Грузовик

7
2019

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

Учредитель ООО "Научно-техническое издательство "Инновационное машиностроение"

Главный редактор С.Н. ПЕДЕНКО

Редакционный совет

В.С. Антипенко, д-р техн. наук, проф.
Е.В. Балакина, д-р техн. наук, проф.
Д.Х. Валеев, д-р техн. наук
Ю.Э. Васильев, д-р техн. наук, проф.
В.А. Волчков, "Autotransportnik.ru"
С.М. Гайдар, д-р техн. наук, проф.
Л.В. Грехов, д-р техн. наук, проф.
В.А. Зорин, д-р техн. наук, проф.
М.Ю. Карелина, д-р техн. наук, проф.
Н.Т. Катанаев, д-р техн. наук, проф.
В.Н. Козловский, д-р техн. наук, проф.
В.В. Комаров, канд. техн. наук
А.В. Кочетков, д-р техн. наук, проф.
В.А. Марков, д-р техн. наук, проф.
Л.Б. Миротин, д-р техн. наук, проф.
А.Н. Новиков, д-р техн. наук, проф
А.Н. Ременцов, д-р пед. наук, проф.
О.Н. Румянцева, генеральный директор ООО "Изд-во Инновационное машиностроение"
А.Ф. Синельников, канд. техн. наук, проф.
А.А. Солнцев, д-р техн. наук, проф.
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 № ФС 77-63955 от 09.12.2015 г.

Подписной индекс:
по объединенному каталогу
"Пресса России" 39799

ООО «Издательство «Инновационное машиностроение», "Грузовик", 2019

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:

Энергетическое машиностроение

3 *Астапова Г. В., Новикова Н. И., Скирневская Л. Н.* Электромобильное направление в инновационном развитии транспортного комплекса донецкой агломерации

Исследования. Расчет

6 *Марков В. А., Рязанов К. П., Зенкин А. Н., Маркова И. Г.* Регулирование фаз газораспределения и показателей транспортного дизеля

13 *Мягков Л. Л., Сивачев С. М.* Исследование малоцикловой термомеханической усталости поршня дизеля. Часть 2

Транспортный комплекс

18 *Кочетков А. В., Федотов П. В.* Метод потенциального спуска

Городской пассажирский наземный транспорт

25 *Фасхиев Х. А.* Метод оценки качества услуг по перевозке пассажиров

31 *Шавыраа Ч. Д., Желукевич Р. Б.* Методика оптимизации внутригородских маршрутов пассажирского транспорта

34 *Терентьев В. В., Андреев К. П., Астраханцева А. С., Аникин Н. В., Шемякин А. В.* Пути повышения транспортной доступности городов. Часть 2

Практика

37 *Миротин Л. Б., Лебедев Е. А., Авджиян В. А.* Обеспечение цифровой корреляции результатов работы менеджмента СОУ грузовыми перевозками и автомобилей на маршруте

42 *Пузаков А. В., Осаулко Я. Ю.* Модель теплового состояния выпрямителя автомобильного генератора

Пресс-тур

47 *Школьники покоряли бездорожье*

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 2017 г. — 0,542. Место в рейтинге SCIENCE INDEX за 2017 г. по тематике "Транспорт" — 27; по тематике "Машиностроение" — 52.

Информация на сайте "Autotransportnik.ru"

Truck

7
2019

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND INDUSTRIAL MAGAZINE

Founder JSC Scientific and Technical Publishing House "Innovative Engineering"

Editor-in-Chief S.N. PEDENKO

Editorial council

V.S. Antipenko, dr. en. s., prof.
E.V. Balakina, dr. en. s., prof.
D.H. Valeev, dr. en. s.
Ju.E. Vasilyev, dr. en. s., prof.
B.A. Volchkov, «Autotransportnik.ru»
S.M. Gaidar, dr. en. s., prof.
L.V. Grekhov, dr. en. s., prof.
V.A. Zorin, dr. en. s., prof.
M.Ju. Karelina, dr. en. s., prof.
N.T. Katanaev, dr. en. s., prof.
V.N. Kozlovsky, dr. en. s., prof.
V.V. Komarov, cand. tehn. s.
A.V. Kochetkov, dr. en. s., prof.
V.A. Markov, dr. en. s., prof.
L.B. Mirotin, dr. en. s., prof.
A.N. Novikov, dr. en. s., prof.
A.N. Rementsov, dr. hab, phd in en. s.
O.N. Rumyantseva, gen. dir. JSC "Publisher "Innovative Engineering"
A.F. Sinelnikov, cand. tehn. s., prof.
A.A. Solntsev, dr. en. s., prof.
V.S. Ustymenko, cand. tehn. s.
J.A. Faskhiyev, 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", 2019

Грузовик

Уважаемые подписчики и читатели журнала "Грузовик"!

Просим сообщить на e-mail: snp748@yandex.ru свой электронный адрес, имя или название организации с указанием:

"ПОДПИСЧИК" или **"Хотел бы подписаться"**

CONTENTS:

Power engineering

3 *Astapova G. V., Novikova N. I., Skirnevskaya L. N.* Electric direction in the innovative development of transport complex of the Donetsk agglomeration

Research. Calculation

6 *Markov V. A., Rjazanov K. P., Zenkin A. N., Markova I. G.* Regulation of gas distribution phases and transport diesel indicators

13 *Myagkov L. L., Sivachev S. M.* Analysis of low-cycle thermomechanical fatigue under two-frequency loading of diesel engine piston. Part 2

Transportation complex

18 *Kochetkov A. V., Fedotov P. V.* Method of potential descent

Public passenger land transport

25 *Faskhiev Kh. A.* Methodology for assessing the quality of passenger transportation services

31 *Shaviraa C. D., Zhelukevich R. B.* Methodology of optimization of the route network

34 *Terentyev V. V., Andreev K. P., Astrakhantseva A. S., Anikin N. V., Shemyakin A. V.* Ways to improve the transport accessibility of cities. Part 2

Practice

37 *Mirotin L. B., Lebedev E. A., Avdzhiyan V. A.* Providing digital correlation of results work of management of management organization system by freight transport and cars on the route

42 *Puzakov A. V., Osulko J. Yu.* Model of thermal condition of the rectifier of automobile generator

Press tour

47 *Schoolchildren conquered off-road*

Information on the site "Autotransportnik.ru" 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.

УДК 658.53

Г. В. Астапова, д-р эконом. наук, профессор, ГУ "Институт экономических исследований", г. Донецк, ДНР, **Н. И. Новикова,** канд. эконом. наук, доцент, Гуманитарно-педагогическая академия (филиал) ФГАОУ ВО "Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского", г. Ялта, **Л. Н. Скирневская,** аспирант, ГУ "Институт экономических исследований", г. Донецк, ДНР
E-mail: denisov0307@yandex.ru

ЭЛЕКТРОМОБИЛЬНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В ИННОВАЦИОННОМ РАЗВИТИИ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА ДОНЕЦКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

В статье на основе анализа состояния и функционирования транспортного комплекса обоснована необходимость инновационного развития транспортной отрасли через создание электромобильного направления. Выявлены и доказаны возможности и преимущества применения электробусов с динамической подзарядкой в процессе инновационного развития транспортного комплекса Донецкой Народной Республики. Обосновано, что формирование электромобильного направления в транспортной отрасли выступает фактором развития инновационной экономики Донецкой Народной Республики.

Ключевые слова: *электробус, транспортный комплекс, электромобильное направление, инновационное развитие, динамическая подзарядка, преимущества, экологичность.*

The article on the basis of the analysis of the state and functioning of the transport complex justified the need for innovative development of the transport industry through the creation of electric direction. The possibilities and advantages of using electric buses with dynamic charging in the process of innovative development of the transport complex of the Donetsk people's Republic are revealed and proved. It is proved that the formation of the electric direction in the transport industry is a factor in the development of innovative economy of the Donetsk people's Republic.

Keywords: *electric bus transport, electric mobility is the direction, innovation development, dynamic charging, advantages and environmental friendliness.*

Транспортный комплекс Донецкой Народной Республики (ДНР) является важной составной частью дорожно-транспортной отрасли республики, поскольку обеспечивает организацию пассажиро- и грузоперевозок и участвует в интеграции республиканской транспортной системы в российскую и мировую. Инновационное развитие автомобильного направления транспортного комплекса ДНР связано с заменой городских автобусов, работающих на дизельном топливе или на природном газе, на электробусы с динамической подзарядкой.

Вопросы инновационного развития транспортного комплекса государства изучались значительным количеством исследователей [1—18]. Методологические основы инновационного развития транспортного комплекса представлены в работах Е. Бойко [1—3], И. Дидовец [2], В. Диканя [4], В. Загорулько [5], В. Ильчука [1, 6, 14], Е. Сыча [1, 13, 14]. Методико-практические аспекты инновационного развития автотранспорта нашли отображение в публикациях А. Тофанчука [16], М. Колесника [16], Н. Селезневой [11], М. Турбабы [11]. Теоретико-методические подходы к обеспечению эффективности функционирования предприятий автомобильного транспорта представлены как результаты исследовательской работы С. Легкого [9], Н. Юшкова [9], Н. Селезневой [12], В. Тятых [12]. Исследования развития электромобильного направления транспорта осуществлены И. Ефремовым [15], В. Кочеуловым [7], В. Кузнецовым [8], А. Речметдиловым [10], М. Фарберовым [17], В. Щетиной [18]. Указанные исследователи рассматривали развитие электро-

мобильного направления транспортного комплекса в историко-правовых, информационных аспектах, причем в государствах, существующих без влияния факторов войны и экономической блокады.

Неразрешенная часть научной проблемы заключается в том, что не сформулирован научный подход к формированию электромобильного направления в инновационном развитии транспортного комплекса ДНР. Целью данного исследования является формирование научно обоснованного доказательства целесообразности создания электромобильного направления в инновационном развитии транспортного комплекса ДНР.

Транспортный комплекс ДНР включает автомобильный, железнодорожный городской электрический транспорт. За 2017 г. автомобильным транспортом перевезено пассажиров 95 813 тыс. чел., что на 11 469 тыс. чел. или на 10,69 % ниже показателя 2016 г. (107 281,7 тыс. чел.). Пассажирооборот в 2017 г. составил 1 533 820 тыс. пасс. км, вырос против показателя 2016 г. (1 315 085 тыс. пасс. км) на 218 735 тыс. пасс. км или на 16,63 %.

Такое различие между значенями показателей перевозок пассажиров и пассажирооборота свидетельствует о неэффективном использовании транспортных средств и низкой фондоотдаче.

За данный период автомобильным транспортом перевезено грузов 947,1 тыс. т, что превышает показатель 2016 г. (484,9 тыс. т) на 462,2 тыс. т или на 95,32 %.

Грузооборот в 2017 г. составил 126 741,1 тыс. т·км и превысил показатель 2016 г. (91 197,3 тыс. т·км) на 35 544 тыс. т·км или на 38,97 %.

Увеличение натуральных показателей грузоперевозок и грузооборота в 2017 г. обусловлено увеличением количества автотранспортных средств как активной части основных фондов на 465 ед. или на 25,83 %.

По автомобильному направлению в 2017 г. открыт новый автобусный международный маршрут Донецк—Сухум. Увеличение в 2017 г. числа маршрутов общего пользования до 488 ед. в сравнении с 2016 г. (439 ед.) на 49 ед. или на 11,16 % выступает резервом увеличения количества перевозок пассажиров в 2018 г. Денежная единица принята — русские рубли.

Так, за 2016 г. совокупные доходы транспортного комплекса ДНР составили 1 203 696 тыс. руб. В том числе: доходы от перевозок пассажиров и грузов — 96 2774 тыс. руб. (80 % величины совокупных доходов); доходы от подсобно-вспомогательной деятельности — 45 311 тыс. руб. (3,8 % величины совокупных доходов); доходы от прочей операционной и другой деятельности — 19 5611 тыс. руб. (16,2 % величины совокупных доходов). Согласно расчетным данным проведение указанных мероприятий способствовало образованию прироста величины совокупных доходов на 0,0004 % при условии неизменных показателей структуры доходов.

Среднесписочная численность работников предприятий транспортного комплекса республики составила 27 754 чел., расчетная производительность труда 55,3 тыс. руб на чел.

Инновационное развитие транспортного комплекса связано, прежде всего, с увеличением результатов основной деятельности и ростом доходов от нее за счет эффективного использования имеющегося ресурсного потенциала и применения инновационных подходов к оказанию транспортных услуг. Инновационное развитие автомобильного направления транспортного комплекса ДНР заключается в замене городских автобусов, работающих на дизельном топливе или на природном газе, на электробусы с нулевым уровнем вредных выбросов в атмосферу. Речь идет об электробусах с динамической подзарядкой, которые используют уже имеющуюся оборудованную контактную троллейбусную сеть для зарядки во время движения по маршруту. Следовательно, у этих транспортных средств не будет простоев на конечных станциях в депо или парках, так как зарядка батарей производится, как уже отмечалось, во время движения по маршруту. Кроме того, использование электробусов с динамической подзарядкой не создает проблем установки зарядных устройств на специализированных площадках или автобусных остановках, связанных с дополнительной нагрузкой на городскую сеть, зависимости от разных вариантов зарядки, следовательно, исключает затруднения оказания транспортных услуг через нарушения маршрутных расписаний.

С 2014 г. ЗАО "Тролза" осуществляет серийное производство таких электробусов с динамической подзарядкой и высокой пассажировместимостью. За период с 2014 по 2017 гг. ЗАО "Тролза" поставлены более 200 электробусов в российские города — Тулу, Нальчик, Санкт-Петербург и за рубеж — в Аргентину, в города Росарио и Кордова.

Модели электробусов с динамической подзарядкой, выпускаемые ЗАО "Тролза", внешне и конструктивно похожи на троллейбусы последнего поколения, но оснащаются аккумуляторными батареями большой мощности. Батареи располагаются в заднем отсеке электробуса. Динамическая подзарядка обеспечивает автономный пробег электробуса от 20 до 70 км, что вполне достаточно для преодоления участков, не обеспеченных контактной сетью.

Использование динамической подзарядки имеет ряд существенных преимуществ. Во-первых, не

создает дополнительной нагрузки на городскую сеть; во-вторых, обеспечивает щадящий режим работы батарей; в-третьих, позволяет обогревать салон, что не требует использования дизельных генераторов и делает этот вид электробусов на 100 % экологичным видом транспорта.

Таким образом, электробус с динамической подзарядкой позволяет создавать новые экологически чистые маршруты без дорогостоящих инвестиций в строительство инфраструктуры.

Однако наличие статуса "непризнанное" государство, нестабильное финансовое положение делают невозможным сотрудничество ДНР с лидерами по производству и распространению электромобилей. Кроме того, в ДНР имеются существенные внутренние противодействия реализации проектов по переводу автомобильного парка на электробусы. Прежде всего, это значительные первоначальные капитальные затраты, покрытие которых из республиканского бюджета невозможно, а немногочисленный корпоративный транспортный сектор не имеет резервов капитализации. Также существует риск повышения тарифов на электроэнергию в связи с ростом спроса на нее у автотранспортных предприятий.

Вместе с тем, необходимость развития электромобильного направления в транспортной отрасли ДНР обусловлена не только эколого-экономическими особенностями территории, на которой сконцентрированы промышленные предприятия, но и возможностями создания новых промышленных объектов для обеспечения функционирования электротранспорта.

Выводы

Приведенные преимущества электробусов, заключающиеся в экологичности использования и перспективной дешевизне обслуживания, учитываются в процессе формирования стратегических решений в сфере развития транспортного комплекса ДНР. Создание рабочих мест, связанных с производством электронных автобусов и обеспечением функционирования вспомогательных отраслей промышленности, выступит фактором развития инновационной экономики республики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Бойко О. В., Сич Є. М., Ільчук В. П.** Ефективність функціонування інноваційно-інвестиційних формувань транспортної галузі // Вісник Чернігівського державного технологічного університету: зб. наук. пр. — Чернігів: ЧДТУ, 2006. — № 29. — С. 5—15.
2. **Бойко О. В., Дідовець І. В.** Інноваційно-інвестиційний розвиток транспортного ринку в підвищенні конкурентоспроможності країни // ДЕТУТ: зб. наук. пр. — К.: ДЕТУТ, 2012. — Вип. 20. — С. 47—56. (Сер.: Економіка і управління).
3. **Бойко О. В.** Ринок транспортних послуг: основи методології розвитку. Монографія. — Київ: Кондор-Видавництво, 2014. — 494 с.
4. **Дикань В. М., Уткин Ю. Н.** Эффективность работы технопарков инновационной деятельности предприятий // Вісник економіки транспорту і промисловості. — 2004. — № 5—6. — С. 200—206.
5. **Загорулько В. М.** Маркетингове забезпечення інноваційних процесів на підприємствах України // Проблеми системного підходу в економіці: зб. наук. пр. — К.: НАУ, 2011. — Вип. 36. — С. 3—7.
6. **Ільчук В. П.** Інноваційно-інвестиційні системи залізничного транспорту: становлення та розвиток: монографія; за ред. д-ра екон. наук, проф. Є. М. Сича. — К.: Логос, 2004. — 381 с.
7. **Кочеулов В. П.** Использование электромобилей и электробусов на городском общественном транспорте больших городов. — М.: ГОСИНТИ, 1976. — 23 с.
8. **Кузнецов В.** В Москве начались испытания электробуса КАМАЗ (рус.) // Hi-News: новостное агентство. — 2016. — 18 августа.
9. **Легкий С. А., Юшков Н. В.** Анализ методов ценообразования на услуги пассажирского автомобильного транспорта // Актуальные проблемы экономики и управления: теоретические и прикладные аспекты [Электронный ресурс]: материалы Третьей международной научно-практической конференции, г. Горловка, 30 марта 2018 г., Автомобильно-дорожный институт ГОУВПО «ДонНТУ». — Горловка: АДИ «ДонНТУ», 2018. — С. 269—275.
10. **Речмедилов А. А.** Автобусы: Возникновение, опыт и организация. — "Мотор" Мосавтоклуба ПСТР СССР, 1926. — 140 с.
11. **Селезнева Н. А., Турбаба М. В.** Анализ методов построения городских пассажирских транспортных систем // Актуальные проблемы экономики и управления: теоретические и прикладные аспекты [Электронный ресурс]: материалы Третьей международной научно-практической конференции, г. Горловка, 30 марта 2018 г., Автомобильно-дорожный институт ГОУВПО «ДонНТУ». — Горловка: АДИ «ДонНТУ», 2018. — С. 308—314.
12. **Селезнева Н. А., Тятых В. А.** Влияние уровня качества городского автомобильного транспорта на экологическую обстановку в городе // Актуальные проблемы экономики и управления: теоретические и прикладные аспекты [Электронный ресурс]: материалы Третьей международной научно-практической конференции, г. Горловка, 30 марта 2018 г., Автомобильно-дорожный институт ГОУВПО «ДонНТУ». — Горловка: АДИ «ДонНТУ», 2018. — С. 531—535.
13. **Сич Є. М., Кислый В. М.** Закони економіки транспорту: монографія. — Ніжин: ТОВ "Видавництво "Аспект-Поліграф", 2009. — 160 с.
14. **Сич Є. М., Ільчук В. П.** Інноваційно-інвестиційні комплекси транспортної галузі: методологія формування та розвитку: монографія. — К.: Логос, 2006. — 264 с.
15. **Теория и расчет** тягового привода электромобиля / Под ред. И. С. Ефремова. — М.: Высшая школа, 1984. — 383 с.
16. **Тофанчук А. Т., Колесник М. В.** Соціально-економічні особливості інноваційного процесу // Проблеми підвищення ефективності інфраструктури: Зб. наук. праць. — К.: НАУ, 2010. — Вип. 26. — С. 61—68.
17. **Фарберов М. М.** Состояние и перспективы развития городского электротранспорта. — М.: МАКС-Пресс, 2005. — 160 с.
18. **Электромобиль:** Техника и Экономика / Под общ. ред. В. А. Щетины. — Л.: Машиностроение, 1987. — 252 с.

УДК 621.436

В. А. Марков, д-р техн. наук, профессор, e-mail: vladimir.markov58@yandex.ru,
К. П. Рязанов, аспирант, e-mail: kpryazanov@yandex.ru, **А. Н. Зенкин,** студент, e-mail: zensanches@mail.ru,
И. Г. Маркова, МГТУ им. Н. Э. Баумана, e-mail: markov58@bmstu.ru

РЕГУЛИРОВАНИЕ ФАЗ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО ДИЗЕЛЯ

Показана необходимость регулирования фаз газораспределения в двигателях внутреннего сгорания. Представлены некоторые законы регулирования фазы закрытия впускного клапана в транспортных дизелях. Проведены расчетные исследования влияния фазы закрытия впускного клапана на показатели топливной экономичности и токсичности отработавших газов транспортного дизеля. Показана возможность улучшения названных показателей при регулировании фазы закрытия впускного клапана дизеля.

Ключевые слова: *двигатель внутреннего сгорания, дизель, фазы газораспределения, фаза закрытия впускного клапана, топливная экономичность, токсичность отработавших газов.*

The necessity of control of gas distribution phases in internal combustion engines is shown. Some laws of regulating the closing phase of the intake valve in transport diesel engines are presented. The calculated studies of the influence of the inlet valve closing phase on the fuel efficiency and toxicity of the exhaust gases of the transport diesel engine are carried out. The possibility of improving these parameters when adjusting the closing phase of the diesel intake valve is shown.

Keywords: *internal combustion engine, diesel engine, gas distribution phases, phase of intake valve closing, fuel efficiency, toxicity of exhaust gases.*

Одной из основных задач современного двигателестроения является уменьшение выбросов в атмосферу токсичных компонентов отработавших газов (ОГ) [1]. В дизельных двигателях основными токсичными компонентами ОГ являются оксиды азота и сажа, причем на долю оксидов азота приходится до 95 % суммарной токсичности ОГ [2]. При этом около 42 % выбросов оксидов азота в атмосферу приходится на автомобильный транспорт [3]. Поэтому при выборе мероприятий, обеспечивающих снижение токсичности ОГ, особую значимость имеют мероприятия, обеспечивающие уменьшение образования оксидов азота в камере сгорания (КС) дизеля. Одним из перспективных направлений снижения выбросов оксидов азота в атмосферу является оснащение двигателей внутреннего сгорания системами регулирования фазгазораспределения и определение целесообразных законов такого регулирования [2, 4].

Практика транспортного и автотракторного двигателестроения свидетельствует о том, что фазы газораспределения, оптимальные для номинального режима, не всегда являются оптимальными для других скоростных и нагрузочных режимов [2, 4, 5]. Это обусловлено тем, что кинетическая энергия потока воздуха во впускной системе и потока ОГ в выпускной системе дизеля, волновые процессы в них существенно изменяются при смене скоростного и нагрузочного режимов работы. Соответствующим подбором углов открытия и закрытия впускного и выпускного клапанов на каждом эксплуатационном режиме можно обеспечить наилучшее протекание рабочего процесса дизеля, снижение токсичности ОГ и повышение топливной экономичности. В связи с этим разработаны и уже применяются на практике в двигателях транспортного и автотракторного назначения различные конструкции механизмов изменения фаз газораспределения. Некоторые из них рассмотрены в работах [2, 6, 7].

При отсутствии в двигателе системы регулирования фаз газораспределения реализуется фиксированный момент открытия и закрытия впускного и выпускного клапанов. Это приводит к тому, что стремление с помощью фаз газораспределения обеспечить требуемые показатели топливной экономичности и токсичности ОГ на режимах с высокой частотой вращения коленчатого вала и полной нагрузкой приводит к неизбежному ухудшению названных показателей на других эксплуатационных режимах, к повы-

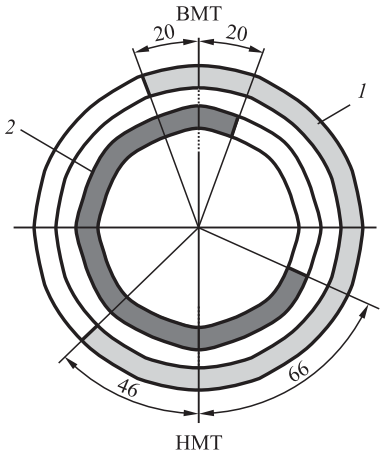


Рис. 1. Реализуемые в бензиновом двигателе фазы открытия и закрытия клапанов газораспределения:

1 — впускной клапан; *2* — выпускной клапан

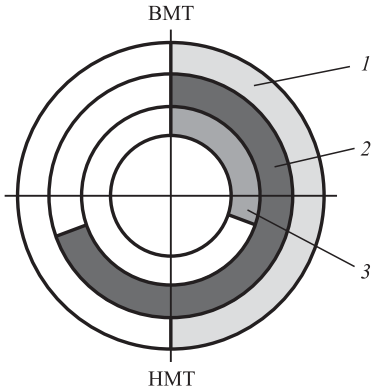


Рис. 2. Фазы открытия и закрытия впускных клапанов двигателей внутреннего сгорания:

1 — идеализированные фазы открытия и закрытия впускных клапанов бензиновых двигателей в цикле Отто; *2* — эти фазы при реализации цикла Аткинсона; *3* — эти фазы при реализации цикла Миллера

шенным оборотам коленчатого вала двигателя на режиме минимального холостого хода.

Рассмотрим это на примере момента закрытия впускного клапана в бензиновом двигателе (рис. 1). На номинальном режиме работы двигателя впускной клапан следует закрывать в тот момент, когда на такте сжатия поршень начинается двигаться вверх от нижней мертвой точки (НМТ) к верхней мертвой точке (ВМТ). В идеализированном случае это закрытие впускного клапана соответствует НМТ, а на практике — обычно происходит через несколько градусов поворота коленчатого вала (п.к.в.) после НМТ (на рис. 1 этот момент соответствует 46 град. п.к.в. после НМТ). Эта задержка закрытия впускного клапана обусловлена инерционностью потока свежего заряда, которая позволяет обеспечить дозарядку цилиндра топливовоздушной смесью в начальный период движения поршня от НМК к ВМТ. Но при этом оптимальный момент закрытия впускного клапана на режиме максимальной мощности не будет соответствовать оптимальному моменту его закрытия на других эксплуатационных режимах. В частности, на режимах с пониженной частотой вращения коленчатого вала такое позднее закрытие впускного клапана приводит к тому, что часть свежего заряда, поступившего в цилиндр, вытесняется поршнем обратно во впускной коллектор. Это может привести к ухудшению эксплуатационных показателей двигателя.

Первый классический четырехтактный двигатель был изобретен немцем Николаусом Отто (1832—1891 гг.) в 1876 г. Цикл работы этого двигателя включает такты впуска, сжатия, рабочего хода и выпуска. Границы этих тактов определяются моментами открытия и закрытия впускных и выпускных клапанов. Наряду с идеализированными фазами работы впускного клапана, показанными на рис. 2 (открытие впускного клапана в ВМТ и его закрытие в НМТ), в транспортных двигателях могут быть реализованы и другие подходы к реализации фаз открытия и закрытия этого клапана. Для усовершенствования работы бензинового двигателя внутреннего сгорания, предложенного в патентах Николауса Отто, английский инженер Джеймс Аткинсон (1846—1914 гг.) в 1886 г. предложил изменить соотношение времен тактов цикла Отто. В двигателе Аткинсона такт сжатия был уменьшен за счет более позднего закрытия впускного клапана. Реализация этого цикла обеспечивает снижение фактической степени сжатия рабочей смеси относительно геометрической. Патенты на двигатель внутреннего сгорания собственной конструкции были получены Аткинсоном в Европе и США в 1886—1887 гг. Позже, в 1947 г., американским инженером Ральфом Миллером был предложен цикл, названный циклом Миллера, в котором реализован более короткий такт впуска за счет более раннего закрытия впускного клапана.

Оптимизация фаз газораспределения обычно проводится на основании предварительно полученных регулировочных характеристик дизеля по углу открытия и закрытия впускного и выпускного клапанов системы газораспределения двигателей внутреннего сгорания. При этом в качестве эффективного средства снижения выбросов оксидов азота в атмосферу с ОГ дизелей рассматривается регулирование момента закрытия впускных клапанов. Результаты исследования одноцилиндрового дизеля семейства КАМАЗ (1 ЧН 12/12) с изменяемым моментом закрытия только впускного клапана $\varphi_Г$ представлены на рис. 3 и в ра-

ботах [2, 8, 9]. Двигатель испытывался на номинальном скоростном режиме ($n_{ном}$ = 2200 мин$^{-1}$) с неполной подачей топлива, с окончанием закрытия впускного клапана, варьируемым от −45 град. п.к.в. (до НМТ) до +20 град. п.к.в. (после НМТ), и неизменным моментом начала открытия этого клапана, равным 20 град. п.к.в. до ВМТ. Анализ полученных экспериментальных данных показал, что в пределах исследуемого диапазона момента закрытия впускного клапана параметры дизеля меняются весьма значительно. Так, температура ОГ $T_{ог}$ изменялась на 10 %, максимальное давление сгорания p_z — на 20 %, коэффициент избытка воздуха α — на 20 %, удельный индикаторный расход топлива g_i — на 10 %. При этом более раннее закрытие впускного клапана приводило к уменьшению p_z и увеличению $T_{ог}$, что связано со снижением α при сокращении продолжительности процесса впуска. Зависимость g_i от момента закрытия только впускного клапана $\varphi_г$ имеет оптимум, соответствующий $\varphi_г$ = −10 град. п.к.в. (до НМТ). С точки зрения эмиссии токсичных компонентов ОГ (оксиды азота NO_x, монооксид углерода CO) более благоприятна работа с ранним закрытием впускного клапана, что обусловлено снижением максимальных температур цикла. Это соответствует работе дизеля по циклу Миллера, при котором раннее закрытие впускного клапана обеспечивает охлаждение воздушного заряда за счет его принудительного расширения в период от момента закрытия впускного клапана до момента прихода поршня в НМТ. Следует отметить, что при снижении частоты вращения коленчатого вала дизеля влияние продолжительности впуска на показатели рабочего процесса увеличивается.

Анализ данных рис. 3 подтверждает возможность улучшения показателей ОГ транспортного дизеля без ухудшения его топливной экономичности путем регулирования фазы закрытия впускного клапана. Но при этом необходимо обеспечить формирование достаточно сложных законов регулирования момента закрытия впускного клапана в соответствии с режимом работы двигателя. Кроме такого решения, известны и другие более сложные подходы к регулированию фаз открытия и закрытия клапанов газораспределения. В частности, анализ экспериментальных данных — зависимостей часового расхода топлива $G_т$ и часовых массовых выбросов оксидов азота E_{NO_x} дизеля 1 Ч 10,5/12 от фаз газораспределения (рис. 4, *а*) [5] позволил определить оптимизированные характеристики фаз газораспределения для этого дизеля, представленные на рис. 4, *б*. При работе дизеля на режимах холостого хода наименьшие выбросы NO_x наблюдаются при одновременном смещении

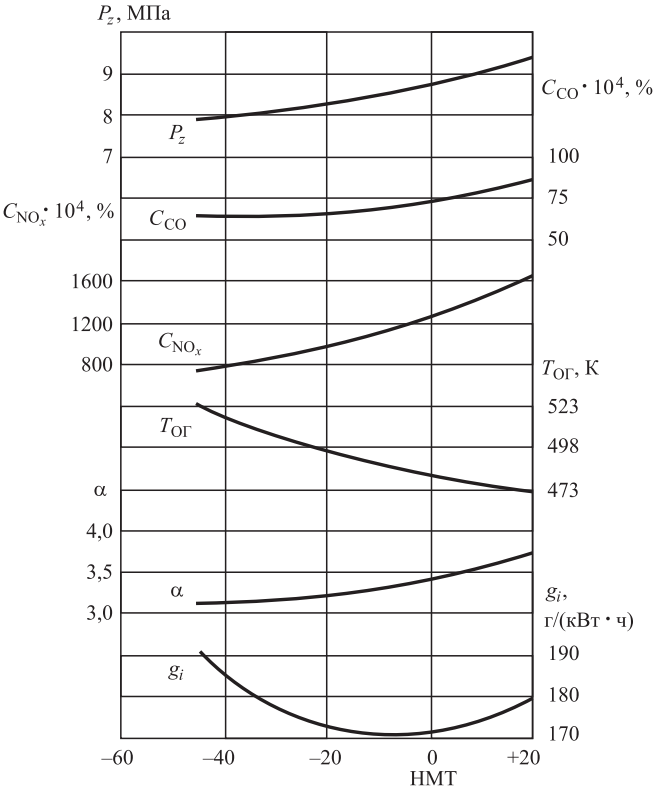


Рис. 3. Зависимость показателей работы дизеля семейства КАМАЗ — максимального давления сгорания p_z, температуры ОГ $T_{ОГ}$, коэффициента избытка воздуха α, удельного индикаторного расхода топлива g_i, объемного содержания в ОГ оксидов азота C_{NO_x} и монооксида углерода C_{CO} от угла закрытия впускного клапана $\varphi_г$

фаз открытия и закрытия впускного и выпускного клапанов в сторону запаздывания на $\Delta\varphi_г$ = = −10 град. п.к.в. почти во всем скоростном диапазоне (зона I на рис. 4, *б*). На режиме максимальной частоты вращения холостого хода выброс NO_x снижается более чем на 30 %, на режимах средних частот вращения — на 12 %, и только на скоростном режиме с n = 0,5 $n_{ном}$ (с частотой вращения в 2 раза меньшей, чем на номинальном режиме) работа с $\Delta\varphi_г$ = −10 град. п.к.в. приводит к увеличению выброса NO_x примерно на 5 %. При таком смещении фаз газораспределения в сторону запаздывания расход топлива практически не изменяется.

На режиме холостого хода с минимальной частотой вращения смещение фаз газораспределения в сторону опережения на $\Delta\varphi_г$ = +10 град. п.к.в. позволяет снизить выбросы NO_x, однако расход топлива увеличивается при этом примерно на 15 % (см. рис. 4, *а*). На режимах со средними и полными нагрузками характер протекания кривых эмиссии NO_x трансформируется. В частности, на режимах с полной нагрузкой (за исключением номинального скоростного режима) с точки зрения снижения

выбросов NO_x более предпочтительной является работа с $\Delta\varphi_г = +10$ град. п.к.в. (область II на рис. 4, *б*). Она позволяет на скоростном режиме с $n = 0{,}5\ n_{ном}$ снизить выбросы NO_x на 12 %, на режимах с $n = 0{,}7—0{,}8\ n_{ном}$ — на 4 %. Только работа на номинальном скоростном режиме с $\Delta\varphi_г = +10$ град п.к.в. и полной нагрузкой приводит к увеличению выбросов NO_x примерно на 2 %. Расход топлива изменяется при этом незначительно. Таким образом, формирование представленной на рис. 4, *б,* характеристики управления фазами газораспределения в рассматриваемом дизеле позволяет снизить выбросы NO_x без ухудшений топливной экономичности.

Рассмотрим еще несколько подходов к регулированию фаз открытия и закрытия клапанов газораспределения. Одним из способов снижения эмиссии NO_x является увеличение перекрытия клапанов. Увеличение времени одновременного открытия впускного и выпускного клапанов приводит к охлаждению свежим зарядом деталей цилиндропоршневой группы, уменьшению температуры воздушного заряда и максимальной температуры цикла и снижению выброса NO_x [5]. Еще один способ снижения эмиссии NO_x — увеличение доли остаточных газов в цилиндрах дизеля путем регулирования фаз газораспределения [5]. Этот процесс аналогичен процессу рециркуляции ОГ, при котором часть газов из выпускной системы возвращается в цилиндры. В обоих случаях снижается концентрация кислорода в зоне сгорания, уменьшается максимальная температура цикла и снижается эмиссия NO_x. Возможны и другие законы изменения фаз газораспределения, но для их реализации необходимо оснащение дизеля системой газораспределения с регулируемыми фазами впуска и выпуска. Некоторые из таких систем рассмотрены в работах [2, 6, 7].

Определение целесообразных законов регулирования фаз газораспределения, в частности — момента закрытия впускных клапанов на показатели топливной экономичности и ОГ транспортных дизелей путем проведения экспериментальных исследований является достаточно трудоемкими. Для решения указанной задачи целесообразно использовать расчетные методы, позволяющие исследовать большое число различных законов регулирования. Для моделирования рабочего процесса дизеля с варьируемым моментом закрытия впускного клапана использован программный комплекс (ПК) ДИЗЕЛЬ-РК, разработанный в МГТУ им. Н. Э. Баумана проф. А. С. Кулешовым и предназначенный для расчетных исследований рабочих процессов двух- и четырехтактных двигателей внутреннего сгорания без наддува и с турбонаддувом [10, 11]. Для расчета смесеобразования и сгорания в дизелях используется РК-модель, в основе которой лежит расчетный метод, предложенный в начале 90-х годов профессором Н. Ф. Разлейцевым и в дальнейшем доработанный А. С. Кулешовым. РК-модель учитывает особенности характеристики впрыска, включая многофазный впрыск, мелкость распыливания топлива, ориентацию струй в объеме КС, динамику развития топливных струй, взаимодействие струй с воздушным вихрем и стенками. Учитываются условия развития каждой топливной струи и образованных струями пристеночных потоков, а также их взаимодействие между собой.

Программный комплекс ДИЗЕЛЬ-РК включает подпрограмму расчета образования оксидов азота в цилиндре ДВС, основанную на термическом механизме на основе схемы Я. Б. Зельдовича. Определение состава продуктов сгорания осуществляется по 18 компонентам.

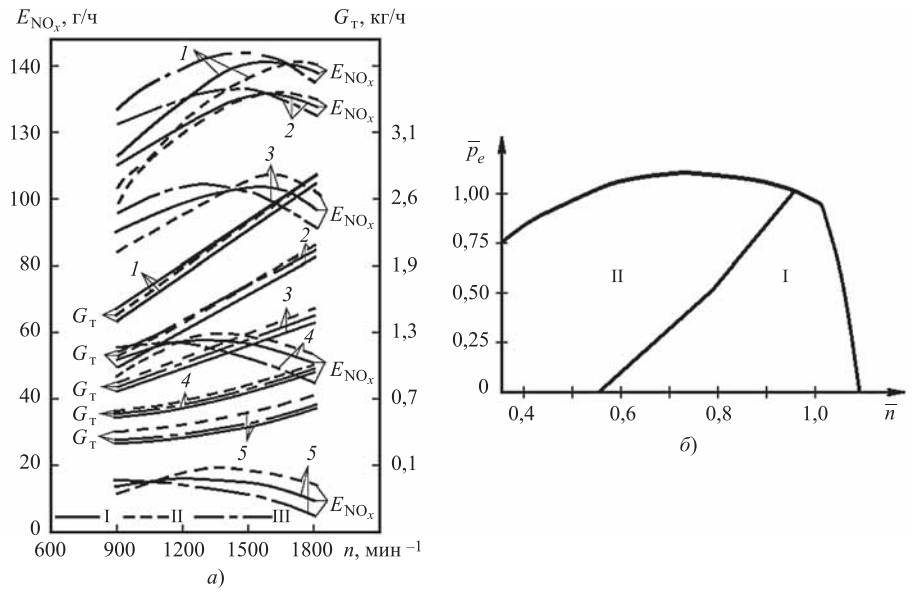


Рис. 4. Зависимости выбросов оксидов азота E_{NOx} и расхода топлива $G_т$ от скоростного режима работы дизеля 1 Ч 10,5/12 (*а*) и зоны оптимизированных фаз газораспределения этого дизеля (*б*):

а: *1* — нагрузочный режим со средним эффективным давлением $p_e = p_{e\max}$; *2* — с $p_e = 0{,}75\ p_{e\max}$; *3* — с $p_e = 0{,}5\ p_{e\max}$; *4* — с $p_e = 0{,}25\ p_{e\max}$; *5* — $p_e = 0$; I — штатные фазы газораспределения; II — смещение фаз на $\Delta\varphi_г = +10$ град. п.к.в. (в сторону опережения); III — смещение фаз на $\Delta\varphi_г = -10$ град. п.к.в. (в сторону запаздывания); *б*: I — область работы с $\Delta\varphi_г = -10$ град. п.к.в.; II — область работы с $\Delta\varphi_г = +10$ град. п.к.в.

Для определения температур используется зонная модель (методика профессора В. А. Звонова). Программный комплекс ДИЗЕЛЬ-РК включает подпрограмму расчета эмиссии сажи, основанную на методике профессора Н. Ф. Разлейцева, в которой сделана попытка учета влияния особенности процесса горения распыленного топлива на образование и выгорание сажевых частиц. Принято, что сажевые частицы образуются преимущественно двумя путями: в результате цепного деструктивного превращения молекул топлива, диффундирующих от поверхности капель к фронту пламени, и вследствие высокотемпературной термической полимеризации и дегидрогенизации парожидкостного ядра испаряющихся капель топлива. Параллельно этим двум процессам происходит процесс выгорания сажевых частиц и уменьшения их объемной концентрации вследствие расширения.

Оценка влияния фазы закрытия впускных клапанов на показатели топливной экономичности и токсичности ОГ проведена применительно к дизелю типа Д-245.12С (4 ЧН 11/12,5). Этот дизель производства Минского моторного завода (ММЗ) установлен на малотоннажных грузовиках ЗИЛ-5301 "Бычок", а его модификации — на автобусах Павловского автомобильного завода (ПАЗ) и тракторах "Беларусь" Минского тракторного завода (МТЗ). Некоторые параметры дизеля Д-245.12С приведены в табл. 1.

При расчетах показателей дизеля Д-245.12С с изменяемым моментом закрытия впускных клапанов с использованием ПК ДИЗЕЛЬ-РК исследовался номинальный режим (режим максимальной мощности) при частоте вращения n = 2400 мин$^{-1}$ с объемной цикловой подачей топлива $q_ц$ = 80 мм^3 или массовой подачей $g_ц$ = 67 мг. Этот режим характеризуется наибольшим влиянием фазы закрытия впускных клапанов на показатели исследуемого дизеля. При расчетных исследованиях задавался закон подачи, формируемый кулачками ТНВД на номинальном режиме работы дизеля (табл. 2).

На номинальном режиме работы дизеля Д-245.12С штатный угол опережения впрыскивания топлива (УОВТ) равен θ = 13 град. п.к.в. до ВМТ. Это установочный (статический) УОВТ, определяемый на выходе из штуцера топливного насоса высокого давления (ТНВД). В разделенных системах топливоподачи (в которых ТНВД и форсунки соединены длинными нагнетательными топливопроводами) действительный (динамический) УОВТ, соответствующий моменту начала подъема иглы форсунки, уменьшается по сравнению с установочным УОВТ. Это уменьшение УОВТ соответствует времени прохождения волны давления от ТНВД до форсунки со скоростью звука, которая для дизельного топлива равна c = 1300 м/с. При длине топливопровода L = 540 мм = 0,54 м эта задержка начала подачи топлива составляет $\Delta t = L/c$ = 0,54 м / 1300 м/с = = 0,000415 с, что при частоте вращения коленчатого вала двигателя n = 2400 мин$^{-1}$ соответствует $\Delta\theta$ = 6° п.к.в. Поэтому динамический УОВТ на исследуемом режиме принят равным $\theta_{дин}$ = 7 град. п.к.в. до ВМТ.

Для оценки влияния фазы закрытия впускных клапанов на показатели дизеля при различных УОВТ расчеты проведены не только при $\theta_{дин}$ = 7°п.к.в. до ВМТ, но и при увеличенном угле опережения впрыскивания топлива, равном $\theta_{дин}$ = 13 град. п.к.в. до ВМТ. При этом угол закрытия впускного клапана $\varphi_г$ варьировался от −50 град. п.к.в. (до НМТ) до +50 град. п.к.в. (после НМТ), а момент начала открытия этого клапана был постоянным и равным 20 град. п.к.в. до ВМТ.

Некоторые результаты проведенных расчетных исследований дизеля Д-245.12С с изменяемым моментом закрытия впускных клапанов представлены на рис. 5. По приведенным данным необходимо еще раз отметить значительное влияние угла закрытия впускного клапана $\varphi_г$ на показатели исследуемого дизеля. При этом оптимальным с точки зрения показателей топливной экономичности и токсичности ОГ является угол закрытия впускных клапанов, примерно равный +40 град. п.к.в. (после НМТ). При таком значении $\varphi_г$ достигается минимум удельного эффективного расхода топлива g_e и выбросов твердых частиц e_{PM} и сажи (дымности ОГ K_X). Более позднее закрытие впускных клапанов приводит к некоторому росту объемного содержания в ОГ оксидов азота C_{NO_x}, однако при отмеченном значении $\varphi_г$ = +40 град. п.к.в. (после НМТ) их объемное содержание сравнительно невелико и составляет около 570 ppm.

Следует отметить, что полученные расчетные результаты по дизелю Д-245.12С, представленные на рис. 5, хорошо согласуются с результатами экспериментальных исследований этого дизеля, приведенными в работе [12]. В частности, при штатных фазах газораспределения (**впускной клапан:** открытие — 20 град. п.к.в. до ВМТ, закрытие — 46 град. п.к.в. за НМТ, **выпускной клапан:** открытие — 66 град. п.к.в. до НМТ, закрытие — 20 град. п.к.в. за ВМТ) экспериментально полученный и расчетный удельные эффективные расходы топлива g_e на номинальном режиме оказались равными соответственно 225,1 и 225,9 г/(кВт·ч). Экспериментально полученная и расчетная концентрации в ОГ оксидов азота оказались соответственно 590 и 575 ppm (ppm — миллионная доля оксидов азота в ОГ). Это подтверждает возможность использования программного комплек-

Таблица 1

Параметры дизеля типа Д-245.12С (4 ЧН 11/12,5)

Параметры	Значение
Тип двигателя	Четырехтактный, рядный, дизельный
Число цилиндров	4
Диаметр цилиндра, мм	110
Ход поршня, мм	125
Рабочий объем цилиндра, л	1,08
Общий рабочий объем, л	4,32
Степень сжатия	16,0
Система турбонаддува	Турбокомпрессор ТКР-6 Борисовского завода автоагрегатов
Тип КС, способ смесеобразования	КС типа ЦНИДИ, объемно-пленочное смесеобразование
Номинальная частота вращения, мин$^{-1}$	2400
Номинальная мощность, кВт	80
Механизм газораспределения	Клапанного типа с верхним расположением клапанов
Система охлаждения	Водяная, принудительная
Система смазки	Принудительная, с разбрызгиванием
Фильтр масляный	Сетчатый
Насос масляный	Шестеренчатый
Система питания	Разделенного типа
Топливный насос высокого давления (ТНВД)	Рядный типа PP4M10U1f фирмы Motorpal с всережимным центробежным регулятором
Диаметр плунжеров ТНВД, мм	10
Ход плунжеров ТНВД, мм	10
Длина нагнетательных топливопроводов, мм	540
Форсунки	Типа ФДМ-22 производства ОАО «Куроаппаратура» (г. Вильнюс)
Распылители форсунок	Фирмы Motorpal типа DOP 119S534 с пятью сопловыми отверстиями диаметром $d_р$ = 0,34 мм и проходным сечением $\mu_р f_р$ = 0,250 мм^2
Давление начала впрыскивания форсунок, МПа	21,5

Таблица 2

Закон подачи топлива дизеля Д-245.12С на режиме с частотой вращения n = 2400 мин$^{-1}$ и цикловой подачей $q_ц$ = 80 мм^3

Угол поворота вала φ, град п.к.в.	Скорость впрыскивания, м^3/с	Угол поворота вала φ, град п.к.в.	Скорость впрыскивания, м^3/с	Угол поворота вала φ, град п.к.в.	Скорость впрыскивания, м^3/с
0	0	6,0	$8{,}6\cdot10^{-5}$	12,0	$8{,}8\cdot10^{-5}$
1,0	$2{,}2\cdot10^{-5}$	7,0	$8{,}5\cdot10^{-5}$	13,0	$8{,}2\cdot10^{-5}$
2,0	$5{,}6\cdot10^{-5}$	8,0	$8{,}4\cdot10^{-5}$	14,0	$6{,}4\cdot10^{-5}$
3,0	$7{,}6\cdot10^{-5}$	9,0	$9{,}5\cdot10^{-5}$	15,0	$4{,}4\cdot10^{-5}$
4,0	$8{,}0\cdot10^{-5}$	10,0	$9{,}4\cdot10^{-5}$	16,0	0
5,0	$8{,}4\cdot10^{-5}$	11,0	$9{,}2\cdot10^{-5}$		

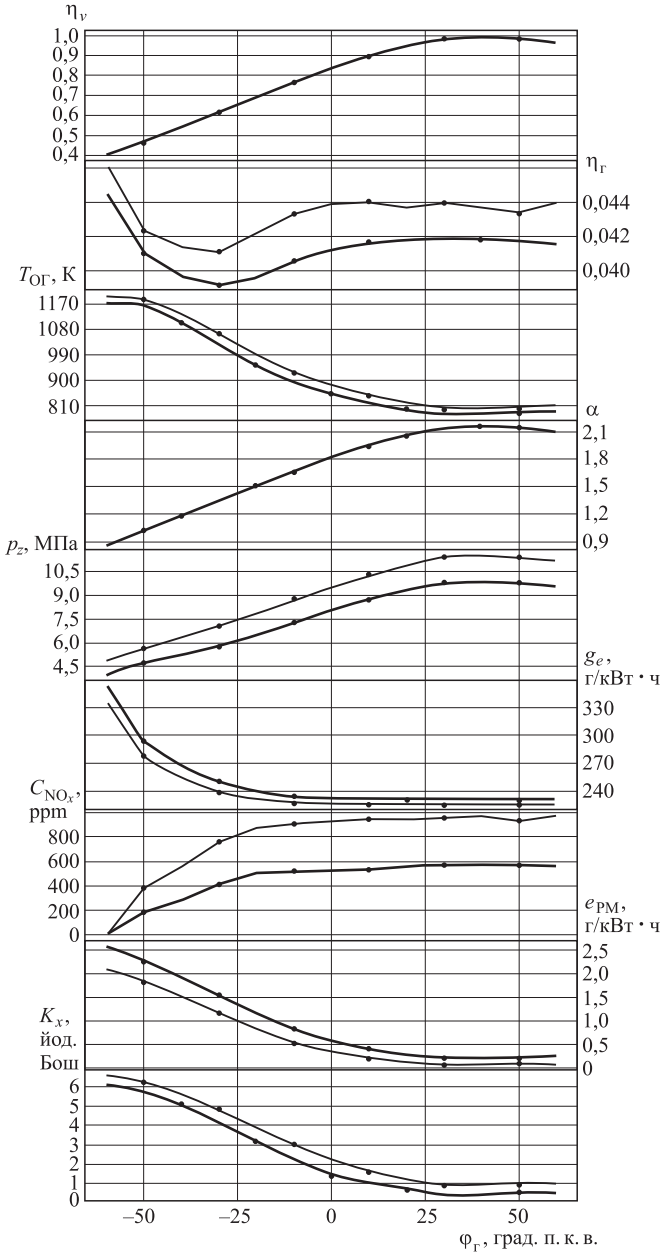


Рис. 5. Зависимость показателей работы дизеля Д-245.12С — коэффициента наполнения η_v; коэффициента остаточных газов $\eta_г$; температуры ОГ перед турбиной $T_{ОГ}$; коэффициента избытка воздуха α; максимального давления сгорания p_z; удельного эффективного расхода топлива g_e; объемного содержания в ОГ оксидов азота C_{NOx}; удельного массового выброса твердых частиц e_{PM} и дымности отработавших газов K_X от угла закрытия впускных клапанов $\varphi_г$ при различных УОВТ:

а — при $\theta_{дин}$ = 13 град. п.к.в. до ВМТ (тонкие линии); *б* — при $\theta_{дин}$ = 7 град. п.к.в. до ВМТ (жирные линии)

са ДИЗЕЛЬ-РК для исследования дизеля Д-245.12С с различными фазами газораспределения.

Для оптимизации значений угла закрытия впускных клапанов $\varphi_г$ в широком диапазоне скоростных и нагрузочных режимов, характерном для транспортного дизеля, необходимо для каждого эксплуатационного режима провести расчетные исследования, получить расчетные данные, аналогичные данным на рис. 5, и выбрать оптимальное значение $\varphi_г$ на данном режиме. Но следует отметить, что ПК ДИЗЕЛЬ-РК включает подпрограмму расчетного формирования оптимальных законов регулирования и управления параметрами дизелями [13]. Это существенно упрощает получение закона регулирования угла закрытия впускных клапанов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Двигатели внутреннего сгорания.** Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей: учебник для вузов / В. П. Алексеев, В. Ф. Воронин, Л. В. Грехов и др. Под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. — М.: Машиностроение, 1990. — 288 с.
2. **Марков В. А., Баширов Р. М., Габитов И. И.** Токсичность отработавших газов дизелей. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. — 376 с.
3. **Чертков Я. Б.** Моторные топлива. — Новосибирск: Наука, 1987. — 208 с.
4. **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.
5. **Гусаков С. В., Патрахальцев Н. Н., Кульчицкий А. Р.** Влияние фаз газораспределения на токсичность отработавших газов дизеля // Пути снижения токсичности отработавших газов тракторных дизелей: Реферативный сборник, серия "Тракторы, самоходные шасси и двигатели, агрегаты и узлы", вып. 2. — М.: ЦНИИТЭИтракторосельхозмаш, 1977. — С. 16—21.
6. **Марков В. А., Барский И. А., Вальехо Мальдонадо П. Р.** Некоторые способы улучшения показателей токсичности отработавших газов дизелей с наддувом // Грузовик. — 2010. — № 1. — С. 20—31.
7. **Марков В. А., Рязанов К. П., Зенкин А. Н., Быковская Л. И.** Фазы газораспределения и показатели транспортного дизеля // Грузовик. — 2019. — № 6. С. 3—7.
8. **Леонов И. В., Марков В. А., Сиротин Е. А.** Управление фазами газораспределения дизелей транспортного назначения // Грузовик &. — 2002. — № 4. — С. 34—39.
9. **Марков В. А., Барский И. А., Вальехо Мальдонадо П. Р.** Некоторые способы улучшения показателей токсичности отработавших газов дизелей с наддувом // Грузовик. — 2010. — № 1. — С. 20—31.
10. **Kuleshov A. S.** Model for Predicting Air-Fuel Mixing, Combustion and Emissions in DI Diesel Engines over Whole Operating Range // SAE Technical Paper Series. — 2005. — N 2005-01-2119. — P. 1—10.
11. **Kuleshov A. S.** Multi-Zone DI Diesel Spray Combustion Model and its Application for Matching the Injector Design with Piston Bowl Shape // SAE Technical Paper Series. — 2007. — N 2007-01-1908. — P. 1—10.
12. **Девянин С. Н., Марков В. А., Семенов В. Г.** Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей. — Харьков: Изд-во "Новое слово", 2007. 452 с.
13. **Кулешов А. С., Грехов Л. В.** Расчетное формирование оптимальных законов управления дизелями на традиционных и альтернативных топливах // Безопасность в техносфере. — 2007. — № 5. — С. 30—32.

УДК 621.436

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

ИССЛЕДОВАНИЕ МАЛОЦИКЛОВОЙ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ УСТАЛОСТИ ПОРШНЯ ДИЗЕЛЯ. ЧАСТЬ 2

Статья является результатом исследования малоцикловой термомеханической усталости поршня дизеля в условиях двухчастотного нагружения. Рассмотрены различные факторы, влияющие на ресурс поршней дизельных двигателей. Описана методика расчета теплового и напряженно-деформированного состояния поршня для циклов "пуск — номинальный режим — останов" и рабочих циклов двигателя. Приведены результаты расчета высоко- и низкочастотных колебаний температур и напряжений на кромке камеры сгорания. Дается краткий обзор методов оценки долговечности деталей, подверженных термомеханической усталости. Предложен способ учета влияния высокочастотной нагрузки на процесс малоциклового разрушения поршней.

Ключевые слова: *дизельный двигатель, поршень, малоцикловая усталость, двухчастотное нагружение, пластичность, ползучесть.*

The article reviews different factors affecting durability of diesel engine pistons. The calculation method of piston thermal and stress-strain state for "start — nominal power mode — stop" cycles and engine operating cycles is described. The high and low-frequency variations of temperatures and stresses on combustion bowl rim are given. The review of key techniques for estimation of lifetime of components subject to thermomechanical fatigue is presented. The method for taking into account influence of high-frequency load on low-cycle fatigue failure of pistons is proposed.

Keywords: *diesel engine, piston, low-cycle fatigue, two-frequency loading, plasticity, creep.*

Моделирование низкочастотного термического нагружения поршня

Основное тепловое нагружение поршня связано с запуском двигателя, его работой на различных скоростных и нагрузочных режимах и последующим остановом. Чтобы определить температурное поле поршня, необходимо иметь ГУ, полученные на основе индикаторной диаграммы двигателя для конкретного момента нагрузочного цикла.

Во многих работах отечественных и зарубежных исследователей используется упрощенный цикл, при котором предполагается, что силовая установка периодически переходит с режима холостого хода на режим номинальной мощности. В [16] время переходного процесса принималось равным 8 с, а длительность работы на номинальном режиме — 180 с.

В данной работе режим холостого хода был исключен с целью моделирования наиболее повреждающего нагрузочного цикла (переход сразу на максимальный уровень температур обеспечивает большие забросы напряжений). Таким образом, в программе "Дизель-РК", разработанной в МГТУ им. Н. Э. Баумана, был рассчитан только один рабочий процесс двигателя, реализующийся при работе ДВС на режиме номинальной мощности.

Тепловые ГУ 3-го рода определялись в программе "ICE", также разработанной в МГТУ им. Н. Э. Баумана [17]. Их изменение по зонам поршня приведено на рис. 3 (результирующая температура цикла равна 789 °С). Зависимость температуры среды и коэффициента теплоотдачи от времени была следующая: сначала ГУ линейно возрастают от величин, соответствующих свободной конвекции, до рассчитанных значений (8 с), затем происходит выдержка поршня (180 с), после чего ГУ линейно убывают (8 с) и поршень остывает (180 с).

Расчет производился для 5 циклов нагружения. На рис. 4 приведено стационарное температурное поле поршня для режима номинальной мощности. Максимальная температура кромки составляет 352 °С. Из рис. 5 видно, что такие температуры вызывают значительные сжимающие напряжения, которые превышают предел текучести силумина, из-за чего возникают пластические деформации. Также заметно постепенное возрас-

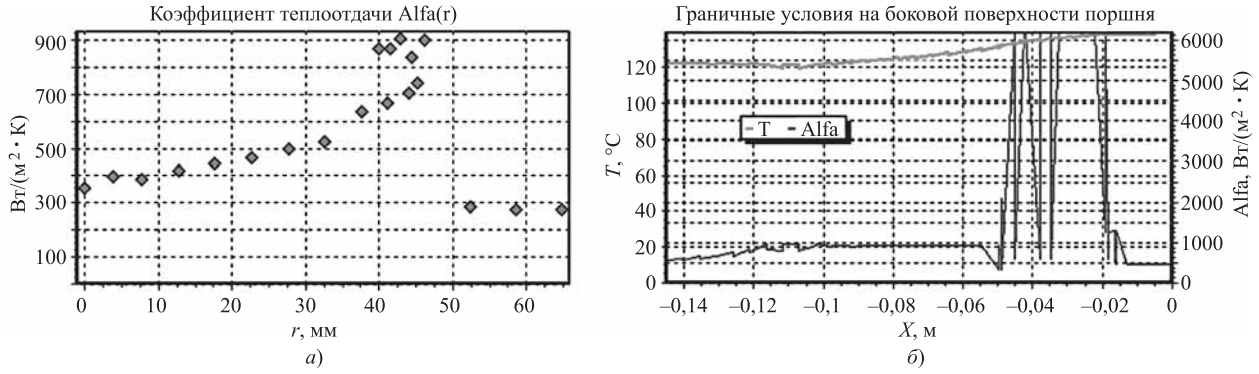


Рис. 3. Локальные значения коэффициента теплоотдачи на огневом днище (*а*) и ГУ 3-го рода для боковой поверхности поршня (*б*)

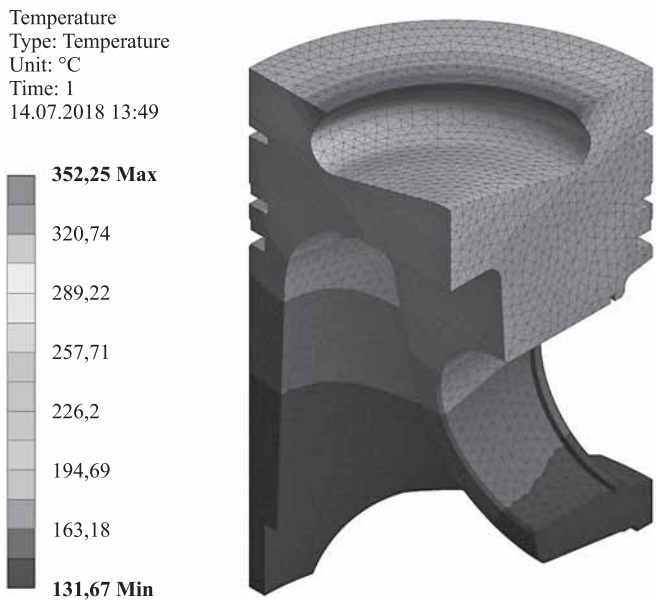


Рис. 4. Стационарное температурное поле поршня на режиме номинальной мощности

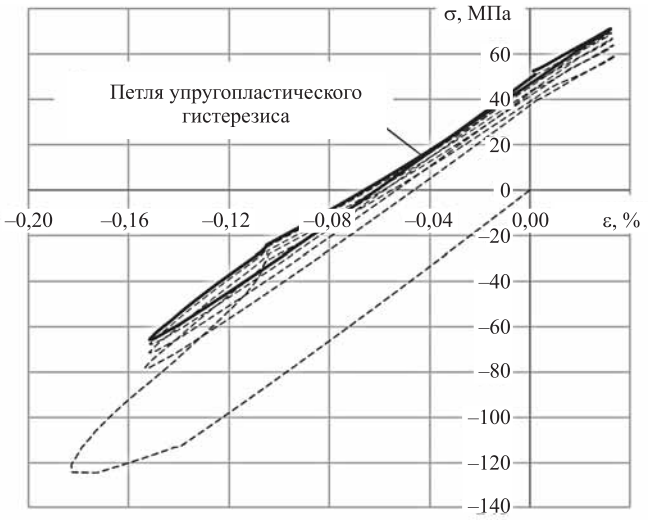


Рис. 5. Кривая деформирования кромки КС в координатах окружные напряжения — окружные деформации

тание остаточных растягивающих напряжений (примерно на 2 МПа после стабилизации петли упругопластического гистерезиса), связанное с релаксацией напряжений сжатия при выдержке поршня в течение 180 с.

Следует отметить, что на данный момент полученные результаты носят скорее качественный характер; ценность количественных результатов невысока вследствие использования недостоверных данных о пластических и реологических свойствах данного сплава. В будущем повысить достоверность расчета планируется за счет испытаний стандартных образцов, вырезанных непосредственно из заготовок исследуемых поршней.

Моделирование высокочастотного термомеханического нагружения поршня

Моделировался один рабочий цикл двигателя при его работе на режиме номинальной мощности с частотой вращения 1900 мин$^{-1}$.

В зависимости от угла поворота коленчатого вала (УПКВ) на кольцевые зоны огневого днища задавались значения мгновенной осредненной по объему КС температуры газов и локального коэффициента теплоотдачи, а также давление газов. Ускорение поршня (первого и второго порядка) определялось по известной формуле:

$$j = R\omega^2(\cos\varphi + \lambda\cos 2\varphi),$$

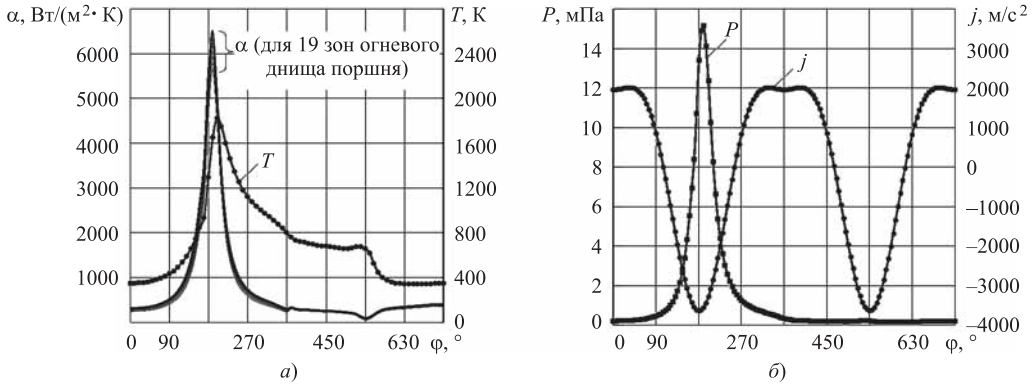


Рис. 6. Высокочастотное термомеханическое нагружение поршня:

а — термическая нагрузка (ГУ 3-го рода); *б* — механическая нагрузка (давление газов и ускорение)

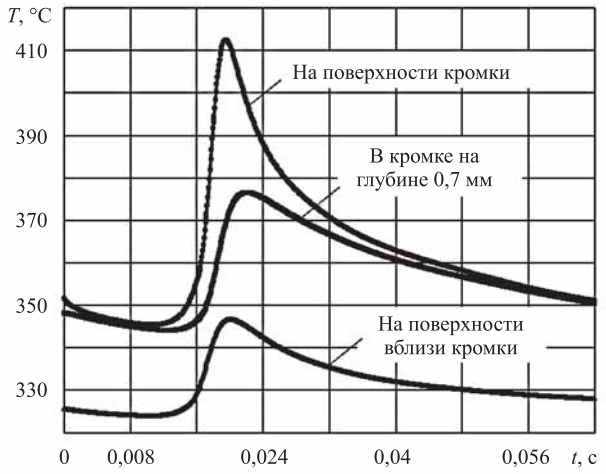


Рис. 7. Изменение температуры на кромке поршня за один рабочий цикл двигателя

где R — радиус кривошипа; ω — угловая скорость вращения коленчатого вала; φ — значение УПКВ; λ — отношение радиуса кривошипа к длине шатуна.

Соответствующие графики приведены на рис. 6.

Расчет показывает, что на острой кромке колебание температуры равно 68 градусам. Амплитуда в 22 градуса на небольшом удалении от кромки согласуется с экспериментально замеренными величинами [8] (рис. 7).

Изменения окружных напряжений на кромке КС от высокочастотного термического, механического и суммарного нагружений, представленные на рис. 8, позволяют сделать следующие выводы:

— понижение температуры поверхности огневого днища (при сжатии горючей смеси) приводит к небольшому уменьшению сжимающих напряжений; при сильном росте температуры внутри цилиндра вследствие сгорания топлива термические напряжения увеличиваются на 78 МПа;

— на кромке в плоскости поршневого пальца механическая нагрузка действует в противофазе с термической (уменьшение напряжений составляет 54 МПа); в плоскости качания шатуна растягивающие усилия значительно ниже (12 МПа);

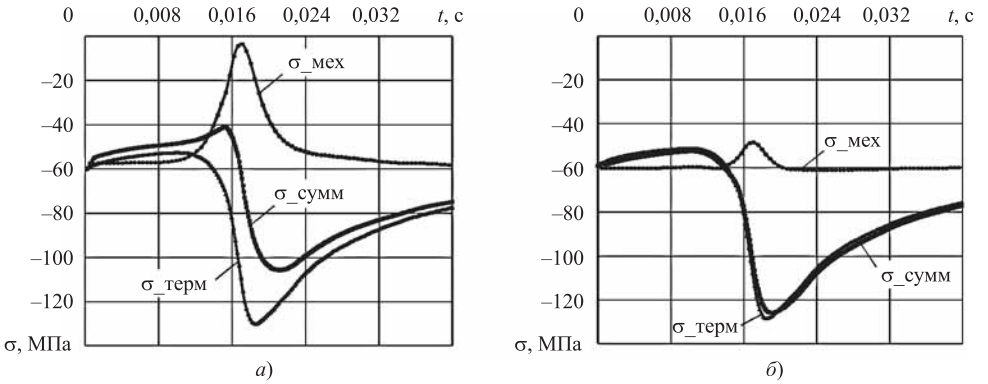


Рис. 8. Изменение окружных напряжений на кромке поршня за один рабочий цикл двигателя в плоскости поршневого пальца (*а*) и в плоскости качания шатуна (*б*)

заметим, что у незаостренных кромок в этой точке наблюдается сжатие [8];

— суммарные колебания напряжений на оси пальца (65 МПа) оказываются меньше, чем в плоскости шатуна (73 МПа), что качественно совпадает с расчетными данными из [8].

Оценка долговечности поршней

Термомеханическая усталость поршня является следствием взаимодействия разных явлений, среди которых можно выделить непосредственно усталостное повреждение, воздействие окружающей среды (окисление) и ползучесть материала. Предпринималось множество попыток разработать модели, которые могли бы учесть все эти процессы. Разработанные модели можно разделить на три класса [18]:

— связывающие долговечность с полученными механическими полями без явного учета различных повреждающих механизмов (феноменологические модели);

— явно учитывающие различные повреждающие механизмы через соответствующие законы (модели суммирования повреждений);

— связывающие долговечность с локальной неупругой деформацией в вершине трещины (модели роста трещины).

Для расчета ресурса поршня часто применяются феноменологические модели. Среди них наиболее адекватным критерием является энергетический подход Скелтона, описанный им в [19], который позволяет учесть не только деформации, но и напряжения цикла.

Определенная по данному критерию долговечность должна быть скорректирована с учетом высокочастотной нагрузки. Современные исследования долговечности материалов для теплонапряженных деталей, работающих в условиях двухчастотного нагружения, показывают, что правомерность применения гипотезы линейного суммирования повреждений (гипотезы Пальмгрена—Майнера) в данном случае не подтверждается. Вместо нее следует использовать экспериментально полученные кривые малоцикловой усталости, которые показывают, насколько уменьшается долговечность в зависимости от амплитуды деформации высокочастотной механической нагрузки [20].

Выводы

Действие сложного комплекса высоко- и низкочастотных термомеханических нагрузок на поршни дизелей приводит к протеканию в них усталостных процессов, локальному пластическому деформированию, а также активизации процессов ползучести. В результате разрушение кромки КС носит малоцикловый характер.

В работе продемонстрирована возможность моделирования неупругого деформирования поршня при двухчастотных нагрузках в программном комплексе ANSYS. Полученные результаты могут быть использованы для оценки долговечности поршня, однако требуется уточнение вязкопластических свойств сплава, что будет являться задачей будущих исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Microstructure Evolution** of Al—12Si—CuNiMg Alloy under High Temperature Low Cycle Fatigue / J. Liu, Q. Zhang, Z. Zuo et al. // Materials Science and Engineering: A. — 2013. — Vol. 574. — P. 186—190.
2. **Zhang Q., Zuo Z., Liu J.** High-temperature Low-cycle Fatigue Behavior of a Cast Al—12Si—CuNiMg Alloy // Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures. — 2013. — Vol. 36, Issue 7. — P. 623—630.
3. **KS Mono-Block Steel Pistons** for Commercial Truck Applications. Официальный сайт Kolbenschmidt Pierburg Group. URL: http:///www.kspg.com/fileadmin/media/kspg/Broschueren/Poduktbroschueren/KS_Kolbenschmidt/Kolben_Nkw/ko_pistonsteel_truck_e.pdf (дата обращения: 20.04.18)
4. **Morgenstern R., Kenningley S.** Transient Microstructural Thermomechanical Fatigue and Deformation Characteristics under Superimposed Mechanical and Thermal Loading, in AlSi Based Automotive Diesel Pistons // Light Metals. The Minerals, Metals & Materials Series. — 2013. — P. 397—403.
5. **Microstructure Modification** — Piston Materials for High Stress and Temperature Conditions / S. Reichstein, P. Konrad, S. Kenningley et al. // ATZ Autotechnology. — 2008. — Vol. 8. — P. 42—47.
6. **Caldera M., Massone J. M., Martínez R. A.** Failure Analysis of a Damaged Direct Injection Diesel Engine Piston // Journal of Failure Analysis and Prevention. — 2017. — Vol. 17, Issue 5. — P. 979—988.
7. **Damage Mechanisms** of Cast Al-Si-Mg Alloys under Superimposed Thermal-mechanical Fatigue and High-cycle Fatigue Loading / T. Beck, D. L@he, J. Luft et al. // Materials Science and Engineering: A. — 2007. — Vols. 468—470. — P. 184—192.
8. **Kenningley S., Morgenstern R.** Thermal and Mechanical Loading in the Combustion Bowl Region of Light Vehicle Diesel AlSiCuNiMg Pistons; Reviewed with Emphasis on Advanced Finite Element Analysis and Instrumented Engine Testing Techniques // SAE Technical Paper. — 2012. — No. 01-1330. — P. 14.

9. **Thermal Fatigue** on Pistons Induced by Shaped High Power Laser. Part I: Experimental Study of Transient Temperature Field and Temperature Oscillation / H.-W. Song, G. Yu, J.-S. Tan et al. // International Journal of Heat and Mass Transfer. — 2008. — Vol. 51. — P. 757—767.
10. **Thermal Fatigue** on Pistons Induced by Shaped High Power Laser. Part II: Design of Spatial Intensity Distribution via Numerical Simulation / H.-W. Song, G. Yu, A. F. H. Kaplan et al. // International Journal of Heat and Mass Transfer. — 2008. — Vol. 51. — P. 768—778.
11. **Myers M. R.** Damage Accumulation During High Temperature Testing of a Squeeze Formed Aluminum Piston Alloy // SAE Technical Paper. — 1990. — No. 900132. — P. 1—8.
12. **Cyclic Behavior** of an Al-Si-Cu Alloy under Thermo-Mechanical Loading / J. Mao, C. Engler-Pinto, X. Su et al. // SAE International Journal of Materials and Manufacturing. — 2014. — Vol. 7, Issue 3. — P. 1—8.
13. **Chaboche J. L.** Constitutive Equations for Cyclic Plasticity and Cyclic Viscoplasticity // International Journal of Plasticity. — 1989. — Vol. 5. — P. 247—302.
14. **Manson S. S., Halford G. R.** Fatigue and Durability of Metals at High Temperatures. — Materials Park, Ohio: ASM International, 2009. — 278 p.
15. **Microstructure, Tensile Properties and Creep Behavior** of Al-12Si-3.5Cu-2Ni-0.8Mg Alloy Produced by Different Casting Technologies / L. Zuo, B. Ye, J. Feng et al. // Journal of Materials Science & Technology. — 2018. — Vol. 34. — P. 1222—1228.
16. **Белов В. П.** Расчетно-экспериментальная оценка термостойкости поршней форсированных автомобильных и тракторных двигателей: дисс. ... канд. техн. наук. — М., 1986. — 251 с.
17. **Математическое моделирование** полей температур, деформаций и напряжений в деталях цилиндропоршневой группы поршневых двигателей / Н. Д. Чайнов, А. Н. Краснокутский, Л. Л. Мягков и др. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. — 32 с.
18. **Gocmez T., Awarke A., Pischinger S.** A New Low Cycle Fatigue Criterion for Isothermal and Out-of-Phase Thermomechanical Loading // International Journal of Fatigue. — 2010. — Vol. 32. — P. 769—779.
19. **Skelton R. P.** Energy Criterion for High Temperature Low-cycle Fatigue Failure // Materials Science and Technology. — 1991. — Vol. 7. — P. 427—439.
20. **Beck T., Henne I., Löhe D.** Lifetime of Cast AlSi6Cu4 under Superimposed Thermal-mechanical Fatigue and High-cycle Fatigue Loading // Materials Science and Engineering: A. — 2008. — Vol. 483—484. — P. 382—386.

"ЛОНМАДИ" в Казани

В мае казанский филиал компании "ЛОНМАДИ", официального поставщика строительной и землеройной техники JCB, переехал в новый офис.

На территории центра находятся ремонтная зона общей площадью 400 м^2 с постами для обслуживания строительной техники JCB, раздевалками и санитарно-бытовыми комнатами для сотрудников, склад масел и навесного оборудования площадью более 300 м^2, а также офисные помещения со складом площадью 400 м^2. Ранее площадь ремонтной зоны вместе со складами составляла около 250 м^2.

"Смена дислокации помогла нам стать ближе к заказчикам: до переезда дилерский центр располагался в селе Высокая Гора в 35 км от центра Казани. Кроме того, благодаря увеличению площади мы можем с комфортом разместить клиентов как в офисе, так и в ремонтной зоне и выполнять большее количество работ", — отмечает директор обособленного подразделения АО "ЛОНМАДИ" в г. Казани Александр Кириллин.

Филиал компании "ЛОНМАДИ" в г. Казани поставляет в Республики Татарстан и Марий Эл все машины из строительного модельного ряда спецтехники JCB: экскаваторы-погрузчики, гусеничные экскаваторы, колесные экскаваторы, фронтальные, промышленные вилочные и телескопические погрузчики, мини-экскаваторы, мини-погрузчики с бортовым поворотом, вилочные погрузчики высокой проходимости, тандемные, грунтовые вибрационные и траншейные катки.

"Мы работаем в Татарстане достаточно давно — с 2006 года, — рассказывает региональный директор по Приволжскому федеральному округу Игорь Пузиков. — Здесь представлены все ключевые игроки рынка, и конкуренция по всем видам строительной техники крайне высока. Благодаря переезду в современный офис, наш сервис вышел на новый уровень. Надеемся, что заказчики быстро почувствуют положительные изменения".

Пресс-служба "ЛОНМАДИ"

УДК 681.2.087

А. В. Кочетков, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВПО "Пермский национальный исследовательский политехнический университет", ФАУ "РОСДОРНИИ", e-mail: soni.81@mail.ru,
П. В. Федотов, эксперт МОО "Профессиональный инженер", e-mail: klk50@mail.ru

МЕТОД ПОТЕНЦИАЛЬНОГО СПУСКА

Показано, что задачу определения больших колебаний маятника (до 180°) можно решать не только методом эллиптических интегралов, как это принято в настоящее время, но методом конечных элементов путем замены кривой ломаной линией из секущих хорд, аппроксимирующей заданную кривую. Причем погрешность расчетов практически не подбирается методом подбора бесконечного количества членов путем последовательных расчетов, а рассчитывается аналитически до начала расчетов. То есть количество конечных элементов выбирается еще до начала расчетов таким образом, чтобы полученная погрешность была ниже максимальной, заявленной заранее.
Говоря упрощенно, суть статьи в том, что вместо сложных эллиптических интегралов предлагается более простое решение.
Разработанный метод подходит не только для расчета движения маятника, но и для расчетов движения материальной точки вдоль любой криволинейной траектории. Независимо от того, интегрируется ли уравнение движения вдоль кривой в элементарных функциях или нет.
В частности, разработанный метод может быть применен для расчетов безопасного проезда транспорта по участкам дорог низких категорий с большими уклонами.

Ключевые слова: *большие колебания маятника, метод секущих хорд, метод конечных сумм, метод потенциального спуска, физический маятник, метрология, теоретическое решение, безопасность автотранспорта, движение по участкам автомобильных дорог с большими уклонами.*

It is shown that the problem of determining large oscillations of a pendulum (up to 180°) can be solved not only by the method of elliptic integrals, as is currently the case, but by the finite element method by replacing the curve with a broken line of secant chords that approximates a given curve. Moreover, the error of calculations is not chosen in practice, by the method of selecting the number of terms of the infinite by successive calculations, but are calculated analytically before the calculations begin. That is, the number of finite elements is chosen before the calculations begin so that the resulting error in calculations is lower than the previously stated maximum error.
The developed method is suitable not only for calculating the motion of a pendulum, but also for calculating the motion of a material point along any curvilinear trajectory. Regardless of whether the equation of motion is integrated along the curve in elementary functions or not.
In particular, the developed method can be used to calculate the safe passage of transport along sections of low-grade roads with large slopes.

Keywords: *large pendulum oscillations, method of secant chords, finite sum method, potential descent method, physical pendulum, metrology, theoretical solutions, vehicle safety, traffic along a / d sections with large slopes.*

Введение

Маятник — это простой прибор, известный с античных времен, физическая модель маятника, часто встречающаяся в учебниках и научных изданиях. Эта универсальная модель полезна и интересна не только сама по себе как знакомый пример нелинейного механического осциллятора, но еще более важно, что многие проблемы в различных областях физики могут быть сведены к дифференциальному уравнению, описывающему движение маятника. Такими примерами являются теория солитонов, проблема сверхизлучения в квантовой оптике и джозефсоновские эффекты в слабой сверхпроводимости.

Тема определения периода больших колебаний маятника очень старая, но тем не менее интерес к ней не ослабевает. Например, профессор из Санкт-Петербурга написал интересную статью с говорящим названием: "1999 The rigid pendulum — an antique but evergreen physical model" [5].

Систематическое изучение вопроса о периоде колебаний маятника начинается с работ Гюйгенса, описанных в его мемуарах "Маятниковые часы" [9] в 1673 г. В этих мемуарах Х. Гюйгенс

приводит простые методы расчета длины маятника для получения необходимых периодов. Если для малых колебаний маятника Гюйгенс обосновывает свои выводы периодов колебаний, чему посвящена целая глава мемуаров Гюйгенса, то для больших углов отклонения Гюйгенс только упоминает, что он знает, как рассчитать период больших колебаний маятника, но не раскрывает своих знаний по данному вопросу, выражаясь следующими словами: "С другой стороны, можно вычислить отношение периодов при разных дугах размаха, на основании строгих принципов и с любой точностью" [9, с. 19]. Немецкие комментаторы Гюйгенса Гекшер и Еттинген отмечают, что Гюйгенс не указывает, как он нашел свой результат, и что полное аналитическое решение вопроса удалось только Эльвиусу в 1734 г. при помощи эллиптического интеграла" [9, с. 317].

Только через 60 лет ученым удалось найти метод решения этой задачи и проверить расчеты Гюйгенса. Характерно, что эллиптические интегралы Гюйгенс знать не мог. В этом состоит одна из загадок науки. Можно говорить, что либо Гюйгенс предвосхитил научные знания об эллиптических интегралах, либо он знал другое решение задачи без таковых.

Полное исследование эллиптических функций и их приложение в механике предпринял Поль Аппель, результаты которого опубликованы (совместно с Е. Лакуром) [3] в 1897 г. В монографии 1897 г. П. Аппель строго доказывает, что решение дифференциального уравнения движения маятника для больших углов сводится к эллиптическим интегралам. Издание 1960 г. в переводе И. Г. Малкина и под редакцией С. М. Тарга содержит два тома П. Аппеля. В этом труде дано решение больших колебаний маятника [7, с. 515], которое в том или ином виде приводится в современной литературе.

По утверждению Semjon Adlaj, многие (если не все) авторитетные источники по механике в настоящее время ссылаются на эллиптические решения данной задачи [2]. Таким образом, метод решения задачи определения периода колебаний маятника при больших отклонениях путем интегрирования дифференциального уравнения движения приводит к эллиптическим интегралам. Как известно, эллиптические интегралы не позволяют получить решение в элементарных функциях, а допускают только приближенное решение методом итераций. Причем погрешность вычислений необходимо проверять практически, подбирая количество членов бесконечного ряда, необходимых для получения достаточной точности.

Постановка задачи

В данной статье предлагается альтернативный метод решения маятника методом конечных сумм. Достоинством предлагаемого метода, кроме его очевидной простоты, является то, что до начала расчетов можно определить полученную погрешность и, соответственно, выбирать размеры конечных элементов, на которые разбивается общее движение, для получения любой наперед заданной погрешности.

В предыдущей статье [10] была решена задача определения периода колебаний математического маятника для колебаний при отклонении от вертикали не выше 90°. Это ограничение было введено не случайно. Дело в том, что реализация маятников предполагается в двух видах. Груз подвешивается либо на гибкой нити, либо на жестком стержне. При отклонении от вертикали до 90° конкретная форма подвеса не имеет значения, законы движения маятника идентичны. Но при отклонениях от вертикали выше 90° наблюдаются принципиальные отличия в законах движения.

Так, маятник, реализованный по схеме жесткой подвески груза, например груз, подвешенный на жестком недеформируемом стержне, будет качаться независимо от угла отклонения от вертикали (рис. 1, *а*). При реализации маятника в виде груза, подвешенного на гибкой нити, при отклонениях от вертикали выше 90° будет наблюдаться срыв в верхней точке качания (рис. 1, *б*), и ни о каком периодическом движении не может идти речь.

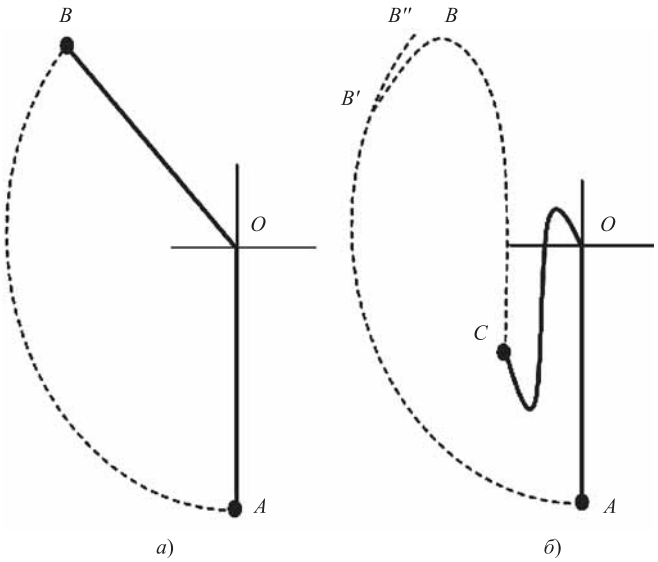


Рис. 1. Движение "жесткого" маятника (*а*) и маятника на мягкой подвеске

Рассмотрим движения маятника с какой-то начальной скоростью (начальная скорость маятника должна быть такой, чтобы отклонение от вертикали в верхней точке было больше 90° (прим. авт.)) начиная с точки нижнего равновесия *A*.

Если маятник "жесткий" (груз на жестком стержне), см. рис. 1, *а*, то, достигнув верхней точки *B*, маятник остановится и начнет обратное движение к точке *A*. При этом траектория движения груза как при прямом движении от *A* к *B*, так и при обратном движении от *B* к *A*, будет представлять собой круговую дугу. Естественно, в нижней точке маятник не остановится, а продолжит движение вправо, зеркально повторяя движение в левом квадранте. То есть "жесткий" маятник будет совершать гармонические колебания.

Совсем не так будут развиваться события для маятника в виде груза на гибкой нити (рис. 1, *б*).

Дело в том, что на круговой орбите при натянутой нити груз удерживается центробежной силой:

$$F_{\text{цб}} = \frac{mv^2}{R}, \tag{1}$$

где m — масса груза; v — круговая скорость груза; R — длина нити.

В верхней точке скорость $v = 0$, груз останавливается, соответственно, натяжение нити, равное центробежной силе, равняется нулю. Груз не может продолжать оставаться на круговой орбите и просто падает.

Но действительность еще сложнее. Дело в том, что отход от кругового движения начинается не в верхней точке, а раньше, когда центробежная сила уменьшается настолько, что перестает противодействовать силе тяжести. В результате нужно говорить не о срыве в верхней точке B'' круговой орбиты, а о сходе с круговой орбиты в точке B'. Так как в точке B' груз имеет некоторое количество кинетической энергии, то груз продолжает подъем вверх до точки *B*, от которой начинается опускание груза вниз по траектории *BC*. Ясно, что при этом ни о каком колебательном движении маятника речи быть не может.

В связи с вышеизложенным дальше рассматриваются колебания только "жесткого" маятника.

Решение задачи маятника для больших колебаний (до 180°)

В настоящее время данная задача решается путем интегрирования уравнения движения:

$$I\frac{d^2\theta}{dt^2} = -mgh\sin\theta. \tag{2}$$

Интегрирование данного уравнения приводит к эллиптическим интегралам. Решение имеет вид:

$$t = \sqrt{\frac{l}{g}}\int_0^{\varphi}\frac{d\varphi}{\sqrt{1-\sin^2\frac{\alpha}{2}\sin^2\varphi}} = \sqrt{\frac{l}{g}}F(\varphi\backslash\alpha/2). \tag{3}$$

$F(\varphi\backslash\alpha/2)$ — нормальный эллиптический интеграл Лежандра 1-го рода.

Проблема в том, что эллиптические интегралы не решаются в элементарных функциях. Для решения существуют таблицы либо бесконечные ряды, что неудобно для практических целей. Например, для вычисления предлагается бесконечный ряд:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\left\{1+\left(\frac{1}{2}\right)^2\sin^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)+\left(\frac{1\cdot 3}{2\cdot 4}\right)^2\times\right.$$
$$\left.\times\sin^4\left(\frac{\alpha}{2}\right)+\ldots++\left[\frac{(2n-1)!!}{(2n)!!}\right]^2\sin^{2n}\left(\frac{\alpha}{2}\right)+\ldots\right\}, \tag{4}$$

Явное неудобство приведенных формул для решения задачи маятника приводит к тому, что не ослабляются попытки найти другие решения для поставленной задачи. Например, точная формула периода, с квадратичной сходимостью для любого угла максимального отклонения, обсуждается на страницах сентябрьского выпуска журнала "Заметки американского математического общества" 2012 г. [2].

Для определения периода колебаний маятника в элементарных функциях при амплитуде до 90° в [10] выведена простая формула. Но для углов более 90° такой подход неуместен. Тем не менее общий метод, изложенный в [10], вполне подходит для решения задачи определения периода колебаний при отклонениях маятника до 180°.

Оригинальный метод предложил Галилей в 1638 г. в работе "Беседы о двух новых науках" [8] (Галилей не решал задачу для маятника, он решал задачу о времени спуска материальной точки по дуге окружности под действием силы тяжести; прим. авт.). Его смысл состоит в разбиении кривой, в частности дуги круга секущими хордами. А время прохождения по общей дуге получается как сумма схода по отдельным хордам. Галилей не решил общую задачу определения времени движения по дуге в 90°, а только предложил метод решения, показав, что спуск осуществляется быстрее,

чем больше количество хорд, на которые разбивается траектория, и чем ближе ломаная траектория к сектору круга [8]. Исходя из приведенных рассуждений, Галилей сделал неправильный вывод, что наискорейший спуск из точки *A* в точку *B* материальная точка под действием силы тяжести сделает по дуге круга (Галилей никогда не приводил математических выводов, все свои рассуждения он делал на основе экспериментов и логических построений, иногда ошибочных, как, например, в данном случае; прим. авт.). На самом деле линия наискорейшего спуска — это циклоида. А задача, поставленная Галилеем о кривой наискорейшего спуска, получила название "Задача о брахистохроне". Она была решена в 1697 г. Иоганном Бернулли, Якобом Бернулли, Лейбницем и Ньютоном [1].

Метод, аналогичный методу Галилея, использовал Иоганн Бернулли при решении задачи о брахистохроне в 1697 г. [1], ему же принадлежит идея перехода от конечных хорд к бесконечно малым, соответственно, к замене суммы интегралом [4].

Галилей при своем решении исходил из того, что в поле потенциальных сил согласно закону сохранения энергии приращение кинетической энергии равно убыли потенциальной энергии (в изложенном методе не учитываются разнообразные диссипативные силы, например силы трения, а также другие виды энергии, кроме механической (кинетической и потенциальной); прим. авт.):

$$\frac{mv^2}{2} + mgh = \text{const}. \qquad (5)$$

Зная положения точек траектории, всегда можно определить значение потенциальной энергии вдоль траектории, а разница потенциальной энергии в двух точках траектории определяет изменение кинетической энергии (именно это свойство движения в потенциальном поле использовали авторы при выводе решения маятника до 90° [10]).

Как показал Галилей для каждой элементарной хорды:

$$\Delta v = \sqrt{2g\Delta h}, \qquad (6)$$

где Δv — приращение скорости на элементарном участке, g — ускорение свободного падения, Δh — приращение высоты на элементарном участке траектории.

Метод Галилея о спуске материальной точки по дуге круга предполагает вычисление времени спуска согласно формуле:

$$T = \frac{S}{v}. \qquad (7а)$$

Или

$$T = \int_A^B \frac{S}{v(s)}, \qquad (7б)$$

здесь S — длина траектории, v — постоянная скорость, $v(s)$ — переменная скорость.

Формула (7а) применяется в случае постоянной скорости вдоль траектории, а (7б) — в случае переменной скорости.

Но есть одно важное ограничение формулу используют на практике только тогда, когда функция $v(s)$ легко интегрируется. В случае движения по дуге круга это не так, именно поэтому данный метод не используется, а решение маятника сводится к эллиптическому интегралу (3).

Тем не менее имеется еще один способ использования уравнений (7а). Этот способ предполагает использование средней скорости вдоль траектории, тогда в уравнение (7а) подставляется не постоянная скорость, а средняя. Остается вопрос об определении средней скорости вдоль траектории.

Опять же среднее значение можно определить двумя способами:

методом интегрального среднего

$$f(c) = \frac{1}{b-a}\int_a^b f(x)dx \qquad (8)$$

или среднего арифметического

$$x = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}. \qquad (9)$$

Смысл использования интегрального среднего для непрерывной функции заключается в том, что погрешность определения среднего значения функции по среднему интегральному меньше, чем для аппроксимации функции конечным количеством прямых, и в вычислении среднего значения согласно уравнению (9).

Если использовать уравнение (8) для решения задачи маятника, то возникают проблемы неинтегрируемости, как указано выше. Но как будет показано далее, дуга окружности имеет одну особенность, которая позволяет снизить погрешность вычисления ниже любой заранее заданной допустимой погрешности.

Высказанные соображения позволяют определить период полного колебания маятника при амплитуде до 180° без применения интегралов, со всеми проблемами, связанными с интегралами.

Применим метод Галилея [8]. Разделим траекторию маятника на конечное число элементарных дуг Δs и заменим дуги хордами. При этом не будем

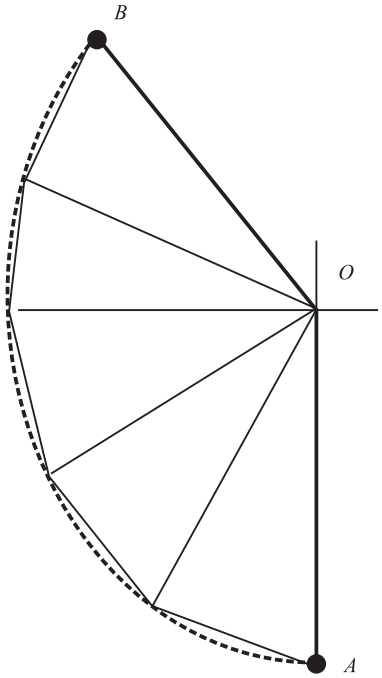


Рис. 2. Разбиение кривой, в частности дуги круга, секущими хордами

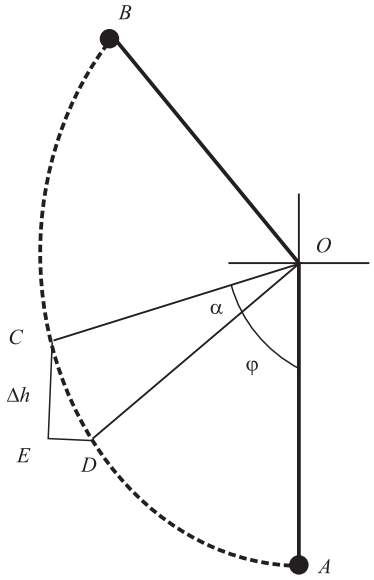


Рис. 3. При прохождении маятником равных участков траектории угол наклона касательной к кривой меняется

совершать переход к бесконечно малым с заменой суммирования интегралом.

Главная проблема в том, что траектория маятника криволинейная и при прохождении равных участков траектории (рис. 2) угол наклона касательной к кривой меняется, соответственно меняется приращение энергии на элементарном участке траектории. Согласно (3) при изменении приращения энергии будет меняться и приращение скорости.

Легко видеть, что даже при постоянной длине элементарного участка траектории *AB* (рис. 3) проекция элемента траектории на вертикальную ось *h* является функцией угла φ.

Время, затрачиваемое на прохождение части траектории *BA*, равно:

$$T_{AB} = \frac{s_{AB}}{v_{\text{ср}}}, \qquad (10)$$

здесь s_{AB} — длина дуги *AB*, $v_{\text{ср}}$ — средняя скорость прохождения дуги *BA*.

Период полного колебания маятника можно определить по формуле:

$$T = 4\frac{S}{v_{\text{ср}}}, \qquad (11)$$

здесь *T* — период колебаний маятника, *S* — длина траектории 1/4 колебаний маятника, $v_{\text{ср}}$ — средняя скорость маятника.

Вычисление длины дуги (1/4 траектории) маятника для любого угла не вызывает сложностей и определяется известным уравнением:

$$S = \frac{2\pi L}{360^\circ}\varphi_{\max}, \qquad (12)$$

где *L* — длина маятника, $\varphi_{\max}$ — максимальное отклонение маятника от вертикали.

Вычисление средней скорости несколько сложнее.

Рассмотрим элементарный сектор, на который разбита траектория движения маятника (рис. 4).

Так как *CD* (см. рис. 3) перпендикулярен *OC*, а *OA* и *CD* параллельны, значит, угол *EDC* равен φ. Соответственно, $\Delta h = CD\sin\varphi$.

Длина хорды *CD* определяется по формуле:

$$CD = 2L\sin\frac{\alpha}{2}.$$

Тогда

$$\Delta h = 2L\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)\sin\varphi. \qquad (13)$$

Подставляя (13) в (6), получим:

$$\Delta h = 2\sqrt{gL\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)\sin\varphi}, \qquad (14)$$

где Δ*h* — проекция элементарной хорды на вертикальную ось, α — элементарный шаг по углу, φ — отклонение маятника от вертикали.

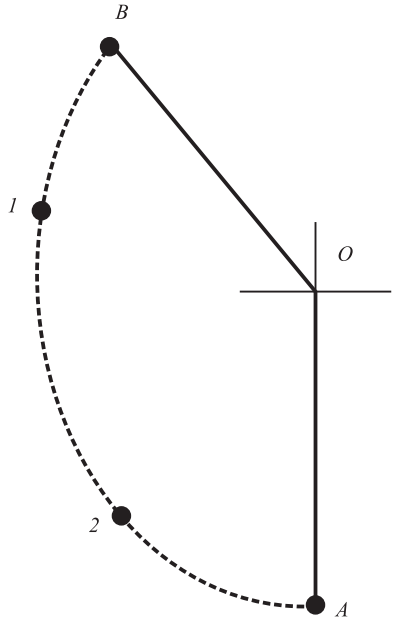


Рис. 4. Траектория движения маятника

Поскольку по умолчанию $\alpha = d\varphi$, то дифференциал — мгновенная — скорость будет определяться уравнением:

$$dv = \sqrt{2gdh} = 2\sqrt{gL\sin\varphi\sin\left(\frac{d\varphi}{2}\right)}. \qquad (15)$$

Интегрирование такого выражения явно не осуществимо в элементарных функциях (именно этим и отличаются близкие по смыслу задача о брахистохроне и задача маятника. В задаче о брахистохроне решение сводится к движению по циклоиде, соответствующее уравнение интегрируется в элементарных функциях, а в задаче маятника движение осуществляется по сектору окружности, соответствующее уравнение не интегрируется в элементарных функциях (прим. авт.)).

Однако замена интеграла конечной суммой вполне осуществима:

$$\Delta v = \sqrt{2g\Delta h} = 2\sqrt{gL\sin\varphi_i\sin\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right)}. \qquad (16)$$

Средняя скорость определится из уравнения

$$v_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=0}^{n}\sqrt{2g\Delta h_i}}{n} = 2\sqrt{gL\sin\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right)}\frac{\sum_{i=0}^{n}\sqrt{\sin\varphi_i}}{n}, \qquad (17)$$

где $\Delta\varphi$ — постоянный угловой шаг маятника, L — длина маятника, n — число угловых шагов маятника.

После определения длины сектора (1/4 полного колебания) маятника согласно (12), по уравнению (11) определим время полного колебания маятника.

Определение скорости в любой точке траектории и времени прохождения на любом интервале траектории

Допустим, необходимо определить время прохождения участка дуги 1—2 (рис. 4).

Алгоритм расчетов следующий.

1. Выбрать шаг $\Delta\varphi$.
2. Определить число n угловых шагов в четверти периода AB.
3. Определить номера n_1 и n_2 шагов в точках *1* и *2*.
4. Определить среднюю скорость на участке $B1$ по формуле:

$$v_{\text{ср1}} = 2\sqrt{gL\sin\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right)}\frac{\sum_{i=0}^{n_1}\sqrt{\sin\varphi_i}}{n_1}. \qquad (18а)$$

5. Определить среднюю скорость на участке $B2$ по формуле

$$v_{\text{ср2}} = 2\sqrt{gL\sin\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right)}\frac{\sum_{i=0}^{n_2}\sqrt{\sin\varphi_i}}{n_2}. \qquad (18б)$$

6. Определить длину дуги $B1$ по формуле

$$S_1 = \frac{2\pi L}{360^\circ}n_1\Delta\varphi. \qquad (19а)$$

7. Определить длину дуги $B2$ по формуле

$$S_2 = \frac{2\pi L}{360^\circ}n_2\Delta\varphi. \qquad (19б)$$

8. Определить время подхода к точке 1:

$$T_1 = \frac{s_1}{v_{\text{ср1}}}. \qquad (20а)$$

9. Определить время подхода к точке 2:

$$T_2 = \frac{s_2}{v_{\text{ср2}}}. \qquad (20б)$$

10. Время прохода участка 1—2 определяется по формуле

$$T_{12} = T_2 - T_1. \qquad (21)$$

Решение проблемы погрешности вычислений

При расчете методом суммирования общая погрешность равна сумме элементарных погрешностей на отдельном шаге:

$$\varepsilon = n\varepsilon_1, \quad (22)$$

где ε — общая погрешность расчета, ε_1 — погрешность на один элементарный шаг, n — количество шагов суммирования.

Так как для расчета маятника используется расчет 1/4 периода, то в данном случае

$$\varepsilon = 4n\varepsilon_1. \quad (23)$$

Погрешности при расчете появляются за счет замены дуги кривизной R на хорду.

Выше обсуждалось, что дуга окружности имеет особенность, которая облегчает решение проблемы точности вычислений. Эта особенность — равномерная кривизна. Таким образом, если известна величина шага (элементарный угол дуги) и количество шагов, то общая погрешность вычисляется по (23).

Длина дуги центрального угла α вычисляется по формуле

$$l = \frac{\pi R}{180}\alpha. \quad (24)$$

Длина хорды того же центрального угла равна

$$L = 2R\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right). \quad (25)$$

Тогда погрешность на одном элементарном шаге

$$\varepsilon_1 = \frac{\pi R}{180}\alpha - 2R\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right). \quad (26)$$

Подставляя (26) в (23), получим генеральную погрешность.

Если известна допустимая погрешность расчетов $\varepsilon_{доп}$, то по (26) необходимо подобрать угол шага α такой, чтобы погрешность вычислений была меньше, чем допустимая погрешность.

Выводы по общему методу потенциального спуска

Рассмотренный метод решения разбиения кривой на конечное число секущих хорд может быть применен не только к движению вдоль сектора окружности, но и к движению по любой кривой в потенциальном поле. Независимо от того, интегрируется или нет уравнение движения вдоль исходной кривой в элементарных функциях или нет. Причем получаемая погрешность расчетов будет зависеть только от величины элементарных хорд и, соответственно, от количества конечных элементов разбиения исходной кривой и замены ее на ломаную линию.

Подученный метод, как указано выше, имеет широкий спектр применений, в том числе актуален при расчетах безопасного проезда автотранспорта по участкам дорог низкой категории с большими уклонами. Актуальность состоит в том, что при проезде уклона инерция автотранспорта зависит не только от условий проезда по наклонному участку, но и от скорости в начале спуска. Отметим, что инерция — величина аддитивная, поэтому если автомобиль начинает спуск на большой скорости, то набор инерции под уклон может достигнуть критических величин. Тем более что на уклонах коэффициент сцепления снижается по естественным причинам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Acta eruditorum** anno M DC XCVII (1697).
2. **Adlaj S.** An Eloquent Formula for the Perimeter of an Ellipse (англ.) // Notices of the AMS. — 2012. — Vol. 59, no. 8. — P. 1096—1097.
3. **Appell P., Lacour E.** Principes de la Theorie des Fonctions Elliptiques et Applications, Gauthier-Villars, Paris, 1897.
4. **Johan Bernoulli.** Einlandung zur Lösung eines neuen Problems // Abhandlungen ŭber Variations-Rechnung. Erster Theil. Leipzig, 1894. 140 p.
5. **Eugene Butikov.** The rigid pendulum — an antique but evergreen physical model. European Journal of Physics, vol. 20, No. 6, November 1999. — P. 429 — 441.
6. **O'Connor J. J., Robertson E. F.** The brachistochrone problem. http://www-history.mcs.st-and.ac.uk/HistTopics/Brachistochrone.html (Перевод статьи http://hijos.ru/2011/02/16/zadacha-o-braxistoxrone/).
7. **Аппель П.** Теоретическая механика. В 2-х томах. Т. 1. — М.: Физматгиз. 1960. — 515 с.
8. **Галилео Галилей.** Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых отраслей науки / Галилео Галилей. Избранные труды в двух томах. Т. 2. М.: Наука, 1964. —572 с.
9. **Гюйгенс Х.** Три мемуара по механике. — М.: АН СССР, 1951. — 380 с.
10. **Кочетков А. В., Челпанов И. Б., Федотов П. В.** Определение периода больших колебаний маятника в элементарных функциях // Измерительная техника, 2016. № 6. — С. 39—41.

УДК 656.072

Х. А. Фасхиев, д-р техн. наук, профессор, Уфимский государственный авиационный технический университет, Финансовый университет при Правительстве РФ
E-mail: faskhiev@mail.ru

МЕТОД ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА УСЛУГ ПО ПЕРЕВОЗКЕ ПАССАЖИРОВ

Проведен анализ методов принятия управленческих решений по результатам оценки уровня качества альтернативных объектов. Осуществлен выбор и классификация показателей качества услуг по перевозке пассажиров. Разработан метод оценки конкурентоспособности услуг по перевозке пассажиров автомобильным транспортом, показан пример его практического применения.

Ключевые слова: *предприятие, транспорт, качество, услуга, пассажир, перевозка, оценка, показатель.*

The analysis of management decision-making methods based on the results of assessing the quality level of alternative objects has been carried out. The selection and classification of quality indicators for passenger transportation services has been made. A method for assessing the competitiveness of passenger transportation services by road has been developed, and an example of its practical application is shown.

Keywords: *enterprise, transport, quality, service, passenger, transportation, assessment, indicator.*

Одним из критериев эффективности деятельности предприятий является качество их продукции или оказываемых ими услуг. Качество продукции — это оцененное потребителем в конкретный момент времени в каком-либо сегменте рынка превосходство изделия по технико-экономическим показателям аналогов за жизненный цикл, достигаемое благодаря максимальному удовлетворению потребностей человеческого общества при минимальном для него и для природы ущерба [1].

Наряду с этой категорией для оценки продукции и услуг применяется также категория конкурентоспособности. Она тесно связана с понятием "качество" — некачественный товар (услуга) не может быть конкурентоспособным. Конкурентоспособность товара (услуги) — это оцененное потребителем превосходство его по качеству и цене над аналогами в определенный момент времени, в конкретном сегменте рынка достигнутое без ущерба производителю [2].

Для оценки качества деятельности предприятия транспорта до последнего времени традиционно использовались лишь объемные (валовые) показатели, такие как объем перевозок, выручка, грузооборот и т.п. При этом само понятие "транспортная услуга" оставалось за пределами рассмотрения. Транспортная услуга — это результат деятельности исполнителя услуги по удовлетворению потребностей пассажира, грузоотправителя и грузополучателя в перевозках в соответствии с установленными нормами и требованиями.

На практике часто приходится сталкиваться с задачей оценки качества альтернативных объектов. Например, при покупке транспортного средства перед предприятием стоит проблема выбора наиболее эффективного подвижного состава для той или иной перевозки. Клиенты транспортных услуг сталкиваются с проблемой выбора перевозчика и др. Процедура решения аналогичных многовариантных задач может быть упрощена, если лицо, принимающее решение (ЛПР), будет иметь в своем арсенале объективные количественные методы оценки сравниваемых вариантов. По результатам оценки варианты легко могут быть ранжированы, и выбор наилучшего среди них не представляет особого труда. Естественно, при этом результаты оценки должны быть достоверными, иначе практическое применение их вместо пользы может принести лишь вред.

Стратегической целью города в сфере транспортной системы является повышение конкурентных позиций и качества жизни населения

посредством обеспечение доступа к безопасным и качественным транспортным услугам. Для достижения этой цели, прежде всего, необходимо определить параметры и стандарты качества, обеспечить стимулирование их выполнения и создания высокоэффективных транспортных технологий, обеспечивающих принятые стандарты качества.

В вопросах повышения эффективности работы автобусного транспорта важное значение имеет качество обслуживания пассажиров. Уверенность пассажиров в надежности и своевременности совершения поездки является одним из основных критериев оценки качественного обслуживания пассажиров. Движение автобусов по расписанию без нарушений регулярности создает условия гарантированной поездки населения во времени, что увеличивает спрос на перевозки и способствует повышению эффективности работы автобусного транспорта. Надежность и качество перевозок определяются своевременностью доставки, отсутствием срывов на маршруте, высоким уровнем сохранности и безопасности перевозок.

На сегодняшний день в теории принятия решения широко известны следующие методы, представленные в табл. 1.

Приведенные в табл. 1 методы не позволяют интеллектуализировать процесс принятия решения, так как выработка окончательного решения всегда остается за руководителем. Известно, что при наличии большого числа показателей качества сравниваемых объектов можно по одному и тому же методу интегрировать их в один числовой показатель — коэффициент качества. При этом выбранный метод оценки качества не должен противоречить требованиям квалиметрии [3].

Для измерения уровня качества и конкурентоспособности различных услуг предлагается следующий алгоритм.

1. Постановка цели. Целью оценки качества является ранжирование услуг перевозчиков для поддержки управленческого решения.

2. Выбор аналогов услуг. Правильное управленческое решение может быть принято обоснованным выбором варианта решения из альтернатив.

3. Выбор и иерархическая классификация номенклатуры показателей качества объекта.

4. Расчет комплексных показателей качества объектов внутри групп.

5. Установление коэффициентов весов групп показателей качества объекта.

Таблица 1

Классические методы в теории принятия решения

Метод	Сущность	Достоинства	Недостатки
Методы теории полезности	Получение количественных оценок полезности возможных исходов, которые являются следствиями процессов принятия решений	Возможность оценки любого количества альтернативных вариантов с использованием полученной функции	Необходимость привлечения значительных объемов информации; высокая трудоемкость; исходная информация должна быть устойчивой
Методы теории проспектов	Средство, позволяющее человеку выбирать предпочтительные варианты действий	Учитывает три поведенческих эффекта: определенности, отражения, изоляции	Не снимает все проблемы, возникающие при изучении поведения людей в задачах выбора
Методы ELECTRE	Использование бинарных отношений между вариантами решений	Позволяют уяснить цели принятия решений и лучше понять предпочтения ЛПР	Являются вспомогательными средствами, а не способом выработки лучшего решения
Метод анализа иерархий	По всему набору критериев с точки зрения попарного сравнения альтернатив по каждому из них с последующей иерархической сверткой	Простота применения и соответствие интуитивным представлениям	Ограничение на количество одновременно сравниваемых альтернатив (5—9)
Метод взвешенной суммы оценок критериев	Определяется ценность альтернативы путем умножения весов на критериальные оценки с последующим суммированием	Простота и удобство	Отсутствие научного обоснования при определении весов критериев и альтернатив
Метод компенсации	Связаны с представлением отношения предпочтения ЛПР с помощью поверхностей безразличия	Простота и удобство	Отсутствие научного обоснования при определении весов критериев и альтернатив

6. Расчет интегрального коэффициента качества услуги.

7. Определение конкурентоспособности услуги.

8. Ранжирование оцениваемых услуг и принятие управленческих решений.

Данный метод был использован для оценки качества услуг по перевозке пассажиров ГУП "Башавтотранс" и одного из его конкурентов ООО "Альянс СКД". Для оценки качества услуг с учетом работ [5, 6] были приняты наиболее значимые для пассажиров показатели качества. Выбранные наиболее значимые с позиции пассажиров 24 показателя качества услуг были разделены на 4 группы: своевременность доставки, экономичность, сохранность и дополнительные возможности (табл. 2).

Проведем оценку качества услуг ГУП "Башавтотранс" до внедрения в пассажирскую службу метода оценки конкурентоспособности услуг и после. Были выделены показатели, которые меняются после реализации мер по повышению качества услуг. В частности, Башавтотранс купил 44 новых автобуса средней вместимости ПАЗ-3205, что должно сказываться на повышении качества услуг ГУП "Башавтотранс".

Коэффициент качества определяется аналитически, для чего сначала единичные показатели качества приводят к относительным величинам, а затем определяют коэффициент качества объекта по формуле

$$P_{\text{к}} = \frac{Y_1/2 + Y_2 + Y_3 + \ldots + Y_{n-1} + Y_n/2}{n-1}, \qquad (1)$$

где n — число показателей качества; Y_1, Y_2, ..., Y_n — относительные величины единичных по-

Таблица 2

Показатели качества услуг по перевозке пассажиров

Признак группы	Показатели качества	ГУП «Башавтотранс»	ПАО «Альянс СКД»
1. Своевременность доставки	1.1 Средняя скорость перевозки, км/ч	40	35
	1.2 Среднее время отклонения от назначенного срока, час	1	3
	1.3 Интервал движения, мин	10	20
	1.4 Отклонение от устан. регулярности, %	10	40
	1.5 Необходимое время для заявки на перевозку, час	1	2
	1.6 Степень износа автомобилей, %	50	70
2. Экономичность	2.1 Максимальная величина скидок, %	5	0
	2.2 Отсрочка платежа за услуги, дни	30	15
	2.3 Доля порожних рейсов, %	10	30
	2.4 Затраты на перевозку, руб.	18	25
	2.5 Затраты времени на поездку, мин	30	35
	2.6 Доля накладных расходов в себ-ти перевозок, %	75	95
3. Сохранность	3.1 Регулярность движения, %	98	95
	3.2 Число рейсов без ДТП, %	65	89
	3.3 Отклонение от расписания, %	15	30
	3.4 Автобусы большой вместимости, %	80	32
	3.5 Уровень вероятности отказа пассажиру в посадке, %	10	25
4. Дополнительные возможности	4.1 Возможность экспедирования (да — 1, нет — 0)	1	1
	4.2 Оснащенность ТС средствами связи	1	0
	4.3 Возможность замены ТС в случае поломки	1	0
	4.4 Наличие специализированных автомобилей	1	1
	4.5 Возможность работы в выходные и праздники	1	1
	4.6 Возможность оформления документов	1	0
	4.7 Возможность мойки и ремонта ТС	1	0

казателей объекта, определяемые для прямых показателей по формуле

$$Y_i = \frac{\Pi_i - \Pi_{i\min}}{\Pi_{i\max} - \Pi_{i\min}}, \quad (2)$$

а для обратных по формуле

$$Y_i = \frac{\Pi_{i\max} - \Pi_i}{\Pi_{i\max} - \Pi_{i\min}}, \quad (3)$$

где Π_i — количественное значение i-го показателя объекта; $\Pi_{i\max}$ — максимальное значение i-го показателя из всего множества значений; $\Pi_{i\min}$ — минимальное значение i-го показателя из всего множества значений.

Определим значения коэффициентов качества услуг для каждой группы показателей ГУП "Башавтотранс" по формуле (1): своевременность доставки: $P'_{к1} = 0,580$; экономичность: $P'_{к2} = 0,520$; сохранность: $P'_{к3} = 0,700$; дополнительные возможности: $P'_{к4} = 1$ (см. табл. 2).

Аналогично проводим расчеты и для ОАО "Альянс СКД": $P''_{к1} = 0,088$; $P''_{к2} = 0,1$; $P''_{к3} = 0,222$; $P''_{к4} = 0,417$.

Для ГУП "Башавтотранс" после реализации ряда мероприятий по повышению качества услуг групповые показатели качества имели следующие значения: $P''_{к1} = 0,600$; $P''_{к2} = 0,580$; $P''_{к4} = 0,750$; $P''_{к2} = 1$.

Групповые комплексные показатели качества транспортных услуг объектов сравнения были определены без учета весомости индивидуальных показателей. Интегральный же показатель качества услуг без учета весов групп определяется путем деления суммы коэффициентов качества групп на число групп показателей. В результате были получены следующие интегральные показатели качества услуг двух субъектов сравнения:

1) Башавтотранс до мероприятий — $P^*_Б = 0,70$;
2) Башавтотранс после мероприятий — $P^{**}_Б = 0,73$;
3) ПАО "Альянс СКД" — $P^*_А = 0,21$.

Расчеты показывают, что показатели качества услуг у ГУП "Башавтотранс" гораздо выше. Но этой информации недостаточно для принятия окончательного решения, так как в данном случае не учитывался приоритет той или иной группы показателей качества. Для повышения объективности принятых решений необходимо определить приоритеты групп показателей, т.е. их коэффициенты весомости. Расчет коэффициентов весомости целесообразно производить по наиболее объективному методу анализа иерархий (МАИ) [4]. МАИ учитывает множество критериев оценки, позволяет объективно производить выбор лучшего решения из альтернатив на основании критериев, выраженных как численными, так и качественными характеристиками. Основное преимущество МАИ в том, что веса показателей в этом методе назначаются не субъективно, а на основе парных сравнений признаков объектов (табл. 3).

Недостаток МАИ в том, что выбор степени превосходства одного показателя над другим устанавливается субъективно. При определении весов группы показателей сравниваются друг с другом относительно их воздействия на качество услуг, т. е. на результирующий критерий.

Для получения матрицы сравнения требуется $n(n-1)/2$ суждений. Результаты сравнения обрабатываются по методике тензорного исчисления. Компоненты собственного вектора определяются как средние геометрические по формуле:

$$e_i = \sqrt[n]{(w_i/w_1)(w_i/w_2)\ldots(w_i/w_n)}. \quad (4)$$

Далее, поделив индивидуальный компонент собственного вектора на их сумму, определяем весомость каждой группы показателей:

$$X_i = e_i \Big/ \sum_{i=1}^{n} e_i. \quad (5)$$

Зная весомость каждой группы, можно рассчитать интегральный показатель качества услуг по следующему соотношению:

Таблица 3

Матрица парных сравнений групп показателей качества услуг по перевозке

Показатели	1. Своевременность доставки	2. Экономичность	3. Сохранность	4. Дополнительные услуги	Компоненты собственного вектора, e_i	Коэффициент весомости, X_i
1. Своевременность доставки	1	1/6	1/3	4/1	0,818	0,1817
2. Экономичность	6/1	1	3/1	9/1	1,889	0,4198
3. Сохранность	3/1	1/5	1	7/1	1,292	0,2872
4 Дополнительные услуги	1/4	1/9	1/7	1	0,501	0,1113

$$K_{\text{к}} = \sum_{i=1}^{n} P_i X_i, \qquad (6)$$

где P_i — комплексный показатель качества i-й группы; X_i — коэффициент весомости i-й группы показателей качества, определенный по МАИ.

Определим коэффициенты качества услуг сравниваемых субъектов с учетом весомости групп:

$$K_{\text{Б}}^{*} = 0{,}580 \cdot 0{,}1817 + 0{,}520 \cdot 0{,}4198 + \\ + 0{,}700 \cdot 0{,}2872 + 1 \cdot 0{,}1113 = 0{,}638;$$

$$K_{\text{Б}}^{**} = 0{,}600 \cdot 0{,}1817 + 0{,}580 \cdot 0{,}4198 + \\ + 0{,}750 \cdot 0{,}2872 + 1 \cdot 0{,}1113 = 0{,}678;$$

$$K_{\text{А}}^{*} = 0{,}088 \cdot 0{,}1817 + 0{,}1 \cdot 0{,}4198 + \\ + 0{,}222 \cdot 0{,}2872 + 0{,}207 \cdot 0{,}1113 = 0{,}441.$$

Конкурентоспособность интегрирует цену и качество услуги, причем между ними имеется вполне определенная зависимость — с повышением качества, как правило, цена растет.

Коэффициент конкурентоспособности услуги определяется отношением коэффициента качества услуги к ее цене (тарифу):

$$K(K_{\text{к}}) = \frac{K_{\text{к}}}{\text{Ц}_{\text{ф}}}. \qquad (7)$$

Данный показатель имеет две существенные особенности.

1. Несет смысловую нагрузку: показывает, сколько единиц качества приходится на одну денежную единицу.

2. Для расчета не требуется наличие объектов сравнения.

Показатель конкурентоспособности $K(K_{\text{к}})$ лишен субъективных ошибок, так как и коэффициент качества, и цена услуги определены объективно. Расчет коэффициента конкурентоспособности, в отличие от многих известных методов измерения конкурентоспособности, производится строго лишь по его индивидуальным параметрам, т.е. нет необходимости выбора базового изделия.

Для сравниваемых объектов коэффициенты конкурентоспособности равны:

$K(K_{\text{к}})$ = 0,036 для ГУП "Башавтотранс" (до реализации мероприятий);

$K(K_{\text{к}})$ = 0,037 для ГУП "Башавтотранс" (после реализации мероприятий);

$K(K_{\text{к}})$ = 0,018 для ОАО "Альянс СКД".

На последнем этапе по величине либо интегрального оценочного показателя производится ранжирование исследуемых услуг и разрабатываются управленческие решения.

Результаты оценки качества услуг исследуемых предприятий ГУП "Башавтотранс" и ОАО "Альянс СКД" приведены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты оценки качества услуг по перевозке пассажиров

Признак группы	Показатели качества	БАТ «ДО»	БАТ «ПОСЛЕ»	Альянс СКД
1. Своевременность доставки	1.1 Средняя скорость перевозки, км/ч	40	42	35
	1.2 Среднее время отклонения от назначенного срока, час	1	1	3
	1.3 Интервал движения, мин	10	10	20
	1.4 Отклонение от устан. регулярности, %	10	8	40
	1.5 Необходимое время для заявки на перевозку, час	1	1	2
	1.6 Степень износа автомобилей, %	50	50	70
ИТОГО	Коэффициент весомости = 0,182	0,6171	0,6254	0,1458
2. Экономичность	2.1 Максимальная величина скидок, %	5	8	0
	2.2 Отсрочка платежа за услуги, дни	30	60	15
	2.3 Доля порожних рейсов, %	10	9	30
	2.4 Затраты на перевозку, руб.	18	18	25
	2.5 Затраты времени на поездку, мин	30	25	35
	2.6 Доля накладных расходов в себестоимости перевозок, %	75	75	95
ИТОГО	Коэффициент весомости = 0,420	0,5500	0,5794	0,0833

Продолжение табл. 4

Признак группы	Показатели качества	БАТ «ДО»	БАТ «ПОСЛЕ»	Альянс СКД
3. Сохранность	3.1 Регулярность движения, %	98	99	95
	3.2 Число рейсов без ДТП, %	65	65	89
	3.3 Отклонения от расписания, %	15	12	30
	3.4 Автобусы большой вместимости, %	80	80	32
	3.5 Уровень вероятности отказа пассажиру в посадке, %	10	8	25
ИТОГО	Коэффициент весомости = 0,287	0,5000	0,600	0,3949
4. Дополнительные возможности	4.1 Возможность экспедирования (да — 1, нет — 0)	1	1	1
	4.2 Оснащенность ТС средствами связи	1	1	0
	4.3 Возможность замены ТС, в случае поломки	1	1	0
	4.4 Наличие специализированных автомобилей	1	1	1
	4.5 Возможность работы в выходные и праздники	1	1	1
	4.6 Возможность оформления документов	1	1	0
	4.7 Возможность мойки и ремонта ТС	1	1	0
ИТОГО	Коэффициент весомости = 0,111	1	1	0,4286
Коэффициент качества с учетом весов по методу МАИ		0,638	0,678	0,441
Тариф на перевозку, руб/пасс		25	25	30
Коэффициент конкурентоспособности		0,0255	0,0271	0,0147

Расчеты показывают, что качество и конкурентоспособность услуг ГУП "Башавтотранс" существенно лучше, чем у конкурента. Причин тому несколько. У ПАО "Альянс СКД" средняя скорость перевозки меньше на 5 %, показатель регулярности перевозок хуже на 3 %, отклонение от установленной регулярности перевозок доходит до 40 %, тогда как у ГУП "Башавтотранс" не превышает 10 %. Изношенность подвижного состава негативно сказывается на надежности автобусов. В результате поломок автобусов в рейсе срывается график движения, что вызывает недовольство и справедливые нарекания со стороны пассажиров. У ГУП "Башавтотранс" степень изношенности автобусов достигает 50 %, а у "Альянс СКД" этот показатель равен 70 %, что, естественно, сказывается на уровне его конкурентоспособности.

Таким образом, предложенный метод позволяет объективно оценить качество и конкурентоспособность услуг по перевозке пассажиров, системно управлять его уровнем. Метод оценки иерархически структурированных объектов универсален, имеет строгий алгоритм и хорошо структурирован. Он основывается на комплексном сочетании метода профилей и метода анализа иерархий показателей качества сравниваемых объектов. В предлагаемом методе соблюдаются все квалиметрические требования к измерению качества объектов. Метод практичен, устойчив к изменениям. При реализации метода в прикладной программе трудоемкость моделирования желаемого результата многократно снижается.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Фасхиев Х. А., Крахмалева А. В., Шайхутдинов И. Ф.** Качество товара. Как его измерить? // Вестник машиностроения. — 2006. — № 8. — С. 69—74.
2. **Фасхиев Х. А., Ситникова О. А.** Конкурентоспособность автомобиля и ее моделирование на стадии проектирования // Маркетинг. — 2000. — № 5. — С. 45—52.
3. **Фасхиев Х. А.** Анализ методов оценки качества и конкурентоспособности грузовых автомобилей // Методы менеджмента качества. — 2010. — № 3. — 24—28 с.; № 4. — 21—26 с.
4. **Саати Т.** Принятие решений. Метод анализа иерархий. — М.: Радио и связь, 2012. — 316 с.
5. **Спирин И. В.** Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками: учебник для студ. / И. В. Спирин. — 5-е изд., перераб. — М.: Издательский центр "Академия", 2010. — 400 с.
6. **ГУП "Башавтотранс" РБ** "К столетию автомобильного транспорта России" / Под ред. М. А. Аухатова, 2012. — 80 с.

УДК 656.025.2:629.34

Ч. Д. Шавыраа, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО "Тувинский государственный университет", г. Кызыл, **Р. Б. Желукевич,** д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО "Сибирский федеральный университет", г. Красноярск
E-mail: Shavyraa@mail.ru

МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ ВНУТРИГОРОДСКИХ МАРШРУТОВ ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

Вопросы качества транспортного обслуживания являются наиболее актуальными для системы автомобильного пассажирского транспорта, так как существенно влияют на его деятельность, экономическую и социальную ситуацию в регионе.

Ключевые слова: *транспорт, качество, маршрут, пассажиры, оптимизация, сеть.*

The issues of quality of transport services are the most relevant for the system of automobile passenger transport, serving the population, it significantly affects its activities, economic and social situation in the region.

Keywords: *transport, quality, route, passengers, optimization, network.*

С целью улучшения обслуживания населения при формировании маршрутной сети целесообразно ориентироваться на следующие показатели: суммарное время на передвижение "от двери до двери", удаленность остановочных пунктов, частоту движения городского пассажирского транспорта (ГПТ), количество пересадок при поездке пассажиров, безопасность, степень наполнения подвижного состава (ПС), стоимость проезда, удобство пользования транспортом и т. д.

Одним из наиболее распространенных в практике критериев оценки транспортного обслуживания населения являются затраты времени на передвижение. В качестве критерия при формировании оптимальной маршрутной сети г. Кызыл необходимо использовать суммарные затраты времени пассажиров на переезды, используя оптимальные схемы автобусных маршрутов.

В общем виде задачу построения оптимальной схемы автобусных маршрутов можно сформулировать следующим образом.

Имеется транспортная сеть — улицы города, по которым возможно движение автобусов. Заданы крупные пункты зарождения и погашения пассажиропотоков — узлы и соединяющие их участки улиц — звенья транспортной сети (граф транспортной сети). Известно время следования автобусов по каждому звену транспортного графа. Установлены размеры пассажиропотоков между вершинами транспортного графа и задан интервал движения автобусов на маршрутах.

Необходимо определить такую схему автобусных маршрутов, при которой суммарные затраты времени всеми пассажирами на перемещение были бы минимальными. При этом на решение могут быть наложены следующие ограничения: использование вместимости автобусов должно быть не ниже заданного коэффициента; протяженность маршрута должна быть не меньше минимальной и не больше максимальной длины, которая задается заранее; маршруты не должны начинаться и заканчиваться в тех узлах, которые не могут быть использованы для организации конечных пунктов маршрутов, и другие ограничения, вытекающие из местных условий города.

Таким образом, целевая функция будет выглядеть следующим образом:

$$F = \sum Q_{ij} T_{ij} \rightarrow \min,$$

где Q_{ij} — пассажиропоток, пасс/ч; T_{ij} — время поездки, ч.

Исходя из вышеописанной формулировки задачи выбора оптимальной схемы автобусных маршрутов по критерию минимального суммарного времени, затраченного всеми пассажирами на следование, для ее решения необходимы следующие основные исходные данные.

1. Карта города с транспортной сетью, состоящей из пунктов зарождения и погашения пассажиропотоков (транспортные микрорайоны города) и улиц, соединяющих эти пункты, по которым возможно движение автобусов. При делении г. Кызыл на зоны учитывалось, что время пешего перехода пассажиров до центра транспортного микрорайона не должно превышать 5 мин,

поэтому при решении данной задачи принимается, что пешие переходы до и от остановки зависят не от схемы маршрутов, а от разветвленности транспортной сети. В связи с этим общие затраты времени пассажирами на пешие передвижения принимаются постоянными, независимыми от схемы маршрутов и поэтому в расчетах по выбору схемы маршрутов не учитываются. На транспортном графе указываются длина каждого его звена и время следования автобуса по этим звеньям, с учетом задаваемой эксплуатационной скорости по каждому звену транспортного графа.

2. Размеры пассажиропотоков между всеми пунктами (микрорайонами) города, которые целесообразно определять на основе анкетного обследования пассажиропотоков, что позволяет при обработке анкет определить соответствующие микрорайоны начала и окончания поездок пассажиров. Наиболее целесообразно маршрутную схему разрабатывать на основе трудовых и других поездок в утренние и вечерние часы "пик". Таким образом, и определение пассажиропотоков целесообразно проводить в указанное время.

3. Задаваемый интервал движения автобусов на маршрутах.

4. Задаваемые вершины начала и окончания маршрутов, а также минимальная или максимальная протяженность маршрутов.

Из перечисленных исходных данных следует, что число возможных вариантов построения схемы маршрутов выражается очень большой величиной и наилучшее решение находится между крайними вариантами.

1 вариант. Все микрорайоны связываются непосредственно между собой прямыми маршрутами, и тогда при поездках все пересадки будут полностью исключены и при этом количество маршрутов будет наибольшее и их число будет:

$$m = [(n - 1)n]/2,$$

где n — число микрорайонов.

При этом приходящиеся на каждый маршрут пассажиропотоки будут мелкими, а интервал движения автобусов при заданном использовании их вместимости достаточно большой, что вызовет потери времени пассажиров на ожидание автобусов на остановках.

2 вариант. При простейшем линейном расположении микрорайонов все маршруты назначаются только между соседними микрорайонами и их число будет:

$$m = (n - 1).$$

Однако при этом будут иметь место максимально возможное число пересадок пассажиров и соответствующие этому затраты их времени на пересадки.

Таким образом, необходимо выбрать определенную комбинацию маршрутов, которая обеспечивала бы минимальные суммарные затраты времени пассажиров на поездки.

В общем случае методика оптимизации маршрутной сети [3] будет состоять из следующей последовательности действий.

1. Формирование транспортного графа с указанием кратчайших расстояний между всеми смежными вершинами и эксплуатационной скорости движения автобусов для каждого звена графа. Данные сводятся в таблицу и являются исходными данными для ввода в компьютерную программу. Выполняется вручную.

2. Формирование матрицы пассажирских корреспонденций (таблицы перемещения пассажиров), включая трудовые, учебные и культурно-бытовые поездки. Матрица строится для наиболее загруженного периода времени и имеет размерность пасс/ч (для расчетов будем использовать утренний и вечерний часы "пик" как наиболее характерно выраженные).

3. Формирование матрицы кратчайших (по времени) путей между вершинами графа. Матрица формируется на основании матрицы кратчайших расстояний между центрами транспортных зон и заданной для каждого звена графа эксплуатационной скорости движения ПС, которая для расчетов принята: 20 км/ч — для селитебных зон, 25 км/ч — на перегонах между селитебными зонами. Выполняется при помощи компьютерной программы.

4. Построение картограммы пассажиропотоков, которая строится на основании матрицы пассажирских корреспонденций (таблицы перемещения пассажиров) и матрицы кратчайших (по времени) путей между вершинами графа. Выполняется при помощи компьютерной программы (в виде матрицы) и вручную (в виде графа).

5. Назначение маршрутов движения автобусов (формирование маршрутной сети) по картограмме пассажиропотоков.

6. Перераспределение пассажиропотоков по назначенным маршрутам движения автобусов осуществляется путем перебора звеньев маршрута. В случае прохождения нескольких маршрутов по звену пассажиропоток на этом звене распределяется пропорционально между маршрутами, проходящими по этому звену.

7. Для назначенных маршрутов движения автобусов (сформированной маршрутной сети)

с учетом перераспределения пассажиропотоков производится расчет целевой функции:

$$F = \sum Q_{ij} T_{ij} \to \min, \quad (1)$$

где Q_{ij} — пассажиропоток (из перераспределенной матрицы картограммы пассажиропотоков), пасс/ч; T_{ij} — время поездки (из матрицы минимальных времен движения), ч. Выполняется при помощи компьютерной программы.

8. Для назначенных маршрутов движения автобусов (сформированной маршрутной сети).

Определяется расчетная вместимость ПС на каждом маршруте ($q_{расч}$):

$$Q_{расч} = Q_{ij\max} I, \quad (2)$$

где $Q_{ij\max}$ — максимальный пассажиропоток на участке маршрута (из перераспределенной матрицы картограммы пассажиропотоков), пасс/ч; I — интервал движения автобусов (задается вручную для каждого маршрута), ч.

8.1. Производится сравнение расчетной вместимости с максимальной вместимостью автобусов ($q_{вм\ max}$) из существующего типажа автобусов ПАЗ. В случае превышения расчетной вместимости над максимальной расчетная вместимость приравнивается к максимальной и на основании последней рассчитывается новый интервал движения ($I_н$).

8.2. Производится сравнение нового интервала движения автобусов с минимально допустимым интервалом ($I_{\min}$), который для расчетов принимаем равным 3 мин исходя из минимально необходимого времени на посадку и высадку пассажиров. В случае $I_н < I_{\min}$ новый интервал движения автобусов приравнивается к минимальному и на основании последнего пересчитывается расчетная вместимость подвижного состава.

8.3. Определяется количество автобусов для работы на каждом маршруте ($A_м$):

$$A_м = t_{об}/I = (2L_м)/(V_э I) = \\ = (2L_м Q_{ij\max})/(V_э q_{расч}), \quad (3)$$

где $t_{об}$ — время оборота автобуса на маршруте, ч; $L_м$ — длина маршрута (из матрицы кратчайших расстояний), км; $V_э$ — эксплуатационная скорость движения автобуса, км/ч.

9. Изменение маршрутов движения автобусов (формирование новой маршрутной сети) по картограмме пассажиропотоков (см. п. 4).

10. Выполнение действий, описанных в пп. 6—8, каждый раз сравнивая вновь созданный вариант маршрутной сети по заданному критерию оптимальности с рассчитанными ранее. Например, с существующим вариантом маршрутной сети.

С целью улучшения качества обслуживания населения перевозчиками всех форм собственности на основе оптимизации маршрутной сети города можно добиться уменьшения суммарного времени на передвижение "от двери до двери". Также возможно уменьшить удаленность остановочных пунктов, увеличить частоту движения городского пассажирского транспорта, уменьшить количество пересадок при поездке пассажиров, обеспечить безопасность перемещений пассажиров общественным транспортом, стоимость проезда, удобство пользования транспортом и т.д.

При оптимизации автобусных маршрутов многие ее потребители получают значительную пользу уменьшается время ожидания, лучше используется вместимость подвижного состава, определяется адекватное число занятых на линии автобусов, составляется график движения ТС и т.д.

Перевозчики, имеющие подвижной состав разной вместимости, могут использовать их по усмотрению, т. е. выпускать в часы пик весь парк имеющегося ПС. При этом стоимость проезда на автобусах малой вместимости более высокая. В них совершаются деловые поездки благодаря лучшей комфортабельности и быстроте доставки пассажиров. Когда пассажиропоток уменьшается, эти автобусы могут использоваться на улицах, но проезд будет равняться стоимости проезда на автобусах. Количество маршрутов, обслуживаемых автобусами малой и особо малой вместимости, в отдельных регионах достигает 70 % [1].

Для малых городов характерно низкое качество обслуживания из-за недостаточного финансирования транспорта из бюджета муниципальных образований, а также из-за старения парка ПС. Обследования пассажиропотоков не проводятся длительное время, хотя открываются новые организации и предприятия, школы, детские сады, строятся жилые микрорайоны [2].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Оптимизация маршрутов** пассажирского транспорта в г. Орле / Новиков А. Н., Кулев А. В., Катунин А. А., Кулев М. В., Кулева Н. С. // Мир транспорта и технологических машин. — 2015. — № 3 (50). С. 115—122.
2. **Совершенствование маршрутных сетей** крупных городов / Ларин О. Н., Кажаев А. А.: монография. Министерство образования и науки Российской Федерации, Южно-Уральский государственный университет, кафедра "Эксплуатации автомобильного транспорта". — Челябинск, 2013.
3. **Составитель Шавыраа Ч. Д.** Разработка методики организации обслуживания населения автобусным транспортом в малых городах: автореферат дис. ... канд. техн. наук. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Санкт-Петербург, 2009.

УДК 656.13

В. В. Терентьев, канд. техн. наук, доцент, e-mail: vvt62ryazan@yandex.ru,
К. П. Андреев, канд. техн. наук, доцент, e-mail: kosta066@yandex.ru,
А. С. Астраханцева, студент, e-mail: littlee.fairy@gmail.com,
Н. В. Аникин, канд. техн. наук, доцент, e-mail: anikin81@yandex.ru,
А. В. Шемякин, д-р техн. наук, доцент, e-mail: shem.alex62@yandex.ru, ФГБОУ ВО "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева", г. Рязань

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ДОСТУПНОСТИ ГОРОДОВ. ЧАСТЬ 2

Решение транспортных проблем в городах РФ возможно за счет внедрения адаптированного управления светофорными объектами, позволяющего осуществлять регулировку движения с учетом сложившейся в конкретный момент времени транспортной ситуации. Снижение транспортных издержек и улучшение экологической ситуации также возможно при использовании интеллектуальных систем на транспорте, внедрение которых позволит оптимизировать процесс движения автомобилей, повысить пропускную способность дорог и улучшить транспортную доступность городов. Внедрение предлагаемых организационно-технических мероприятий в систему управления дорожным движением позволит снизить транспортные издержки при осуществлении грузовых и пассажирских автомобильных перевозок, аварийность на транспорте и уменьшить экологическую нагрузку на окружающую среду.

Ключевые слова: *интеллектуальная система, автомобильный транспорт, безопасность движения, ГЛОНАСС.*

The solution of transport problems in the cities of the Russian Federation is possible due to the implementation of adapted control of traffic light objects, which allows traffic control to be taken into account in the current traffic situation. Reducing transport costs and improving the environmental situation is also possible with the use of intelligent transport systems, the introduction of which will optimize the process of driving cars, increase the capacity of roads, and improve the transport accessibility of cities. The implementation of the proposed organizational and technical measures in the traffic management system will reduce transport costs in the implementation of freight and passenger road transport, reduce traffic accidents and reduce the environmental burden on the environment.

Keywords: *intelligent system, road transport, traffic safety, GLONASS.*

В качестве одного из направлений использования ИТС можно выделить применение глобальной навигационной спутниковой системы (ГЛОНАСС) для геолокации автомобилей, а также отслеживания маршрута движения и скорости следования транспортного средства. В настоящее время отечественная система навигации не может гарантировать высокую точность определения нахождения автомобилей, что не позволяет в полной мере использовать возможности ИТС для координации их деятельности в оперативном режиме. Функциональные возможности спутниковой навигации также ограничены в условиях тоннелей и многоэтажных городских застроек. Для расширения возможностей ИТС требуется интеграция технологий позиционирования с технологиями беспроводной связи, что позволит создать непрерывную виртуальную среду транспортного управления в любых условиях.

Одним из путей повышения эффективности внедрения ИТС на городском транспорте является организация в крупных городах Региональных навигационно-информационных центров (РНИЦ) [17], осуществляющих сбор, обработку и анализ данных о движении транспорта из разных источников, оценку текущей ситуации в целом на улично-дорожной сети города и на каждом ее участке в отдельности и, как следствие, принятие своевременных решений по ее оптимизации в режиме реального времени.

Создание таких центров позволит решить несколько важных задач:

1) обеспечивать навигационно-информационное сопровождение функционирования городского

пассажирского транспорта, например, путем установки информационных табло на остановках общественного транспорта, информирующих пассажиров о времени прибытия транспортного средства определенного типа и маршрута;

2) осуществлять постоянный контроль состояния городской транспортной инфраструктуры с целью оперативной координации деятельности по управлению движением транспортных средств на маршруте;

3) усилить административный контроль за обеспечением безопасности пассажирских перевозок;

4) повысить эффективность контроля и надзора за соблюдением законодательства в области организации транспортных услуг, например, оперативно определять на маршрутах незаконные (нелегальные) транспортные средства.

Одним из приоритетных направлений, применение которого позволит повысить эффективность использования городского транспорта, является внедрение системы адаптивного управления светофорными объектами, так называемой системы "умный светофор". Данная ИТС позволяет анализировать трафик на конкретном пересечении улиц и в зависимости от их загруженности транспортом выбирать определенный режим работы светофора.

Мы все хорошо понимаем, что количество автомобилей на улицах в разные время и дни недели существенно отличается и что работа светофора в одинаковом режиме утром воскресенья и вечером пятницы приведет в первом случае к ненужным простоям на пустых улицах, а во втором случае — к образованию многокилометровых пробок на перекрестке. Увеличение вариативности режимов работы светофоров исключает необходимость ручного регулирования его работы в зависимости от загруженности конкретного участка улично-дорожной сети и, как следствие, обеспечивает сокращение времени пребывания автомобилей на перекрестке путем продления фазы разрешающего сигнала на наиболее загруженном направлении.

Следует отметить, что введение адаптивного регулирования позволит исключительно оптимизировать работу светофора и увеличить пропускную способность перекрестка с помощью динамического управления его сигналами, но не решит транспортную проблему в целом, так как для этого требуется проведение мероприятий, направленных на улучшение всей транспортной инфраструктуры городов.

Внедрение интеллектуальных систем на транспорте позволит снизить число аварийных ситуаций на дорогах. Несоответствие между увеличением количества автомобилей и транспортно-эксплуатационным состоянием улично-дорожной сети, не рассчитанной на современный состав и интенсивность транспортных потоков [18], приводит к постоянному психоэмоциональному напряжению водителей нередко к ошибочным действиям по управлению транспортным средством. Применение ИТС позволит диспетчерской службе автотранспортного предприятия отслеживать маршрут движения автомобиля и контролировать скоростной режим и соблюдение правил дорожного движения, что, несомненно, дисциплинирует водителей [19, 20]. Использование ИТС позволит информировать водителя об опасности путем подачи соответствующего сигнала и необходимости принять меры по предотвращению аварии. В зарубежных странах уже применяются различные элементы ИТС для решения отдельных задач управления транспортными потоками и повышения безопасности на дорогах [21].

Проблемным вопросом в организации перевозок пассажиров общественным транспортом является неравномерность распределения подвижного состава автотранспортных предприятий на городских маршрутах. Отсутствие единого подхода в решении данного вопроса приводит к ситуации, когда в центральных районах города нередко наблюдается "дублирование" маршрутов и полное их отсутствие в отдаленных микрорайонах. Для улучшения транспортного обслуживания населения может быть использована автоматизированная подсистема изучения пассажиропотоков "Мониторинг пассажиропотоков — АСМ-ПП". Внедрение данной ИТС позволит оптимизировать маршрутную сеть на уровне пассажирского предприятия и города на основании информации об остановочном пассажиропотоке каждого обследованного маршрута, а также оперативно перераспределять подвижной состав в режиме реального времени исходя из динамики загрузки салона.

В настоящее время ИТС нашли применение в решении задач, связанных с технологическим обеспечением работы таксомоторных АТП, диспетчерская служба которых получила возможность оперативного направления к месту вызова ближайшего свободного автомобиля, а также с помощью РНИЦ отслеживания дорожной обстановки на маршруте движения.

Внедрение интеллектуальных транспортных систем положительно отразится на эксплуатационных затратах при перевозке грузов различного назначения. Эффективное использование ИТС

на основе спутниковых систем в условиях крупных мегаполисов приведет к существенному сокращению времени поездок, что, несомненно, скажется на транспортной доступности городов [22]. Применение ИТС позволит экстренным службам своевременно получать информацию о дорожно-транспортных происшествиях и сократит потери времени до проведения аварийно-спасательной операции и оказания пострадавшим медицинской помощи.

Интеллектуальные транспортные системы обеспечивают координацию деятельности различных объектов дорожной инфраструктуры, которая направлена на улучшение эффективности использования городского транспортного комплекса и, как следствие, повышение транспортной доступности городов [23].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Агуреев И. Е., Пышный В. А.** Моделирование загрузки улично-дорожной сети г. Тула // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2013. — № 6. — С. 127—129.
2. **Агуреев И. Е., Митюгин В. А., Пышный В. А.** Подготовка и обработка исходных данных для математического моделирования автомобильных транспортных систем // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2014. — № 6. — С. 119—127.
3. **Андреев К. П., Терентьев В. В.** Моделирование загрузки транспортной сети // Бюллетень транспортной информации. — 2017. — № 9 (267). — С. 21—23.
4. **Андреев К. П., Терентьев В. В.** Разработка мероприятий по оптимизации городской маршрутной сети // Научное обозрение. — 2017. — № 17. — С. 21 — 25.
5. **Андреев К. П.** Совершенствование транспортного обслуживания населения // Транспортное дело России. — 2017. — № 3. — С. 7—9.
6. **Byshov N., Simdiankin A., Uspensky I.** Method of Traffic Safety Enhancement with Use of RFID Technologies and its Implementation Original Research Article // Transportation Research Procedia. — 2017. — Vol. 20. — P. 107—111.
7. **Навигация транспорта** с использованием RFID-технологии / Н. В. Бышов, А. А. Симдянкин, И. А. Успенский, А. Х. Мусли // В сб.: Организация и безопасность дорожного движения // Материалы X Международной науч.-практ. конф. — Тюмень, 2017. — С. 17—23.
8. **Дорохин С. В., Терентьев В. В., Андреев К. П.** Безопасность на дорогах: проблемы и решения // Мир транспорта и технологических машин. — 2017. — № 2 (57). — С. 67—73.
9. **Обследование** городской транспортной сети с применением измерительного комплекса / А. С. Евтеева, К. П. Андреев, А. В. Шемякин, В. В. Терентьев // Транспортное дело России. — 2018. — № 1. — С. 132—134.
10. **Пышный В. А.** Разработка и использование методики прогнозирования эффективности функционирования автомобильной транспортной системы // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2015. — № 5-1. — С. 23—30.
11. **Пышный В. А.** Моделирование загрузки транспортной сети // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2012. — № 2. — С. 457—473.
12. **Терентьев В. В.** Внедрение интеллектуальных систем на автомобильном транспорте // Надежность и качество сложных систем. — 2018. — № 1 (21). — С. 117—122.
13. **Терентьев В. В.** Улучшение транспортного обслуживания населения города // Транспортное дело России. — 2017. — № 4. — С. 91—93.
14. **Дорохин С. В.** К вопросу повышения эффективности средств организации дорожного движения // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций — Курск, ФГБОУ ВО ЮЗГУ, 2014. — С. 180—183.
15. **Дорохин С. В.** Разработка рекомендаций по повышению эффективности средств организации дорожного движения на автомобильных дорогах // Министерство образования и науки Рос. Федерации, Фед. гос. бюджет, образоват. учреждение высш. проф. образования "Воронеж, гос. лесотехн. акад.". — Воронеж, 2014. — 17 с.
16. **ГОСТ Р 56829—2015.** Интеллектуальные транспортные системы. Термины и определения.
17. **Андреев К. П., Тереньев В. В.** Внедрение в сфере пассажирских перевозок навигационных систем мониторинга // Бюллетень транспортной информации. — 2017. — № 6 (64). — С. 27—29.
18. **Терентьев В. В.** Безопасность автомобильных перевозок: проблемы и решения // Надежность и качество сложных систем. — 2017. — № 2 (18). — С. 90—94.
19. **Кулев А. В., Новиков А. Н., Катунин А. А.** Перспективы применения интеллектуальных транспортных систем (ИТС) на городском общественном транспорте // В сб.: Актуальные вопросы инновационного развития транспортного комплекса // материалы 3-й Международной научно-практической конференции / Под общ. ред. А. Н. Новикова. — Орел: ФГБОУ ВПО "Госуниверситет — УНПК", 2013. — С. 292—295.
20. **Применение** интеллектуальных транспортных систем (ИТС) для повышения эффективности функционирования городского общественного транспорта / А. Н. Новиков, А. Л. Севостьянов, А. А. Катунин, А. В. Кулев // Мир транспорта и технологических машин. — 2013. — № 1 40). — С. 85—90.
21. **Сравнение систем** определения местоположения и их применение в интеллектуальных транспортных системах / А. Н. Новиков, А. А. Катунин, А. В. Кулев, М. В. Пешехонов // Мир транспорта и технологических машин. — 2013. — № 2 (41). — С. 109—113.
22. **Агуреев И. Е., Кретов А. Ю., Мацур И. Ю.** Исследование алгоритмов светофорного регулирования перекрестка при различных параметрах транспортного потока // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2013. — № 7-2. — С. 54—61.
23. **Разработка** проекта организации дорожного движения / А. В. Шемякин, К. П. Андреев, В. В. Терентьев, Д. С. Рябчиков, А. В. Марусин // Вестник гражданских инженеров. — 2018. — № 2. — С. 254—257.

УДК 629.113.004.5

Л. Б. Миротин, д-р техн. наук, профессор, МАДИ, Москва, e-mail: mirotin2004@mail.ru,
Е. А. Лебедев, д-р техн. наук, профессор, e-mail: lebedew49@mail.ru,
В. А. Авджиян, магистрант, e-mail: vladavdzhiyan@mail.ru, КубГТУ, г. Краснодар

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЦИФРОВОЙ КОРРЕЛЯЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ МЕНЕДЖМЕНТА СОУ ГРУЗОВЫМИ ПЕРЕВОЗКАМИ И АВТОМОБИЛЕЙ НА МАРШРУТЕ

Авторы рассматривают надежность работы автоперевозчиков грузов на примере дистрибутивных компаний, имеющих собственный автомобильный подвижной состав, объединенный в самостоятельное юридическое лицо. Отмечают значение новых моделей организации и управления технологиями перевозок грузов с целью оперативного реагирования в процессе обеспечения их устойчивости и эффективности.
Приводят основные этапы работы менеджмента системы организации управления (СОУ) перевозками и направления ее совершенствования с целью трансформации и корреляции показателей оценки данной работы с показателями оценки работы автомобилей на маршрутах.

Ключевые слова: *вместимость, маршрут, грузовая отправка, релевантность, информация, груз, торговая точка.*

The authors consider the reliability of the work of road carriers of goods on the example of distribution companies with their own automotive rolling stock, combined into an independent legal entity.
Note the importance of new models of organization and management of technologies for the transport of goods for the purpose of rapid response in the process of ensuring their sustainability and efficiency.
They give the main stages of the management of the management organization system (SOU) of transportation and directions for its improvement in order to transform and correlate the indicators for evaluating this work with the indicators for evaluating the performance of vehicles on routes.

Keywords: *capacity, route, shipping, relevance, information, cargo, point of sale.*

(Рисунки на 2—4-й полосах обложки)

Введение

Главной функцией транспорта является перемещение больших объемов грузов и пассажиров на разные расстояния как можно быстрее, безопаснее и комфортнее. Современной тенденцией развития и совершенствования транспортной системы стало распространение логистики, логистического управления, т.е. всего комплекса услуг, направленных на быструю и качественную доставку объекта перемещения грузов, пассажиров до места назначения.

Выделение транспорта в самостоятельную область экономики позволяет выстраивать надежно, устойчиво и оптимально функционирующую систему транспортно-экспедиционного обслуживания (ТЭО) направления "производство — снабжение — распределение — потребление" и снижать издержки процесса транспортного обслуживания логистики.

Под надежностью понимается совокупность характеристик грузоперевозчика, обусловливающая выполнение автоуслуг в заданных объемах и с высоким качеством в течение установленного времени. А это значит, что в определенный период и в рамках заданных параметров между грузоотправителем и транспортным оператором в лице транспортно-экспедиционного предприятия (ТЭП) будут достигнуты желаемые сторонами результаты [1].

Все процессы сервиса ТЭП связаны, прежде всего, с их информационным обеспечением. При этом все основные помехи для координации работы ТЭП с потребителями можно разделить на мотивационные препятствия; проблемы обработки информации; операционные проблемы; ценовые препятствия.

Поэтому используемая при ТЭО информация должна охватывать всю совокупность процессов, тенденций и явлений. По содержанию информационные ресурсы являются отображением естественных процессов движения других видов ресурсов.

Значение информационного обеспечения ТЭО

Обеспеченность информацией ТЭО должна отвечать следующим принципам: доступности, точности, своевременности, гибкости, выявления критических ситуаций, соответствующего оформления отчетности.

Практически ТЭПы входят в состав дистрибьюторов, выполняющих их функции, т.е. реализуют функции маршрутизации товарных потоков как механизма распределения продукции.

В последнее время преимущества интегрированных информационных систем в ТЭП, т.е. объединенных в интеллектуальную сеть, состоит в том, что возрастает скорость обмена информацией, уменьшается объем непроизводительной "бумажной" работы, совмещаются разрозненные информационные блоки. Так, например, с помощью программного приложения Tracking можно оперативно просматривать потоки перевозок для принятия определенных решений через возможность увидеть статус перевозок с помощью разных видов отчетов и метрик, получить доступ к информации о местонахождении грузов в режиме реального времени, а также реализовывать функцию отслеживания характеристик заказа, перевозок, документов и т. п. Эта информация достаточно полно предоставляется от начала до конца перевозки в виде изображения, на котором можно увидеть точное ее текущее состояние. Это приложение позволяет измерить, оценить и сравнить результаты отдельных перевозок на основе показателей этих процессов.

Приложение Docs предназначено для отслеживания наличия необходимой документации при транспортировке груза. Очевидно, определяющим фактором успеха ТЭП в современных условиях становятся не просто сами технологии перевозок, а новые модели, управляющие ими, позволяющие осуществлять оперативное реагирование в процессе обеспечения их устойчивости и эффективности выполнения. Для транспортной сферы деятельности крайне важно, как она вписана сегодня в понятие цифровой логистики. А цифровая экономика и логистика — это, прежде всего, правильно организуемая информация, которую мы должны научиться генерировать и использовать сами. В то время как транспортная логистика является мультимодальной по определению и требует подхода исходя из интегрированной политики транспорта [2].

В Программе "Развитие цифровой экономики в России" выделены особые технологические направления трансформации производства, которые базируются на следующих принципах:

— переход на обязательную цифровую технологическую документацию и электронный документооборот (безбумажные технологии);

— применение мобильных технологий для мониторинга, контроля и управления процессами на производстве;

— мгновенное реагирование;

— создание цифровых рабочих мест и др.

Важным в цифровой трансформации транспортного производства является формирование параметров и их целевых показателей на всех уровнях логистики и транспортных процессов, связанных с ее обслуживанием. Правильный выбор показателей, характеризующих уровень функционирования и состояния объекта или системы, позволяет обеспечить их взаимную связь и влияние каждого из них на процесс движения к общей цели. Кроме того, система учета — это, в некотором роде, система передачи информации, с помощью которой определяется, что наиболее важно для организации в конкретный момент или промежуток времени [3].

Актуальность широкого внедрения информационных технологий связана, прежде всего, с прогрессирующим усложнением задач и интенсификацией транспортных процессов.

Тенденцией современности в области информационных технологий является конвергенция процессов развития связи информатизации, компьютеризации и телекоммуникаций. В электронные коммуникации входят: сети передачи данных, фиксированная связь, телеконференции, сети Интернет. Через опосредование коммуникации людьми осуществляется деятельность, выстраивание отношений и взаимопонимания, обеспечивается личное взаимодействие и предприятий. Современные компьютерные средства и системы передачи данных обеспечивают следующие возможности: вычислительные, лингвистические, коммуникационные, когнитивные, медиа и др.

Более низкая стоимость информационных технологий имеет смысл только в том случае, если она увеличивает ценность других ресурсов и создает добавленную стоимость [4].

Информационные технологии влияют на эффективность управленческой деятельности; эффективность процесса управления при выработке конкретного управленческого решения; эффективность методов управления; эффективность системы организации управления (СОУ) в целом.

Состояние и направления информационного обеспечения ТЭО

Эффективность информационных технологий можно оценивать через основные показатели оценки эффективности процессов: дисконтированный доход, прибыль, срок окупаемости или отдельные технико-эксплуатационные (ТЭП) и финансово-экономические (ФЭП) показатели. Основу информационной среды составляет [5] комплекс средств информационного обеспечения, рассматриваемый как сложная техническая система. При создании СОУ определяющей является функционально-процессная ориентация средств информационного обеспечения в плоскости требований организации управления к качеству и релевантности связи.

Учитывая выше изложенное, процессную схему формирования состава и структуры комплекса средств информационного обеспечения СОУ предприятием можно представить в виде, приведенном на рис. 1.

Реализация функциональных элементов, с учетом их взаимосвязей, обеспечит формирование состава и структуры комплекса средств информационного обеспечения, адекватных потребностям СОУ. Системный анализ функций — процессов комплекса средств информационного обеспечения необходимо проводить на основе требований конкретной СОУ предприятием к качеству информационного обеспечения. Важнейшим элементом функционально-процессной схемы формирования состава и структуры комплекса средств информационного обеспечения является разработка информационно-логических моделей СОУ предприятием. В конечном итоге и с учетом выше изложенного основную инфологическую модель СОУ предприятием можно представить в виде схемы, приведенной на рис. 2.

Растущий спрос на экологически чувствительное транспортное производство вызывает необходимость изменения транспортной практики развития его инфраструктуры с обеспечением ее современными, эффективными и экологическими экспедиционными характеристиками и технологиями. Анализ публикаций по цифровой трансформации транспорта и логистики показывает, что цифровизация и цифровые технологии транспортного производства сводятся к четырем направлениям:

— машинная обработка путевой документации, которая применялась еще в 70-е годы прошлого столетия с использованием ЭВМ различных поколений;

— машинная подготовка путевой документации для транспортного средства и объекта передвижения;

— сопровождение ТС и объекта перемещения в реальном времени;

— расчет маршрута на оптимальность по расстоянию (с использованием известных методов Кларка—Райта и Флойда).

Практически это является автоматизацией технологий подготовки и обработки путевой документации и диспетчерского управления производственным процессом транспортировки. На практике многие дистрибутивные компании, имеющие свои провозные возможности, пытаются расширять и углубять возможности организации и управления перевозочными технологиями и повышать эффективность их работы и ресурсопотребления. Конкретные их достижения в технологии СОУ перевозочной деятельностью должны отражаться на столь же конкретных результатах работы автомобилей предприятия на маршрутах перевозки грузов, т.е. в технологии непосредственной транспортировки груза.

Желая оцифровать эти два процесса, компании приобретают программы для перехода на электронные носители информации и приложения к этим программам, как упомянутые выше. Их внедрение и практическое использование показало, что математические алгоритмы этих программ и приложений не способны выполнять логические операции. Это приводит к повышению погрешностей, искажающих реальное состояние процессов, которые не позволяют СОУ принять правильное решение и скорректировать (оптимизировать) работу ТС на маршруте при транспортировке грузов. В результате оптимизация технологии СОУ таких компаний не повышает эффективность текущего транспортного процесса и последующих за ним.

Цифровизация транспорта и логистики предполагает обеспечения мультипликативной связи между управляющими технологическими процессами СОУ с управляемой ими технологией транспортных процессов в реальном режиме времени. Поэтому на основе обобщения результатов усилий, предпринятых в этом направлении несколькими дистрибутивными компаниями, располагающими собственным автомобильным подвижным составом, может быть выдвинута гипотеза: при цифровизации транспорта и логистики должна обеспечиваться мультипликативная связь между технологиями СОУ и технологиями транспортных процессов.

Для проверки этой гипотезы на базе одной из дистрибутивных компаний были проведены хронометраж технологических процессов СОУ перевозками, их реструктуризация и оценка эффективности

по результатам работы автомобилей на одном и том же маршруте при прочих равных условиях.

Менеджер СОУ автоперевозками таких компаний организовывает плановый вывоз из РЦ грузов (товаров) и доставку их в торговые точки конкретного транспортного пространства по заранее запланированным маршрутам с определенными торговыми точками, ожидающими доставку грузов. Причем один менеджер, как правило, рассчитывает все маршруты транспортного пространства одного или нескольких административных образований РФ (краев, областей).

Схема транспортного пространства, обслуживаемого менеджером СОУ перевозками, приведена на рис. 3. На рис. 4 приведены циклограммы процесса подготовки перевозочного процесса СОУ: *а*) без использования программных продуктов; *б*) с использованием программных продуктов и их приложений.

Циклограммы содержат технологические блоки, характеризующие работу менеджера СОУ перевозками. Каждый блок характеризует продолжительность конкретной операции (ось абсцисс) и место этой операции в течение времени рабочей смены. Циклограмма *б* является результатом реструктуризации циклограммы *а* с изменением продолжительности операций и частичным их совмещением: на циклограмме *б* за счет того, что расчет маршрутов РЦ производится автоматически, менеджер может уже начать в это же время готовить и формировать отчетность. Это позволяет достичь совмещения пунктов 4 и 6 (рис. 4, *б*). Формирование отчетов ограничивается только дополнениями. Поэтому продолжительность формирования отчетности сокращается (пункт 6, *б*) и составляет только 30 мин вместо 1 ч (рис. 4, п. 6, *а*). При автоматическом расчете маршрутов, по факту их отгрузки, маршрутные листы открываются автоматически. Поэтому пункт 9 (рис. 4, *б*) объединяет пункты 9 и 10 циклограммы *а* и составляет 30 мин вместо 1 ч. Автоматический расчет маршрутов выполняется значительно быстрее, чем в "ручном" режиме. Поэтому суммарная продолжительность пунктов 2, 4, 8 на циклограмме *б* меньше, чем на циклограмме *а*, — на 2,5 ч.

Таким образом, общая продолжительность технологических затрат менеджера СОУ перевозками сокращается на 3 ч 30 мин (на рис. 4, *б*, — Δt).

В результате внедрения приложений программных продуктов и организационно-технологической реструктуризации действий менеджера СОУ число блоков циклограммы уменьшилось на один, а продолжительность технологического цикла уменьшилась на Δt.

Описания технологических операций менеджера СОУ приведено в табл. 1.

Таблица 1

Перечень и содержание одного цикла (схема а) технологических операций, выполняемых оператором СОУ в течение смены

№ п/п	Наименование операции	Содержание операции (действия оператора СОУ)
1	Принятие смены	Оператор передает информацию о наличии текущих отклонений от сменного наряда, о приоритетных торговых точках, об отклонениях от проектов и др.
2	Расчет маршрутов транспортного пространства РЦ без (а) или с использованием (б) программных продуктов	Расчтет маршрутов транспортного пространства РЦ выполняется с учетом текущего спроса грузополучателей (торговых точек) с минимизацией пробега и отклонения от времени приема груза торговыми точками
3	Передача расчетных параметров маршрутов на склад	Доведение до РЦ информации и заданий по грузовым отправкам для торговых точек каждого маршрута, сведений о выделенных автомобилях и размерах их машинных отправок
4	Корректировка представленных в РЦ маршрутов	Проверка расчетов маршрутов на наличие ошибок, погрешностей: отклонения от времени приемки груза торговыми точками (ТТ) расположенными на маршрутах, наличие превышений пробегов
5	Передача РЦ конечной информации	Передача РЦ уточненных заданий по отгрузкам в ТТ
6	Ведение оперативного учета	Учет, контроль, анализ процесса и результатов работы автомобилей за смену. Формирование отчетов о: выполнении планов доставки грузовых отправок; среднем пробеге автомобилей; средней протяженности маршрутов; средней грузовместимости автомобилей; текущем состоянии отгрузки груза в РЦ; выполнении РЦ плана и плановых показателей отгрузки
7	Получение заказа от торговых точек РЦ на доставку груза и загрузки данной информации в программу. Расчет потребности в ТС	Получение заказа на доставку груза ТТ РЦ, внесение этой информации в программу. Передача менеджменту перевозчика информации: — о торговых точках и их заказах (грузовых отправках); — о количестве потребных транспортных средств

Таблица 2

Изменение средних значений показателей, характеризующих работу менеджера СОУ

№ п/п	Наименование показателя	Изменение и значения показателей			
		До	После	Изменение Δ	Экономическая эффективность, руб.
1	Продолжительность расчетов маршрутов	5 ч	3 ч	−2 ч	480
2	Продолжительность составления и представления отчетов за прошедшую рабочую смену	2 ч	1 ч	−1 ч	240
3	γ-коэффициент использования грузовместимости	0,96—0,97	1	0,04	2000
4	Изменение среднего пробега автомобиля за одну ездку (кругорейс) с грузом	150 км	140 км	−10 км	500
5	Предельно допустимое отклонение от плановой продолжительности работы автомобиля на маршруте	1—24	0,5 ч (ниже нижнего предела допустимости)	1 ч (позволяет увеличить эффективность работы ТС)	300

Это позволило на рассматриваемых маршрутах в течение смены повышать эффективность работы автомобилей. Изменение средних значений показателей, характеризующих работу менеджера СОУ перевозочными процессами, и технико-эксплуатационных показателей, характеризующих работу автомобилей на рассматриваемых маршрутах, приведено в табл. 2.

По результатам исследований и реструктуризации работы в СОУ перевозками была подготовлена дескриптивная схема процесса рассмотрения оптимизации СОУ перевозками грузов, приведенная на рис. 5.

Заключение

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Выделение транспорта в самостоятельную область экономики позволяет ему выстраивать надежно, устойчиво и оптимально функционирующую систему транспортно-экспедиционного обслуживания (ТЭО) цепей поставок.

2. Под надежностью понимается совокупность характеристик грузоперевозчика, обусловливающая выполнение автоуслуг в заданных объемах и с высоким качеством в течение определенного времени, что обеспечивает достижение сторонами желаемых результатов.

3. Определяющим фактором успеха транспортно-экспедиционного предприятия в современных условиях становятся не просто сами технологии перевозок, а новые технологии управления ими, позволяющие осуществлять оперативное реагирование в процессе обеспечения их устойчивости и эффективности выполнения.

4. Цифровая экономика и логистика — это, прежде всего, правильно организуемая информация, которую мы должны научиться генерировать и использовать сами.

5. Важным в цифровой трансформации транспортного производства является формирование параметров и их целевых показателей на всех уровнях логистики и транспортных процессов, связанных с ее обслуживанием.

6. При создании системы организации управления (СОУ) перевозками определяющей является функционально-процессная ориентация средств информационного обеспечения.

7. Цифровизация транспорта и логистики предполагает обеспечение мультипликативной связи между управляющими технологическими процессами СОУ с управляемой ими технологией транспортных процессов (табл. 2).

8. Процесс реструктуризации работы менеджеров СОУ перевозками грузов может быть организован по дескриптивной схеме, приведенной на рис. 5, с обязательной разработкой программного обеспечения на основе математико-логических алгоритмов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Некрасов А. Г., Атаев К. И., Некрасов М. А.** Управление процессами безопасности и риска в цепях поставок: уч. мет. пос. — М.: Изд-во "Техполиграфцентр", 2011. — 38 с.
2. **Цифровая совместная экономика:** технологии, платформы и библиотеки в промышленности, строительстве, транспорте и логистике / В. П. Куприяновский и др. // International Journal of Open Information Technologies. — 2017. — Vol. 5. — No. 6. — P. 56—75.
3. **Указ Президента РФ** "О стратегии технического развития РФ" № 642 от 01.12.2016 г.
4. **Старссман С. М.** Информация в век электроники. Проблемы управления. — М.: Экономика, 1987. — 116 с.
5. **Филатов И. Н., Черенков А. А.** Синтез системы информационного обеспечения транспортных сетей // Прикладная логистика. — 2007. — № 7. — С. 30—34.

УДК 629.1.04

А. В. Пузаков, канд. техн. наук, доцент, e-mail: And-rew78@yandex.ru,
Я. Ю. Осаулко, ведущий инженер, Оренбургский государственный университет,
e-mail: yaroslav.osaulko@mail.ru

МОДЕЛЬ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ВЫПРЯМИТЕЛЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА

В рамках научного исследования были произведены эксперименты. В их ходе посредством специального стенда, на который был установлен генератор, узел приводился в действие. В процессе его работы имитировались неисправности на различных стадиях развития. Измерялась температура поверхности узла. Результатами экспериментальных исследований являются полученные зависимости изменения превышения температуры поверхности автомобильного генератора от технического состояния выпрямительного блока. Результаты, полученные в ходе проведения экспериментальных исследований, будут использоваться в дальнейшей разработке методики оперативной оценки технического состояния автомобильного генератора на основе анализа его теплового режима.

Ключевые слова: *выпрямитель, автомобильный генератор, тепловое состояние, имитация неисправностей, сопротивление диода.*

Within the framework of scientific research, experimental studies were carried out. During the experiments, by means of a special stand on which the generator was installed, the unit was actuated. In the process of his work simulated failure at various stages of their development. The temperature of the node surface was measured. The results of experimental studies are the obtained dependences of the change in the surface temperature of the automobile generator from the technical condition of the rectifier unit. The results obtained in the course of experimental studies will be used in the further development of the methodology for rapid assessment of the technical condition of the automobile generator based on the analysis of its thermal regime.

Keywords: *rectifier, motor generator, thermal state simulation of faults, the resistance of the diode.*

Введение

Генератор автомобиля — сложное техническое изделие, предназначенное для производства электроэнергии, питания электрических и электронных систем и устройств, установленных на транспортном средстве. Количество электронных систем современного автомобиля постоянно растет, с каждым годом они становятся сложнее. Особого внимания заслуживают электронные и электрически элементы, интегрированные в системы активной и пассивной безопасности. Они представлены различными блоками управления, сервоприводами и прочими исполнительными элементами. Для работы таких систем требуется стабильное энергоснабжение в процессе движения транспортного средства при любых условиях. Исходя из этого к генератору, как к основному источнику электроэнергии на автомобиле, предъявляются особые требования по безотказности и ремонтопригодности.

Ввиду повышения ответственности, возлагаемой на автомобильный генератор, нами производится работа по разработке методики оперативного диагностирования этого узла в процессе эксплуатации на основе оценки его теплового состояния. Одной из основных задач является установление взаимосвязи между структурными параметрами автомобильного генератора и параметрами теплового состояния. Установлено, что параметр теплового состояния, который можно использовать в качестве диагностического, — превышение температуры поверхности.

В процессе работы тепловое состояние автомобильного генератора зависит от большого количества климатических и эксплуатационных факторов. Основными эксплуатационными факторами, влияющими на тепловой режим генератора, являются частота вращения ротора генератора и мощность потребителей электроэнергии. Увеличение частоты вращения ротора генератора приводит к повышению эффективности его самовентиляции и к снижению рабочей температуры.

Рост мощности потребителей электроэнергии автомобиля приводит к повышению температуры

генератора. Так как мощность не является постоянной и зависит от количества включенных потребителей, то и тепловой режим генератора будет меняться. Для того чтобы было корректно сравнивать значения превышений температуры при разной нагрузке, их необходимо корректировать.

Теоретические основы формирования теплового состояния выпрямителя генератора

В целом, при оценке теплового состояния автомобильного генератора, нами рассматриваются три основных фактора, которые оказывают серьезное влияние на превышение температуры поверхности узла. К этим факторам относятся ранее упомянутые скоростной режим работы генератора и мощность потребителей электроэнергии, а также структурные параметры генератора, определяющие его техническое состояние. В общем случае зависимость превышения температуры можно представить выражением:

$$\Delta T = f(r,\ P,\ n), \qquad (1)$$

где r — сопротивления элементов генератора, Ом; P — мощность электропотребителей, Вт; n — частота вращения ротора генератора, мин$^{-1}$.

Ранее упомянуто, в каком направлении каждый из факторов оказывает влияние на тепловое состояние автомобильного генератора. Рассмотрим более подробно этот вопрос.

Увеличение скорости вращения ротора генератора приводит к снижению тепловой напряженности узла. Увеличение мощности потребителей электроэнергии приводит к росту температуры поверхности генератора, взаимосвязь имеет квадратичную зависимость. Данная взаимосвязь представлена выражением:

$$\Delta T = \Delta T_{\text{ном}p}\left(\frac{P_{\text{ном}}}{P}\right)^2, \qquad (2)$$

где $\Delta T_{\text{ном}p}$ — превышение температуры поверхности генератора при номинальной нагрузке, °С; P — номинальная мощность генератора (мощность исправного генератора), Вт; $P_{\text{ном}}$ — номинальная мощность генератора.

Мощность потребителей и скоростной режим работы генератора являются эксплуатационными факторами. Их необходимо учитывать для корректировки значений температуры поверхности генератора, так как они оказывают серьезный вклад в формирование теплового состояния узла. Изменение значений структурных параметров — это изменение технического состояния генератора, возникновение неисправностей в процессе его работы. Изменение теплового режима генератора при изменении этих параметров и позволяет использовать температуру как диагностический параметр.

Далее установим взаимосвязь между структурными параметрами автомобильного генератора на примере выпрямителя. В качестве структурных параметров выберем сопротивление диода выпрямителя в прямом и обратном направлениях: $r_{\text{ДПР}}$ и $r_{\text{ДОБР}}$ соответственно. Для исправного диода эти значения составляют: $r_{\text{ДПР}}$ = 0,1 Ом, $r_{\text{ДОБР}}$ = 460 Ом. В общем виде взаимосвязь будет иметь вид:

$$\Delta T = f(r_{\text{ДПР}},\ r_{\text{ДОБР}}). \qquad (3)$$

Опираясь на известные законы физики, была составлена формула, которая описывает взаимосвязь между превышением температуры генератора, его структурными и рабочими параметрами:

$$\Delta T = \frac{I_d^2}{n}\left(a + \frac{b r_{\text{пр}}}{r_{\text{пр}} + r_{\text{обр}}}\right), \qquad (4)$$

где $r_{\text{пр}}$ — сопротивление диода в прямом направлении, Ом; $r_{\text{обр}}$ — сопротивление диода в обратном направлении, Ом; a и b — коэффициенты математической модели; I_d — сила тока в цепи диода, А.

Данная формула имеет ориентировочный вид. Для подтверждения ее правильности и определения коэффициентов a и b были произведены экспериментальные исследования, результаты которых описаны ниже.

Аномальные режимы работы выпрямителя генератора

Аномальные режимы работы выпрямителя автомобильного генератора связаны с выходом из строя одного или нескольких его диодов. Существуют две основные причины выхода из строя диодов выпрямителя: пробой (короткое замыкание) и обрыв диода. В первом случае электрический ток в цепи пропускается в оба направления, по сути диод становится обычным проводником. В этом случае обратное сопротивление диода стремится к нулю. При обрыве диода электриче-

ский ток перестает проходить через цепь. В этом случае прямое сопротивление диода стремится к бесконечности. В обоих случаях генератор перестает нормально функционировать, его выходные характеристики падают, а падение коэффициента полезного действия приводит к его перегреву.

Существуют методики по выявлению неисправности выпрямителя и даже определению неисправного диода. Они предполагают снятие выходных характеристик генератора и анализ значений напряжения и силы тока в конкретные периоды времени.

Материалы и методы экспериментальных исследований

Основная задача экспериментальных исследований состояла в получении зависимости параметра теплового состояния автомобильного генератора от сопротивления диода выпрямителя. Наиболее объективным параметром теплового состояния автомобильного генератора является превышение температуры. Этот параметр представляет собой разность между температурой поверхности генератора и температурой окружающей среды [1].

Эксперимент производился в следующей последовательности. Перед его проведением генератор выдерживался в нерабочем состоянии сутки. Это делалось для чистоты эксперимента, чтобы его температура гарантированно выровнялась с температурой окружающей среды.

Генератор приводился в работу электродвигателем стенда. Ротор генератора вращался в течение 20 мин, так как этого времени достаточно, чтобы электрическая машина достигла установившегося теплового режима [2]. В течение этого времени поддерживалась постоянная частота вращения 1200 мин$^{-1}$. Это было необходимо, так как скоростным режимом генератора характеризуется эффективность его самовентиляции. В течение всего времени поддерживались на одном уровне значения силы тока и выходного напряжения генератора [3, 4].

После включения генератора при повышении температуры на 1 °С фиксировалось время. Для того чтобы данные, полученные при разных экспериментах, можно было сравнивать между собой, производилась корректировка значений превышения температуры поверхности генератора по мощности.

В ходе проведения экспериментальных исследований использовался специальный стенд,

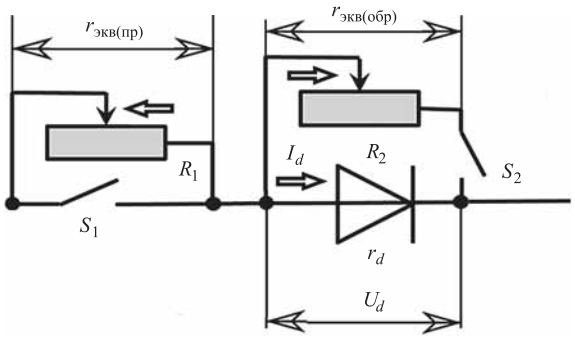


Рис. 1. Схема включения неисправностей:

R_1 — реостат, позволяющий имитировать неисправность "короткое замыкание диода", R_2 — реостат, позволяющий имитировать неисправность "обрыв диода", S_1 — выключатель, включающий неисправность "короткое замыкание диода", S_2 — ключ, включающий неисправность "обрыв диода"

который позволяет имитировать неисправности в процессе работы автомобильного генератора, фиксировать значения основных параметров его работы, отслеживать тепловое состояние узла.

На рис. 1 представлена электрическая схема части стенда, которая позволяет включать неисправности короткое замыкание и обрыв диода выпрямителя в процессе работы генератора.

В ходе проведения исследований производились эксперименты, в которых имитировались две наиболее характерные для автомобильного генератора неисправности: короткое замыкание диода и обрыв диода. Для этих неисправностей устанавливались значения превышений температуры при различных стадиях их развития. Различные стадии развития неисправностей имитировались путем включения в цепь диода реостата. Изменение сопротивления реостата позволило создать условия, соответствующие разной тяжести развития неисправности.

Имитация короткого замыкания одного из диодов осуществлялась посредством введения в электрическую схему реостата, включенного параллельно этому диоду. Значения сопротивления реостата изменялись от 8 Ом (практически исправный генератор) до 0 Ом (конечная стадия неисправности). В ходе одного эксперимента цепь реостата не включалась. Это позволило получить данные о тепловом состоянии исправного генератора.

Неисправность "обрыв диода" имитировалась путем введения реостата в электрическую цепь диода, подключенного последовательно. Значения сопротивления изменялись от 0 Ом (практически исправный генератор) до 16 Ом.

Измерение температуры обмотки статора генератора осуществлялось с помощью полупрово-

дникового датчика ИТ2-К-01. Он был закреплен на обмотке статора в течение всего эксперимента.

Были произведены измерения превышения температуры при сопротивлении реостата: 8, 4, 2, 1, 0,5, 0 Ом для неисправности "короткое замыкание". Для неисправности "обрыв диода" замеры производились при сопротивлении: 0,5, 1, 2, 4, 8, 16 Ом. Ранее указывалось, что при имитации неисправности "короткое замыкание" реостат включался параллельно диоду, что позволяло имитировать изменение обратного сопротивления диода. При имитации неисправности обрыва диода реостат включался последовательно, что позволяло имитировать изменение прямого сопротивления диода. При проведении эксперимента по определению превышения температуры исправного генератора реостат в цепь диода не включался и значения сопротивлений цепи составляли 460 Ом для обратного направления и 0,1 Ом для прямого направления.

Результаты экспериментальных исследований

На основе результатов эксперимента был построен график зависимости изменения превышения температуры от сопротивления введенного в цепь диода. Данный график представлен на рис. 2.

На графике точками отмечены экспериментальные значения, полученные при имитации неисправности. По данным точкам была построена регрессионная модель, представленная выражением:

$$\Delta T = \frac{85}{r_{\text{обр}} + 0,33} + 25. \qquad (5)$$

Таблица 1

Основные статистические показатели регрессионной модели

Показатель	Значение
Коэффициент корреляции	0,9730
Коэффициент детерминации	0,9468
Нормированный коэффициент детерминации	0,9335
Средняя ошибка аппроксимации, %	19,57

Таблица 2

Основные статистические показатели регрессионной модели

Показатель	Значение
Коэффициент корреляции	0,9894
Коэффициент детерминации	0,9790
Нормированный коэффициент детерминации	0,9748
Средняя ошибка аппроксимации, %	4,68

По данной модели был построен график, который представлен линией на рис. 2.

Для данной модели были рассчитаны основные статистические показатели (табл. 1).

Полученные значения коэффициентов корреляции и детерминации говорят о высокой степени достоверности разработанной модели. Средняя ошибка аппроксимации составила 19,57 %. Это связано с небольшим количеством проведенных экспериментов.

На основе результатов эксперимента был построен график зависимости изменения превышения температуры от сопротивления введенного в цепь диода (рис. 3).

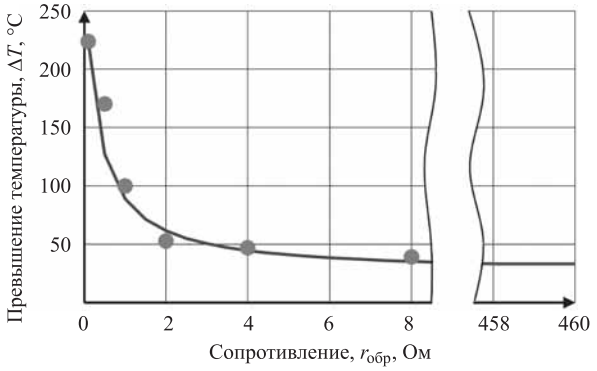


Рис. 2. График изменения превышения температуры от сопротивления при неисправности "короткое замыкание диода"

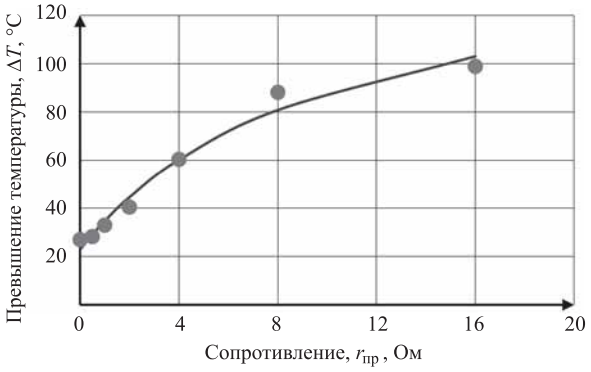


Рис. 3. График изменения превышения температуры от сопротивления при неисправности "короткое замыкание диода"

На графике точками отмечены экспериментальные значения, полученные при имитации неисправности. По данным точкам была построена регрессионная модель, представленная выражением:

$$\Delta T = \frac{130 r_{\text{пр}}}{r_{\text{пр}} + 10} + 23. \quad (6)$$

По данной модели был построен график, который представлен линией на рис. 3.

Были рассчитаны и основные статистические показатели, которые представлены в табл. 2.

Полученные значения коэффициентов корреляции и детерминации говорят о высокой степени достоверности разработанной модели. Средняя ошибка аппроксимации составила 4,68 %, что также говорит о высоком соответствии модели данным, полученным в ходе экспериментальных исследований.

Выводы

1. В ходе проведения исследований был произведен анализ теплового состояния автомобильного генератора в процессе работы. В качестве основного параметра, характеризующего тепловое состояние, было выбрано установившееся превышение температуры поверхности узла, то есть разница между температурой его поверхности и температурой окружающего воздуха.

2. Была разработана теоретическая модель, описывающая зависимость превышения температуры поверхности генератора от различных факторов. На основе существующих известных законов физики была разработана теоретическая математическая модель зависимости изменения теплового состояния от структурных параметров выпрямителя генератора, частоты вращения ротора и мощности подключенных потребителей.

3. Экспериментальные исследования производились с целью установления взаимосвязи между техническим состоянием выпрямителя автомобильного генератора и тепловым режимом генератора. В качестве структурных параметров были выбраны прямое и обратное сопротивления диода выпрямителя. Изменение этих параметров в ходе экспериментов позволяло имитировать неисправность генератора. Неисправности имитировались в различных стадиях их развития. Увеличение прямого сопротивления позволяло моделировать неисправность "обрыв диода", уменьшение обратного — "короткое замыкание диода".

4. Полученные в ходе экспериментов данные были систематизированы и обработаны. Для предлагаемой математической модели были подобраны коэффициенты, при которых экспериментальные данные соответствуют модели. Рассчитанные статистические показатели модели говорят о высоком уровне ее соответствия данным, полученным в ходе экспериментов.

5. Разработанная математическая модель зависимости теплового состояния генератора от структурных параметров выпрямителя является работоспособной, допустимо ее практическое применение. Данная модель может использоваться при проведении дальнейших исследований. Практическое применение разработанной модели возможно при разработке методики диагностирования выпрямителя автомобильного генератора на основе оценки теплового состояния.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Гордов А. Н., Жагулло О. М., Иванова А. Г.** Основы температурных измерений. — М.: Энегоатомиздат, 1992 — 304 с.
2. **Кулик В. Д., Королев В. И.** Аномальные режимы полупроводниковых выпрямителей и их диагностика. — СПб.: СПбГТУРП, 2012. — 114 с.
3. **Кухарчук В. В.** Исследование и выбор диагностических параметров автомобильных генераторных установок: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М., 2002. — 23 с.
4. **Ларионов Н. Н.** Стенд для параметрических испытаний автомобильных генераторных установок // Проблемы функционирования систем транспорта: материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (с международным участием), 5—7 ноября 2014 г. Т. 1 / отв. редактор В. И. Бауэр. — Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. — С. 331—334.
5. **Монюшко Н. Д., Помогаев Г. В.** Тепловой расчет закрытых электрических машин. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2009. — 63 с.
6. **Пузаков А. В., Осаулко Я. Ю.** Исследование влияния эксплуатационных факторов на тепловое состояние автомобильного генератора // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). — 2018. — № 1 (52). — С. 15—19.
7. **Пузаков А. В., Осаулко Я. Ю.** Исследование теплового состояния выпрямителя автомобильного генератора // Электроника и электрооборудование транспорта, 2018. — № 5. — С. 5—9.
8. **Техническая диагностика** механического оборудования / В. А. Сидоров, В. М. Кравченко, В. Я. Седуш и др. — Донецк: Новый мир, 2003. — 125 с.
9. **Филатов М. И., Пузаков А. В., Осаулко Я. Ю.** Разработка регрессионной модели теплового состояния автотракторных генераторов в процессе эксплуатации // Известия Оренбургского аграрного университета. — 2018. — № 1 (69). — С. 102—106.
10. **Параметры** теплового режима асинхронного электродвигателя для прогнозирования остаточного ресурса работы / О. И. Хомутов, С. О. Хомутов, В. И. Сташко, А. А. Грибанов // Ползуновский вестник. — 2004. — № 1. — С. 279—284.
11. **Tang S. Thomas A. Keim, David J. Perreault C.** Thermal Modeling of Lundell Alternators // IEEE Transactions on energy conversion. — 2005. — Vol. 20. No. 1. — P. 25—36.

ШКОЛЬНИКИ ПОКОРЯЛИ БЕЗДОРОЖЬЕ

В МАДИ состоялся финал конкурса 3D-БУМ в номинации "Создание автомобиля-вездехода". Кураторами от университета выступили доценты кафедры "Эксплуатация автомобильного транспорта и автосервис" А. А. Хазиев и А. В. Сотсков.

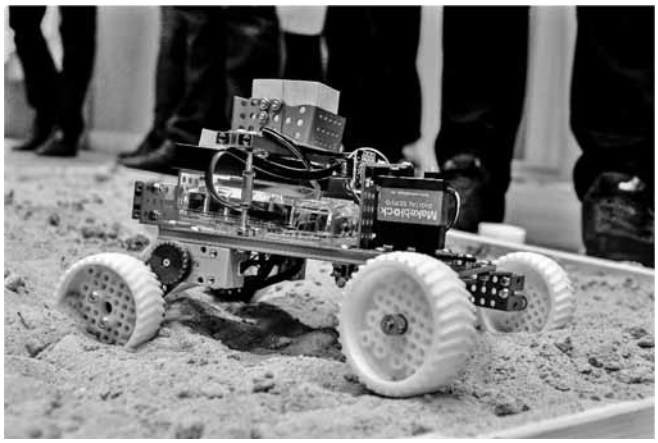
В этом году школьники на основе готового шасси DIGIS разрабатывали радиоуправляемый автомобиль-вездеход. В помощь ребятам центром технологической поддержки образования МАДИ была организована серия мастер-классов, на которых школьники получили необходимые знания по теории и практике повышения проходимости транспортных средств на примере полученных шасси.

Четыре месяца ребята работали не покладая рук: освоили технологии современного цифрового производства, овладели основами 3D-моделирования, прототипирования, 3D-печати, работы с VR/AR- технологиями и т.д. После получения новых навыков школьники внесли изменения в конструкцию своих шасси. С использованием специальных материалов они на 3D-принтерах изготовили "вездеходную" резину, отдельные команды разработали и установили подвеску и колесные редукторы. Все детали ребята самостоятельно спроектировали и изготовили с использованием технологий 3D-прототипирования.

Получалось не все и не сразу. В итоге в финал конкурса из 9 команд вышли 6.

Для оценки выполненных проектов школьникам была предоставлена возможность не только блеснуть в ораторском мастерстве, знании основ 3Д-моделирования и финансовой грамотности, но и провести увлекательные гонки на своих прототипах по специально подготовленной трассе.

Среди диагностического оборудования, автомобилей, квадроциклов и другой техники, расположенной в лаборатории технического обслуживания кафедры ЭАТиС, ребята соревновались на трассе с препятствиями, имитирующими пустыню, горы, лес, поля и даже гладь ледяного озера. Не обошлось и без поломок, но благодаря слаженной работе команд все неисправности были устранены и все 6 вышедших на старт вездеходов домчались до финиша!



Борьба была очень напряженной, о чем свидетельствует разница во времени прохождения трассы У первых двух экипажей оно различалось меньше, чем на 2 с.

Призеры конкурса расположились в следующем порядке: 1 место: ГБОУ школа № 1811; 2 место: ГБОУ школа № 1575; 3 место: ГБОУ школа № 2044.

МАДИ поздравляет призеров конкурса 3D-БУМ.

ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ

Официальный представитель Scania в России ООО "Скания-Русь" представил концепцию устойчивого развития бизнеса компании на расширенном заседании Комитета РСПП по корпоративной социальной ответственности и демографической политике.

Расширенное заседание Комитета РСПП по КСО и демографической политике "Деловой образ компании через призму отчетности" было организовано совместно с Московской Биржей. На нем обсуждались итоги составления индексов РСПП по устойчивому развитию и результаты моделирования Московской биржей фондовых индексов в области устойчивого развития.

Директор по устойчивому развитию и работе с государственными органами "Скания-Русь" Вахтанг Парцвания рассказал участникам заседания о практике реализации принципов устойчивого развития компании Scania в мире и в России.

"Содействуя снижению глобальных рисков, Scania, как социально-ответственная компания, стремится развивать бизнес, не создавая угрозы здоровью людей и окружающей среде, — подчеркнул Вахтанг Парцвания. — Стратегическая цель Scania — быть лидером в области устойчивых транспортных решений, движущей силой перемен в масштабах своей отрасли. При этом важнейший приоритет компании — обеспечить прибыльность своих клиентов и сделать их бизнес более эффективным".

Вахтанг Парцвания отметил, что в числе основных направлений устойчивого развития Scania выделяет повышение энергетической эффективности выпускаемой техники, внедрение подключенного и беспилотного транспорта, увеличение объемов реализации автомобилей на альтернативном топливе.

Устойчивое развитие также подразумевает ответственное ведение бизнеса с заботой о сотрудниках компании и развитием ценностей. Scania выделила для себя шесть направлений в этой области: ресурсо- и энергоэффективные операции, равенство и разнообразие, охрана труда и здоровья, права человека и работников, деловая этика, вовлечение сообщества.

Отдел маркетинга ООО "Скания-Русь"

СУБСИДИРОВАНИЕ ЛИЗИНГА

Предприятия сразу двух ведущих индустриальных регионов страны — сибирского и уральского — пополнили парки тяжелой техники бульдозерами бренда ЧЕТРА. Техника приобретена по программе льготного субсидирования лизинга, которая действует в соответствии с постановлением Правительства РФ № 518 "Субсидирование лизинга строительно-дорожной, коммунальной и прицепной техники".

Крупная поставка техники осуществлена на предприятия СФО, куда по программе субсидирования лизинга были отгружены шесть машин: три бульдозера ЧЕТРА Т9, два ЧЕТРА Т25 и ЧЕТРА Т11. В УФО тоже поставлена наиболее востребованная модель бульдозера — ЧЕТРА Т11.

Компания ООО "СибирьСтройСервис", работающая на рынке услуг по проектированию, монтажу и пусконаладке электрических сетей, стала обладателем 20-тонного бульдозера ЧЕТРА Т11.02ЯБР-1 через лизинговую компанию ООО "Интерлизинг". Машина успешно работает на одном из объектов по строительству и реконструкции ПС и ЭС в Красноярском крае.

Пресс-служба компании ЧЕТРА

Художественный редактор *Д. С. Рыбакова*. Технический редактор *Е. М. Патрушева*. Корректор *З. В. Наумова*
Сдано в набор 19.05.2019. Подписано в печать 17.06.2019. 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**