организации запроса комплектации автомобиля по номеру шасси и передачи результатов тестирования

Рис. 3. Базовая станция

Рис. 4. Носимый пульт оператора

Таблица 1

Технические характеристики носимого пульта оператора

Компонент	Характеристика
Чипсет	Intel 855
Процессор	Intel Pentium M с номинальной частотой 1.5 GHz
Оперативная память	512 мВ
Дисплей	8,4″ LCD TFT 800×600
Сенсорный экран	Резистивный тип, занимает порт COM4
Клавиатура	8 программируемых функциональных клавиш (F1-F8), имеется возможность закрепить за каждой клавишей наиболее часто используемую функцию
Flash-диск	4 GB
Звуковая подсистема	Звуковой контроллер 16 bit; встроенные брызгозащищенные стереодинамики
Габаритные размеры	274×36×196 мм
Питание	Встроенный аккумулятор или бортовая сеть автомобиля
Вес	1,8 кг

в информационную базу данных предприятия. Фотография базовой станции разработанного диагностического комплекса представлена на рис. 3.

Точка радиодоступа *4* (см. рис. 2) предназначена для организации связи между базовой станцией *5* и носимым пультом оператора *2* с использованием стандартного интерфейса IEEE 802.11. Она представляет собой коммуникатор сети с передачей данных по радиоканалу DWL-2100AP (фирма D-Link, США). Фотография коммуникатора представлена на рис. 4.

Носимый пульт оператора представляет собой портативный планшетный компьютер в исполнении IP55 и предназначен для считывания штрих-кода, приема данных с измерительного модуля и адаптера автомобильных интерфейсов, передаче информации на базовую станцию и выдаче команд оператору для выполнения действий по включению/выключению диагностируемых устройств.

На дисплее носимого пульта оператора (табл. 1) отображается ход выполнения тестирования изделий электрооборудования автомобиля и команды, выдаваемые оператору-диагносту. Носимый пульт оператора имеет один встроенный канал беспроводной радиосвязи стандарта IEEE 802.11 для связи с базовой станцией *5* (см. рис. 2) и два беспроводных канала радиосвязи стандарта IEEE 802.15.1 для связи с измерительным модулем *1* и модулем автомобильных интерфейсов *3*.

Адаптер *3* (см. рис. 2) автомобильных интерфейсов предназначен для передачи управляющих команд контроллерам автомобиля, программирования контроллеров электронных систем автомобиля, считывания информации из контроллеров (коды ошибок, результаты измерений), разработан специально для работы в составе диагностического комплекса. Фотография адаптера автомобильных интерфейсов представлена на рис. 5.

Адаптер выполнен в прочном корпусе для промышленного использования (IP55 исполнение), подключается к диагностической колодке автомобиля и обеспечивает связь между носимым пультом оператора и контроллерами электронных систем автомобиля через радиоканал с использованием стандартного интерфейса IEEE 802.15.1. Питание адаптера осуществляется от бортовой сети автомобиля (8...16 В).

Измерительный модуль *1* (см. рис. 2) предназначен для регистрации переходных процессов в электрических цепях электрооборудования автомобиля и передачи результатов на носимый пульт оператора. Принцип измерения переменного тока без размыкания силовой цепи основан на измерении магнитной индукции, создаваемой этим током [1—3, 7]. Для этого применяется первичный преобразователь с обработкой измерительного сигнала, поступающего с чувствительного элемента Холла, в цифровой код с помощью 14-разрядного АЦП. Передача оцифрованной

Рис. 5. Адаптер автомобильных интерфейсов

Таблица 2

Технические характеристики измерительного модуля

Компонент	Характеристика
Корпус	Исполнение IP54
Способ измерения тока	Бесконтактный, основанный на эффекте Холла
Протокол передачи данных	IEEE 802.15.1
Максимальный измеряемый ток	200 А
Погрешность (при 25 °С), не более	±1,5 %
Питание	Бортовая сеть автомобиля (8...16 В)

измерительной информации производится по радиоканалу с использованием стандартного интерфейса IEEE 802.15.1. Технические характеристики измерительного модуля сведены в табл. 2, а фотография представлена на рис. 6.

Измерительный модуль устанавливается непосредственно на автомобиль и подключается к положительному проводу, охватывая его разъемным кольцом магнитопровода токовых клещей.

Принцип измерений построен на эффекте Холла. Результаты измерений обрабатываются носимым пультом оператора.

Работа оператора с программным обеспечением (ПО) носимого пульта осуществляется в режиме диалога.

При тестировании устройств электрооборудования ПО выдает команды на включение устройства, а оператор выполняет их. На экран выводится индикатор выполнения текущего теста.

ПО запускает модуль тестирования, который производит измерение параметров в соответствии с методикой тестирования текущего устройства электрооборудования. Проводит требуемый расчет, сравнивает измеренные и/или вычисленные величины с предельными значениями и записывает результат теста. По окончании теста ПО дает команду на выключение устройства и включение следующего.

Рис. 6. Измерительный модуль

Тестирование электронных систем управления (электронной системы управления двигателем (ЭСУД), электроусилителя рулевого управления (ЭУРУ), системы автоматического управления климатической установкой (САУКУ) и др.) и их компонентов происходит в фоновом режиме и начинается с момента подключения адаптера автомобильных интерфейсов к колодке диагностики автомобиля. Технология заключается в следующем:

— считываются идентификационные данные контроллера системы управления;

— идентификационные данные проверяются на соответствие комплектации автомобиля;

— считывается память кодов неисправностей;

— тестируются датчики систем управления;

— производится запись идентификационных характеристик автомобиля;

—производится запись кода разблокировки в контроллер системы надувной подушки безопасности;

— производится активация регистратора параметров эксплуатации двигателя и автомобиля в контроллер ЭСУД;

— тестируются компоненты системы управления, управление которыми возможно по диагностическому протоколу.

Этот процесс в основном происходит без участия оператора. При необходимости ПО выводит команду оператору на дисплей носимого пульта для проведения каких-либо действий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Мороз С.** Автоматизация диагностической техники // Автомобильный транспорт. — 1990. — № 11. — С. 32—34.
2. **Анализ** измерительных систем. MSA / Пер. с англ. — Н. Новгород: АО "НИЦ КД", СМЦ "Приоритет", 1997.
3. **Измерения** в промышленности: Справочник. Ч. I / Под ред. П. Профоса. — М.: Металлургия, 1990.
4. **Козловский В. Н., Строганов В. И.** Моделирование систем электромобилей и автомобилей с комбинированной силовой установкой в процессах проектирования и производства: Монография. — М.: МАДИ, 2014. — 264 с.
5. **Пьянов М. А., Козловский В. Н.** Обеспечение качества процесса диагностирования электрооборудования автомобилей: Монография. — Самара: Издательство СамНЦ РАН, 2014. — 150 с.
6. **Kozlovsky V., Klochkov Y., Ostapenko M.** Conformity assessment of car quality databases exemplified on the case of the russian car manufacturer "AUTO VAZ": В сб.: 5th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization, ICRITO 2016: Trends and Future Directions 5, Trends and Future Directions. С. 57—60.
7. **Куликовский К. Л., Купер В. Я.** Методы и средства измерений: Учебное пособие для вузов. — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 448 с.

УДК 502.3:621.436

И. В. Фадеев, канд. техн. наук, доцент, МАДИ, Волжский филиал, Чебоксары
E-mail: ivan-fadeev-2012@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

В производственных условиях изучено влияние различных загрязнений на долговечность дизельного двигателя Д-240. Установлено, что нерегулярная очистка и мойка систем охлаждения и смазки сокращает долговечность дизеля в среднем на 33 % нормативного. Ущерб от неполной реализации ресурса каждого дизеля в среднем составляет 33 % стоимости капитального ремонта двигателя.

Ключевые слова: *загрязнения, мойка и очистка, дизельный двигатель, долговечность двигателя, ущерб от снижения долговечности.*

In industrial conditions the influence of different impurities on the durability of the diesel engine D-240. Found that regular breast and cooling systems. reduces the longevity of diesel on average, 33 % of the normative. The damage from nepal resource implementation of each diesel is on average 33 % of the cost of engine overhaul.

Keywords: *pollution, washing and cleaning, diesel engine, engine durability, the damage from reduction in durability.*

Загрязнения — это посторонние твердые или жидкие частицы, находящиеся на поверхности за счет межмолекулярного взаимодействия [1]. Чаще всего это электростатические или поляризационные взаимодействия.

Основными загрязнениями, влияющими на нормальную работу ДВС, являются отложения накипи, нагара, загрязнения топлива, деталей газораспределительного механизма и системы смазки [2].

Накипь представляет собой твердые отложения, образующиеся при выпадении солей из жесткой воды. Она почти не растворяется в воде и настолько прочно пристает к внутренним поверхностям системы охлаждения, что для ее удаления необходимо применять специальные средства. При прочих равных условиях скорость образования слоя накипи зависит от температуры теплообменных поверхностей [3].

Известно [4], что температура стенок не только отдельных цилиндров блока, но и каждого цилиндра по окружности не одинакова (рис. 1).

Из анализа приведенных графиков следует, что на внутренних поверхностях деталей системы охлаждения создаются неодинаковые термические условия для процесса образования накипи. Вследствие этого толщина отложений накипи неодинакова, а поэтому возникают термические напряжения и трещины, так как коэффициент теплопроводности накипи в 20—30 раз меньше, чем у металлов, что приводит к ухудшению теплообмена в системе охлаждения, и ДВС перегревается [3, 5].

Наибольшее вредное воздействие на ДВС оказывает нарушение его теплового режима работы, которое имеет различное значение по цилиндрам. Так, в четырехцилиндровых ДВС в худших условиях работают третий и четвертый цилиндры. Это связано с особенностями конструкции системы

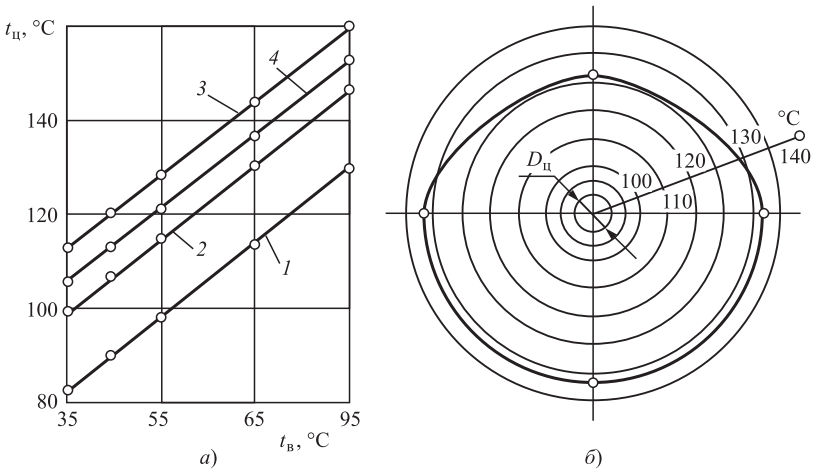


Рис. 1. Изменение температуры стенок гильз цилиндров ($t_ц$) ДВС в зависимости от температуры охлаждающей воды ($t_в$):

а — график изменения температуры стенок гильз; *1*, *2*, *3* и *4* — гильзы цилиндров; *б* — температура по периметру первого цилиндра в зоне верхнего компрессионного кольца; $D_ц$ — диаметр цилиндра

охлаждения ДВС. Происходит неравномерный износ цилиндров ДВС, что приводит к неполной реализации ресурса по причине преждевременного выхода из строя ДВС. Техническое состояние ДВС машин определяется при диагностировании их технического состояния, которое проводится по необходимости или при очередных ТО и ремонте.

Полная реализация ресурса и повышение долговечности ДВС возможны только при регулярном инструментальном контроле их технического состояния, при котором должна определяться степень загрязненности основных механизмов и систем ДВС. При невыполнении этих требований долговечность ДВС уменьшается и его ресурс полностью не может быть реализован [6, 7].

Несвоевременная и некачественная очистка от загрязнений дизельных ДВС приводит к повышенному износу его деталей и, как следствие, к снижению долговечности двигателя в целом. В качестве объекта изучения для определения ущерба от снижения долговечности в связи с несвоевременной и некачественной очисткой от загрязнений приняты новые дизельные двигатели Д-240 и Д-240Л, информация по которым была получена на участке приемки в ремонт в ООО "ПФ "Чебоксарыагропромтехсервис" (429500, Чувашская Республика, пос. Кугеси, ул. Механизаторов, д. 13). Ущерб определяется по выражению [8]:

$$У = (W_н - W_з)Ц,$$

где У — ущерб от снижения долговечности дизеля, руб.; $W_н$ — нормативная наработка дизеля, ч., мото-ч; $W_з$ — фактическая наработка дизеля, не подверженного регулярной мойке и очистке, ч., мото-ч; Ц — средняя цена одной единицы наработки дизеля, руб.

В табл. 1 приведены данные по обследованию объектов изучения, а в табл. 2 — их наработка с начала эксплуатации до наступления ремонтного случая.

Фактическую наработку поступивших на ремонт дизелей определяли по счетчику моточасов, установленному на двигателе, и сведениям, предоставленным собственниками ДВС, или по результатам их анкетирования. При этом учитывались сведения о наличии и состоянии уборочно-моечных участков, оснащенности их соответствующим технологическим оборудованием, соблюдением сроков и качеством выполнения ТО и ремонта машин.

Для оценки полученной совокупности по наработкам дизелей использованы рекомендации, приведенные в [6, 8].

Конечной целью статистической обработки полученных данных является установление среднего значения совокупности $\bar{x}$ (результаты по наработке, являющиеся независимыми факторами обозначим через x), показатели ее вариабельности (изменчивости) в виде дисперсии S^2, среднеквадратического или так называемого стандартного отклонения, коэффициента вариации ϑ.

Далее подбираем закон распределения чисел с последующим графическим изображением ее в виде гистограммы, практического полигона и теоретической кривой распределения. Оценку правильности вычислений можно производить различными методами (по правилам Колмогорова, Романовского, по методу w^2 и др.). В данной работе для оценки правильности вычислений использованы правила Романовского.

Полученная совокупность относится к большой выборке ($n \gg 30$, где n — количество исследованных дизелей), поэтому упорядочение ряда проводим методом группировки членов по классам.

Таблица 1

Данные по обследованию дизелей

Наименование показателя	Показатель
1. Место проведения исследования (сбора информации)	ООО "ПФ "Чебоксарыагропромтехсервис"
2. Характеристика дизеля:	
ед. измерения наработки	мото-ч
номинальная частота вращения коленчатого вала, мин$^{-1}$	2100
ресурс дизеля, мото-ч	6000
прибор замера ресурса	Счетчик мото-ч на ДВС
3. Промывка систем охлаждения и смазки дизелей в процессе ТО и ТР	Не проводилась
4. Регулярность замены картерного масла	Срок замены не соблюдалась
5. Критерий определения срока замены масла	По цвету
6. Количество объектов исследования	82

Таблица 2

Наработка объектов исследований с начала эксплуатации до наступления ремонтного случая, мото-ч

№ объекта	Наработка	№ объекта	Наработка	№ объекта	Наработка	№ объекта	Наработка
1	3100	22	2501	43	5309	64	4900
2	4570	23	4130	44	4770	65	3450
3	5100	24	4420	45	3303	66	4340
4	4100	25	4610	46	4300	67	5330
5	4680	26	5710	47	4100	68	4210
6	4910	27	4330	48	4305	69	5210
7	4350	28	4450	48	4400	70	4490
8	4420	29	3460	50	3950	71	4400
9	3250	30	4390	51	4505	72	4120
10	4320	31	3390	52	4410	73	3420
11	5250	32	5405	53	4810	74	4920
12	5460	33	3405	54	2780	75	4150
13	3460	34	4405	55	4490	76	4340
14	4120	35	3206	56	5450	77	4770
15	4805	36	4207	57	2800	78	4330
16	4450	37	4720	58	3950	79	4680
17	4770	38	4910	59	4550	80	4420
18	4590	39	4305	60	5950	81	4250
19	4490	40	4400	61	3402	82	3750
20	4120	41	5600	62	3500		
21	3700	42	4320	63	4800		

Данную совокупность разобьем на группы и вычислим размах ряда:

$$R = x_{\max} - x_{\min} = 5950 - 2501 \approx 3500 \text{ мото-ч.}$$

Тогда число групп, на которые разбивается ряд, определяется по формуле Стеджера:

$$K = 1 + 3322\lg n,$$

где K — число групп; $n = 82$ — совокупность.

$$K = 1 + 3322\lg 82 \approx 7.$$

Ширина интервалов классов:

$$C = \frac{R}{K} = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{K} = \frac{3500}{7} = 500 \text{ мото-ч.}$$

Левая граница первого класса:

$$x_{\min\,\text{лев}} = x_{\min} - \frac{cK - R}{2} =$$

$$= 2500 - \frac{500 \cdot 7 - 3500}{2} = 2500 \text{ мото-ч.}$$

Сгруппированный вариационный ряд представлен в табл. 3.

Среднее значение ряда и среднеквадратическое отклонение (стандарт) вычисляли по способу

Таблица 3

Сгруппированные показатели наработки двигателей Д-240 и Д-240Л с начала эксплуатации до наступления ремонтного случая

Наработка, мото-ч (диапазон учета x_1)	Среднее значение наработки, мото-ч (диапазона)	От количества обследованных ДВС, ед.
2500...3000	2750	2
3000...3500	3250	12
3500...4000	3750	20
4000...4500	4250	30
4500...5000	4750	15
5000...5500	5250	10
5500...6000	5750	3

сумм [9]. A = 4250 мото-ч — среднее значение массива. Тогда среднее арифметическое ряда $\bar{x}$ и дисперсия S вычисляются по выражениям:

$$\bar{x} = A - \frac{cS_1}{n};$$

$$S = c\sqrt{\frac{S_2 - \frac{S_1^2}{n}}{n-1}},$$

где $S_1 = \alpha_1 - \beta_1$; $S_2 = \alpha_1 + \beta_1 + 2\alpha_2 + 2\beta_2$.

Для вычисления условных сумм S_1 и S_2 сгруппированные частоты размещаем во вспомогательную табл. 4.

Тогда

$$S_1 = \alpha_1 - \beta_1 = 48 - 36 = 12;$$

$$S_2 = \alpha_1 + \beta_1 + 2\alpha_2 + 2\beta_2 =$$
$$= 48 + 36 + 2\cdot 16 + 2\cdot 19 = 154.$$

Или среднее значение ряда:

$$\bar{x} = A - \frac{cS_1}{n} = 4250 - \frac{500\cdot 12}{82} = 4177 \text{ мото-ч};$$

$$S = c\sqrt{\frac{S_2 - \frac{S_1^2}{n}}{n-1}} = 500\sqrt{\frac{154 - \frac{12^2}{82}}{82-1}} = 685 \text{ мото-ч}.$$

Коэффициент вариации ряда:

$$\nu = \frac{S}{\bar{x}}100\ \% = \frac{685}{4177}100\ \% = 16{,}4\ \%;$$

$$\nu < 0{,}33.$$

Совокупность подчиняется закону нормального распределения, так как $\nu < 0{,}33$.

Таблица 4

Вспомогательная таблица для расчета сумм α_1, β_1, α_2, β_2

Средние значения интервалов	Частоты	$\alpha_1 = 48$	$\alpha_2 = 16$
2750	2	2	2
3250	12	14	14
3750	20	32	—
4250	30	—	—
4750	15	28	—
5250	10	13	16
5750	3	3	3
		$\beta_1 = 36$	$\beta_2 = 19$

Ошибка средней арифметической:

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{685}{\sqrt{82}} = 75{,}7 \text{ мото-ч}.$$

Доверительный интервал среднего значения при надежности $\gamma = 0{,}95$ (значимость $p = 0{,}05$) составит:

$$S_{\bar{x}} = \bar{x} \pm tS_{\bar{x}},$$

где t — критерий Стьюдента.

При $n = 82$, $\nu = n - 2 = 80$;

$$t = 2{,}02 \text{ или}$$

$$S_{\bar{x}} = \bar{x} \pm tS_{\bar{x}} = 4177 \pm 2{,}02\cdot 75{,}7 =$$
$$= 4177 \pm 153\,(4024...4330) \text{ мото-ч}.$$

Снижение долговечности (С) в расчете на один дизель до его поступления в ремонт составит:

$$\text{С} = (W_\text{н} - W_\text{з}) = 6000 - (4024...4330) =$$
$$= 1976...1670 \text{ мото-ч}.$$

Как показывают полученные результаты, долговечность уменьшается примерно на 33 % нормативного значения (рис. 2).

Ущерб от снижения долговечности каждого дизеля в среднем составит:

$$\text{У}_\text{ср} = \frac{1}{3}\text{С}_\text{кр},$$

где $\text{С}_\text{кр}$ — стоимость капитального ремонта дизельного ДВС, руб.

Проведено анкетирование 22 собственников по вопросам организации эксплуатации, ТО и ремонта машин с двигателями Д-240 и Д-240Л. Результаты анкетирования приведены в табл. 5.

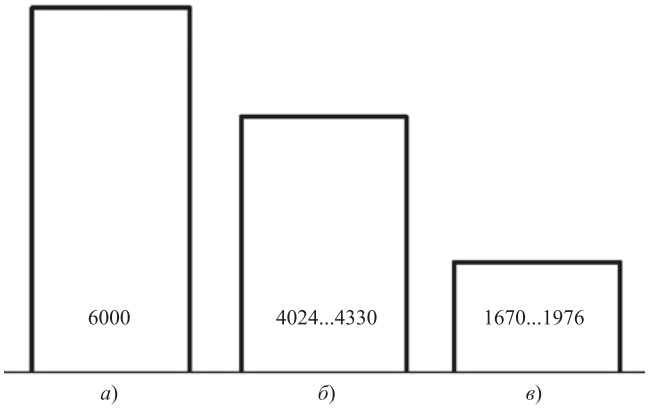


Рис. 2. Показатели ресурса дизеля Д-240, мото-ч:

а — нормативный ресурс нового ДВС; *б* — фактический ресурс ДВС; *в* — снижение ресурса от влияния различных загрязнений

Анализируя полученные результаты анкетирования, отметим, что предприятия, эксплуатирующие машины с двигателями Д-240 и Д-240Л, слабо оснащены технологическим оборудованием для выполнения мойки и очистки мобильной техники.

Для выбора типа закона распределения рассчитываем коэффициент вариации (ν) по опытной информации. Если $\nu \leqslant 0{,}33$, то случайная величина совокупности описывается законом нормального распределения.

Функция плотности частот описывается выражением:

$$m = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2S^2}},$$

а уравнение теоретических (расчетных) частот вычисляем по выражению:

$$m_{\text{теор}} = \frac{nc}{S}\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2S^2}}.$$

Рассчитаем условные суммы S_1 и S_2 с помощью вспомогательной табл. 6.

Таблица 5

Состояние организации эксплуатации и ТО мобильной техники с двигателями Д-240 и Д-240Л (по результатам анкетирования заказчиков)

Наименование показателя	Количество	% общего
Квалификация механизаторов:		
1 класс	4	18,3
2 класс	6	27,2
3 класс	12	54,5
Наличие моечных участков:		
на открытой площадке	22	95
в закрытых помещениях	1	5
Проведение регулярной очистки и мойки техники:		
постоянно	6	27,2
по необходимости	16	72,8
Место межсменной стоянки машин:		
на открытой площадке	20	90,1
в закрытом помещении	2	8,9
На предприятии имеется:		
моечная установка для ДВС	—	
стенд для регулировки топливной аппаратуры	4	
для испытания гидросистемы	2	

Таблица 6

Вспомогательная таблица для расчета сумм α_1, β_1, α_2, β_2

Средние значения интервалов	Частоты	$\alpha_1 = 50$	$\alpha_2 = 18$
2750	9	2	2
3250	12	14	16
3750	20	34	—
4250	30	—	—
4750	15	28	—
5250	13	13	16
5750	3	3	3
		$\beta_1 = 44$	$\beta_2 = 19$

Тогда:

$$S_1 = \alpha_1 - \beta_1 = 50 - 44 = 6;$$

$$S_2 = \alpha_1 + \beta_1 + 2\alpha_2 + 2\beta_2 = 50 + 44 + 36 + 38 = 168.$$

$$\bar{X} = A - \frac{cS_1}{n} = 4250 - \frac{500 \cdot 6}{82} = 4214 \text{ мото-ч.}$$

Вычислим стандартное отклонение S:

$$S = c\sqrt{\frac{S_2 - \frac{S_1^2}{n}}{n-1}} = 500\sqrt{\frac{168 - \frac{36}{82}}{82-1}} = 717 \text{ мото-ч.}$$

Теоретические (расчетные) частоты по классам:

$$m_{\text{теор}} = \frac{nc}{S}\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2S^2}} =$$

$$= \frac{82 \cdot 500}{719}\frac{1}{\sqrt{2 \cdot 3{,}14}} e^{-\frac{(x-4214)^2}{2 \cdot 719^2}} = 27{,}25 e^{-\frac{(x-4214)^2}{1033922}}.$$

Для расчета теоретических частот распределения совокупности имеем:

$n = 82$;

$c = 500$ мото-ч;

$\bar{x} = 4214$ мото-ч;

$S = 719$ мото-ч.

Результаты расчетов теоретических частот по классам ($m_{\text{теор}}$) представлены в табл. 7.

Правильность решения оценивали по правилу Романовского:

$$\frac{|1 - \chi^2|}{\sqrt{2\nu}} \leqslant 3,$$

где $\nu = j - 3 = 7 - 3 = 4$ — число степеней свободы для нормального закона распределения; χ^2 — *пси*-квадрат распределения Пирсона.

Таблица 7

Результаты расчетов $m_{теор}$

j	Средние значения интервалов	частоты		$\frac{m_{фак} - m_{теор}}{m_{фак}}$
		$m_{фак}$	$m_{теор}$	
1	2750	2	2,63	0,5845
2	3250	12	9,95	0,3503
3	3750	20	27,25	2,1581
4	4250	30	27,02	0,2100
5	4750	15	20,25	1,8375
6	5250	10	8,56	0,3385
7	5750	3	2,12	0,5810
			92,2	$\chi^2 = 6{,}4899$

В нашем случае имеем:

$$\frac{|1 - 6{,}4899|}{\sqrt{2 \cdot 4}} = 1{,}94 < 3.$$

Теоретическое распределение согласуется с экспериментальными данными.

Появление или непоявление событий определяли по уравнению:

$$Q_{(x_i)} = 1 - P_{(x_i)},$$

где $Q_{(x_i)}$ — непоявление событий в нарастающем итоге; $P_{(x_i)}$ — появление событий в нарастающем итоге.

Вероятность появления и непоявления событий приведена в табл. 8.

Для наглядного изображения распределения показателя наработки до капитального ремонта двигателей построим гистограмму — закономерность распределения результатов измерения по классам вариационного ряда. Прямоугольники соответствуют классам, а их высоты — частотам сгруппированного вариационного ряда. Если серединные значения гистограмм соединить между собой, то получается график дискретного варьирования, называемый полигоном распределения случайных величин (рис. 3).

Таблица 8

Вероятность появления и непоявления событий

Классы	$m_{фак}$	$m_{теор}$	$P_{фак}$	$P_{теор}$	$Q_{фак}$	$Q_{теор}$
1	2	2,63	0,02	0,03	0,98	0,97
2	12	9,95	0,15	0,13	0,85	0,87
3	20	27,25	0,37	0,41	0,63	0,59
4	30	27,02	0,70	0,68	0,30	0,32
5	15	20,25	0,86	0,87	0,14	0,13
6	10	8,12	0,96	0,97	0,04	0,03
7	3	2,25	1,00	1,00	0,00	0,00

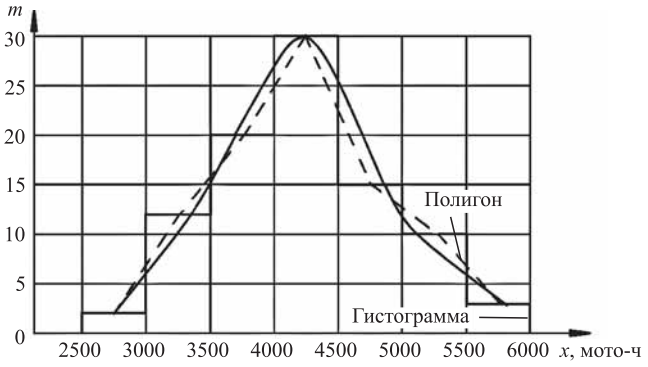


Рис. 3. Гистограмма, полигон и график нормального распределения случайных величин в зависимости от долговечности обследованных дизелей

При распределении эмпирических совокупностей бросается в глаза одна и та же особенность — преимущественное накопление дат (частот) в центральных участках и постепенное убывание их по мере удаления от серединной точки вариационного ряда. Эта особенность составляет одну из характеристик вариационного ряда.

На рис. 4 приведена зависимость появления $P(x)$ и непоявления $Q(x)$ событий от долговечности обследованных дизелей.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что долговечность двигателей напрямую зависит от состояния организации эксплуатации и ТО мобильной техники, наличия соответствующей базы и регулярности очистки и мойки ее агрегатов.

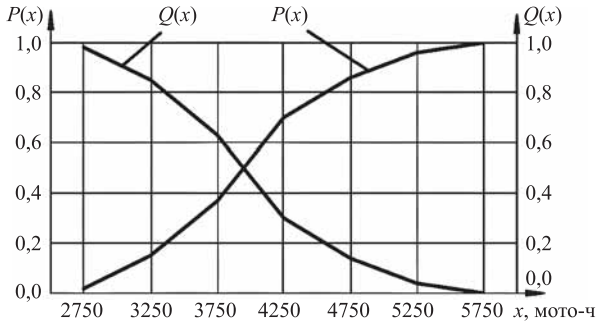


Рис. 4. Зависимость появления $P(x)$ и непоявления $Q(x)$ событий в зависимости от долговечности обследованных дизелей

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Черноиванов В. И., Лосев В. Н. Быстрицкая А. Л.** Очистка и мойка машин и оборудования. — М.: ГОСНИТИ, 1998. — 99 с.
2. **Чертков Я. Б.** Современные и перспективные углеводородные реактивные и дизельные топлива. — М.: Химия, 1968. — 356 с.
3. **Тельнов Н. Ф., Мороз В. П., Очковский Н. А.** О механизме накипеобразования. Доклады МИИСП. — М.: Изд-во МИИСП. — 1971.
4. **Предупреждение** отложений накипи и снижение коррозии в системе охлаждения дизелей / Н. Ф. Тельнов, Е. Ф. Тебенихин, В. П. Мороз, Н. А. Очковский // Тракторы и сельхозмашины, 1969. — № 7.
5. **Лебединский К. В., Курносов Н. Е.** Ресурсосберегающий метод очистки машиностроительной продукции от углеводородсодержащих производственных загрязнений // Экологические проблемы современности. — Пенза, 2011. — С. 61—65.
6. **Карагодин В. И., Митрохин Н. Н.** Ремонт автомобилей и двигателей: учеб. пособие для студентов учреждений сред. проф. образования. 8-е изд., стер. — М.: Издательский центр "Академия", 2012. — 496 с.
7. **Фадеев И. В., Ременцов А. Н., Садетдинов Ш. В.** Повышение противокоррозионных качеств моющих средств с применением амидоборатных соединений на автомобильном транспорте // Грузовик. — 2015. — № 4. — С. 13—16.
8. **Гольдштейн Я. Е., Горбульский Н. Я.** Повышение долговечности тракторных двигателей. — М.: Машгиз, 1961. — 200 с.
9. **Болдин А. П., Максимов В. А.** Основы научных исследований: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования. — М.: Издательский центр "Академия", 2012. — 336 с.

ИЗДАТЕЛЬСТВО

"ИННОВАЦИОННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ"

принимает подписку на журнал

"ГРУЗОВИК"

ТРАНСПОРТНЫЙ КОМПЛЕКС. СПЕЦТЕХНИКА

на 2018 год

Подписавшись в издательстве, вы:
1) получаете без задержек журнал с первого номера;
2) экономите на стоимости почтовой доставки;
3) получаете скидку до 5 %.

Наши реквизиты:
E-mail: realiz@mashin.ru
Тел.: 8 (495) 785-60-69.
Отдел продаж, маркетинга, рекламы
WWW.MASHIN.RU

УДК. 656.01

М. А. Кудряшов, аспирант, МАДИ, **Р. С. Айриев,** советник заместителя генерального директора ГУП "Мосгортранс"
E-mail: sparky5@yandex.ru

ПОТРЕБИТЕЛЬСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА УСЛУГ АЭРОЭКСПРЕСС В МОСКОВСКОМ АВИАЦИОННОМ УЗЛЕ

В статье выполнен краткий анализ транспортного обслуживания аэроэкспрессом Московского авиационного узла. Определены основные конкуренты аэроэкспресса по обеспечению сообщения между г. Москвой и аэропортами Шереметьево, Внуково и Домодедово. Выполненный анализ пассажиропотока позволил определить устойчивую тенденцию к сокращению пассажиропотока по всем направлениям обслуживаемым аэроэкспрессом.
В целях определения потребительской оценки уровня качества услуг, оказываемых ООО "Аэроэкспресс", ассоциацией содействия развитию транспортной отрасли "Транспортная ассоциация московской агломерации" с привлечением Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ) выполнено инициативное научное исследование.

Ключевые слова: *качество транспортного обслуживания, аэроэкспресс, интермодальные перевозки, индекс NPS, Московский авиационный узел.*

The article provides a brief analysis of the transport services provided by Aeroexpress to the Moscow Aviation Node. The main competitors of Aeroexpress were established to ensure communication between Moscow and Sheremetyevo, Vnukovo and Domodedovo airports. The performed analysis of the passenger traffic allowed to determine a steady tendency to reduce passenger traffic in all directions served by Aeroexpress.
In order to determine the consumer assessment of the level of service quality provided by LLC Aeroexpress, the Association Association for the advancement of the transport industry "Transport Association of Moscow Agglomeration" with the involvement of the MADI, an initiative scientific research was carried out.

Keywords: *quality of transport services, Aeroexpress, intermodal transport, NPS index, Moscow aviation hub.*

Введение

Аэроэкспресс создан в соответствии с программой структурной реформы на железнодорожном транспорте, утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации от 18 мая 2001 г. № 384.

ООО "Аэроэкспресс" — оператор пассажирских перевозок, обеспечивающий железнодорожное сообщение между Белорусским, Павелецким и Киевским вокзалами города Москвы и аэропортами Московского авиационного узла: Шереметьево, Внуково, Домодедово.

Частота движения по маршрутам МАУ составляет 30 мин, средняя скорость движения по всем направляемом 60 км/ч., время поездки до аэропортов Шереметьево и Внуково составляет 35 мин, до аэропорта Домодедово 45 мин.

Одной из основных целей создания аэроэкспресса является обеспечение российского рынка интермодальных перевозок конкурентоспособными транспортными услугами.

Основными конкурентами по обеспечению сообщения между г. Москвой и аэропортами являются [1]:

1) на железнодорожном транспорте — ОАО "ЦППК";

2) на наземном городском пассажирском транспорте общего пользования — ГУП "Мосгортранс", ГУП "Мострансавто", ОАО "Группа Автолайн";

3) легковые автомобили такси.

Начиная с 2013 г. отмечается устойчивая тенденция по сокращению пассажиропотока на маршрутах, обслуживаемых аэроэкспрессом (рис. 1). Основное влияние на сокращение пассажиропотока, помимо сокращения общего спроса на авиаперевозки, является также снижение уровня качества услуг, предоставляемых аэроэкспрессом, при возрастающей конкуренции на автомобильном транспорте — снижение тарифов на услуги такси и повышение уровня качества услуг наземным городским пассажирским транспортом общего пользования.

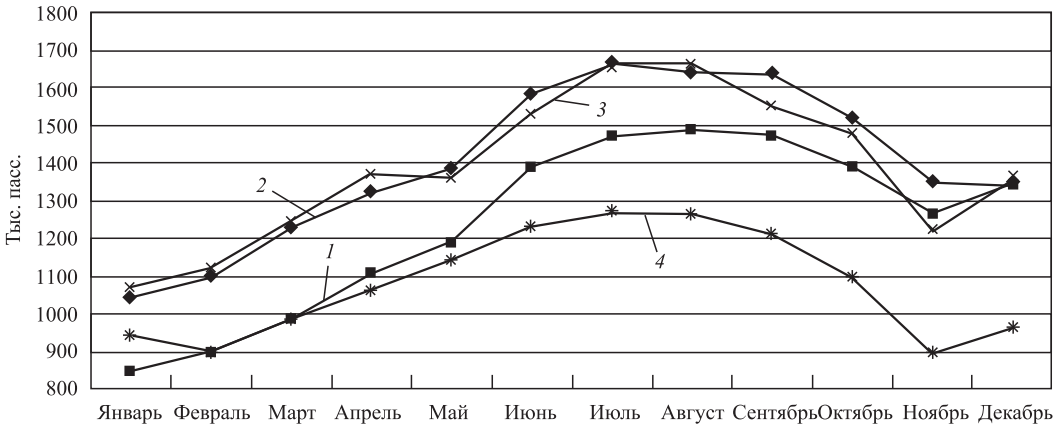


Рис. 1. Динамика пассажиропотока

1 — 2012 г.; *2* — 2013 г.; *3* — 2014 г.; *4* — 2015 г.

Основные результаты исследования потребительской оценки уровня качества услуг

Математически качество представляется вектором в *n*-мерной системе координат, где *n* — число показателей оценки качества (рис. 2). Векторная интерпретация качества объясняет его фундаментальное отличие от количественных показателей. Оценка качества представляется двухэтапной процедурой: первично производят оценку качества по каждому из учитываемых показателей, после чего рассчитывается интегральный показатель [2].

Методические подходы к определению показателей качества транспортных услуг предложены в работах [2—13].

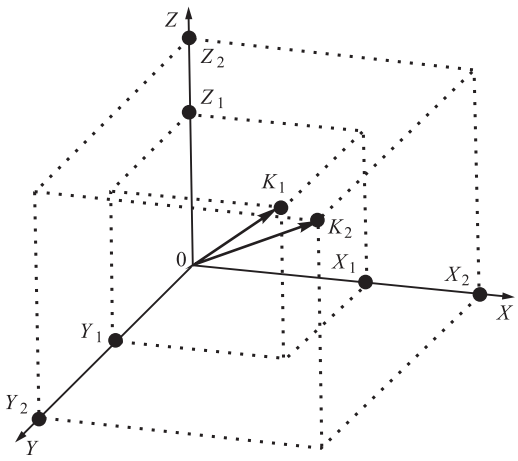


Рис. 2. Векторное представление качества

Число показателей качества равно трем: *X, Y, Z*; индексы *1* и *2* показывают исходное и нормативное качество: K_1 и K_2 — соответственно исходное и нормативное качество обслуживания

Системный анализ методов [2—13] интегральной оценки качества транспортного обслуживания $K_и$ приведен в таблице, где K_i — частный показатель качества; A_i — взвешивающий коэффициент при показателе; Z — оператор, приводящий величину K_i к безразмерной форме.

Настоящее исследование выполнено путем самостоятельного заполнения анкеты респондента под контролем интервьюера в салоне аэроэкспресса во время поездки по трем направлениям в/из аэропортов Внуково, Домодедово,

Методы расчета интегрального коэффициента качества

Метод оценки интегрального показателя качества	Расчетная формула
Арифметическая сумма частных показателей	$K_и = \sum_{i=1}^{n} K_i Z$
Взвешенная сумма частных показателей	$K_и = \sum_{i=1}^{n} K_i A_i Z$
Произведение частных показателей	$K_и = \prod_{i=1}^{n} K_i Z$
Взвешенное произведение частных показателей	$K_и = \prod_{i=1}^{n} K_i A_i Z$
Среднее геометрическое частных показателей	$K_и = \sqrt[i]{\prod_{i=1}^{n} K_i Z}$
Величина вектора, построенного в системе координат частных показателей	$K_и = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} K_i Z}$

Шереметьево. Целевой аудиторией являлись пассажиры стандартного и бизнес-классов аэроэкспрессов, мужчины и женщины не моложе 18 и не старше 65 лет. Для проведения опроса использовалась специальная форма анкеты, утвержденная ООО "Аэроэкспресс". Для проведения исследования было привлечено более 60 интервьюеров. Обследование проводилось с 7 по 14 июня 2016 г. включительно. По результатам обследование организован сбор 5353 анкет.

Респонденты оценивали характеристики: терминала аэропорта, ж/д терминала, поезда, бизнес-класса, технологий продаж по шкале:

1 — полностью НЕ согласен;
2 — скорее НЕ согласен;
3 — скорее согласен;
4 — полностью согласен;
0 — не заметил/не пользовался/не могу оценить.

Оценка характеристик ж/д терминала и терминала аэропорта выполнялась по 19 параметрам: поезда — по 20 параметрам; бизнес-класса — по 10 параметрам; технологии продаж — по двум основным и четырем дополнительным параметрам в зависимости от способа покупки проездного билета. Дополнительно при оценке качества услуг в терминалах аэропорта, ж/д терминалах и поездах было предложено выбрать не более семи важных характеристик. В категории анкет бизнес и технологии продаж было предложено выбрать не более трех важных характеристик.

Основные социально-демографические характеристики респондентов представлены на рис. 3.

Анализ распределения количества поездок на аэроэкспресса за последний год показывает, что более половины респондентов (52 %) совершили менее четырех поездок. Наиболее популярные цели поездки у пассажиров аэроэкспресса является отдых (48 %) и полет в командировку (32 %). Распределение по видам транспорта, используемым в предыдущей поездке до/из аэропорта, представлены на рис. 4.

В целях повышения достоверности полученных данных об использовании других видов транспорта для поездок до/из аэропортов рекомендуется проведение дополнительных исследований в тер-

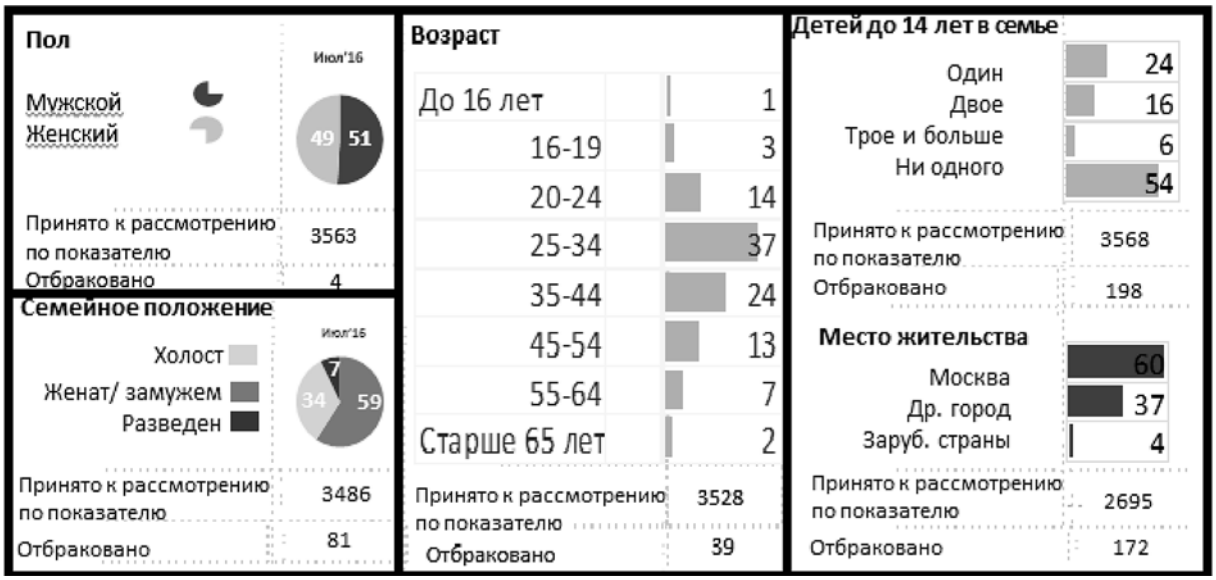


Рис. 3. Социально-демографические характеристики, %

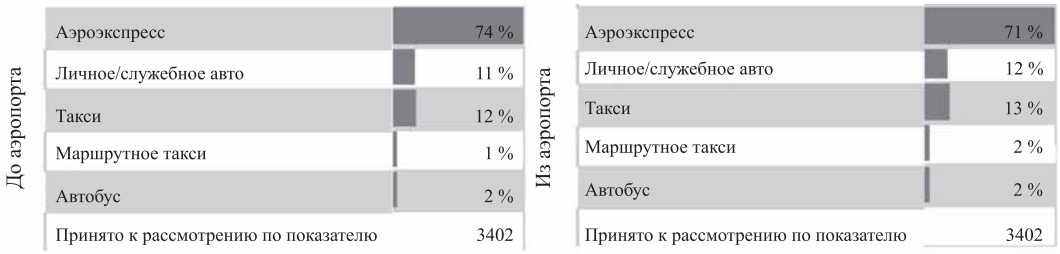


Рис. 4. Виды транспорта, используемые в предыдущей поездке, %

миналах аэропортов. Наиболее популярные виды транспорта, используемые для поездок до аэроэкспресса и от вокзала, являются метрополитен (78 % и 74 % соответственно) и такси (11 % и 10 %, соответственно).

На основе полученных данных был произведен расчет индекса *NPS* — индекса готовности рекомендовать. Измерение индекса *NPS* включает в себя несколько шагов. Пассажирам было предложено ответить на вопрос "Оцените, пожалуйста, насколько вы готовы рекомендовать вашим друзьям/знакомым пользоваться услугами аэроэкспресса" по 10-балльной шкале, где 0 соответствует ответу "Точно НЕ порекомендую", 10 — "Точно порекомендую".

На основе полученных оценок все пассажиры разделены на три группы: 9, 10 баллов — высокая степень готовности; 7, 8 баллов — средняя степень готовности; 0—6 баллов — низкая степень готовности. Расчет индекса *NPS* произведен по формуле:

NPS = доля пассажиров с высокой степенью готовности − доля пассажиров с низкой степенью готовности.

Анализ среднестатистических значений по всем направлениям показывает в целом высокую степень готовности респондентов рекомендовать пользоваться услугами аэроэкспресса, значение индекса *NPS* составило 54.

В целях определения "реальной" важности характеристик, заявленных важными, были использованы коэффициенты уравнения множественной линейной регрессии, где в качества зависимой переменной использовалась "готовность рекомендовать аэроэкспресс", независимые переменные — оцениваемые характеристики.

Заключение

Анализ полученных потребительских оценок уровня качества услуг аэроэкспресса в целом имеет сходимость по трем направлениям. Расчетные параметры характеристик, заявленных важными, в целом также имеют сходимость с характеристиками, заявленными важными.

Полученные результаты показывают, что приоритетными направлениями повышения качества услуг на Аэроэкспрессе следует отметить гибкое ценообразование, в первую очередь, для повышения лояльности существующих пассажиров, компенсации сезонных и суточных спадов и привлечения пассажиров, путешествующих группами.

Направлением дальнейший исследований является оценка качества услуг на других видах транспорта, обеспечивающих пассажирское сообщение между г. Москвой и аэропортами. Дополнительно отметим необходимость разработки системы организации работы таксомоторных компании в аэропортах МАУ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Годовые отчеты** ООО "Аэроэкспресс" [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://aeroexpress.ru/aero/press/inform_disclosure/godovie_otchet.html, свободный. (дата обращения 12.02.2018).
2. **Спирин И. В.** Научные основы комплексной реструктуризации городского автобусного транспорта: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.10. Место защиты: Моск. гос. автомобил.-дорож. ин-т (техн. ун-т). — М., 2007. — 421 с.
3. **Блудян Н. О., Антонов М. Н.** Критериальная оценка обеспеченности населения региона транспортным обслуживанием // Вестник МАДИ (ГТУ). —2009. — № 3 (18). — С. 110—113.
4. **Блудян Н. О., Рощин А. И., Антонов М. Н.** К вопросу минимальных социальных стандартов транспортного обслуживания населения // ВИНИТИ РАН Депонированная рукопись № 754-В2009 30.11.2009. — М., 2009. — 9 с.
5. **Блудян Н. О., Айриев Р. С., Кудряшов М. А.** Методические основы управления мультимодальными пассажирскими перевозками // В мире научных открытий. — 2015. — № 10.3 (70). — С. 1249—1259.
6. **Кудряшов М. А., Шаталова А. В.** Методика оценки качества обслуживания маломобильных групп населения в транспортно-пересадочных узлах // Грузовик. — 2017. — № 11. — С. 35—42.
7. **Кудряшов М. А., Маслова В. Ю.** Взаимодействие автотранспорта (личного и общего пользования) в транспортно-пересадочных узлах // Грузовик. — 2018. — № 1. — С. 35—42.
8. **Блудян Н. О., Мороз Д. Г., Хейфиц П. И.** Агломерационные проблемы организации эффективной транспортной системы // Автоматизация и управление в технических системах. — 2014. — № 2. — С. 3.
9. **Блудян Н. О.** Оценка уровня транспортного обслуживания населения региона // Автомобильный транспорт. — 2008. — № 2. — С. 24—27.
10. **Маркетинговый** подход к управлению качеством транспортного обслуживания: монография / А. М. Асалиев, Н. Б. Завьялова, О. В. Сагинова, И. В. Спирин, И. И. Скоробогатых и др. / Под ред. Н. Б. Завьяловой, О. В. Сагиновой, И. В. Спирина. — Новосибирск: Издательство ЦРНС, 2016. — 172 с.
11. **Антонов М. Н.** Совершенствование методов обоснования параметров транспортного обслуживания населения по автобусным маршрутам регулярных перевозок: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08. Место защиты: Моск. гос. автомобил.-дорож. ин-т (техн. ун-т). — М., 2010. — 159 с.
12. **Тлегенов Б. Н.** Аанализ методов оценки и показателей качества системы городского пассажирского транспорта // Современные проблемы науки и образования. — 2012. — № 3. Электронный ресурс. Режим доступа: https://science-education.ru/ru/article/view?id=6121, свободный (дата обращения 31.01.2018).
13. **Варелопуло Г. А.** Организация движения и перевозок на городском пассажирском транспорте. — М.: Транспорт, 1990. — 208 с.

УДК 630.648

В. Н. Макеев, канд. техн. наук, профессор, **Д. Д. Плешков,** соискатель,
Р. Г. Неранов, магистр, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова (ВГЛТУ), г. Воронеж
E-mail: pleshkov2012@yandex.ru

ОЦЕНКА ИНЕРЦИОННОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕССА В ЛЕСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Данная статья посвящена определению оптимального уровня инерционности и коэффициента надежности транспортно-грузового процесса лесопромышленного предприятия. Эффективность транспортно-грузовых процессов лесопромышленных предприятий лесного комплекса имеет большое значение в их производственной деятельности и зависит от многих факторов. При этом наиболее существенными факторами является уровень инерционности и коэффициент надежности транспортно-грузовых процессов.

В научной статье поставлена и успешно решается задача определения оптимального уровня инерционности и коэффициента надежности транспортно-грузового процесса лесопромышленного производства. Вместе с этим в ней представлены расчетные формулы для определения оптимального время запаздывания, дополнительного время запаздывания и коэффициента надежности транспортно-грузового процесса лесопромышленного предприятия.

При организации перевозок различных лесных грузов, в частности круглых лесоматериалов (сортиментов) специальным подвижным составом с использованием предложенных расчетных формул можно экономически обоснованно решать вопрос о выборе оптимального соотношения между провозной возможностью транспортно-грузового комплекса лесопромышленного предприятия и его грузопотоком.

Коэффициент надежности транспортно-грузового процесса позволяет найти оптимальное соотношение между средними величинами грузопотока и провозной возможности транспортно-грузового комплекса лесопромышленного предприятия и тем самым определить оптимальный уровень инерционности транспортно-грузовых процессов при перевозке конструктивных лесных грузов определенным потребителем.

Ключевые слова: *оптимальный уровень инерционности, коэффициент надежности транспортно-грузового процесса, транспортно-грузовой комплекс лесопромышленного предприятия, эффективность транспортно-грузовых процессов, оптимальное время запаздывания, перевозка круглых лесоматериалов.*

The efficiency of transport and cargo processes of timber enterprises of forestry complex is of great importance in their production activities and depends on many factors. At the same time, the most significant factors are the level of inertia and reliability coefficient of transport-cargo processes.

The scientific article poses and successfully solves the problem of determining the optimal level of inertia and reliability coefficient of transport and cargo process of timber industry. At the same time, it presents calculation formulas for determining the optimal lag time, additional lag time and reliability coefficient of transport and cargo process of a timber enterprise.

When organizing the transportation of various forest products, in particular round timber (assortments) by special rolling stock using the proposed calculation formulas, it is possible to economically justify the issue of choosing the optimal ratio between the transported cargo complex of a timber enterprise and its freight traffic.

Reliability coefficient of transport and cargo process allows finding the optimal ratio between the average values of the freight flow and transport capacity of the transport and cargo complex of the timber industry enterprise and, thereby, determining the optimal level of inertia in the transport and cargo processes for the transportation of constructive timber cargoes by a certain consumer.

Keywords: *the optimal level of inertia, reliability coefficient of transport and cargo process, transport and cargo complex of timber enterprise, efficiency of transport and cargo processes, optimal lag time, transportation of round timber.*

Описание транспортно-грузового комплекса (процесса) лесопромышленного производства определяет состав и организацию его работы. Состав транспортно-грузового комплекса устанавливает количество и тип лесовозных транспортных единиц, принадлежащих данному лесопромышленному предприятию. Организация работы транспортно-грузового комплекса обеспечивает взаимодействие транспортных единиц и погрузочно-разгрузочных средств в процессе

реализации транспортных потребностей этого предприятия.

Движение лесовозных транспортных единиц (автопоездов, сортиментов и т. п.) при организации транспортно-грузового комплекса предприятия с периодическими транспортными потребностями носит повторяющийся или регулярный характер.

Под инерционностью транспортно-грузового комплекса лесопромышленного предприятия понимается несоответствие (отставание или опережение) между его провозными возможностями и нагрузкой ($м^3$/ч), которая на него приходится. Ввиду значительного влияния инерционности транспортно-грузового процесса на затраты, связанные со своевременностью доставки лесных грузов (круглых лесоматериалов) потребителям, необходимо всегда прежде всего анализировать основные причины, ведущие к появлению инерционности. Транспортно-грузовой процесс лесопромышленного предприятия связан с временной последовательностью между разными действиями — прием заявки от потребителя, выделение лесовозного подвижного состава, погрузка непосредственно на лесосеке или на лесном складе, перемещение лесного груза на определенное расстояние к необходимому потребителю и т. д.

В общем случае на инерционность транспортно-грузового процесса оказывают влияние: задержки в оформлении документации на перевозку, время, затрачиваемое на перевозку лесного груза (например, сортиментов) [1], время на его перевозку, задержки, связанные с невозможностью осуществления перевозок из-за отсутствия соответствующего груза подвижному составу [2], задержки, связанные с превышением потребности в перевозках лесных грузов над провозными возможностями имеющегося на предприятии подвижного состава, величина общего грузопотока, а также провозной возможности транспортно-грузового комплекса предприятия.

Одной из важнейших характеристик инерционности транспортно-грузового процесса является длительность времени, выражающая среднее значение отставания доставки лесного груза потребителю от возникшей в нем потребности $T_з$. При рациональном соотношении между грузопотоком и провозной возможностью лесовозного подвижного состава предприятия оптимальное время запаздывания перевозок можно определить по простой формуле:

$$T_з = T_о + T_п, \qquad (1)$$

где $T_о$ — время, связанное с оформлением документов на перевозку лесного груза, ч; $T_п$ — время, потребное на перевозку лесного груза от места его погрузки (лесосека или лесной склад) до места разгрузки (склад потребителя), ч.

Такая продолжительность задержки в доставке лесного груза не вызывает особых потерь у потребителя. Основное влияние на потери оказывает инерционность, появляющаяся в результате несоответствия между грузопотоком и провозной возможностью транспортно-грузового комплекса лесопромышленного предприятия. В данном случае появляется дополнительное время запаздывания, которое определяется по формуле:

$$T_{д.з} = \frac{(t_1 - t_2)\left[Q(t) - N(t)\right]}{Q(t)}, \qquad (2)$$

где t_1 — время (срок) доставки лесного груза потребителю, ч; $t_2 = T_з$ — оптимальное время запаздывания доставки груза потребителю, ч; $Q(t)$ — грузопоток транспортно-грузового комплекса лесопромышленного предприятия (количество груза в натуральном выражении, подлежащего перевозке от места его производства (лесной склад) до места потребления (склад потребителя), $м^3$/ч; $N(t)$ — провозная возможность транспортно-грузового комплекса, $м^3$/ч.

При установившихся условиях перевозок лесных грузов любого лесопромышленного предприятия грузопоток на выходе, умноженный на среднюю величину запаздывания, дает количество груза, которое своевременно (в нужное время) не поступает на склад потребителя. Таким образом, одно из состояний проявления инерционности транспортно-грузового процесса — превышение грузопотока над провозными возможностями предприятия — приводит к несвоевременным перевозкам лесных грузов потребителям, к невыполнению транспортно-грузовым комплексом его (предприятия) заданных функций, к отказу функционирования данного транспортно-грузового процесса.

Инерционность транспортно-грузового процесса лесопромышленного предприятия проявляется не только в отставании его провозных возможностей от грузопотока, но и в опережении ими данного грузопотока. При этом эффективность перевозок снижается в результате нарушения пропорционального функционирования звеньев транспортно-грузового процесса и даже ухудшения технико-эксплуатационных показателей работы лесовозного подвижного состава [3].

В общем случае инерционность любого транспортно-грузового процесса лесопромышленного предприятия, прежде всего, связана с его надежностью. Надежность транспортно-грузового процесса представляет собой совокупность специфических технических и организационных свойств его составляющих (звеньев и компонентов), обеспечивающих выполнение транспортно-грузовым комплексом предприятия заданных ему функций при нормальных условиях эксплуатации лесовозного подвижного состава и погрузочно-разгрузочных устройств в течение определенного промежутка времени. Надежность транспортно-грузового процесса, с одной стороны, зависит от конструктивной надежности отдельных элементов его звеньев, а с другой — от соответствия пропускной способности лесовозного подвижного состава и грузопотока транспортно-грузового комплекса предприятия.

Под отказом функционирования транспортно-грузового процесса следует понимать состояние, когда грузопоток лесных грузов превышает провозную возможность транспортно-грузового комплекса на величину $\Delta Q(t)$, либо когда транспортно-грузовой процесс нарушается из-за прекращения функционирования какого-то отдельно взятого звена [4]. Величина $\Delta Q(t)$ связана с конкретными условиями перевозок лесных грузов и может значительно колебаться в различных транспортно-грузовых процессах подобного рода других лесопромышленных предприятий. Такое понятие отказа позволяет иметь численные характеристики надежности транспортно-грузового процесса и сравнивать перевозки различных лесных грузов между собой. Так, если транспортно-грузовой процесс перевозки круглых лесоматериалов (сортиментов) выполняется при погрузке их с лесного склада предприятия, то величина $\Delta Q(t)$ должна быть небольшой, а надежность транспортно-грузового процесса весьма высокой, так как несвоевременная перевозка сортиментов на склад потребителя (лесопильно-деревообрабатывающее предприятие) может привести к простою рабочих, оборудования, к срыву работ по переработки круглых лесоматериалов. В то время как при перевозке круглых лесоматериалов непосредственно с лесосеки надежность транспортно-грузового процесса может быть несколько ниже, а значение $\Delta Q(t)$ больше, так как отсутствие в наличии в данный момент времени готовых круглых лесоматериалов может привести к простою лесовозного подвижного состава. Следовательно, чтобы контролировать и оказывать влияние на надежность транспортно-грузового процесса лесопромышленного предприятия, необходимо иметь его количественные характеристики. Так, для повышения надежности транспортно-грузовых процессов и сравнения между собой отдельных транспортно-грузовых процессов рассматриваемого лесопромышленного предприятия или различных предприятий региона может быть применен относительный показатель [5] — коэффициент надежности, представляющий собой отношение средней провозной возможности транспортно-грузовых комплексов к среднему грузопотоку, а именно:

$$K_{\text{Н}} = \frac{N(t)_{\text{ср}}}{N(t)_{\text{ср}}}. \qquad (3)$$

В настоящее время транспортно-грузовой процесс любого лесопромышленного предприятия можно организовать с любой степенью надежности, так как она напрямую связана с себестоимостью перевозок лесных грузов. Так, повышение надежности транспортно-грузовых процессов повышает себестоимость перевозок и наоборот. Если надежность транспортно-грузового процесса будет низкой, то себестоимость перевозок лесных грузов будет минимальной, но предприятия-потребители этих грузов будут иметь потери, связанные с несвоевременным получением их (грузов). Однако по мере повышения надежности транспортно-грузового процесса потери потребителей из-за несвоевременности поставок лесных грузов будут уменьшаться, а затраты лесопромышленного предприятия, связанные с перевозками, будут возрастать.

Для определения оптимального уровня надежности транспортно-грузового процесса необходимо использовать экономические показатели, согласно которым повышение надежности рассматривается как средство, снижения затрат на транспортно-грузовой процесс и потерь, связанных с несвоевременной доставкой лесных грузов потребителям [6, 7].

Следовательно, определение оптимального значения коэффициента надежности транспортно-грузового процесса основывается на экономических показателях, взятых из расчетов. Обозначив стоимость ущерба лесопромышленного предприятия от расчетной единицы лесного груза (1 м^3), при недовыполнении плана перевозок его через $И_{щ}$, а убыток потребителя лесного груза от несвоевременной доставки (перевозки) его единицы $И_{б}$ и предположив, что рассеивание провозной

возможности транспортно-грузового комплекса лесопромышленного предприятия происходит в соответствии с нормальным распределением, оптимальный коэффициент надежности транспортно-грузового процесса будет определяться по формуле:

$$K_{н} = \frac{Q(t) + \frac{\sigma}{б}\left(L_{п}И_{б} - L_{п}И_{щ}\right)}{Q(t)}, \qquad (4)$$

где σ — среднее квадратическое отклонение случайной величины нормального распределения; $L_{п}$ — расстояние доставки лесного груза потребителю; $И_{б}$ — убыток потребителя от несвоевременной доставки лесного груза; $И_{щ}$ — ущерб лесопромышленного предприятия за счет недовыполнения плана поставки лесного груза потребителю.

Анализ данной формулы показывает, что величина коэффициента надежности транспортно-грузового процесса зависит от величины ($L_{п}И_{б} - L_{п}И_{щ}$), грузопотока и колебания провозной возможности транспортно-грузового комплекса лесопромышленного предприятия. При величине отклонения колебания, выраженной в долях грузопотока $\Delta Q(t)$, зависимость изменения коэффициента надежности от величины ($L_{п}И_{б} - L_{п}И_{щ}$) становится прямо пропорциональной.

При организации перевозок различных лесных грузов потребителям с использованием формулы (4) можно экономически обоснованно решать вопрос о выборе оптимального соотношения между провозной возможностью транспортно-грузового комплекса лесопромышленного предприятия и его грузопотоком.

Следовательно, коэффициент надежности транспортно-грузового процесса позволяет найти оптимальное соотношение между средними величинами грузопотока и провозной возможности транспортно-грузового комплекса лесопромышленного предприятия и тем самым определить оптимальный уровень инерционности транспортно-грузовых процессов при перевозке конкретных лесных грузов определенным потребителям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Влияние** продолжительности простоя на производительность подвижного состава / В. Н. Макеев, С. И. Сушков, М. С. Солопанов, И. Е. Шевцова, А. С. Сушков // Лесотехнический журнал. — 2013. — № 1 (9). — С. 92—97.
2. **Макеев В. Н., Дымова Н. Н., Долматов Д. В.** Определение технической скорости движения лесовозных автопоездов // Лесотехнический журнал. — 2011. — № 3 (3). — С. 81—83.
3. **Вельможин А. В.** Эффективность автомобильных перевозок. — Волгоград: Нижневолжское книжное издательство, 1975. — 141 с.
4. **Пясецкий С.** Оптимизация перевозочного процесса / пер. с польск. С. Пясецкий. — М.: Транспорт, 1979. — 175 с.
5. **Richter K. J.** Modele economiczno-matematyczne w transporcie. — Warszawa: WKL, 1971.
6. **Piasecki S.** Optymalizacja systemow transportowych. Scrypt. Warszawa, WAT, 1971.
7. **Fischer H., Piehler Y.** Modellsysteme der Operati-Onsforshung. Berlin: Akademie-Verlag, 1974.

Более миллиарда на производство

В ближайшие три года на кузнечном заводе ПАО "КАМАЗ" реализуется программа развития выпуска коленчатых валов для легковых автомобилей, в которую компания инвестирует 1,3 млрд руб.

В рамках начавшейся модернизации кузнечного производства планируется закупка новой, полностью роботизированной линии на базе пресса усилием 6,5 тыс. т. Продукция диверсификации кузнечного завода пользуется высоким спросом: в этом году, используя имеющиеся мощности, кузнецы намерены выпустить ее на рекордную для себя сумму — 1 млрд руб.

Новую линию предполагается разместить в кузнечно-прессовом корпусе № 3, где сейчас находится участок ремонта подвесок и где будет проведена перепланировка. После завершения закупочной процедуры окончательно определится фирма-партнер, с которой будет заключен контракт на поставку оборудования. Этот период рассчитан на полтора года. Производственная линия должна стать универсальной: появится возможность выпускать на ней номенклатуру не только уже освоенных коленчатых валов, но и другие поковки для "КАМАЗа" и сторонних заказчиков.

Пресс-служба ПАО "КАМАЗ"

УДК 656.13.016(07)

А. В. Савельев, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО "Курганский государственный университет", Российская Федерация, e-mail: sav121985@mail.ru, **Н. Н. Рыбин,** канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО "Курганский государственный университет", Российская Федерация, e-mail: atas45@bk.ru

ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО МЕТОДА ДЛЯ ОЦЕНКИ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОЧИХ МЕСТ

В предлагаемой статье рассмотрена возможность применения базы микроэлементов трудовых процессов для оценки вариантов организации рабочих мест на примере ремонта агрегатов автомобилей в автосервисе.

Ключевые слова: *рабочее место, организация, планировка, варианты, микроэлементный метод, оценка, выбор, эффективность.*

The suggested article deals with the possibility of application of the microelements base of labour processes for the assessment and choice of variants of working places organization by the example of repairing car aggregates in a car service.

Keywords: *working place, organization, planning, variants, microelement method, assessment, choice, efficiency.*

Введение

На рынке товаров и услуг успешно конкурируют те предприятия, у которых более высокая производительность труда. Крупные предприятия повышают ее, в первую очередь, путем введения на рабочих местах специализации, механизации, автоматизации и роботизации. На предприятиях малого и среднего бизнеса, к которым относится большинство предприятий автосервиса, эти направления повышения производительности труда практически неприменимы вследствие небольших производственных программ. Для них следует использовать другие пути решения задачи.

В ранее опубликованных работах авторов [1, 2] были приведены результаты анализа факторов, влияющих на производительность труда, на примере рабочих мест по ремонту автомобильных агрегатов в автосервисе. Было установлено, что одним из наиболее значимых факторов является рациональное взаимное пространственное расположение на отведенной производственной площади основного и вспомогательного оборудования, технологической и организационной оснастки, приспособлений, инструмента и самого рабочего (далее — планировка или планировочное решение рабочих мест), которое обеспечивает:

— удобные и безопасные условия труда;

— наиболее эффективное использование производственных площадей;

— улучшение использования рабочего времени исполнителей за счет устранения излишних движений, переходов и т. п.

Параметры выбора оптимального планировочного решения рабочего места и метод их расчета

При организации новых рабочих мест и модернизации существующих может быть разработано множество проектных решений. Возникает задача оценки и выбора оптимального решения. Одним из возможных параметров качества планировки, прямо влияющего на производительность труда, является время выполнения операции и технологического процесса в целом при данном варианте планировки рабочего места. Однако определение этого параметра осложняется тем, что наиболее распространенный метод хронометражных наблюдений для определения времени на выполнение трудовых процессов на рабочих местах не применим на стадии их проектирования.

Для этой цели может быть рекомендован микроэлементный метод. Сущность его сводится к тому, что самые сложные операции, в конечном счете, могут быть представлены в виде определенной последовательности повторяющихся простейших элементов. Например: переместить, установить, закрепить, соединить и т. д. Если раз-

бить операцию на ряд таких микроэлементов и просуммировать имеющееся в базе данных время на их выполнение (t_i), то можно найти оперативное время на выполнение всей операции ($t_о$), мин:

$$t_о = t_1 + t_2 + ... + t_n. \quad (1)$$

Основным достоинством этого метода как раз и является возможность проектирования трудоемкости операций "за столом" на этапе разработки планировочных решений рабочих мест и технологических процессов для них.

Основой этого метода является база микроэлементов [2], созданная для определения трудоемкости технологических процессов обслуживания и ремонта автомобилей. Более подробно принципы и суть данного метода изложены в литературных источниках [2—4].

Оценка нового или модернизированного варианта (вариант 2) планировки рабочего места производится путем сравнения времени на выполнение операции при данной планировке ($t_{о2}$) и при старом или другом варианте (вариант 1) ($t_{о1}$). $t_{о1}$ и $t_{о2}$ рассчитываются с применением базы микроэлементов. Новый вариант (вариант 2) считается более прогрессивным, если обеспечивает возможное повышение производительности труда, рассчитываемое по следующим формулам.

Экономия времени по операции:

$$t_{оэ} = t_{о1} - t_{о2}. \quad (2)$$

Процент снижения времени на операцию:

$$n_о = t_{оэ}/t_{о1} \cdot 100. \quad (3)$$

Возможный рост производительности труда, %:

$$П_R = (100 \cdot n_о) / (100 - n_о). \quad (4)$$

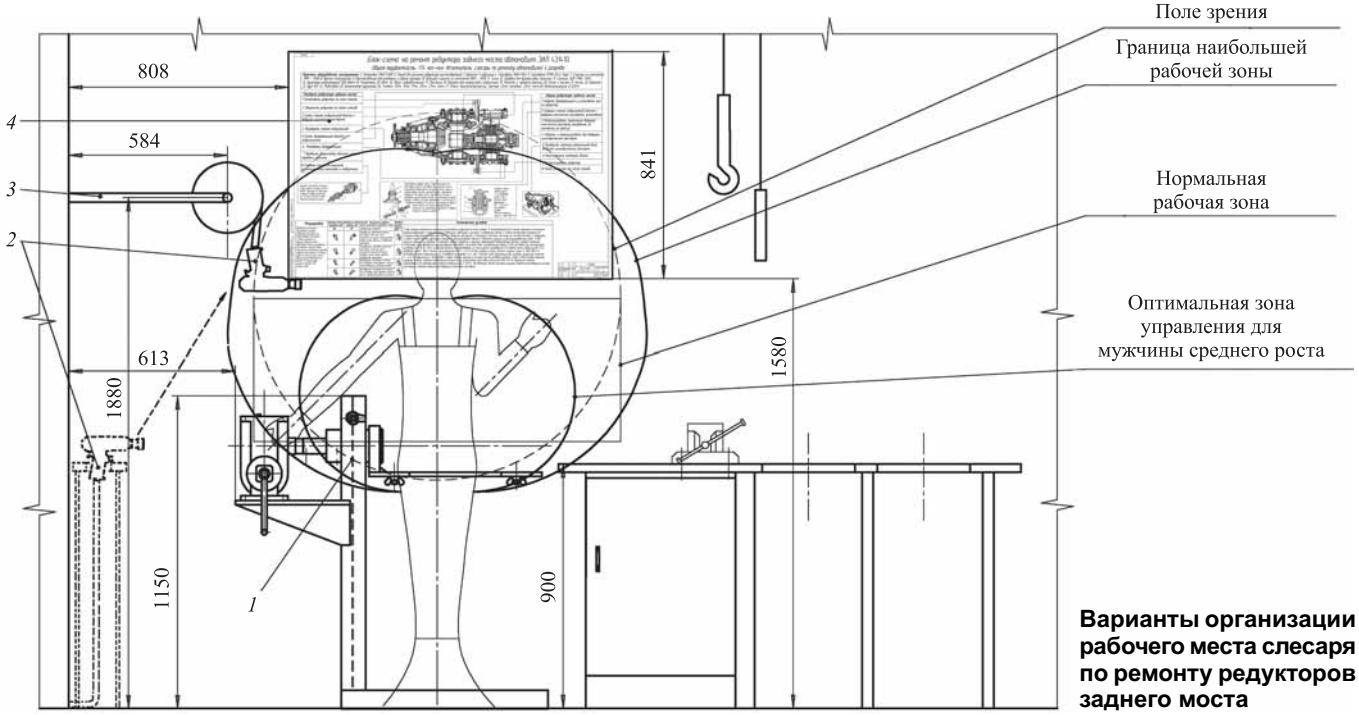
Пример микроэлементного анализа модернизированного планировочного решения рабочего места

В качестве примера применения микроэлементного метода рассмотрим анализ операции "Затянуть болты крепления крышек подшипников ведущей цилиндрической шестерни" из технологии ремонта редуктора заднего моста грузовых автомобилей ЗИЛ.

При существующей планировке рабочего места (вариант 1) по типовой технологии на выполнение данной операции с помощью пневматического гайковерта ПИМ-1763 отведено $t_{о1}$ = 5,48 мин.

Краткое описание планировки рабочего места по варианту 1.

Инструмент, в данном случае гайковерт *2* (обозначен пунктиром на рисунке), находится на подставке высотой 0,9 м слева в двух шагах от стенда *1* для разборки-сборки редуктора. Высота стенда также равна 0,9 м. Гайковерт расположен со стороны подвода сжатого воздуха. Ближе к стенду его расположить нельзя, так как в этом случае автослесарю придется постоянно наступать на



Варианты организации рабочего места слесаря по ремонту редукторов заднего моста

шланг подвода воздуха и спотыкаться об него. Планировка данного варианта рабочего места модернизирована (вариант 2).

Краткое описание предлагаемого проекта планировки рабочего места по варианту 2.

Гайковерт *2* по-прежнему находится слева от стенда *1*, но он размещен на навеске *3* с барабаном для самонаматывания шланга на высоте 1,88 м (рисунок). Навеска выполнена таким образом, чтобы для экономии движений гайковерт находился в зоне досягаемости рабочего и в то же время не мешал, когда он не используется. Для информационного обеспечения рабочего места на стене перед глазами рабочего расположен планшет *4* с блок-схемой по ремонту редуктора заднего моста [1].

Изменения, произведенные в планировке рабочего места, влияют на выполнение только части рассматриваемой операции, а именно: на доставку гайковерта к месту сборки агрегата и удаление его из зоны сборки. Остальные действия операции в зависимости от вариантов планировки не изменяются. Поэтому выполним расчленение на микроэлементы и определим их продолжительность по вариантам с использованием базы микроэлементов [2] только для этих действий операции. Результаты приведены в таблице.

Анализ структуры этой части операции показывает, что после изменения расположения гайковерта микроэлементы *1*, *2*, *3*, *8* (см. таблицу, вариант 1) исчезают из операции, а также упрощается микроэлемент *6*. В результате время выполнения операции сокращается на 0,221 мин и составляет $t_{о2}$ = 5,259 мин.

Рассчитаем возможное повышение производительности труда по данной операции при переходе к новой планировке рабочего места по формулам (2), (3) и (4).

Экономия времени по операции:

$$t_{оэ} = 5{,}48 - 5{,}259 = 0{,}221 \text{ мин.}$$

Элементы операции и их продолжительность по вариантам планировки рабочего места

Варианты планировки рабочего места	Анализируемый прием (часть операции)	Микроэлементы	Время на выполнение одного микроэлемента, $t_{мэ}$, мин	Коэффициент повторяемости элемента, $k_п$	Время на выполнение микроэлемента с учетом $k_п$: $t'_м = t_{мэ}k_п$, мин
1 до изменения планировки	Доставка инструмента в зону сборки и удаление его из нее	1. Поворот корпуса	0,034	2	0,068
		2. Переход на 2 шага	0,030	2	0,060
		3. Переступить через шланг	0,105	0,35	0,037
		4. Протянуть (убрать) руку	0,020	2	0,040
		5. Взять (положить) инструмент	0,025	2	0,050
		6. Вытянуть (сложить) шланг	0,040	2	0,080
		7. Доставить (убрать) инструмент к месту сборки	0,065	2	0,130
		8. Расправить запутавшийся шланг	0,065	0,25	0,016
					Сумма: 0,481
2 после изменения планировки	Доставка инструмента в зону сборки и удаление его из нее	1. Протянуть (убрать) руку	0,020	2	0,040
		2. Взять (отпустить) инструмент	0,025	2	0,050
		3. Вытянуть шланг	0,040	1	0,040
		4. Доставить (убрать) инструмент к месту сборки	0,065	2	0,130
					Сумма: 0,260

Процент снижения времени на операцию:

$$n_о = 0{,}22/5{,}48 \cdot 100 \approx 4\ \%.$$

Рост производительности труда:

$$П_R = (100 \cdot 4)/(100 - 4) = 4{,}2\ \%.$$

Таким образом, изменения, введенные в планировку рабочего места, вполне эффективны и могут быть приняты к реализации. Подобные вычисления могут быть сделаны по всем операциям технологического процесса, на которые влияют изменения в планировке рабочего места и получена общая оценка новой планировки по указанным выше параметрам по технологическому процессу в целом.

Зная затраты на перепланировку рабочего места, сложность работ (разряд) и тарифные ставки по разрядам, можно по известным методикам рассчитать экономический эффект от его модернизации.

Применение микроэлементного метода для анализа технологических операций и разработки оптимальных вариантов их выполнения

Микроэлементный анализ можно использовать не только для проектирования нормативной трудоемкости операций технологических процессов [3] и оценки вариантов планировки рабочих мест, как представлено в данной статье, но и для анализа состава элементарных движений в операциях с целью исключения "лишних" непроизводительных элементов и потерь времени на них.

При этом производится наблюдение за работой рядовых исполнителей, осуществляющих реальные операции технологического процесса на конкретном рабочем месте. После этого данная операция расчленяется на микроэлементы, изучается их состав и последовательность, исключаются "лишние" элементы. Проектируется некий "идеальный" процесс с меньшим временем на его выполнение. Затем производится обучение рабочих выполнению этой операции с новым составом и порядком элементарных действий и движений.

При разработке оптимального технологического процесса рекомендуется осуществлять наблюдение также за выполнением этих операций передовыми рабочими высокой квалификации, регулярно перевыполняющими суточную производственную программу. Результаты данных наблюдений и результаты их анализа также следует использовать при разработке оптимального процесса.

Таким образом, чтобы разработать оптимальный процесс выполнения операций, необходимо сопоставить результаты анализа трех процессов, полученных:

— наблюдением за работой рядовых исполнителей;

— составленного (теоретического) из элементов существующей микроэлементной базы;

— наблюдением за работой высококвалифицированных передовых рабочих.

Заключение

Одним из основных направлений повышения производительности труда на предприятиях малого бизнеса является совершенствование организации рабочих мест.

Выбор оптимального варианта планировочного решения рабочего места следует производить их сравнением по следующим критериям: минимуму времени на выполнение операции и технологического процесса в целом, проценту возможного снижения времени на операцию, максимуму возможного прироста производительности труда.

Для определения времени на выполнение операций технологического процесса по вариантам планировочных решений рабочих мест необходимо применять микроэлементный метод, единственный позволяющий это делать на стадии их проектирования.

Применение представленной методики оценки при выборе наиболее рациональной планировки рабочих мест позволяет значительно снизить время выполнения отдельных операций, в некоторых случаях на десятки процентов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Рыбин Н. Н., Савельев А. В.** Совершенствование организации рабочих мест для ремонта автомобильных агрегатов // Проблемы и перспективы развития автомобильного транспорта: материалы международной научно-практической конференции. — Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2013. — С. 196—211.
2. **Рыбин Н. Н.** Проектирование технологических процессов обслуживания автомобилей: учебное пособие. — Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2005. — 113 с.
3. **Рыбин Н. Н.** Микроэлементный метод проектирования на ЭВМ нормативной трудоемкости операций ТО автомобилей // Совершенствование эксплуатации и обслуживания автомобилей: Сб. науч. трудов. — Курган: КГУ, 1996. — С. 59—64.
4. **Лигский Ю. Д., Севастьянов Н. Д.** Методика и практика применения микроэлементных нормативов. — М.: Оборонгиз, 1952. — 112 с.

УДК 624.04

В. А. Зорин, д-р техн. наук, профессор, e-mail: madi-dm@list.ru,
А. А. Пегачков, канд. техн. наук, доцент, МАДИ

ОЦЕНКА РИСКОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

В работе приводится методика количественной и качественной оценки рисков, возникающих в процессе эксплуатации автомобиля, с помощью диагностической информации. В качестве источника информации о техническом состоянии автомобиля используются данные комплексных (стационарных и удаленных) диагностических систем.

Основной целью оценки рисков и создания удаленных диагностических систем является прогнозирование надежности и безопасности эксплуатации автомобиля. Для решения этой задачи необходимо своевременное выявление и предупреждение наступления неисправности, что требует выделения особого класса промежуточных состояний, называемых предаварийными. Получение информации и накопление статистических данных по каждой модели автомобиля возможно при условии создания удаленных диагностических систем.

Ключевые слова: *оценка рисков, риски отказов, надежность, диагностическая система, коды неисправностей, фрейм, диагностический код, тяжесть ущерба, обработка риска.*

The technique of quantitative and quality standard of the risks arising in use the car by means of diagnostic information is given in work. As source of information on technical condition of the car data complex (stationary and remote) diagnostic systems are used.

Main objective of assessment of risks and creations of remote diagnostic systems is forecasting of reliability and safety of operation of the car. The solution of this task requires timely detection and the prevention of approach of malfunction that demands allocation of special class of the intermediate states called by preemergency. Obtaining information and accumulation of statistical data on each model of the car is possible on condition of creation of remote diagnostic systems.

Keywords: *assessment of risks, risks of refusals, reliability, diagnostic system, codes of malfunctions, frame, diagnostic code, weight of damage, processing of risk.*

Эксплуатация автомобиля связана с риском возникновения нештатной ситуации, способной привести как к материальным потерям, так и к человеческим жертвам [1, 2]. Риск представляет собой сочетание вероятности возникновения отказа и тяжести ущерба от этого события [3]. Современные международные требования к системам менеджмента качества предприятий, занимающихся производством, эксплуатацией и ремонтом автомобилей, предусматривают необходимость оценки риска для снижения аварийности, вероятности возникновения отказов и повышения эффективности использования машин.

Оценка риска является частью процесса управления рисками и представляет собой структурированный процесс, в рамках которого идентифицируют способы достижения поставленных целей, проводят анализ последствий и вероятности возникновения опасных событий для принятия решения о необходимости обработки риска.

Оценка риска позволяет ответить на следующие основные вопросы:

— какие события (неисправности, отказы) могут произойти и вероятные причины их возникновения (идентификация опасных событий);

— каковы последствия этих событий;

— какова вероятность возникновения событий;

— какие мероприятия позволяют сократить неблагоприятные последствия или уменьшить вероятность возникновения опасных ситуаций [1].

Кроме того, оценка риска помогает ответить на вопрос: является уровень риска приемлемым или требуется его дальнейшая обработка?

Существующие методы оценки рисков [1] основаны на анализе информации о техническом состоянии, отказах и неисправностях объекта.

Автомобиль с точки зрения оценки рисков, надежности и безопасности, является довольно сложной технической системой. Поэтому невозможно произвести достаточно полные расчеты и оценку рисков на этапах проектирования и про-

изводства. В процессе эксплуатации возникает множество факторов, влияние которых на безопасность и надежность невозможно предвидеть до начала использования автомобиля. Получение необходимой информации и своевременное прогнозирование выхода автомобиля из строя может быть обеспечено с помощью комплексной диагностической системы.

Современные диагностические системы с помощью шин передачи данных получают доступ к информации о техническом состоянии конкретного автомобиля [4, 5]. Диагностическая информация передается с помощью системы кодов неисправностей. Однако при удаленном получении информации о техническом состоянии объекта, опираясь на полученные коды неисправностей, сложно однозначно оценить техническое состояние автомобиля и последствия его дальнейшей эксплуатации. Одни и те же коды неисправностей и их сочетания могут быть индикаторами различных неисправностей, и приводить к различным последствиям — от дезинформации водителя о состоянии машины до утраты управляемости автомобиля при движении.

При этом коды неисправностей могут проявляться еще в момент выхода автомобиля на линию. Неоднозначность оценки не позволяет прогнозировать характер изменения технического состояния автомобиля в процессе движения и принимать обоснованные решения в соответствии с ситуацией. Выделение в системе только двух состояний "работоспособность" и "отказ" исключает возможность прогнозирования изменения технического состояния конструктивных элементов автомобиля на определенном временном отрезке или пробеге. Для современных диагностических систем особенно важно не только обнаружение, но и предупреждение наступления неисправности, что требует выделения особого класса промежуточных состояний, называемых предаварийными. Создание удаленных диагностических систем с возможностью сбора статистических данных по каждой модели открывает перспективы для решения данной задачи.

Диагностические системы подразделяют на стационарные и удаленные. При современном уровне средств связи и передачи информации различие между этими системами лишь в том, что удаленные системы являются следующей ступенью развития стационарных систем. Для своевременного получения информации о возможных неисправностях автомобиля необходимо создание систем контроля за техническим состоянием парка с формированием базы данных, включенной в процесс принятия решения.

Приведем результаты исследований, выполненных на автомобилях, оснащенных системой бортовой диагностики OBD-2, протоколы: **SAE J1850 PWM; SAE J1850 VPW; ISO14230-4 KWP; ISO15765-4 CAN; SAE J1939 CAN; USER1 CAN; USER2 CAN, J1939 (для грузовых автомобилей)**.

В основе предлагаемой программы [5] лежит принцип работы с базой данных с использованием логики. Система получает код и генерирует ответное сообщение о возможности или невозможности дальнейшей эксплуатации транспортного средства (ТС). При этом система должна получать обратную связь, для возможности сбора данных и самообучения.

В разработанной программе (на основе фреймовой модели) [5] лежит прикладная единица, структура которой состоит:

— из диагностического кода (1),

— его расшифровки, т. е описания неисправности (2),

— степени важности этой неисправности в зависимости от тяжести ущерба (3).

***Type*;**
***Tf = record*;**
***Diag:string*[5];{диагностический код};**
***Simp:array*[1..3] *of string*[70];{описание неисправности};**
***Lec: array*[1..3] *of string*[1];{Степень важности };**
***Const N* = 3; {количество строк —уровней важности};**
***Type Tf = record*;**
***N:string*[1];{ уровень важности};**
***Lec:array*[1..N] of string[30];{Описание уровня важности};**
end;

"Уровень 1" связан с нештатной работой системы или угрозой безопасности. Следствием является немедленная остановка и возврат автомобиля на базу путем принудительной эвакуации.

"Уровень 2" связан со штатными режимами функционирования систем автомобиля, а также с возможностью выявления неисправностей, которые могут привести к дополнительным расходам при дальнейшей эксплуатации. Следствием является немедленное возвращение автомобиля своим ходом.

"Уровень 3" связан с работой систем или ошибками, не связанными с безопасностью или выходом из строя дорогостоящих агрегатов. Следствием является немедленное обращение к техническим специалистам по возвращению из рейса.

Оценку значимости диагностической информации можно провести с помощью алгоритма (рис. 1), имеющего в своей основе расширенный подход с использованием статистических накопленных данных.

Рис. 1. Алгоритм оценки значимости диагностической информации

При создании фреймовых моделей из всех доступных сред программирования наиболее к ним близок язык Delphi 7, который и был использован для написания программы управления разработанной системой.

Для повышения точности и однозначности результатов при создании системы сбора информации о техническом состоянии автомобиля необходимо учитывать "диагностическую ценность" полученных данных для каждого исследуемого параметра K_j всей диагностируемой совокупности состояний A_i,
где $P(A_i)$ — априорная вероятность состояния A_i:

$$X_A = \sum_{i=1}^{n} P(A_i) Z_{A_i}(K_j),$$

$Z_{A_i}(K_j)$ — показатель диагностической ценности информации.

Вероятность оценки технического состояния автомобиля по комбинации совокупности диагностических параметров может быть определена с помощью формулы Байеса:

$$P(A_i/B) = \frac{P(A_i)P(B/A_i)}{\sum_{i=1}^{n} P(A_s)P(B/A_s)},$$

где $P(A_i/B)$ — вероятность состояния Ai при наличии ряда параметров B; $P(A_i)$ — вероятность состояния A_i; $P(B/A_i)$ — вероятность появления комплекса параметров B при состоянии объекта A_i.

Базируясь только на знании кодов неисправностей, невозможно оценить уровень достоверности оценки технического состояния автомобиля [6, 7]. Получение информационных оценок обеспечивает возможность рассмотрения исследуемого объекта в его взаимосвязи с диагностической системой [8].

Пусть $У_A(B)$ — ожидаемое значение количества информации, содержащееся в системе контроля B относительно всех состояний автомобиля A. Обозначив $У_A(B)$ как среднее количество информации, содержащееся в системе контроля относительно состояния A_i, получим:

$$У_A(B) = \sum_{i=1}^{n} P(A_i) J_{A_i}(B),$$

где $P(A_i)$ — вероятность i-го состояния автомобиля A (i = 1, n); n — выделенное количество состояний.

При использовании условной энтропии можно записать:

$$H(A/B) = H(AB) - H(B),$$

где $H(AB)$ — энтропия сложной системы (AB); $H(B)$ — энтропия системы контроля B.

Используя соотношение для $J_{Ai}(B)$, выразим:

$$J_A(B) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} P(A_i) P(B_j/A_i) \log\left[\frac{P(B_j/A_i)}{P(B_j)}\right],$$

где $P(B_j)$ — вероятность нахождения системы контроля B в j-м состоянии (j = 1, m); $P(B_j/A_i)$ — условная вероятность j-го состояния системы контроля B при нахождении автомобиля A в i-м состоянии.

Выражение для среднего количества информации в системе контроля о состоянии автомобиля A_i примет вид:

$$J_{A_i}(B) = \sum_{j=1}^{m} P(B_j/A_i) \log\left[\frac{P(B_j/A_i)}{P(B_j)}\right].$$

$J_{A_i}(B)$ представляет собой среднее значение количества информации, которое можно получить от системы контроля об i-м состоянии автомобиля. Поскольку автомобиль и система контроля взаимосвязаны, то каждое из состояний B может содержать информацию относительно какого-либо состояния автомобиля A.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что диагностические ошибки, т. е. ошибочные суждения о техническом состоянии объекта, сделанные системой, были получены в 34 % случаев (на основании диагностического кода неисправности) и 17 % случаев (при запросе

по этому коду значения соответствующего ему параметра технического состояния). Разбиение шкалы показателей возможных состояний объекта на определенные совокупности значений диагностических параметров позволяет упростить задачу обработки полученных данных.

Таким образом, для повышения достоверности принимаемых решений необходимо получение дополнительной информации о состоянии диагностических параметров с учетом диагностической ценности информации (дополнительный запрос, для получения большего количества данных). Введение дополнительного алгоритма запросов к коду неисправности понизит количество ошибочных суждений до 4...5 %.

Качественно улучшить показатели диагностической системы позволит применение инновационного оборудования для удаленной диагностики, позволяющего при получении кодов одновременно получать информацию о состоянии всех возможных параметров в онлайн режиме (рис. 2). Удаленный мониторинг всех доступных диагностических параметров обеспечит возможность своевременного получения информации о техническом состоянии объекта, необходимой для определения вероятности возникновения отказа.

Основой для оценки рисков R_i является функционал F, связывающий вероятность возникновения отказа $P(A_i/B)$ и величину ожидаемого ущерба U, косвенно оцениваемую с помощью показателя диагностической ценности информации $Z_{A_i}\left(K_j\right)$.

Для получения единой оценки риска нами предлагается использовать линейную модель взвешенной суммы факторов вида:

$$R_{об} = \sum X_i Z_{A_i},$$

где $R_{об}$ — общая оценка риска (в данном случае при эксплуатации); X_i — независимые переменные (оценки рисков); Z_{A_i} — коэффициенты значимости факторов.

Рис. 2. Структура диагностической системы с GSM-картой связи и возможностью постоянного мониторинга параметров технического состояния автомобиля

Для получения значения от 0 до 100 % нормируем общую величину риска по формуле:

$$Y = 100\,\%\left(R_{об} - Y_{\min}\right)/\left(Y_{\max} - Y_{\min}\right),$$

где Y — нормированная оценка, %; $Y_{\min}$ —минимально возможная оценка риска; $Y_{\max}$ — максимально возможная оценка риска.

Выводы

1. Для своевременной и достоверной оценки рисков необходима информация о техническом состоянии автомобилей.

2. Современные диагностические системы обеспечивают возможность получения объективной информации о состоянии и возможных отказов автомобилей.

3. Разработанная на основе фреймовой модели программа позволяет повысить точность и достоверность диагностической информации, используемой для оценки рисков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Зорин В. А.** Надежность механических систем. — М.: Изд-во "ИНФРА-М", 2015. — 380 с.
2. **Зорин В. А., Ким К. Ю.** Применение двухэтапного подхода к оценке рисков легковых автомобилей с учетом условий эксплуатации (на примере эксплуатации в РФ). — Грузовик. — 2016. — № 9. — С. 27—30.
3. **ГОСТ Р ИСО 31000—2010** Менеджмент риска. Принципы и руководство.
4. **Разработка** дистанционной системы диагностики автомобиля // В сб.: Энергетические и электротехнические системы международный сборник научных трудов; под ред. С. И. Лукьянова, Н. В. Швидченко. — Магнитогорск, 2015. — С. 346—351.
5. **Пегачков А. А.** Программа удаленного мониторинга технического состояния автомобилей парка при получении диагностических кодов неисправностей и их обработке совместно с дополнительно запрашиваемыми идентификационными параметрами. Свидетельство государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014613890. 29.04.2014 г.
6. **Баурова Н. И., Зорин В. А., Приходько В. М.** Информационная модель состояния технической системы // Все материалы. Энциклопедический справочник. — 2017. — № 6. — С. 11—16.
7. **Нефелов И. С., Баурова Н. И.** Способы предотвращения технологических дефектов деталей машин, изготовленных с использованием аддитивных технологий // Вестник современных технологий. — 2017. — № 5. — С. 36—40.
8. **Пегачков А. А.** Повышение показателей безотказности с помощью удаленного диагностирования автомобилей // Новые материалы и технологии в машиностроении. — 2017. — № 25. — С. 83—87

ITELLA В РОССИИ

В ходе отчетной пресс-конференции руководители компании Itella в России рассказали о результатах работы компании в 2017 г. и поделились планами на 2018 г. На мероприятии выступили генеральный директор Юсси Куутса, руководитель отдела морских, интермодальных и железнодорожных перевозок Алексей Подчуфаров, директор коммерческого департамента Дмитрий Масальцев и руководитель отдела по развитию новых продуктов Дмитрий Лобанов.

Выручка группы компаний Posti, частью которой является Itella, в 2017 г. составила 1647 млн евро, что на 2,5 % больше, чем в 2016 г. По словам Юсси Куутса, в 2017-м удалось удержать выручку Posti по всем бизнес-направлениям на уровне 2016 г., при этом выросла прибыль группы компаний в сегментах e-commerce и трансграничной торговли.

Выручка курьерской компании "Максипост", которая входит в ГК Itella, в 2017 г. выросла более чем на 60 %.

Выручка Itella в России по направлению авиа-, морских и железнодорожных перевозок в 2017 г. увеличилась по сравнению с 2016 г. более чем на 40 %, по направлениям автоперевозок и контрактной логистики незначительно снизилась.

В целом рост объема выручки Itella в России наблюдался в сегментах Fashion, FMCG food, "Электроника", "Фарма", Automotive, снижение — в сегментах DIY&Engineering и FMCG non-food.

В 2017 г. было заключено 20 новых контрактов по направлению "Контрактная логистика" — выручка по ним составила 250 млн руб. Средняя заполняемость складских площадей компании в Московском регионе увеличилась на 12 % и достигла 89 %, а в других регионах сохранилась на уровне 2016 г. Также было заключено 85 новых контрактов по направлению "Транспортная логистика". Выручка по ним составила 550 млн руб.

В 2017 г. выручка логистического оператора в Московском регионе выросла на 0,9 %, в Северном регионе снизилась на 10,6 %, в Восточном регионе — на 1 %, в Южном регионе — на 12,2 %.

По направлению e-commerce складская выручка Itella в России за 2017 г. увеличилась на 55 %. 66 % ее объема пришлись на Московский регион, 34 % — на другие регионы страны. За прошлый год компания обработала 2 204 600 заказов, что в два раза больше, чем в 2016 г. В числе новых клиентов оператора — сеть "Подружка", компания Canon, которые являются крупными игроками на российском рынке. В целом за последние четыре года складская выручка оператора по направлению e-commerce выросла на 637 %.

"Складская выручка по направлению e-commerce увеличивается вследствие роста количества обрабатываемых заказов клиентов, что в свою очередь связано с общим ростом рынка онлайн-торговли, которая все активнее развивается в регионах", — отметил Дмитрий Лобанов.

Логистическому оператору в 2017 г. удалось удержать показатель удовлетворенности клиентов на высоком уровне: индекс NPS составил 23 %. В 2018 г. компания планирует его дальнейшее увеличение.

Инвестиции Itella в России в клиентские проекты, IT-решения, проекты по техническому обслуживанию складов составили около 200 млн руб. Согласно планам компании в 2018 г. на данные направления будет выделено еще 200 млн руб.

В 2017 г. Itella в России максимально оптимизировала все процессы по управлению собственным автопарком. Компания внедрила несколько управленческих решений, которые позволили перевести его в устойчивую прибыльную зону. Так, часть автомобилей использовалась по специальной бизнес-схеме, когда фиксированный объем перевозок осуществляется по установленной

цене независимо от пробега транспорта в месяц. В Москве и Санкт-Петербурге компания построила специальную схему загрузок, когда автомобили круглосуточно работают с минимальными простоями даже в праздничные и выходные дни. Кроме того, оператор оптимизировал схему подачи транспорта на различных маршрутах.

В конце 2017 г. Itella в России начала активно внедрять систему отслеживания KPI в области транспортной логистики. Сейчас компания измеряет пять показателей по автоперевозкам, что позволяет ей более эффективно управлять как собственным, так и привлеченным транспортом. В текущем году Itella в России продолжит развивать проект по управлению собственным автопарком. В августе-сентябре компания планировала пройти аудит и получить сертификат качества ISO9001 для транспортной деятельности.

"Мы стараемся непрерывно развиваться и прикладываем все усилия для того, чтобы наши клиенты получали сервис наивысшего уровня. Сертификация транспортных услуг не только увеличит лояльность наших заказчиков, но и позволит построить систему комплексных решений, которые приведут к еще большему росту бизнеса", — подчеркнул Алексей Подчуфаров.

Коммуникационное агентство "Лонгмедиа"

HITACHI ДЛЯ ВАСИЛЬЕВСКОГО РУДНИКА

"Майнтек Машинери" — официальный дилер Hitachi Construction Machinery в России ввел в эксплуатацию экскаватор EX1200-6 с оборудованием прямой лопаты.

Подрядная организация ООО "Майнинг Сервис" приобрела экскаватор Hitachi для выполнения производственной программы своего заказчика — АО "Васильевский рудник". Новый экскаватор уже осуществляет вскрышные работы, ежемесячно с его помощью планируется отгружать до 200 тыс. куб. м породы с перспективой увеличения объемов до 250 тыс. куб. м по мере обкатки машины и обучения операторов. Объем скального ковша экскаватора — 5,9 куб. м.

АО "Васильевский рудник" — золотодобывающая компания, расположенная в Красноярском крае. Текущий уровень добычи составляет 1,3 т золота в год. Новый экскаватор позволит в перспективе нарастить добычу до 1,8...2,0 т золота в год.

ООО "Майнинг Сервис" осуществляет полный спектр услуг по разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом. Сотрудники компании имеют многолетний опыт эксплуатации карьерной техники в самых тяжелых условиях карьеров России и СНГ.

"Сотрудники нашей компании уже имели положительный опыт работы с экскаваторами Hitachi. На основе этих отзывов мы и приняли решение о закупке японской техники для нужд нашего заказчика. Особо хотелось бы отметить профессионализм коллег из "Майнтек Машинери". Несмотря на труднодоступность карьера заказчика в связи со сложностью навигации, экскаватор был доставлен вовремя. Команде из трех человек удалось осуществить его сборку и ввод в эксплуатацию всего за пять дней", — рассказал Олег Жуков, генеральный директор ООО "Майнинг Сервис".

"Наш новый дилер по горной технике "Майнтек Машинери" приступил к работе в начале этого года. И уже через несколько месяцев была осуществлена продажа их первого горного экскаватора Hitachi в России. За этот год компания расширила свое присутствие в России, и мы уверены, что "Майнинг Сервис" и "Васильевский рудник" положительно оценят нового партнера", — говорит Хата Шин, менеджер отдела по продажам горной техники Hitachi Construction Machinery Eurasia.

Пресс-служба "Хитачи Констракшн Машинери" в России и СНГ

ПЕРВЫЙ СКЛАД ЗАПЧАСТЕЙ В РОССИИ

Компания Hitachi арендовала складское помещение в комплексе "Никольское" на пять лет. Склад класса А общей площадью 16 985 кв. м открыт поселке Икша Дмитровского района Московской области. Расположение складского комплекса вблизи Дмитровского и Ленинградского шоссе, а также недалеко от аэропорта "Шереметьево" обеспечивает высокую транспортную доступность.

Общая стоимость первоначального запаса комплектующих составляет 20 млн долларов. Увеличение и пополнение складских запасов будет происходить на регулярной основе в соответствии с текущим спросом на рынке. В рамках деятельности по управлению складскими операциями Hitachi начала сотрудничать с компанией "Кинтетцу Уорлд Экспресс (РУС), Инк", которая осуществляет полный цикл логистических услуг по ответственному хранению и складской обработке грузов.

Оперативно поставлять запчасти для строительной и горной техники Hitachi в любую точку России и СНГ будут официальные дилеры: "Хит Машинери" (Россия), "Майнтек Машинери" (Россия), "Туркуаз Машинери" (Казахстан и прочие республики СНГ), "Юромаш" (Украина) и "Вежа — строительные машины" (Беларусь).

"Открытие складского комплекса в России дает компании Hitachi Construction Machinery Eurasia существенные преимущества, главное из которых — наиболее оперативная поставка запчастей в каждую из точек присутствия компании. Мы хотим обеспечить максимальную доступность всех компонентов и расходных материалов. Быть ближе к клиенту и предлагать наилучший сервис — принцип работы компании Hitachi", — рассказывает генеральный директор Hitachi Construction Machinery Eurasia Мураками Кацухико.

Пресс-служба Хитачи Констракшн Машинери в России и СНГ

ПАРТИЯ КАМАЗОВ СЕМЕЙСТВА К5 СОБРАНА В СЕНТЯБРЕ

По словам главного технолога ПАО "КАМАЗ" — директора технологического центра Федора Назарова, новый перспективный автомобиль К5 — основная цель и задача года. "Проектирование практически завершено, переходим к активной фазе — к подготовке производства новых автомобилей. На нашем уровне это значит, что в целом необходимо обеспечить проектирование технологий, их внедрение, — пояснил Назаров. — Подзадачами выступают два новых проекта: внедрение автоматизации подготовки производства и электронный техпроцесс, причем это нужно успеть сделать до начала производства нового автомобиля, чтобы уже изготавливать и сопровождать наш автомобиль К5 с учетом этих инструментов".

По автоматизации технологической подготовки производства уже до конца года все заводы будут охвачены этим проектом, что сразу позволит увидеть реальную потребность в ресурсах, синхронизировать подготовку производства конкретно по любому направлению и многое другое. Что касается электронных техпроцессов — к запуску серийного производства К5 (запланирован на I квартал 2019 г.), нужно прийти "вооруженным" этим инструментом. "Пока только начали проектировать систему. Задача — полностью цифровизовать работу технолога, чтобы производство работало уже с этими процессами, — отметил Назаров. — Что касается самого автомобиля КАМАЗ-54901, пробная сборка первой опытной партии из 20 ед. произошла в сентябре. Если потребуется, по результатам будут вноситься изменения и в конструкторскую документацию, и в производственный процесс".

Пресс-служба ПАО "КАМАЗ"

Художественный редактор *Д. С. Рыбакова*. Технический редактор *Е. М. Патрушева*. Корректор *Н. В. Яшина*
Сдано в набор 09.07.2018. Подписано в печать 24.09.2018. Формат 60 × 88 1/8. Усл. печ. л. 5,88.
Отпечатано в ООО "Канцлер", 150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49.
Оригинал-макет: ООО "Адвансед солюшнз". 119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: **www.aov.ru**