



## ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 519.866.4

### ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СТОИМОСТИ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ СРЕДНЕГО КЛАССА

Канд. техн. наук **НЕВЕЖИН В.П.**  
Финансовый университет  
(VPNevezhin@fa.ru)

*Рассмотрены основные факторы, которые оказывают влияние на продажи легковых автомобилей в России. Проводится анализ продаж новых легковых автомобилей за последние годы и определяется тенденция данного рынка. Определяются причины, способствующие росту цены на новые автомобили. Для формирования динамической модели определения средних цен новых автомобилей среднего класса выбираются статистические данные цен на них за последние 4 года. Строится эконометрическая модель временного ряда, учитывающая сезонные колебания продаж автомобилей среднего класса. Модель исследуется на возможность прогноза средней цены легкового автомобиля среднего класса в краткосрочном периоде. Данная модель признаётся адекватной и по ней составляется прогноз средней цены на новые автомобили среднего класса на три квартала 2019 г. и один квартал 2020 г. Полученные значения средней цены подтверждаются реальными значениями цен на автомобили среднего класса в 2019 г.*

**Ключевые слова:** легковые автомобили, средняя цена, рынок продаж автомобилей, моделирование, временной ряд, прогноз.

### Nevezhin V.P. FORECASTING THE COST OF MIDDLE-CLASS PASSENGER CARS

*The article considers the main factors that influence the sales of passenger cars in Russia. The analysis of sales of new passenger cars in recent years is carried out and the trend of this market is determined. The reasons that contribute to the increase in the price of new cars are determined. To create a dynamic model for determining the average prices of new middle-class cars, statistical data on their prices for the last 4 years are selected. An econometric model of the time series is constructed that takes into account seasonal fluctuations in sales of middle-class cars. This model is being investigated for the possibility of predicting the average price of a middle-class passenger car in the short term. This model is considered adequate and it is used to forecast the average price of new mid-range cars for three quarters of 2019 and one quarter of*

*2020. The obtained values of the average price are confirmed by the real values of prices for middle-class cars in 2019.*

**Keywords:** passenger cars, average price, car sales market, modeling, time series, forecast.

Как известно, самый существенный прирост парка автотранспортных средств происходит в секторе автомобилей индивидуального пользования и владения. При этом покупка того или иного автомобиля во многом определяется именно его стоимостью и лишь во вторую очередь — брендом. Если в 80—90-е годы прошлого столетия на автомобильном рынке "присутствовала" практически только продукция отечественных предприятий и её приобретение было затруднено по целому ряду обстоятельств, то с 2000 г. в России можно купить безо всяких очередей автомобиль любой из существующих в мире марок.

В настоящее время у потенциальных потребителей автомобилей и у бизнеса имеется определённый интерес в получении прогноза как в долгосрочном, так и в краткосрочном периоде по изменению цен на легковые автомобили, а также их продажам. Поэтому была поставлена задача получения прогноза изменения их цены в краткосрочном периоде. Для проведения исследования использованы имеющиеся средние цены на автомобили среднего класса в период с 2009 по 2018 г. и применены динамические модели эконометрики.

Анализ данных по продажам легковых автомобилей в России с 2008 г. показывает, что после сокращения в 2012—2016 гг., даже на фоне ухудшения макроэкономических показателей в России, рынок начиная с 2017 года начал восстанавливаться (рис. 1) [9]. Изучив ситуацию 2018 г. по объёму продаж легковых и лёгких коммерческих автомобилей, можно констатировать, что по сравнению с 2017 годом его рост ускорился и достиг темпа в 12,8 %. Так, число проданных легковых автомобилей в 2018 г. составил порядка 1,8 млн единиц, что на 0,2 млн больше, чем было продано в 2017 г. Данное увеличение продаж связывают с отложенным спросом и сохранением некоторых программ государственной поддержки, а также ожидани-

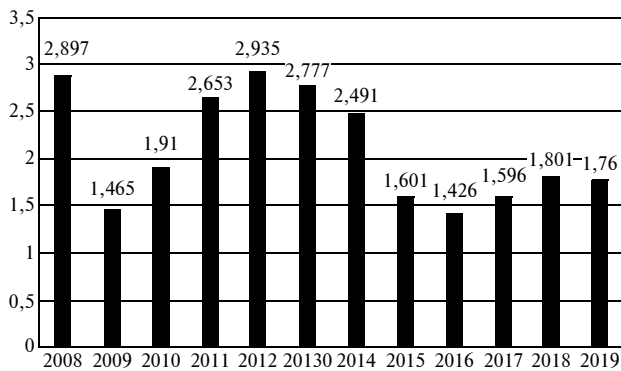


Рис. 1. Динамика продаж легковых автомобилей в России

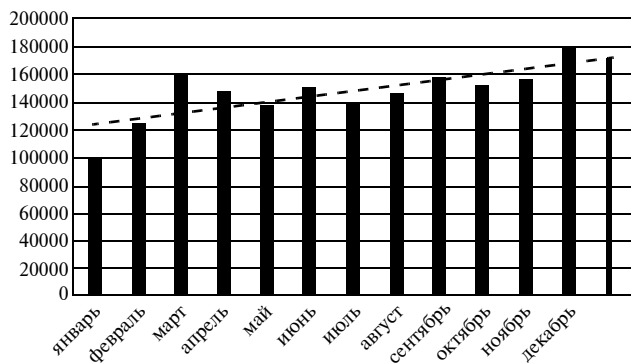


Рис. 2. Тренд продаж легковых автомобилей в 2019 году и на январь 2020 года

ем роста ставки НДС в 2019 г. с 18 до 20 % и введения в отношении РФ новых санкций.

Многие эксперты в 2018 г., делая прогноз продаж автомобилей в 2019 г., предполагали, что рост продаж существенно замедлится в связи с падением цены на нефть и снижением курса рубля по отношению к доллару. Однако, как показывает статистика продаж, такого сильного падения не произошло [9, 10]. Так, за первые шесть месяцев 2019 г. автомобилей было продано 775 тыс. шт., против 790 тыс. шт. за аналогичный период 2018 г., т.е. продажи сократились на 1,9 % [7]. Всего за 2018 г. было продано 1800,591 тыс. машин, а в 2019 г. — 1759,591 тыс., т.е. на 43,82 тыс. ед. меньше. Тем самым, снижение продаж составило порядка 2,4 % по отношению к предыдущему году. При этом наименьшее число проданных автомашин приходится на II и IV кварталы 2019 г. по сравнению с теми же кварталами 2018 г.

Оценивая в долгосрочной перспективе потенциал российского рынка в связи с низкой степенью обеспеченности населения автомобилями, солидным возрастом автопарка и развитием бизнеса кэптивных банков, можно утверждать, что рынок продолжит свой рост, и к 2021 г. число продаж автомобилей может превысить 2 млн единиц в год. И это подтверждается полученным нами трендом роста продаж, построенным на основе месячных продаж за 2019 год, взятых из [4] (рис. 2).

Темпы роста продаж определяются макроэкономическими факторами: обменным курсом рубля, инфляцией, ставками по автомобильным кредитам, ценами,

а также государственной политикой и уровнем поддержки автомобильной отрасли. Цены на автомобили и спрос на них, в свою очередь, будут значительно зависеть от перспектив индексации утилизационного сбора и государственных субсидий, компенсирующих инвестиции автопроизводителей в локализацию.

Несмотря на отмену в 2018 г. субсидирования процентных ставок по автомобильным кредитам, их доля в продаже легковых автомобилей в России осталась на уровне, сопоставимом с 2017 г. Сохранилась она и в 2019 г. Это объясняется также развитием кэптивных банков автопроизводителей. Так, по данным журнала "АвтоБизнесРевю" [1] в 2017 г. только два кэптивных банка автопроизводителей из семи, работающих в России, улучшили свои финансовые результаты, и это несмотря на общий рост в 22 % их совокупных активов. Это "РН Банк", динамика финансового результата которого составила 67 %, и "МС Банк Рус", у которого динамика результата — 51 %. У других банков динамика роста финансового результата отрицательная (рис. 3, а). В 2018 г. совокупные активы этих же банков выросли на 23 % [2]. У шести банков увеличилась и динамика финансовых результатов (рис. 3, б). Только у "РН Банка" она снизилась и составила –15 %, хотя объём его активов вырос на 19 %.

Снижение инфляции, а также ключевой ставки Центральным банком РФ в течение всего 2019 г. могло бы также снизить стоимость кредитов, что позволило бы увеличить продажи легковых автомашин в кредит. Но здесь существует другая проблема — это рост стоимости легковых автомобилей. Если обратиться к статистике изменения цены на легковые автомобили, то по данным агентства "Автостат" она выросла более чем на 70 % (рис. 4) и будет расти в последующие годы [6, 12]. Рост стоимости продолжится как за счёт существующей реальной инфляции, которая никуда не исчезнет, так и за счёт такого существенного фактора, как увеличения ставки НДС (с 18 до 20 %).

Как сильно будет меняться цена — прогнозировать сложно. Однако если посмотреть историю предыдущих периодов (см. рис. 4), то цены сильно росли в конце 2014 — начале 2015 гг., когда падение рубля было наиболее резким. Также ощутимое повышение цен происходило в первой половине 2016 г., а также стоимость автомобилей росла довольно заметно и в течение 2019 г., хотя официальная инфляция росла не так быстро.

На стоимость автомобилей может оказать влияние и изменение утилизационного сбора, повышение которого Правительство России утвердило с 1 января 2020 года. Так, для легковых автомобилей он увеличен в среднем на 110,7 %. При этом машины с двигателем до 1 л пострадали меньше, рост составил 46,1 %, а внедорожники и премиальные седаны с двигателем от 3,5 л — на 145 % [11, 13]. Предполагается, что продажи машин в рознице, например, для нелокализованных иномарок, увеличатся на ~4...6 %. В свою очередь и автодилеры вынуждены поднять цены, даже без учёта утилизационного сбора, для того, чтобы компенсировать снижение спроса. Однако, на наш взгляд, в условиях высокой конкуренции для сохранения доли

рынка и поддержания рентабельности дилерам необходимо трансформировать модель бизнеса: сделать упор на поддержанные автомобили, продажу финансовых продуктов, внедрение цифровых составляющих, например, онлайн продаж.

Из данных статистики нами была отобрана информация по средней стоимости автомобилей среднего класса, которая в последующем была использована в построении и исследовании аддитивной эконометрической модели.

Исследуя цены на автомобили с 2015 по 2019 г. (рис. 5), можно видеть, что в данном периоде времени максимальные цены были в I квартале 2018 г. (433 тыс. руб.), а минимальные — в I квартале 2015 г. (286 тыс. руб.). Заметим, цена по годам в отдельные периоды росла, хотя и медленно.

Также можно отметить, что цена имеет и сезонные колебания. Так, во II квартале каждого года наблюдается значительное её снижение, а затем, начиная со II по IV квартал, она возрастает. Следует отметить и сезонные колебания продаж автомобилей. То есть на-

блюдается взаимозависимость продаж автомобилей и цен на них.

Особое внимание следует уделить характеру размаха колебаний, который имеет более или менее постоянную величину по годам, и только в 2019 г. наблюдается его увеличение в соответствии с имеющимся трендом. Для выбранных данных была построена динамическая аддитивная модель, в которой значение переменной во времени наилучшим образом определяется через сложение отдельных её компонент.

Модель имеет вид:  $Y = T + S + E$ , где  $Y$  — определяемый фактор (цена автомобиля),  $T$  — трендовая составляющая,  $S$  — сезонная составляющая,  $E$  — случайная составляющая.

Для данной модели была проведена оценка сезонной компоненты путём нахождения централизованной скользящей средней и вычитания её значения из имеющейся цены за каждый квартал. Выполнен расчёт средней сезонной компоненты, скорректированных сезонных компонент, результаты расчётов которых приведены в таблице.

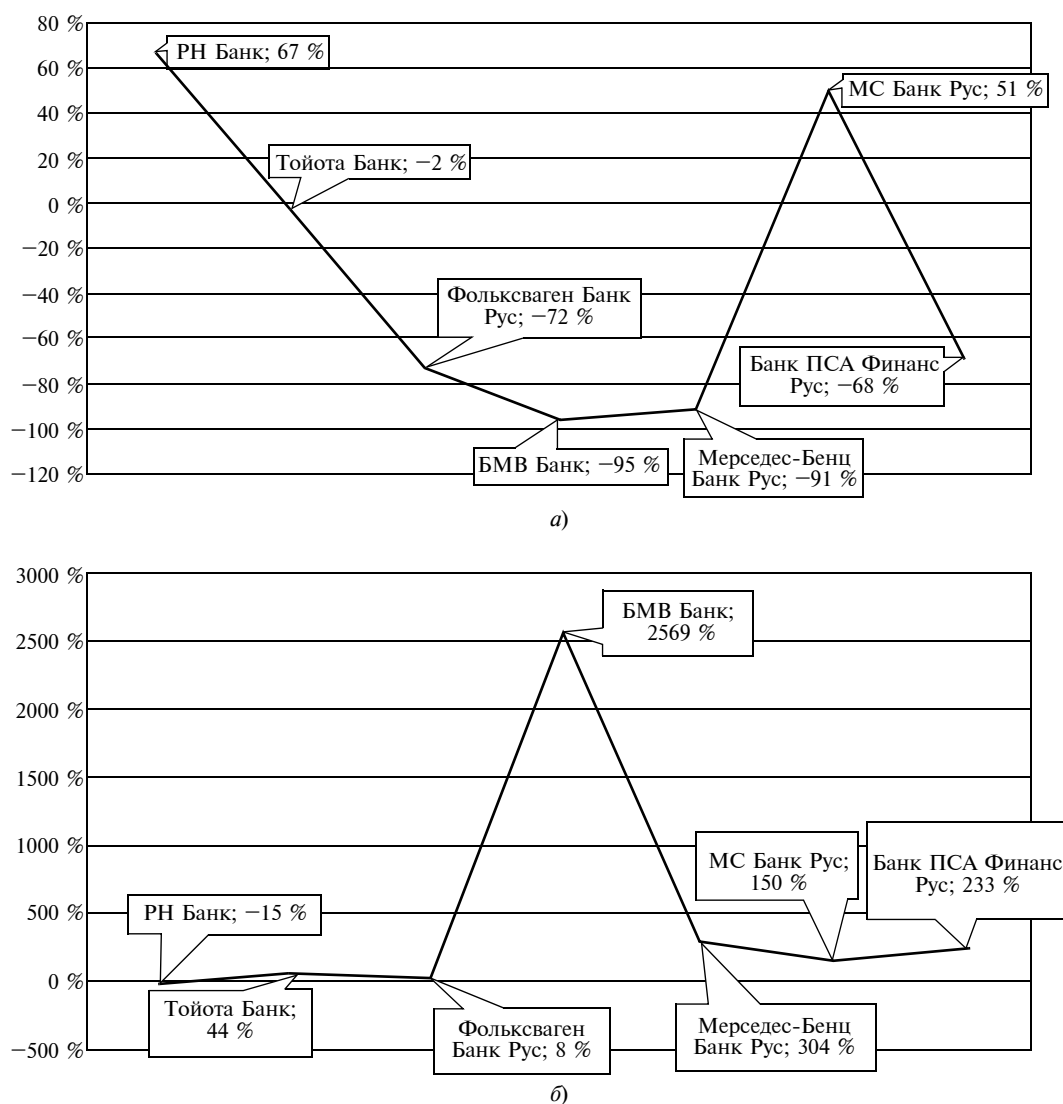


Рис. 3. Динамика изменения финансовых результатов клиентских банков России: а — в 2017 г.; б — в 2018 г.

Была проведена также десезонализация данных, и на основе полученного был рассчитан тренд с помощью функции "ТРЕНД" табличного процессора "MS Excel". В результате исследования была получена следующая регрессионная динамическая модель:  $Y = 319,61 + 4,74t$ .

Для наглядности исходные данные и полученный тренд изменения средней цены представлены на рис. 6. Можно заметить, что значения на графике нестабиль-

ны, цены то растут, то падают. Однако в последний период наблюдается очевидный рост средней цены.

Проведя проверку оценённых параметров модели по *t*-тесту и полученной регрессии по *F*-тесту, основываясь на их результатах, можно утверждать, что как параметры, так и сама регрессия статистически значимы. Полученная регрессия адекватна, а средняя ошибка аппроксимации составляет 5,5 %, что свидетельствует о её хорошем качестве.

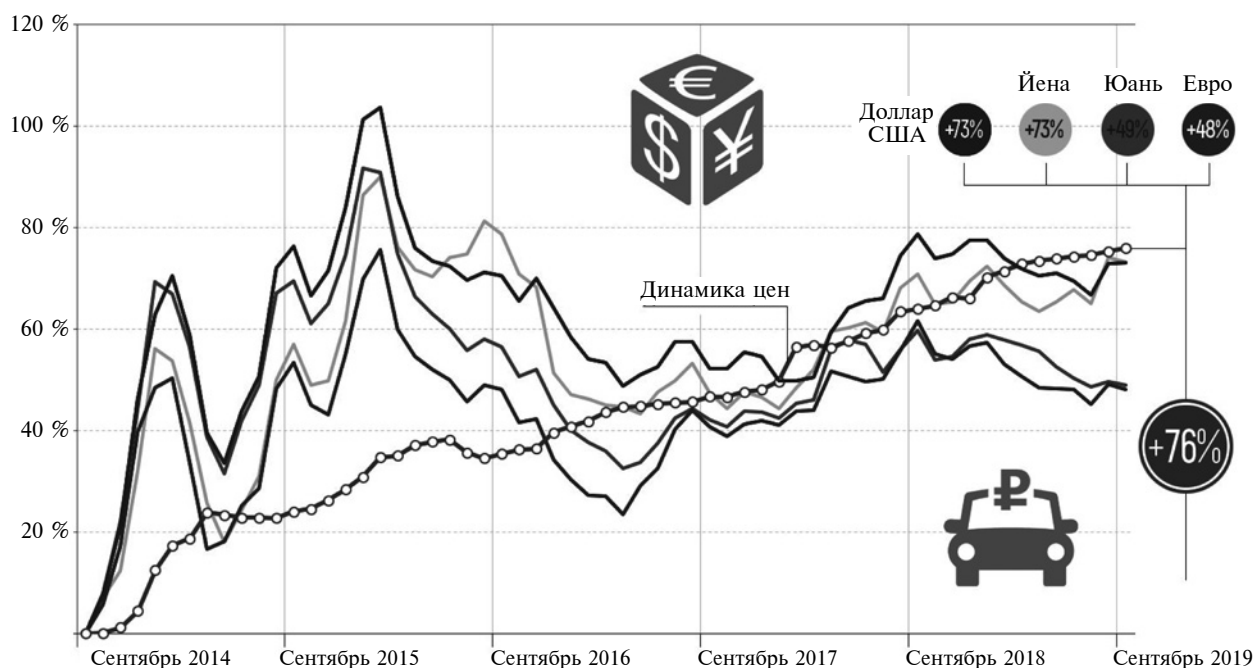


Рис. 4. Динамика роста цен новых автомобилей за период 2014–2019 гг.

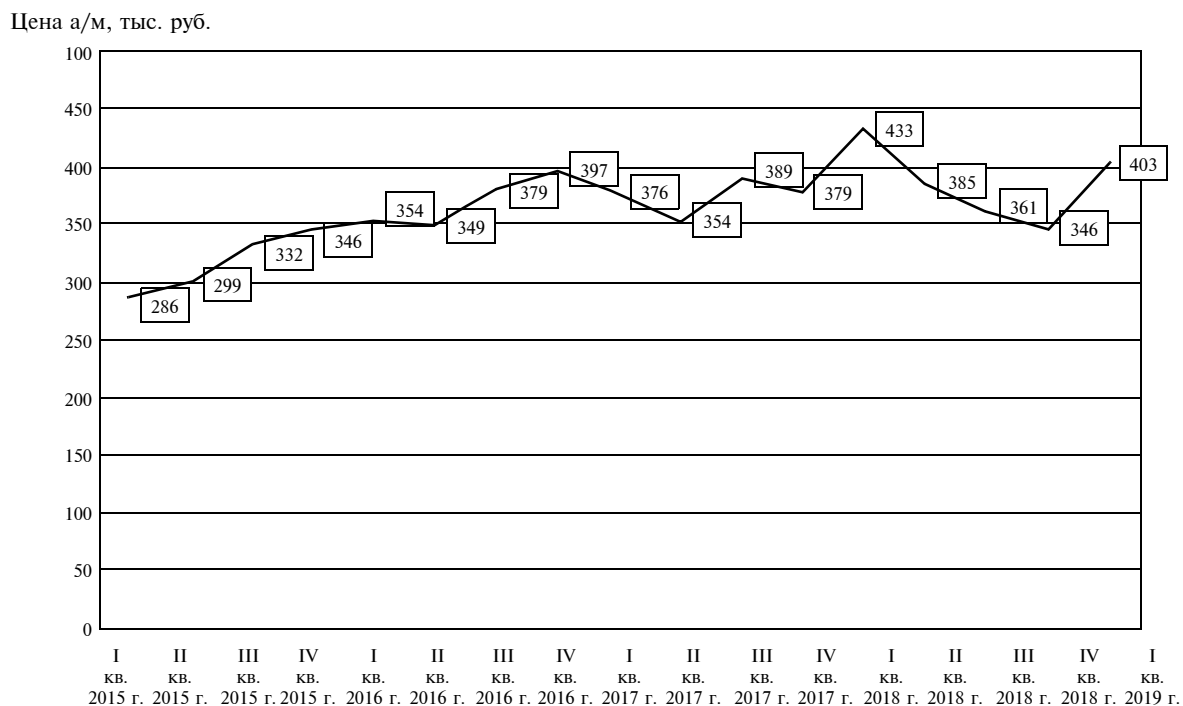


Рис. 5. Изменение цен на новые автомобили среднего класса по кварталам

Данная эконометрическая модель временного ряда может быть применена для прогнозирования средней цены продажи легковых автомобилей среднего класса.

Так как прогноз можно получить только на 25 % от числа заданных периодов, то для него были выбраны следующие четыре периода: со II по IV квартал 2019 г. и I кв. 2020 г. Полученные в результате применения данной модели прогнозы средней цены на автомобиль среднего класса составляют: I кв. 2019 г. — 389,45; III кв. 2019 г. — 410,08; IV кв. 2019 г. — 419,56; I кв. 2020 г. — 430,03.

Полученные в результате прогноза средние квартальные цены в 2019 г. соответствуют реально имеющейся тенденции их роста на автомобили среднего класса. Так, по данной динамической модели средняя цена за квартал увеличивается на 2...2,5 %, и такое изменение цен действительно происходит на рынке легковых автомобилей.

Из проведённого исследования видно, что цены на новые автомобили в России имеют тенденцию к непрерывному росту. На наш взгляд, это связано с тем, что после рецессии 2015 г. экономика России растёт третий год. Рост ВВП по итогам 2018 г. составил 2,0 % и сопровождался повышением реальной заработной платы, а также увеличением потребительского кредитования. Вместе с тем к концу 2018 г. усилилось инфляционное давление на экономику вследствие ослабления рубля, которое увеличилось в 2019 г. ввиду повышения ставки НДС до 20 %, а это привело к росту

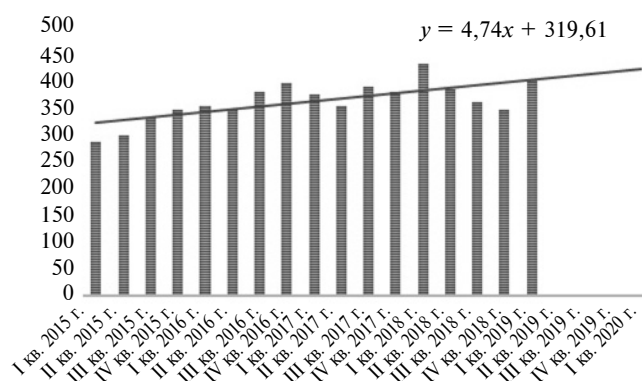


Рис. 6. Тренд изменения средней цены автомашин среднего класса

среднегодовой инфляции с 3,0 % в 2018 г. до 5,0 % в 2019 г. Несмотря на имевшийся спад в продажах автомашин в 2019 г., начавшийся в январе 2020 г. показал незначительный рост. При этом цены на автомобили тоже возросли. Эксперты и автодилеры прогнозируют в 2020 г. повышение розничных цен на новые легковые и коммерческие автомобили ориентировочно от 2 до 3 %. Так, например, компания "Вольво Кар Россия" уже в январе повысила розничные цены на свои автомобили на 1,1 %, а БМВ — на 2 %. Прогноз средней цены в квартал с применением полученной в результате исследования регрессии составляет порядка 2,4 %.

#### Литература

1. АвтоБизнесРевю. — URL: [https://abreview.ru/ab/news/finrezultat\\_uluchshili\\_dva\\_iz\\_semi\\_keptivnykh\\_bankov/](https://abreview.ru/ab/news/finrezultat_uluchshili_dva_iz_semi_keptivnykh_bankov/) (Дата обращения 24.02.2020).
2. АвтоБизнесРевю. — URL: [https://abreview.ru/ab/news/aktivny\\_dochernikh\\_bankov\\_kontsernov\\_pochti\\_300\\_mlrd/](https://abreview.ru/ab/news/aktivny_dochernikh_bankov_kontsernov_pochti_300_mlrd/) (Дата обращения 24.02.2020).
3. Богданов А.Л. Эконометрический анализ рынка автомобилей. Вестник Томского государственного университета, 2006. Т. 87. № 5. С. 56—62.
4. Владимирский И. Авторынок России: статистика десяти месяцев. — URL: <https://autoreview.ru/news/avtorynok-rossii-statistika-desyati-mesyacev> (Дата обращения: 10.02.2020).
5. Кухаренков А.В. Особенности развития автомобильного рынка России. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-razvitiya-avtomobilnogo-rynka-rossii> (Дата обращения: 10.02.2020).
6. Лобода В. Динамика средневзвешенной цены за последние 5 лет. — URL: <https://www.autostat.ru/infographics/39317/> (Дата обращения: 12.02.2020).
7. Малышев О., Синичкина В., Смищенко-Миронова А. Обзор автомобильного рынка России в 1-м полугодии 2019 г. и перспективы развития. Легковые автомобили: Спецвыпуск электромобили — РВС. Сентябрь, 2019. — 18 с.
8. Мокина А. Рынок автомобильной техники — итоги 2018 года // Автомобильный транспорт. 2019. № 2. С. 22—33.
9. Рейтинги продаж автомобилей в России в 2019—2020 годах. — URL: <http://serega.icnet.ru/cars-sales-actual-russia.html> (Дата обращения: 10.02.2020).
10. Томышев А., Архангельская О., Леонов П. и др. Автомобильный рынок России и СНГ: обзор отрасли, март 2019 года. Ernst & Young Global Limited, 2019. — 37 с.
11. Филяхов Р. Утильсбор удвоили: как вырастут цены на авто (ГАЗЕТА.RU). — URL: <https://www.gazeta.ru/business/2019/11/25/12831098.shtml> (Дата обращения: 14.02.2020).
12. Чернышёва В. За пять лет цены на автомобили в России выросли на 76 %. — URL: <https://rg.ru/2019/09/20/za-pyat-let-ceny-na-avtomobili-v-rossii-vyrosli-na-76.html> (Дата обращения: 12.02.2020).
13. Чириканова Е.А. Тенденции изменений утилизационного сбора // Автомобильная промышленность. 2018. № 2. С. 1—4.

Период	Цена автомобиля, тыс. руб.	Скользящая средняя 4/1	Централизованная скользящая средняя	Коэффициент сезонности
I кв. 2015 г.	286	—	—	1,02
II кв. 2015 г.	299	315,75	—	0,96
III кв. 2015 г.	332	332,75	324,25	1,00
IV кв. 2015 г.	346	345,25	339,00	1,01
I кв. 2016 г.	354	357,00	351,13	1,02
II кв. 2016 г.	349	369,75	363,38	0,96
III кв. 2016 г.	379	375,25	372,50	1,00
IV кв. 2016 г.	397	376,50	375,88	1,01
I кв. 2017 г.	376	379,00	377,75	1,02
II кв. 2017 г.	354	374,50	376,75	0,96
III кв. 2017 г.	389	388,75	381,63	1,00
IV кв. 2017 г.	379	396,50	392,63	1,01
I кв. 2018 г.	433	389,50	393,00	1,02
II кв. 2018 г.	385	381,25	385,38	0,96
III кв. 2018 г.	361	373,75	377,50	1,00
IV кв. 2018 г.	346	—	—	1,01
I кв. 2019 г.	403	—	—	1,02



УДК 629.113

## ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ НА ЕГО ТОПЛИВНУЮ ЭКОНОМИЧНОСТЬ

Д-р техн. наук ТАРАСИК В.П., канд. техн. наук ПУЗАНОВА О.В.

Белорусско-Российский университет (+375-222-253645)

E-mail: avtobru@gmail.com

*Предложена методика исследования и оценки топливной экономичности автомобиля и КПД его двигателя. Приведены результаты моделирования и анализа на установившихся режимах движения и при разгоне. Показано влияние нагрузки двигателя на путевой расход топлива.*

**Ключевые слова:** автомобиль, двигатель, трансмиссия, коробка передач, часовой, удельный и путевой расходы топлива, нагрузка и КПД двигателя.

Tarasik V.P., Puzanova O.V.

## EFFECT OF THE MOVEMENT MODE ON ITS FUEL ECONOMY

*Proposed method of investigation and evaluation of fuel economy of automobile and efficiency of its engine. The results of simulation and analysis at steady-state modes of movement and at acceleration are given. The effect of engine load on fuel consumption is indicated.*

**Keywords:** car, engine, transmission, gear box, hour, specific and traveling fuel consumption, loading and efficiency of the engine.

Топливная экономичность автомобиля зависит от множества факторов — конструктивных и эксплуатационных. Первые обусловлены степенью совершенства рабочих процессов двигателя и трансмиссии, оцениваемой их КПД, совершенством внешней формы автомобиля, формирующей потери на преодоление сопротивления воздуха, рациональностью использования полной массы автомобиля, оцениваемой коэффициентом удельной грузоподъёмности, параметрами и физическими свойствами материала шин, оказывающих влияние на сопротивление качению. Вторые — это: качество и состояние дорожного покрытия, ширина проезжей части и количество полос, погодные условия, время суток, дорожные ограничительные знаки, плотность транспортного потока и его структурный состав, скоростные режимы движения.

"Измерителем" топливной экономичности автомобиля принят расход топлива в литрах на 100 км пройденного пути — т.е. *путевой расход топлива*  $Q_s$ , л/(100 км), а обобщающим показателем — *сред-*

*ний путевой расход топлива*  $Q_{ср}$ , определяемый при нормальном эксплуатационном режиме движения в наиболее типичных для данного автомобиля дорожных условиях.

Ввиду большого разнообразия эксплуатационных условий работы автомобилей определение обобщающих показателей топливной экономичности представляет сложную и трудоёмкую задачу. Поэтому нормативными документами установлены частные оценочные параметры топливной экономичности, определяемые в конкретных дорожных условиях. Методики проведения испытаний по их определению изложены в ГОСТ 20306—90, ГОСТ Р 41.84—99, ГОСТ Р 41.101—99 и др.

Опыт эксплуатации автотранспортных средств показывает, что значительное влияние на расход топлива оказывают режимы движения, так как они определяют загрузку двигателя и рациональное использование его потенциальных свойств. Эффективность любого технического объекта, в том числе автомобиля и его двигателя, наиболее полно и однозначно может быть оценена величиной КПД. Поэтому при исследова-

нии топливной экономичности целесообразно анализировать затраты энергии на выполнение транспортной работы и оценивать КПД двигателя.

Исследования проведём на двух типовых примерах, используемых в теории движения автомобиля: на топливной характеристике установившегося движения  $Q_s = f(v)$  и характеристиках разгона  $v = f(t)$  и  $s = f(t)$ , получаемых на мерном участке в 2000 м по методике, предусмотренной ГОСТ 22576—90.

При построении топливной характеристики и характеристик разгона в качестве исходной информации об автомобиле используются внешние скоростные характеристики мощности двигателя  $P_e = f(n_d)$  и вращающего момента  $M_e = f(n_d)$ , а также топливные характеристики часового расхода топлива  $G_e = f(n_d)$  и удельного расхода  $g_e = f(n_d)$  в функции частоты вращения вала двигателя  $n_d$ , об/мин. Характеристики  $G_e$  и  $g_e$  соответствуют работе двигателя на ВСХ.

В качестве объекта исследования примем легковой автомобиль "Лада Веста": полная масса  $m_a = 1670$  кг; максимальная мощность двигателя  $P_{e\max} = 78$  кВт при частоте вращения  $n_p = 6000$  мин<sup>-1</sup>; максимальный момент  $M_{e\max} = 148$  Н·м при частоте вращения  $n_M = 4000$  мин<sup>-1</sup>; удельный расход топлива при максимальной мощности  $g_{ep} = 280$  г/(кВт·ч); передаточное число главной передачи  $u_0 = 4,2$ ; передаточные числа коробки передач  $u_{kpi} = (3,636; 1,950; 1,357; 0,941; 0,784)$ ; время переключения передачи  $t_{п} = 1$  с; радиус качения колеса  $r_k = 0,285$  м; лобовая площадь автомобиля  $A_l = 2,113$  м<sup>2</sup>; коэффициент сопротивления воздуха  $k_w = 0,2$  Н·с<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>; коэффициент сопротивления качению при малой скорости  $f_0 = 0,01$ .

На рис. 1, а приведены ВСХ двигателя  $P_e = f(n_d)$ ,  $M_e = f(n_d)$  и характеристика часового расхода топлива  $G_e = f(n_d)$ , а на рис. 1, б — удельного

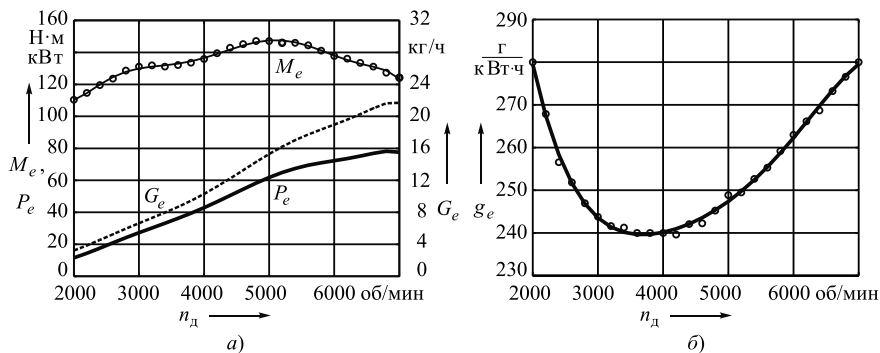


Рис. 1. Внешние скоростные характеристики двигателя (а) и характеристика удельного расхода топлива (б)

Таблица 1

№	Формула	Примечания
1	$M_e = M_P k_m (b_0 + b_1 E + b_2 E^2 + b_3 E^3 + b_4 E^4 + b_5 E^5 + b_6 E^6 + b_7 E^7)$	$b_0 = 2,59959; b_1 = -34,7994;$ $b_2 = 267,821; b_3 = -1014,878;$ $b_4 = 2116,415; b_5 = -2462,820;$ $b_6 = 1496,234; b_7 = -369,577$
2	$g_e = g_{eP} (b_{e0} + b_{e1} E + b_{e2} E^2 + b_{e3} E^3 + b_{e4} E^4 + b_{e5} E^5)$	$b_{e0} = 1,4638; b_{e1} = -4,5521;$ $b_{e2} = 13,5377; b_{e3} = -20,4324;$ $b_{e4} = 15,8788; b_{e5} = -4,8976$
3	$E = \omega_d / \omega_P = n_d / n_P$	—
4	$Q_s = \frac{100 G_T}{3,6 \nu \rho_T \cdot 10^{-3}}$	—
5	$G_T = g_d P_{д.н} \cdot 10^{-6}$	$P_{д.н}$ — мощность нагрузки двигателя, Вт
6	$P_{д.н} =  P_{в.о} + P_{тр} + P_{\psi} + P_w + P_j $	—
7	$g_d = g_e k_{И} k_E$	—
8	$G_T = G_e k_{И} k_E$	—
9	$k_{И} = a_0 + a_1 И + a_2 И^2$	$И$ — коэффициент использования мощности двигателя; значения коэффициентов $a_0, a_1, a_2$ — см. в табл. 2; $b_0 = 1,25; b_1 = -0,99; b_2 = 0,98; b_3 = -0,24.$
10	$k_E = b_0 + b_1 E + b_2 E^2 + b_3 E^3$	
11	$И = P_{д.н} / P_e$	—
12	$\eta_{д.и} = P_{д.н} / P_{тi}$	—
13	$P_{тi} = Q_{si} \rho_T C_T$	Для бензина $C_T = 45,5$ МДж/кг, для дизельного топлива $C_T = 43,5$ МДж/кг
14	$\eta_{д.к} = W_{м.к} / W_{т.к}$	—
15	$\frac{dv}{dt} = \frac{M_e u_{тр} \eta_{тр} / r_k - m_a g f_v - k_w A_l v^2}{\delta_{п.м} m_a}$ $\frac{ds}{dt} = v$ $\frac{dQ_s}{dt} = \frac{g_e M_e v u_{тр}}{3,6 \rho_T r_k \cdot 10^6}$ $\frac{dW_M}{dt} = P_e$	$v$ — скорость автомобиля, м/с; $f_v$ — коэффициент сопротивления качению; $s$ — перемещение автомобиля, м; $P_e = f(n_d)$ — мощность двигателя, кВт
16	$W_{т.к} = Q_{sk} \rho_T C_T$	—

расхода топлива  $g_e = f(n_d)$ . Реальные характеристики двигателя  $M_e = f(n_d)$  и  $g_e = f(n_d)$  отображены кружками.

При реализации моделирования необходимы непрерывные функции характеристик двигателя, которые получают посредством регрессионного анализа исходных данных. Уравнение регрессии вращающего момента представлено в виде полинома седьмого порядка (формула 1 в табл. 1), где  $M_P$  — момент двигателя, Н · м;  $E$  — коэффициент относительной угловой скорости (частоты вращения) вала двигателя;  $b_0, b_1, b_2, \dots, b_7$  — коэффициенты регрессии;  $k_m$  — параметр для изменения уровня номинальной мощности двигателя (например, для двигателя мощностью 90 кВт  $k_m = 1$ , а при мощности 78 кВт  $k_m = 0,86667$ ).

Характеристика удельного расхода топлива аппроксимирована полиномом пятого порядка (формула 2), где  $b_{e0}, b_{e1}, b_{e2}, \dots, b_{e5}$  — коэффициенты регрессии. Значение  $E$  определяет скоростной режим двигателя и вычисляется из соотношения 3, где  $\omega_d$  и  $n_d$  — угловая скорость и частота вращения двигателя на данном скоростном режиме соответственно;  $\omega_P, n_P$  — то же при максимальной мощности двигателя.

Проведём вначале оценку топливной экономичности автомобиля при установившихся режимах движения, для этого используем топливную характеристику  $Q_s = f(v)$ .

Путевой расход топлива  $Q_s$ , л/(100 км), определяется по формуле 4 [1], где  $G_T$  — часовой расход топлива двигателем, кг/ч;  $\nu$  — скорость автомобиля, м/с;  $\rho_T$  — плотность топлива, кг/м<sup>3</sup> (бензин 730 кг/м<sup>3</sup>; дизельное топливо 860 кг/м<sup>3</sup>).

Часовой расход топлива  $G_T$  связан с удельным расходом  $g_d$  на любом скоростном и нагрузочном режиме двигателя соотношением 5.

Мощность нагрузки двигателя  $P_{д.н}$  в общем случае определяется по формуле 6, где  $P_{в.о}$  — величина отбора мощности на привод вспомогательного оборудования двигателя;  $P_{тр}$  — мощность потерь в трансмиссии;  $P_{\psi}$  — мощность, затрачиваемая на преодоление дорожных сопротивлений (сопротивление качению и уклон дороги);  $P_w$  — мощность, затрачиваемая на преодоление сопро-

Двигатель	Эмпирические коэффициенты		
	$a_0$	$a_1$	$a_2$
ЗИЛ-431410	0,174	0,429	0,397
ЯМЗ-236 (238)	0,188	0,640	0,172
КамАЗ-740	0,234	0,461	0,305
Современные дизели	0,200	0,440	0,360

тивления воздуха;  $P_j$  — мощность сопротивления разгону (при равномерном движении с постоянной скоростью  $P_j = 0$ ). Составляющие выражения 6 находятся по известным формулам [1].

Значения  $G_T$  и  $g_d$  зависят от скоростного и нагрузочного режимов двигателя и вычисляются по формулам 7 и 8, где  $g_e$  и  $G_e$  — удельный и часовой расходы топлива при работе двигателя с полной нагрузкой на внешней скоростной характеристике (ВСХ);  $k_H$  и  $k_E$  — коэффициенты влияния уровня нагрузки и скоростного режима двигателя на удельный и часовой расходы топлива соответственно. Коэффициенты  $k_H$  и  $k_E$  определяются по эмпирическим формулам 9 и 10 [2, 3].

Коэффициент использования мощности двигателя  $\eta$  характеризует уровень нагрузки двигателя и равен отношению мощности нагрузки  $P_{д.н}$  к мощности двигателя  $P_e$  при работе его на ВСХ на данной частоте вращения вала двигателя  $n_{дi}$  (формула 11 в табл. 1).  $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2, b_3$  — эмпирические коэффициенты. Значения коэффициентов  $a_0, a_1, a_2$  для соответствующих двигателей приведены в табл. 2; коэффициенты формулы:  $b_0 = 1,25; b_1 = -0,99; b_2 = 0,98; b_3 = -0,24$ .

Предлагаемые формулы (4–11) позволяют построить топливную характеристику установившегося движения автомобиля  $Q_s = f(v)$ , определить значения путевого расхода топлива на всех передачах и оценить эффективность его использования посредством КПД двигателя.

Значение КПД двигателя на установившемся режиме при заданной постоянной скорости движения  $v_i = \text{const}$  равно отношению мощности нагрузки двигателя  $P_{д.нi}$  к мощности потока тепловой энергии сжигаемого топлива  $P_{Ti}$  (табл. 2).

Значение  $P_{Ti}$  зависит от расхода топлива  $Q_{si}$ , л/с, на данном режиме и находится по формуле 13, где  $C_T$  — теплотворная способность топлива.

Как сказано выше, нагрузка двигателя  $P_{д.н}$  находится по формуле 6, в которой при неустановившемся движении необходимо учитывать инерционную мощность  $P_j$ . Если разгон осуществляется с максимальной интенсивностью, как это предусмотрено ГОСТ 22576—90 при испытаниях по определению показателей тягово-скоростных свойств автомобиля, двигатель работает с полной нагрузкой, поэтому  $P_{д.н} = P_e$ , а значение расхода топлива постоянно. Поэтому КПД двигателя опре-

деляется за конечный интервал времени разгона  $t_k$ , учитывая при этом расход топлива  $Q_{ск}$ , использованную его тепловую энергию  $W_{Т.к}$  и выработанную двигателем механическую энергию  $W_{м.к}$ , а КПД вычисляется из соотношения 14.

Для определения параметров движения при разгоне автомобиля, расхода топлива и выработанной двигателем механической энергии используем систему дифференциальных уравнений 15, где  $f_v$  — коэффициент сопротивления качению, зависящий от скорости [1];  $P_e = f(n_d)$  — функция мощности двигателя при работе его по ВСХ.

Теперь, используя формулы 4–11, построим топливную характеристику установившихся режимов движения автомобиля  $Q_s = f(v)$  на всех передачах во всём диапазоне скоростей, а также графики, отображающие нагрузку двигателя, позволяющие оценить её влияние на расход топлива и эффективность его использования.

Характеристики мощности нагрузки двигателя  $P_{д.н}$  и её составляющих  $P_w, P_w, P_{тр}$ , а также мощности

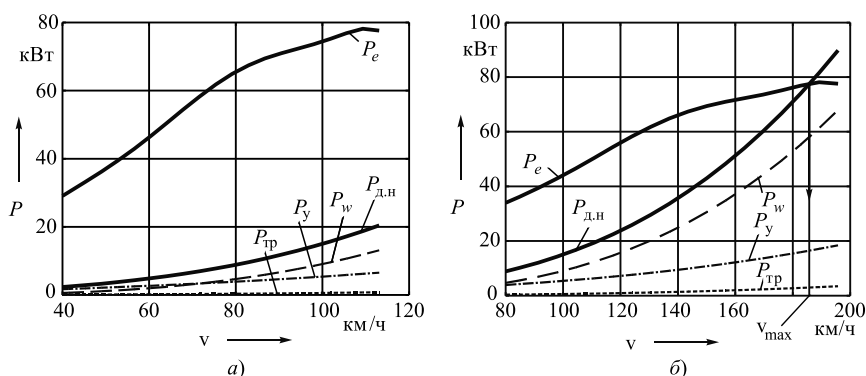


Рис. 2. Графики баланса мощности нагрузки двигателя на 3-й передаче (а) и на 5-й передаче (б)

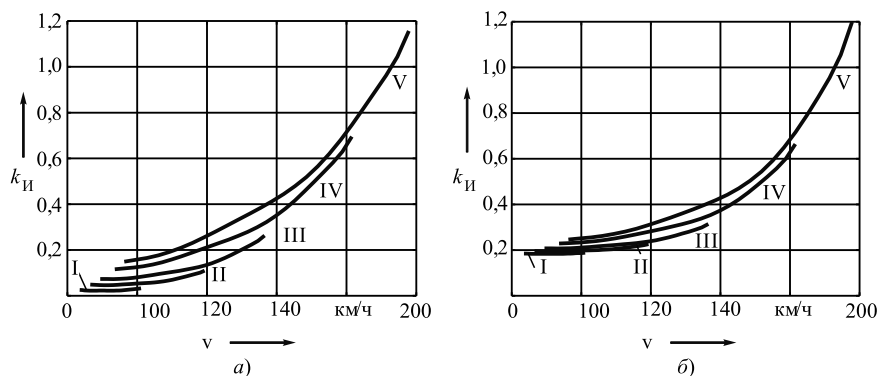


Рис. 3. Графики коэффициентов  $\eta$  (а) и  $k_H$  (б)



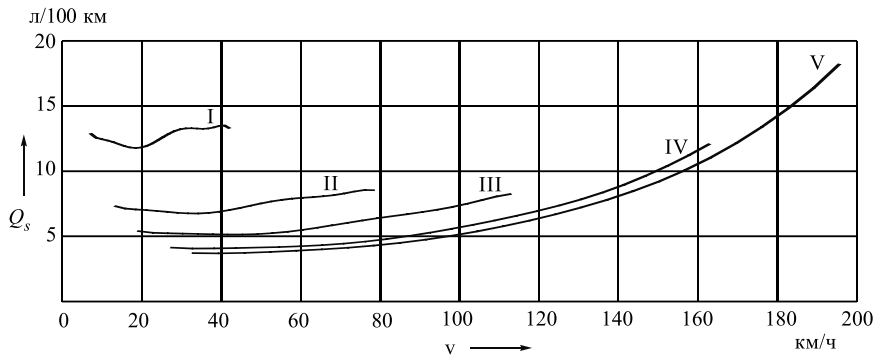


Рис. 4. Топливная характеристика установившегося движения автомобиля

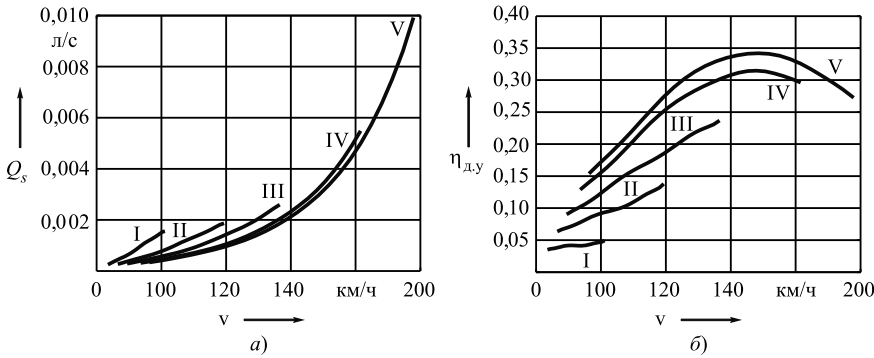


Рис. 5. Зависимости текущего расхода топлива (а) и КПД двигателя (б) от скорости на различных передачах

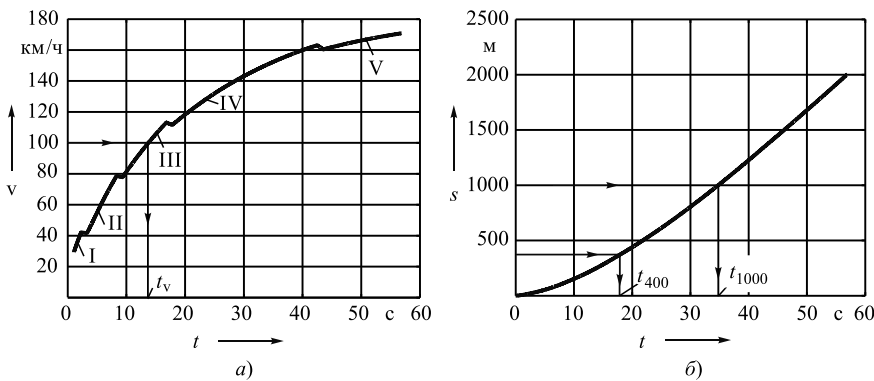


Рис. 6. Характеристики разгона автомобиля: а — изменение скорости; б — перемещение

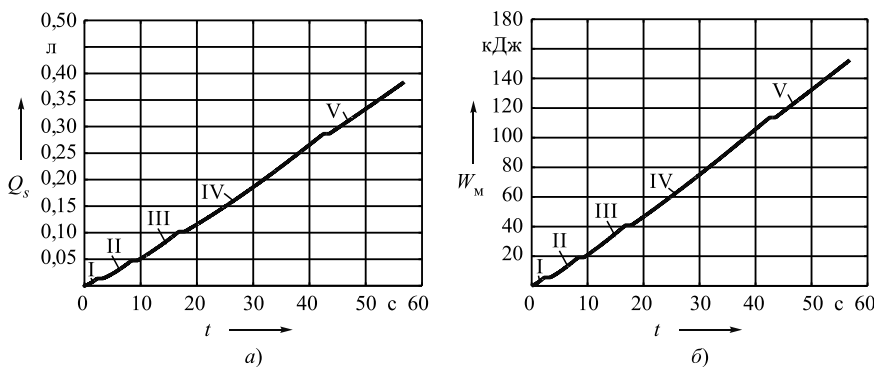


Рис. 7. Расход топлива (а) и реализация механической энергии двигателя (б) за время разгона автомобиля на участке пути 2000 м

двигателя  $P_e$  на 3-й и 5-й передачах в зависимости от скорости автомобиля  $v$  показаны на рис. 2. Чем выше номер передачи, тем в одних и тех же условиях больше нагрузка двигателя.

На рис. 3 изображены графики коэффициентов использования мощности  $\eta$  (а) и влияния уровня нагрузки  $k_H$  (б) на различных передачах и скоростях движения. Как видим, чем выше номер передачи и больше скорость автомобиля, тем полнее используется энергия двигателя.

Топливная характеристика автомобиля представлена на рис. 4. Очевидно, что с целью экономии топлива необходимо использовать в каждом конкретном случае возможную высшую передачу, так как при этом увеличивается нагрузка двигателя и наиболее рационально используется характеристика удельного расхода топлива.

На рис. 5 показаны характеристики текущего расхода топлива  $Q_s$  на различных передачах в зависимости от скорости автомобиля и соответствующие им характеристики КПД  $\eta_{д.у.}$ . Эти графики также подтверждают возможность обеспечить экономное расходование топлива, рационально используя передачи.

Рассмотрим характеристики, полученные на режиме разгона автомобиля на основе решения системы уравнений 15. На рис. 6, а изображены графики изменения скорости, а на рис. 6, б — перемещения автомобиля при последовательном переключении передач во время разгона. Энергия двигателя в этом случае используется полностью, поскольку он работает на ВСХ. На рис. 7, а представлен график изменения во времени расхода топлива  $Q_s$ , а на рис. 7, б — реализации механической энергии двигателя  $W_M$ . Горизонтальные ступеньки на этих графиках соответствуют времени переключения передач  $t_{п} = 1$  с, в течение которого расход топлива и энергия двигателя не учитывались.

При интенсивном разгоне с переключением передач согласно методике ГОСТ 22576–90 контрольный участок пути 2000 м преодолён за время  $t_k = 56,86$  с (см. рис. 6, б). Суммарный расход топлива при этом составил  $Q_{sk} = 0,3839$  л, а выработка

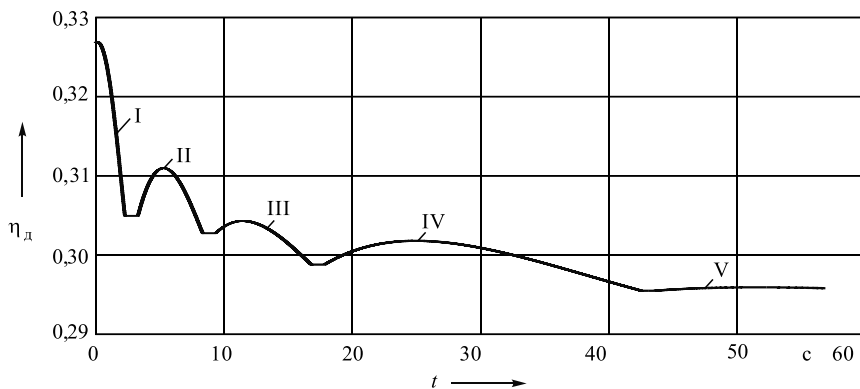


Рис. 8. Изменение КПД двигателя в процессе разгона автомобиля

энергии двигателя  $W_{м.к} = 3810$  кДж (см. рис. 7, а и б). Тепловую энергию затраченного на разгон топлива вычислим по формуле 16, а усред-

нённое значение КПД двигателя за время разгона — по формуле 14.

В результате получены следующие значения искомых параметров:

$W_{т.к} = 12751$  кДж;  $\eta_{д.к} = 0,299$ . Характер изменения во времени КПД двигателя  $\eta_d$  в процессе разгона автомобиля (рис. 8) обусловлен тем, что с увеличением скорости движения после переключения на высшие передачи интенсивность разгона падает, расход топлива возрастает и КПД снижается.

#### Литература

1. Тарасик В.П. Теория движения автомобиля: учебник для вузов / В.П. Тарасик. — СПб.: БХВ-Петербург, 2006. — 478 с.
2. Литвинов А.С. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств: учебник для вузов / А.С. Литвинов, Я.Е. Фаробин. М.: Машиностроение, 1989 — 240 с.
3. Гришкевич А.И. Автомобили. Теория: учебник для вузов / А.И. Гришкевич. — Минск: Выш. шк., 1986. 208 с.

УДК 629.113

## МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА РАБОТЫ КОМБИНИРОВАННОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ СПОРТИВНОГО АВТОМОБИЛЯ

Кандидаты техн. наук **ШАБАНОВ А.В.,**  
**БЕРНАЦКИЙ В.В.; СОКОЛОВ С.А.**

Центр испытаний НАМИ, Московский политехнический университет (МАМИ), МАДИ (ГТУ)  
(saaha-1955@mail.ru)

*Математическим моделированием рассмотрено применение комбинированной силовой установки на спортивном автомобиле в условиях гоночной трассы Подмосковного автодрома "Москоу Рейсвей". Выполнен расчёт зарядно-зарядной энергии от генератора на аккумуляторную батарею силовой установки гибридного автомобиля при его движении по спортивной трассе и выбор параметров батареи.*

**Ключевые слова:** спортивный автомобиль, комбинированная силовая установка, зарядно-зарядная энергия, аккумуляторная батарея, гоночная трасса.

### Shabanov A.V., Bernatsky V.V., Sokolov S.A. MODELING THE WORK ALGORITHM OF A HYBRID SPORTS CAR

*The use of a combined power plant on a sports car in the conditions of the race track of the Moscow Raceway near Moscow is considered by mathematical modeling. The calculation of the charge-charging energy from the generator to the battery of the power plant of a hybrid car while driving along a sports track and the choice of battery parameters are performed.*

**Keywords:** sports car, combined power plant, charging and charging energy, rechargeable battery, race track.

В настоящее время в автомобильном спорте начинают применяться комбинированные силовые установки, позволяющие улучшить динамику разгона автомобиля и его топливную экономичность, очень важную для длительных гонок, а также снизить вредные выбросы в отработавших газах. Электродвигатель си-

ловой установки, имея максимальный крутящий момент на низких частотах вращения вала, позволяет разгонять автомобиль с большим ускорением и обеспечивать ему более высокую скорость, чем традиционный ДВС. Максимальная мощность электродвигателя комбинированной силовой установки ограничена регламентом соревнований.

Цель данной работы — оценить влияние мощности электродвигателя спортивного автомобиля на его динамику и скорость при моделировании движения по гоночной трассе. Для этого использован широко применяющийся в настоящее время при разработке новых конструкций автомобилей метод компьютерного моделирования, который сокращает стоимость, сроки исследовательских работ и даёт большие возможности в выборе возможных вариантов уже применяемых и новых схем конструкций, а также алгоритмов работы силовых установок.

В качестве прототипа при моделировании движения по гоночной трассе был выбран автомобиль "Ауди RS3 LMS" класса "Туринг", который был создан в 2016 г. В гонках серии TCR данный автомобиль начал принимать участие с 2017 года. Его динамика характеризуется разгоном до 100 км за 4,5 секунд. В 2018 г. данный автомобиль признан лучшим автомобилем в категории TCR. Выходные параметры автомобиля-прототипа представлены в табл. 1.

При создании комбинированной силовой установки необходимо выбрать рациональные схему и размещение электроагрегатов на спортивном автомобиле. Особо следует сказать об одном из важнейших факторов, который определяет применение комбинированной силовой установки на спортивном автомобиле. У традиционного ДВС с турбокомпрессором в начальной фазе разгона при резком нажатии на педаль газа имеется задержка в динамике прироста мощности



Рис. 1. Автомобиль-прототип "Ауди RS3 LMS" на гоночной трассе

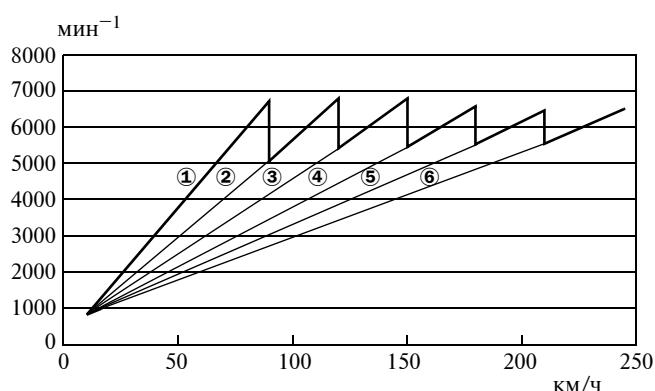


Рис. 2. Диапазон изменения частоты вращения коленчатого вала ДВС на участке разгона автомобиля при переключении передач

вследствие некоторой инерционности системы турбонаддува. Для исключения этого явления на автомобиле может быть предусмотрено использование электромашины, которая совмещает в себе две функции: электродвигателя и генератора, служащего для зарядки аккумуляторной батареи в процессе движения автомобиля по трассе. Электродвигатель, как известно, имеет максимальный крутящий момент при малых и средних частотах вращения вала ротора, благодаря чему обеспечиваются хорошие динамические характеристики на разгоне автомобиля.

На спортивном автомобиле можно использовать хорошо зарекомендовавшую себя схему последовательного типа с установкой электромашины у маховика ДВС. Эта схема обеспечивает одновременный привод на ведущие колёса от ДВС и от электрической машины, работающей в режиме тягового электродвигателя. В генераторном же режиме электромашина обеспечивает зарядку аккумуляторной батареи. Расчётным путем можно оптимизировать энергетические характеристики аккумуляторной батареи, алгоритм её зарядки, снизить её вес и тем самым минимизировать массу спортивного автомобиля.

На традиционных спортивных автомобилях с форсированным ДВС применяются как механические, так и автоматические коробки передач. Автоматика

включения передач даёт автомобилю динамичный старт и из-за отсутствия разрыва потока мощности обеспечивает плавное без рывков переключение передач. Интенсивный разгон обеспечивается в результате повышенной частоты вращения коленчатого вала двигателя и работы ДВС с полным открытием дросселя. Положительным фактором автоматической трансмиссии является также и то, что при достаточном запасе мощности ДВС и в условиях высокой скорости на трассе полностью исключается возможность ошибки в выборе передачи. При использовании же механической коробки включения "не той" передачи на большой скорости может привести к непредсказуемым последствиям. Поэтому эти положительные стороны автоматической коробки передач необходимо принимать во внимание. Однако при компьютерном моделировании расчёты проводились всё же со штатной механической шестиступенчатой коробкой передач, установленной на автомобиле "Ауди RS3 LMS".

Для обеспечения хорошей динамики спортивного автомобиля с механической коробкой передач необходимо правильно подобрать моменты переключения передач. Были рассчитаны несколько вариантов переключения исходя из скоростных характеристик двигателя. В одном варианте изменяемая при разгоне автомобиля частота вращения коленчатого вала ДВС находилась в диапазоне, определяемом номинальной мощностью ( $n = 6300 \text{ мин}^{-1}$ ) и максимальном крутящим моментом ( $n = 6300 \text{ мин}^{-1}$ ).

В другом, выбранном нами и наиболее динамичном алгоритме управления силовой установкой момент переключения передач выбран в точке достижения номинальной частоты вращения коленчатого вала и точке начала снижения мощности в 5 кВт по внешней скоростной характеристике ДВС ( $n = 5000 \text{ мин}^{-1}$ ). На рис. 2 показан частотный диапазон коленчатого вала ДВС при переключении передач на участке разгона автомобиля и представлен разгон автомобиля при переключении передач. На указанном диапазоне мощность ДВС составляла 250...245 кВт, а передаваемая на трансмиссию мощность электродвигателя в расчётах не превышала 60 кВт.

Таблица 1

Параметр	Автомобиль-прототип "Ауди RS3 LMS"
Масса автомобиля, кг	1280
ДВС	Бензиновый, 4-цилиндровый, $V_h = 1,98 \text{ см}^3$ , с турбонаддувом и непосредственным впрыском топлива
Максимальная мощность ДВС, кВт (л.с.)/при частоте, $\text{мин}^{-1}$	257 (350)/6300
Максимальный крутящий момент, Н·м/при частоте, $\text{мин}^{-1}$	430/3300
Максимальная скорость, км/ч	245
Время прохождения одного круга, с	41,7

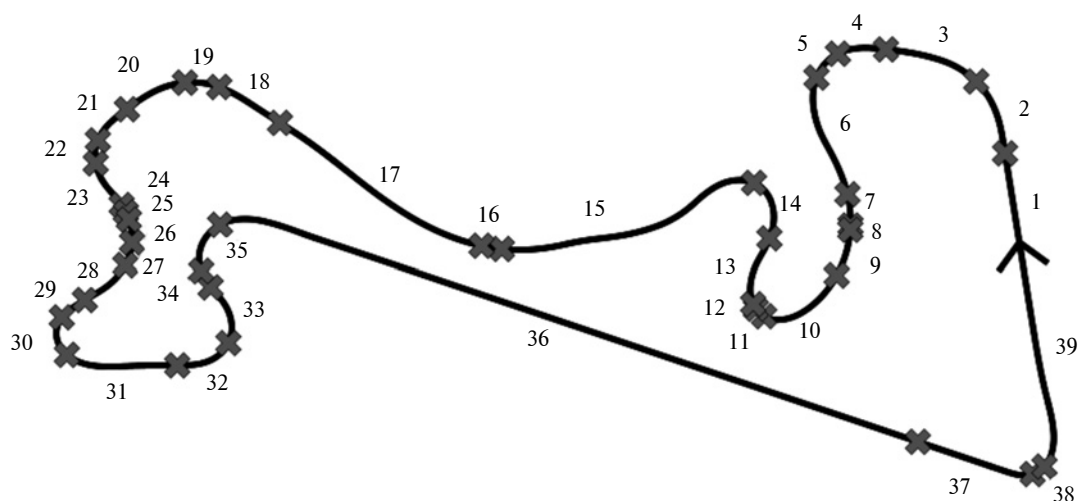


Рис. 3. Разбивка участков трассы при моделировании движения спортивного автомобиля

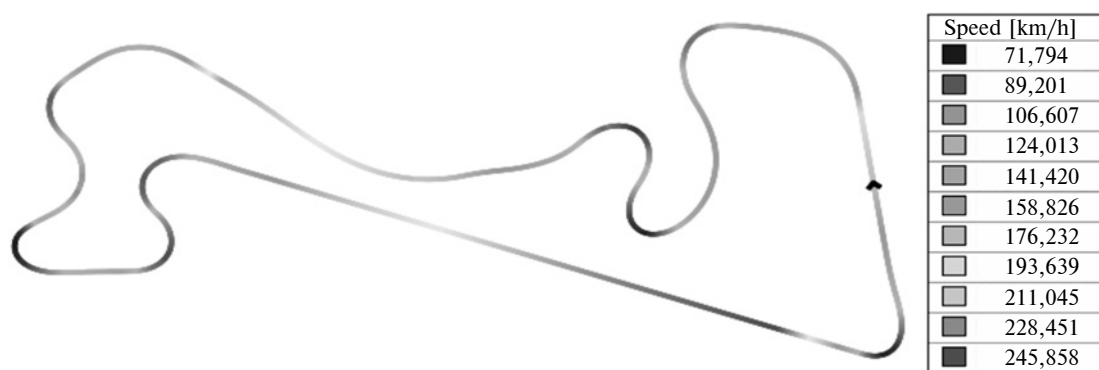


Рис. 4. Скоростные параметры движения участка автомобиля

Для моделирования алгоритма работы силовой установки была взята гоночная трасса "Москоу Рейсвей" подмосковного автодрома. Этот автодром предусматривает несколько вариантов трасс разной длины и конфигураций, из которых в расчёте была выбрана конфигурация наибольшей протяжённости — 3850 м. Данная гоночная трасса представляет собой серию скоростных участков разной длины и поворотов с различными радиусами, рассчитанными на движение с различными скоростями. Для выполнения процесса моделирования движения она была разбита на 39 участков.

На рис. 3 и 4 приведены схемы гоночной трассы и скорости движения, используемые при моделировании. (Оба рисунка продублированы в цвете на 3-й стр. обложки.) Самый длинный участок составлял 873 м. Число поворотов трассы — 13. Максимальная скорость, которая была достигнута на скоростном участке гоночной трассы на машине класса Формулы-1, составила 311 км/ч. Для автомобиля "Ауди RS3 LMS" она была ниже и составляла 245 км/ч. На трассе возможны экстренные торможения с ускорением до небольших скоростей 74...92 км/ч, которые позволяют безопасно проходить крутые повороты трассы.

Максимальную скорость в 245 км/ч автомобиль на гоночной трассе достигал на главной скоростной прямой участка № 36. Вход в поворот после скоростных

участков является наиболее опасным. В значительной степени успех его зависит не только от мастерства пилота, но и состояния трассы, т.е. от сцепления шин с дорожным покрытием, а также от работы системы торможения. При этом пилот должен находить нужную траекторию входа в поворот, и также выхода из него по предписанной трассой траектории. При хорошем сцеплении шин с дорожным покрытием и при правильно выбранной скорости занос автомобиля невозможен. На рассматриваемом участке-повороте № 38 основным фактором является погашенная при торможении автомобиля допустимая скорость, поэтому концентрация внимания пилота должна быть направлена на предотвращение опасности, возникающей от позднего торможения автомобиля движущегося к повороту. Накопленный опыт пилотов показывает, что наиболее опасным считается жёсткое торможение в конце скоростных участков. Также опасность представляют участки крутых поворотов с выходом на прямые участки.

Компьютерным моделированием предусматривалось торможение автомобиля с возможным максимальным замедлением  $15 \text{ м/с}^2$  для выхода его из скоростных участков трассы. Для эффективного торможения автомобиль оборудуется тормозной антиблокировочной системой, которая помогает автомобилю сохра-

нить управление в сложной ситуации крутых поворотов и торможений при больших скоростях движения. Лучшее сцепление колеса с дорожным покрытием происходит в режиме его качения. В режиме скольжения колёса блокируются, и коэффициент сцепления шин с дорожным покрытием при этом существенно меньше. Применяемая при торможении АБС удерживает колесо на грани блокировки и даёт водителю возможность маневрировать на трассе с сохранением управляемости автомобиля.

При расчётном моделировании рассматривалось движение автомобиля по гоночной трассе автомобиля на режимах: 1) разгон с 92 до 245 км/ч (участок № 36); 2) разгон с 74 до 210 км/ч (участок № 39 + 1); 3) движение с постоянной скоростью (участок № 5, № 9, № 30, № 35); 4) торможение (участок № 2, № 37).

Пилоту необходимо контролировать опасную ситуацию, которая может возникать при торможении автомобиля на повороте с отрывом одного колеса. АБС при этом может решить, что автомобиль при повороте попал в занос, и автомобиль при этом, если пилот это не учитывает, может произвольно изменить траекторию.

Следует сказать и о температурном факторе, действующем в трущейся паре тормозов, влияющем на торможение автомобиля и о возможном решении проблемы ухудшения эффективности торможения. Перегрев тормозов может происходить вследствие тормозных воздействий высокой интенсивности чередования торможений в условиях трассы. Тормоза разогреваются до 650 °С и их характеристики заметно ухудшаются, что приводит к увеличению тормозного пути. К концу гонки вследствие перегрева тормозов тормозной путь может увеличиваться по длине до 25 %. Для противодействия перегреву тормозных механизмов их размеры, а значит и площади поверхности охлаждения, стремятся увеличить. Также для эффективного рассеивания тепла и поддержания характеристик торможения дополнительно используются радиальные отверстия в тормозных дисках.

Радиальные отверстия не только помогают отводить тепло, но и препятствуют образованию на поверхностях дисков стеклообразной пленки, которая возникает при температурах ~800 °С, при интенсивном торможении автомобиля с замедлением 15 м/с<sup>2</sup>. За счёт перфорации дисков эта плёнка разрушается, а на тормозной колодке поддерживается необходимая чистота поверхности.

По установленным правилам гибридный режим на спортивном автомобиле можно использовать ограниченное время. На одном круге трассы время гибридного режима было принято 10 с (уч. № 36) и 8 с (уч. № 39). Скоростные участки, например № 39, дополнительно разбивались на этапы набора скорости, движения с постоянной скоростью и торможения, поэтому расчёты выполнялись для каждого этапа. Передаваемая на трансмиссию электродвигателем мощность на данных участках не превышала 60 кВт. Применение электродвигателя такой мощности позволило достичь при разгоне ускорения  $J = 8,0 \text{ м/с}^2$  на участках № 36 и № 39. Расчёты показывают, что без электро-

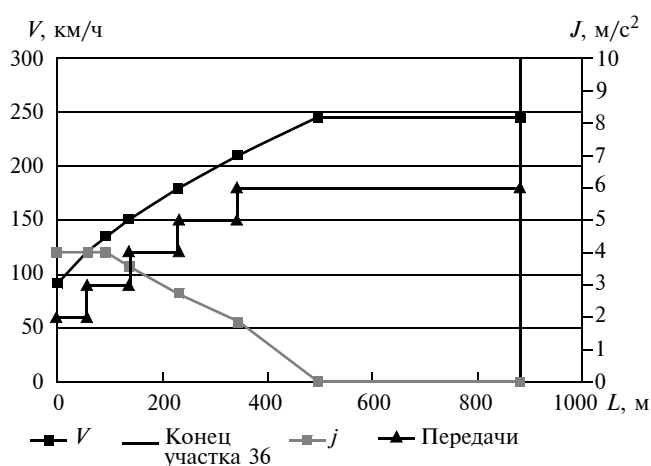


Рис. 5. Показатели скорости и ускорения автомобиля на разных передачах при движении традиционного спортивного автомобиля с ДВС на участке движения № 36

двигателя максимальная динамика разгона значительно ниже и составляет 4,5 м/с<sup>2</sup>.

Чтобы обеспечить наилучший по времени прохождения трассы результат, необходимо использовать все мощностные возможности силовой установки на скоростных участках трассы и достигнуть на них максимально возможной скорости. А подходу к повороту, своевременно затормаживать автомобиль до скорости, не допускающей увод автомобиля от траектории движения и его занос на повороте.

На рис. 5 рассмотрен результат моделирования движения на главном скоростном прямом участке № 36. На этом участке производится разгон автомобиля со скорости 92 до 245 км/ч. Максимальное ускорение на первой половине участка при использовании штатного ДВС может составить 4 м/с<sup>2</sup>. При этом максимальную скорость автомобиль может достигнуть на отметке 496 м. Вторую половину участка автомобиль движется с постоянной скоростью, переходя к торможению на участке № 37.

Формулы, использованные в расчётной программе для математического моделирования, приведены в табл. 2. Рассмотрим вариант использования гибридного режима на этом же участке № 36. Результаты расчёта параметров движения спортивного автомобиля с подключением электродвигателя представлены в табл. 3. Это значения мощности силовой установки и параметры сопротивления движению автомобиля. Мощность, как видим, возросла до 310 кВт, что позволило более динамично разогнать автомобиль до скорости 245 км/ч.

Результаты моделирования гибридного режима с комбинированной силовой установкой показаны также на рис. 6. Максимальное ускорение при использовании электродвигателя на участке составляло 8 м/с<sup>2</sup>. Максимальную скорость автомобиль достигал на отметке пути в 464 м. При этом при использовании электродвигателя максимальная скорость была достигнута на участке на 32 м раньше, чем при использовании только ДВС.

После набора скорости и движения автомобиля с максимальной скоростью на участке № 37 идёт про-

цесс торможения (табл. 4, рис. 7) для безопасного его входа в поворот. Скорость снизилась с 245 до 76 км/ч. В конце участка ускорение замедления падает с 15 м/с<sup>2</sup> до минимального значения и автомобиль движется с постоянной скоростью 76 км/ч.

После завершения торможения следовало движение с постоянной скоростью в поворотном участке № 38, далее на участке № 39 следовало ускорение автомобиля с 76 до 210 км/ч. На этом участке также требуется максимальная мощность силовой установки. Максимальная скорость при использовании электродвигателя на участке выросла со 196 до 210 км/ч. Максимальное ускорение на участке — 4,58 м/с<sup>2</sup>. Выигрыш по

Таблица 2

№	Параметр	Формула	Единица измерения
1	Скорость автомобиля	$V_a = \frac{0,377 r_k n_e}{i_0 i_{н.п}}$	Км/ч
2	Тяговая сила	$F_k = \frac{M_e i_0 i_{н.п} \eta_{тр}}{r_k}$	Н
3	Сила сопротивления качению	$F_f = G_a f_0 (1 + A_f V_a^2)$	Н
4	Сила сопротивления воздуха	$F_w = \frac{C_x \rho_e F V_a^2}{2 \cdot 3 \cdot 6^2}$	Н
5	Суммарная сила сопротивления движению	$F_{\Sigma} = F_f + F_w$	Н
6	Коэффициент сопротивления качению	$f = f_0 (1 + 4 \cdot 10^{-5} V_a^2)$	—
7	Время разгона	$t = \int_0^{0,9 V_{max}} \frac{1}{j_a} dV_a = \sum_0^{0,9 V_{max}} \frac{1}{j_a} \Delta V_a$	С
8	Путь разгона	$S = \int_0^{0,9 V_{max}} V_a dt = \sum_0^{0,9 V_{max}} V_a \Delta t$	М
9	Мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления качению	$N_f = F_f V_a$	Вт
10	Мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления воздуха	$N_w = F_w V_a$	Вт
11	Мощность, затрачиваемая на преодоление суммарного сопротивления	$N_w = F_w V_a$	Вт
12	Коэффициент учёта вращающихся масс	$\delta_j = 1 + \frac{I_3 t_0^2 \eta_{тр}}{G_a r_k^2} g + \frac{\sum I_k}{G_a r_k^2} g$	—

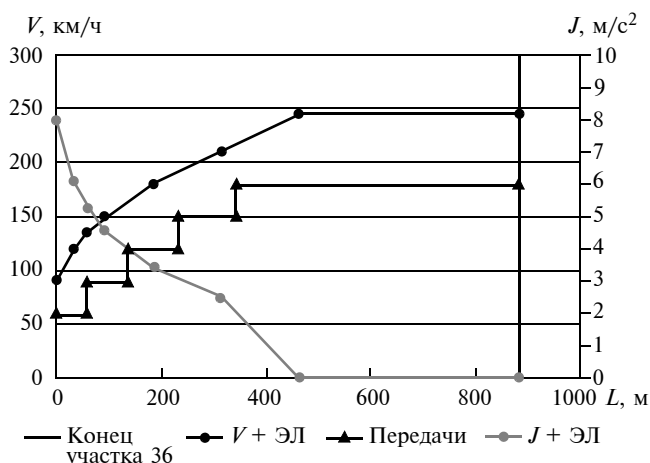


Рис. 6. Показатели скорости и ускорения автомобиля на разных передачах при движении спортивного автомобиля в гибридном режиме на участке движения № 36

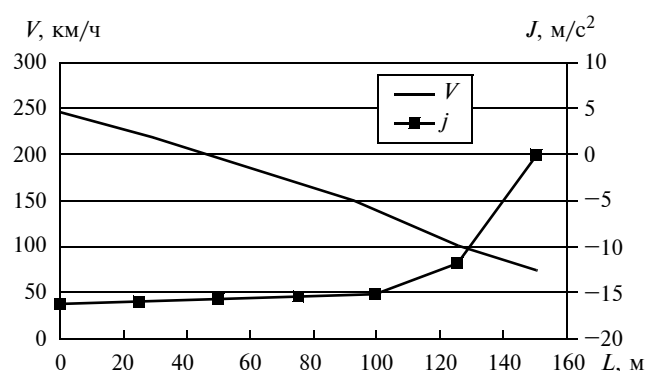


Рис. 7. Показатели скорости и ускорения автомобиля при торможении автомобиля на конечном участке движения № 37

пути достижения максимальной скорости на участке составил 22 м.

Результаты моделирования движения на участке 39 представлены в табл. 5: расчётные значения мощности, силы сопротивления движению, скорости движения автомобиля с использованием гибридного режима с электродвигателем мощностью 60 кВт. Суммарная номинальная мощность составила  $N_{к, max} = 310$  кВт.

На участке торможения № 2 (табл. 6) скорость снизилась с 210 до 122 км/ч. Максимальное ускорение торможения составило — 15,8 м/с<sup>2</sup>, что является допустимым значением для спортивного автомобиля.

Одной из задач при создании гибридного спортивного автомобиля является оптимизация энергетических характеристик аккумуляторной батареи, которая позволяет оптимально использовать зарядно-разрядный баланс энергии аккумуляторной батареи и снизить её массу. Зная зарядную мощность и общее время работы генератора, можно рассчитать необходимую ёмкость аккумуляторной батареи. Алгоритм работы силовой установки предусматривает заряд батареи на участках № 35, 30, 5, 9.

Для оценки необходимой ёмкости и мощности аккумуляторной батареи был сделан расчёт зарядной энергии от генератора при движении автомобиля на участке движения № 30 при зарядном времени

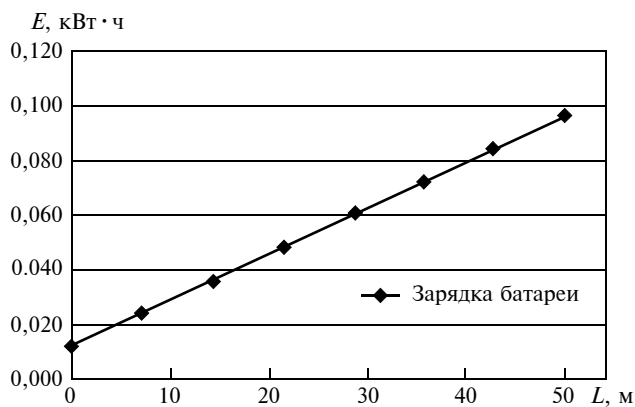


Рис. 8. Энергия заряда  $E_{\text{бат}}$  на участке № 30

$t = 9,93$  с:  $E_{\text{ак.б}} = N_{\text{ген}} t$ , кВт·с;  $E_{\text{ак.б}} = 9,93$  с · 60 кВт = 595,8 кВт·с. С учётом коэффициента перевода в других единицах:  $E_{\text{ак.б}} = 595,8/3600 = 0,16$  кВт·ч.

На участке № 35:  $E_{\text{ак.б}} = 8$  с · 60 кВт = 480 кВт·с. С учётом коэффициента перевода в других единицах:  $E_{\text{ак.б}} = 480/3600 = 0,13$  кВт·ч.

Общая энергия на двух участках от генератора:  $E_{\text{ак.б}\Sigma} = 0,29$  кВт·ч.

Общий КПД передачи энергии с учётом потерь на генераторе и инверторе-преобразователе:  $\eta_{\Sigma} = \eta_{\text{ген}} \eta_{\text{пр}} = 0,75 \cdot 0,8 = 0,6$ ;  $\eta_{\text{генер}} = 0,75$ ,  $\eta_{\text{пр}} = 0,8$ ,  $\eta_{\text{зар}} = 0,85$ .

Зарядная мощность от ДВС определялась как избыток мощности ДВС, работающего в режиме минимального эффективного расхода топлива и мощности, необходимой на движение автомобиля на выбранном режиме движения:  $\Delta N = N_{\text{ДВС}} - N_{\text{движ}}$ . Зарядная энергия от ДВС:  $\Delta E = \Delta N \Sigma t \eta_{\Sigma}$ , где:  $\eta_{\text{ген}} = 0,75$ ,  $\eta_{\text{пр}} = 0,8$ ,  $\eta_{\text{зар}} = 0,85$ . Общий КПД передачи зарядной энергии:  $\eta_{\Sigma} = \eta_{\text{ген}} \eta_{\text{пр}} = 0,75 \cdot 0,8 = 0,6$ . Мощность батареи:  $N_{\text{бат}} = \Delta N/t = 24,2$  кВт.

Изменение энергии заряда батареи  $E_{\text{бат}}$  на участке № 30 приведено на рис. 8.

При движении по трассе на один круг требуется 0,29 кВт·ч электрической энергии. На протяжённость гонки в 13 кругов требуется энергии 3,8 кВт·ч электрической энергии. Заряд и разряд батареи при прохождении всех участков трассы показан на рис. 9.

Таблица 3

$\Delta N_{\text{к}}$ , кВт	$N_{\text{к,мох}}$ , кВт	$N_{\text{дв}}$ , кВт	$M_{\text{к}}$ , Н·м	$M_{\text{к,мох}}$ , Н·м	$V$ , км/ч	$P_{\text{в}}$ , Н	$P_{\text{г}}$ , Н	$P_{\text{д}}$ , Н	$\Sigma P$ , Н
11,10	298,90	310	3500	548,10	92	186,3	245,4	10 680	11 112
1,72	308,28	310	2767	433,39	120	225,2	417,5	8143,5	8786
-0,03	310,03	310	2474	486,40	135	250,3	528,4	7075,5	7854
-0,14	310,14	310	2227	437,94	150	278,3	652,4	6141,0	7071
0,10	309,90	310	1854	449,91	180	343,1	939,4	4605,7	5888
0,79	309,21	310	1586	457,26	210	419,7	1278,7	3337,5	5035
—	162,21	310	713	238,93	245	524,0	1740,4	0	2264

Таблица 4

$L$ , м	0	25	50	75	100	125	150
$V$ , км/ч	245	223	199	172	140	100	75
$J$ , м/с <sup>2</sup>	-16,2	-15,9	-15,7	-15,5	-15,2	-11,8	0

Таблица 5

$\Delta N_{\text{к}}$ , кВт	$N_{\text{к,мох}}$ , кВт	$N_{\text{дв}}$ , кВт	$M_{\text{к}}$ , Н·м	$M_{\text{к,мох}}$ , Н·м	$V$ , км/ч	$P_{\text{в}}$ , Н	$P_{\text{г}}$ , Н	$P_{\text{д}}$ , Н	$\Sigma P$ , Н
68,5	241,4	310	3468	412,3	75	167,8	158,7	10 680	11 010
7,69	302,3	310	3502	548,4	93	187,6	234,8	10 680	11 118
1,18	308,8	310	2843	445,3	117	220,6	396,9	8410	9028
-0,97	310,9	310	2011	487,9	135	250,3	528,4	5607	6385
-0,13	310,1	310	2227	437,9	150	278,3	652,4	6141	7071
4,27	305,7	310	2020	490,1	163	304,9	770,3	5340	6415
-0,27	310,2	310	1932	468,7	173	326,9	867,8	4939	6134
0,06	309,9	310	1795	517,5	186	357,5	1003	4338	5699
1,91	308,0	310	1719	495,7	193	374,8	1080	4005	5459
0,10	309,9	310	1703	491,0	196	382,5	1113	3911	5407
0,79	309,2	310	1586	457,2	210	419,7	1278	3337	5035

С учётом полученных результатов выбрана литий-ионная батарея ёмкостью 1,5 кВт·ч, имеющая наименьшую массу среди применяемых батарей на серийных гибридных автомобилях. Для сравнения: зарядная мощность  $N_{\text{макс.бат}}$  аккумуляторной батареи автомобиля "Тойота Приус" составляет 27 кВт.

Таким образом, выполненные расчёты показали, что для динамичного движения автомобиля с ускорением в  $8 \text{ м/с}^2$ , мощности стандартного ДВС на выбранной гоночной трассе было недостаточно, в связи с этим в соответствии ТР проанализировано применение дополнительно на автомобиле электродвигателя с  $N_{\text{макс}} = 60 \text{ кВт}$ . Использование электродвигателя с  $N_{\text{макс}} = 60 \text{ кВт}$  позволяет на главном скоростном участке трассы увеличить автомобилю ускорение с 4,4 до  $8 \text{ м/с}^2$ . Максимальная скорость увеличилась на 14 км/ч, что обеспечило выигрыш в гонке расстояния в 416 м относительно аналога. Выполненный расчёт зарядной энергии от генератора на аккумуляторную батарею силовой установки гибридного автомобиля показал, что с учётом регламента для выбранной гоночной трассы достаточна литий-ионная батарея с наименьшей массой и ёмкостью 1,5 кВт·ч при зарядной мощности аккумуляторной батареи в 27 кВт.

Таблица 6

$L, \text{ м}$	0	14	27	41	55	68
$V, \text{ км/ч}$	210	196	182	168	157	149
$J, \text{ м/с}^2$	-15,8	-15,6	-15,5	-13,6	-9,3	-5,8

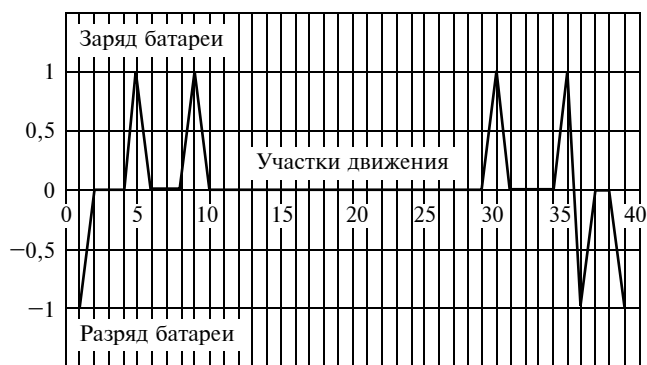


Рис. 9. Заряд батареи на участках № 5, 9, 30, 35 и разряд на № 36 и 39

Данную расчётную методику можно использовать для тестирования спортивных автомобилей (гибридов, электромобилей) применительно к различным гоночным трассам и типам спортивных автомобилей после соответствующей её доработки и адаптации.

#### Литература

1. Шабанов А.А., Шабанов А.В., Соколов С.А. К расчёту зарядно-разрядного баланса батареи силовой установки гибридного автомобиля и выбору её мощности // Труды НАМИ. — 2018. — № 4. — С. 38—47.
2. Шабанов А.В., Ломакин В.В., Соколов С.А. Выбор параметров и алгоритма работы силовой установки гибридных автомобилей с применением компьютерного моделирования // Сборник статей и докладов конференции МАНФ-2019, № 1092. С. 11.
3. Шабанов А.В., Енин А.А., Волков Д.В., Шабанов А.А. Расчётно-экспериментальный метод определения составляющих дорожной нагрузки при выборе мощности силовой установки автомобиля // Автомобильная промышленность. — 2018. — № 4. — С. 7—12.

УДК 027.5:004.032.26

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПНЕВМОКОЛЁС

Д-р техн. наук **ДЪЯКОВ И.Ф.**,  
канд. экон. наук **МОИСЕЕВ Ю.В.**

Ульяновский ГТУ, ЗАО "Система безопасности"  
(i.dyakov@ulstu.ru)

*Изложены вопросы проектирования пневмоколёс с использованием нейронной сети. Приведены критерии оптимальности и соответствующие ограничения применительно к шинам транспортных средств. При переходе к вязкоупругим изотопным материалам выбраны модули объёмной деформации. Описаны основные условия ограничения шины при использовании нейронной сети. Представлены архитектура многослойной нейронной сети и её основные расчётные уравнения для решения поставленной задачи. Приведены результаты исследования пневмоколёс автомобиля.*

**Ключевые слова:** оптимальный выбор параметров; транспортное средство; нейронная сеть; шина; математическая модель; условия ограничения; выходной сигнал; обучение.

### Dyakov I.F., Moiseev Yu.V. USING A NEURAL NETWORK WHEN DESIGNING PNEUMATIC WHEELS

*The article presents the issues of designing pneumatic wheels using neural network, the criteria of optimality and the corresponding restrictions in relation to the tires of vehicles. In the transition to vis-*

*coelastic isotopic materials, bulk deformation modules are chosen. The basic conditions of bus limitation when using a neural network are described. The architecture of a multilayer neural network and its basic computational equations for solving the problem are presented. The results of the study of pneumatic wheels.*

**Keywords:** optimal choice of parameters; vehicle; neural network; bus; mathematical model; constraint conditions; output signal; training.

При проектировании транспортных средств различного назначения сложным вопросом является выбор параметров пневматического колеса. Основные ошибки здесь связаны с невозможностью прогнозирования его свойств, оценки характеристик и эффективности в условиях эксплуатации. Пневмоколесо работает в сложных дорожных условиях, оно должно обеспечивать устойчивость движения, управляемость, тормозные свойства транспортного средства. Кроме того, на сопротивление качению колёс затрачивается 25—30 % энергии топлива [1—3]. То есть колесо должно по грузоподъёмности, долговечности, тяговым усилиям, боковым, окружным и угловым жёсткостям, минимальным сопротивлением качению и малым боковым уводам достаточно точно соответствовать условиям эксплуатации. Комплексный учёт этих свойств возможен на основе оптимального выбора параметров ши-



№	Формула	Примечание
1	$J(S) = \{k_n v_{cp} [q_H (k_\gamma \beta + \eta_\sigma) \psi] + 80z + F_B + F_J\} t_{дв} 2,723 \cdot 10^{-6} / \eta_{тр}$	$k_n$ — коэффициент пропорциональности; $v_{cp}$ — средняя скорость движения; $q_H$ — номинальная грузоподъёмность автомобиля; $k_\gamma, \beta$ — соответственно коэффициенты использования грузоподъёмности и пробега; $\psi$ — суммарные дорожные сопротивления движению; $z$ — число пассажиров, включая водителя; $F_B, F_J$ — соответственно аэродинамическая сила сопротивления и сила инерции; $t_{дв}$ — время движения; $\eta_{тр}$ — КПД трансмиссии
2	$R(S_{ш}) = J(S) q^m / Q_{пр} \cdot 10^3 \rightarrow \max$	$q$ — динамическая грузоподъёмность шины; $Q_{пр}$ — приведённая нагрузка; $m = 3$ — показатель степени
3	$\sum_{i=1}^k \delta R(S_{ш}) = \gamma J(S)$	$k_i$ — число режимов работы шины; $\gamma$ — относительная длительность работы шины на $i$ -м режиме, определяемая как отношение наработки автомобиля на $i$ -м режиме к его общей наработке
4	$f(ш) = \frac{(J_f + J_d + J_{тр} + J_{об}) \varphi_J}{\sum_{i=1}^k \delta R(S_{ш})} \rightarrow \min$	$J_d, J_f$ — потери механической энергии на сопротивление качению и боковой деформации; $J_{тр}$ — потери механической энергии на трение в зоне контакта шины с дорогой; $J_{об}$ — потери энергии на обжатие шины; $\varphi_J$ — коэффициент поглощения механической энергии
5	$T_o = \frac{(C_a + C_{кр})_c - (C_a + C_{кр})_{пр}}{C_{э(пр)} + C_{э(сy)}} \leq [T_o]$	$[T_o]$ — допустимый срок окупаемости шины
6	$T_o = \frac{(J(S)/q_H)_{сy} - (J(S)/m_a)_{пр}}{(P_e/m_a)_{пр} + (P_e/m_a)_{сy}} \leq [T_o]$	$(C_a + C_{кр})_{пр}$ и $(C_a + C_{сy})_{сy}$ — стоимость проектируемой и существующей конструкции пневмоколеса соответственно; $C_{э(сy)}, C_{э(пр)}$ — эксплуатационные затраты существующего и вновь проектируемого пневмоколеса соответственно; $m_a$ — масса транспортного средства; $P_e$ — эффективная мощность двигателя
7	$\vec{r}_1^0, \vec{r}_2^0, \vec{\xi} = \begin{vmatrix} \partial r_1 / \partial \alpha_1 & \partial r_2 / \partial \alpha_1 & \partial r_3 / \partial \alpha_1 \\ \partial r_1 / \partial \alpha_2 & \partial r_2 / \partial \alpha_2 & \partial r_3 / \partial \alpha_2 \\ u_1 & u_2 & u_3 \end{vmatrix}$	—
8	$k_{\phi_6} = \frac{\phi_{x_6}}{\phi_x} \leq [k_{\phi_6}]$	$\phi_{x_6}$ — коэффициент сцепления при полной блокировке колеса
9	$\delta_y = \delta_k \pm \frac{k_{нк}}{k_{yb}} \gamma_{ш} \leq [\delta_y]$	$k_{нк}$ — коэффициент сопротивления шины при наклоне относительно вертикальной оси; $k_{yb}$ — коэффициент сопротивления боковому уводу; $\delta_k$ — угол увода колеса; $[\delta_y]$ — допускаемый эквивалентный угол увода колеса; $\gamma_{ш}$ — угол наклона шкворня
10	$\frac{\partial(c_v \rho_M T)}{\partial t} = \nabla(\wedge \nabla T) + A(T) \leq \left[ \frac{\partial(c_v \rho_M T)}{\partial t} \right]$	$c_v$ — удельная теплоёмкость; $\rho_M$ — плотность материала; $T$ — температура в конкретной точке шины; $t$ — время нарастания температуры; $\nabla$ — дифференциальный оператор (оператор Гамильтона), определяется формулой № 11
11	$\nabla = d' \frac{\partial}{\partial x} + d' \frac{\partial}{\partial x} + d \frac{\partial}{\partial x}$	$\vec{d}'_j$ ( $j = 1, 2, 3$ ) — координаты орта; знак (') означает скалярное произведение; $x_i$ ( $i = 1, 2, 3$ ) — координаты исследуемой точки; $\wedge$ — тензор 2-го ранга для анизотропной среды, для изотропной среды — скаляр (коэффициент теплопроводности); $A(T)$ — интенсивность теплообразования, которую рассчитывают по напряжённо-деформированному состоянию, определённом решением упругой задачи, и динамическим характеристикам материала (плотность материала, удельная теплоёмкость, коэффициент теплопроводности, объёмная теплоёмкость, температуропроводность)
12	$A(T) = \int (\sigma_x \dot{\epsilon}_x + \sigma_y \dot{\epsilon}_y + \sigma_z \dot{\epsilon}_z + \tau_{xy} \dot{\gamma}_{xy} + \tau_{yz} \dot{\gamma}_{yz} + \tau_{zx} \dot{\gamma}_{zx}) dt$	$\dot{\epsilon}_i, \dot{\gamma}_{ij}$ — соответственно скорости деформации в трёхосном состоянии при нормальных, осевых и касательных напряжениях
13	$s = \sum_{i=1}^j w_j N_n + b_i$	$w_1, w_2, \dots, w_j$ — весовые коэффициенты; $b$ — постоянный коэффициент смещения одного показателя от другого
14	$y_i(s_i) = \begin{cases} 1 & \text{для } u \geq 0; \\ 0 & \text{для } u \leq 0 \end{cases}$	$s_i$ обозначен выходной сигнал сумматора
15	$\Delta \omega = -\dot{v} \frac{\partial \delta}{\partial \omega_{ij}^{(k)}}$	$\omega_{ij}^k$ — коэффициент синаптической связи $k$ -го нейрона от $i$ -го слоя к $j$ -му слою; $\dot{v}$ — коэффициент скорости обучения; $\delta$ — функция суммарной ошибки сети

ны при проектировании с использованием нейронных сетей.

Разработка оптимальной модели шины с разными параметрами — задача математическая [4]. Целью данной работы является уточнение параметров более совершенным методом оценки шины для транспортного средства, выбор критерия оптимальности с последующим анализом с использованием нейронных сетей и с последующим проведением стендовых испытаний [5] для получения единой обобщённой количественной оценки конструкции шины, связанной с наработкой автомобиля, которая влияет на ресурс шины, выраженный в кВт·ч, в виде уравнения № 1 (табл. 1).

Ресурс пневмоколеса зависит от степени износа протектора и усталостной долговечности [6], которые связаны с внешними силовыми факторами (величиной и характером нагрузки, скоростью движения, рабочей температурой), а также от динамической грузоподъёмности. Оценка конструкции пневмоколеса может быть многокритериальной. Одним из критериев оценки по ресурсу шины может быть выражение № 2. При наработке  $\delta R(S_{ш})$  пневмоколеса на  $i$ -м режиме имеет место более тесная корреляционная связь с энергозатратами при работе на всех режимах, которая выражается зависимостью № 3.

В связи с этим в качестве критерия оптимальности можно использовать отношение энергетических потерь пневмоколеса при движении к его ресурсу в виде формулы № 4. Критерием оценки может быть и срок окупаемости. Его можно выразить в стоимостных или абсолютных величинах № 5 или № 6.

Если срок окупаемости больше нормативного (в сфере эксплуатации), то выражение (3) реализуется в виде ограничений. Задача оптимизации состоит в том, чтобы из значений  $T_0$  или  $R(S_{ш})_i$  найти такие величины, при которых достигается наиболее рациональное сочетание затрат в сфере эксплуатации. Закономерность изменения удельных затрат, связанных с поддержанием работоспособности пневмоколеса в процессе эксплуатации, позволяет разрабатывать на основе экспериментальных данных, периодичности проведения технических воздействий, которые имеют первостепенное значение в обеспечении заданной надёжности, мероприятия по улучшению свойств шины [7–11].

Имея множества входных данных практически решить поставленную задачу трудно. Здесь уместно использовать обучаемые нейронные сети, состоящие из большого количества однотипных элементов (нейронов), соединённых между собой. Нейронная сеть — это группа алгоритмов, связанных между собой с контрольными примерами, извлекаемыми из неосознанных мыслительных процессов и скрытых слоёв закономерностей из потока данных. Первый слой нейронных сетей производственного сегмента представляет собой подсистему нейронной системы (рис. 1). Полученное множество векторов отражает совокупную характеристику всех однотипных параметров пневмоколеса. Однако такой вариант рассмотрения оптимизационного процесса не позволяет оценить шину или каждого производителя в целом. Дополним произ-

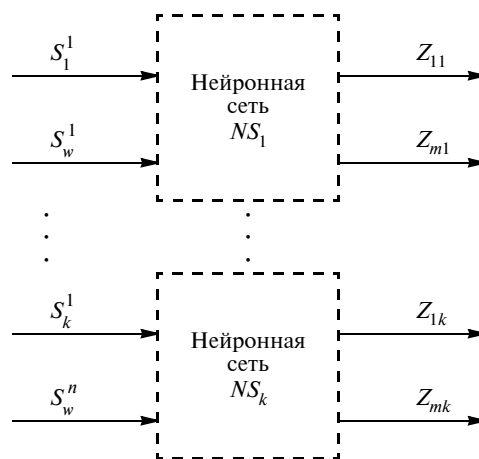


Рис. 1. Модель первого слоя нейронной сети

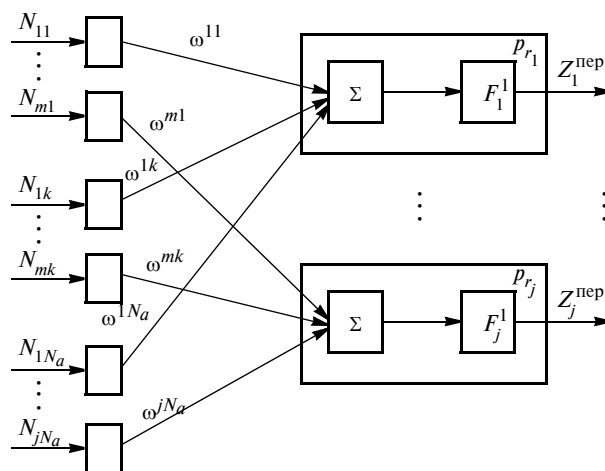


Рис. 2. Модель нейронной сети первого уровня для трёх моделей шин

водственную подсистему нейронной системы вторым слоем [12]. Причём этот слой должен обеспечивать независимое решение задачи с позиции общего состояния конкурентного процесса в целом на верхнем уровне и с позиции оценки каждой шины в отдельности на втором уровне.

Для решения поставленной задачи нейронные сети объединены в единую структуру. Как видно из рис. 2, одной нейронной сети недостаточно, поэтому предлагается создать нейронную систему, под которой будем понимать совокупность реально взаимосвязанных по выходам нейронных сетей первого уровня для нескольких моделей пневмоколёс. Слой состоит из  $n$  нейронов. Каждый нейрон этого слоя представляет собой параметр колеса  $p_{r_j}$ . Нейроны первого слоя получают входные сигналы, преобразуют их и через точки ветвления передают нейронам второго слоя. Далее работает второй слой и т. д. Каждый последующий слой связывает независимые нейронные сети предыдущего слоя системы в единую структуру. Задача слоя состоит в объединении отдельных характеристических признаков пневмоколеса. Следовательно, из  $R(S_{ш}) \times m$  характеристических величин  $T_0$  получаем  $m$  выходов со значением  $z_j^1$ . Причём  $z_j^1$  представляет собой взвешенную величину, которая учитывает другие парамет-

ры. Например, выбираем произвольный ряд из  $N = 18$  транспортных средств и разбиваем его на три выборки (обучающую, тестирующую и контрольную).

На первом этапе проектирования выбирается тип сети (её архитектура), на втором — подбираются параметры сети. Выбор типа сети — задача сложная и может быть решена различными типами нейронных сетей: многослойным перцептроном (*MLR*), радиально-базисной сетью (*RBF*), обобщённо-регрессионной сетью (*GRNN*), сетью Вольтерри и сетью Эльмана. Сеть Вольтерри — динамическая сеть для нелинейной обработки последовательности сигналов, задержанных относительно друг друга. Работа нейросети заключается в преобразовании входных векторов в выходные. Результат этого преобразования зависит от подобранных параметров сети — весов их взаимосвязей. Проверка меры согласованности значений весов проводится определением коэффициента корреляции  $r_i$  между двумя переменными параметрами в отдельности, затем они суммируются и выражаются в виде

$$w_i = r_{ij} / \sum_{i=1}^{j=m} w_{ij}, \text{ причём } \sum_{i=1}^m w_{ij} = 1, \text{ где } m \text{ — количество входных параметров (сигналов).}$$

Для оценки пневмоколеса по отдельным параметрам использованы эксплуатационные, потребительские свойства, а также активная и пассивная безопасности, относительно которых имеется высокая корреляционная связь. При проектировании пневмоколёс использованы следующие условия.

1. Интенсивность отказов шины не должна превышать  $\lambda_{J(S)_i} = \sum_{i=1}^n z_{отг_i} / J_{s_i} \leq [\lambda_{J(S)_i}]$ , где  $z_{отг}$  — количество отказов  $z_{отг}$  за рассматриваемый период наработки  $J_s$  в кВт·ч. Коэффициент корреляции между отказами и энергозатратами на выполнение транспортной работы для автомобилей ЗИЛ-433360 в среднем равен 0,73, КамАЗ-5320 — 0,75, УАЗ-3303 — 0,78, если взять километры пробега, то эта связь будет на 37 % меньше, в связи с этим принимаем кВт·ч. При эксплуатации на дорогах повышенной категорийности на 1 км автомобиль ЗИЛ затрачивает 0,165, КамАЗ-5329 — 0,234 и для УАЗ-3303 — 0,114 кВт·ч соответственно. Коэффициенты корреляции имеют разброс в пределах 10...15 %.

2. Удельный расход топлива в зависимости от скорости движения — минимальный и принято отношение  $\chi_{vi} = Q_{si} / J_{si} \rightarrow \min$ .

3. Усилие натяжения в нитях не должно превышать допустимого значения:  $N = p\pi(R^2 - r^2)/v \geq [N]$ , где  $p$  — внутреннее давление;  $R$  — радиус экватора оболочки;  $r_0$  — радиус параллели наиболее широкого места профиля;  $v$  — полное число нитей;  $[N]$  — допустимое усилие в нитях. Допустимое усилие натяжения в нитях имеет место на экваторе оболочки и вычисляется по выражению  $[N] = \frac{p\pi(R^2 - r^2)}{v \cos \varphi_k}$ , полученному из уравнения равновесия кругового кольца, где  $\varphi_k$  — угол рас-

положения нитей на экваторе, которое принимается в пределах 52—54° (значение его варьируется).

4. Изменение объёма при деформации шины должно быть представлено как интеграл по области между начальным (до деформации) и конечным (после деформации) положениям в декартовой системе координат:  $\Delta V = \iiint dx dy dz \leq [\Delta V]$ . Положение точки на оболочке в начальном состоянии определяют двумерной системой координат  $\alpha_1, \alpha_2$  и радиусом-вектором  $\vec{r}^0$ . Вектор перемещения точки  $\xi$  с координатами  $(u_1, u_2, u_3)$  соединяет два положения точки — начальное и конечное. Точкам вычисляемого объёма отвечают радиусы-векторы  $\vec{r} = \vec{r}^0 + \zeta \vec{\xi}$ , где  $\zeta$  — координата точки (варьируется от 0 до 1). По координатам  $\alpha_1, \alpha_2, \zeta$  вычисляют объём  $\Delta V = \iiint J(\alpha_1, \alpha_2, \zeta) d\alpha_1 d\alpha_2 d\zeta$ , где  $J(\alpha_1, \alpha_2, \zeta)$  — якобиан преобразования координат, равный смешанному (векторно-скалярному) произведению частных производных радиуса-вектора по координатам  $J(\alpha_1, \alpha_2, \zeta) = \vec{r}_1, \vec{r}_2, \vec{r}_3; \vec{r}_1 = \partial r / \partial \alpha_1, \vec{r}_2 = \partial r / \partial \alpha_2, \vec{r}_3 = \partial r / \partial \alpha_3$ . Дифференцируя радиус-вектор  $\vec{r}$  по координатам, подставляя производные в выражение якобиана преобразования координат и интегрируя по  $\zeta$  от 0 до 1, получим  $\Delta V = \iint (\vec{r}_1^0, \vec{r}_2^0 \vec{\xi} + 0,5 \vec{r}_1^0 \vec{\xi}_2 \vec{\xi} + 0,5 \vec{\xi}_1 \vec{r}_2^0 \vec{\xi} + 0,5 \vec{\xi}_1 \vec{\xi}_2 \vec{\xi}) d\alpha_1 d\alpha_3 \leq [\Delta V]$ , где интеграл вычисляется по поверхности оболочки в начальном состоянии. Смешанное произведение равно определителю, строки или столбцы которых есть компоненты векторов № 7. Остальные значения векторов вычисляются аналогично.

5. Продольная и крутильная жёсткости колеса должны быть больше допустимых ( $c_x \geq [c_1]$ ) и  $GJ_{kp} \geq [GJ_{kp}]$ . Важным условием ограничения шины является её радиальная жёсткость.

6. Коэффициент блокировки колеса должен быть меньше допустимого значения № 8.

7. Угол увода колеса должен быть меньше допустимого значения № 9.

8. Скорость распространения бегущей волны по беговой части должна быть меньше допустимой:  $v_{v_x} = \sqrt{F/m} \leq [v_{v_y}]$ , где  $F = (pb + m\omega^2)r$  — сила натяжения каркаса по окружности;  $pbr$  — сила натяжения от давления  $p$ ;  $b$  — ширина каркаса;  $m$  — масса на единицу длины;  $m\omega^2$  — центробежная сила;  $[v_{v_y}]$  — допустимая скорость распространения волны для боковой стенки.

9. Температурное поле шины должно удовлетворять минимальному значению № 10. Интенсивность теплообразования рассчитывают по напряжённому деформированному состоянию за цикл деформации как сумму (энергия всегда суммируется) шести интегралов № 12. Значения из множества весовых коэффициентов  $\omega_{ji}$  позволяют учесть влияние конструктивных параметров каждой шины на свои эксплуатационные свойства, если они для данной шины имеют различную значимость. Каждый нейрон представляет собой один из параметров шины  $N_N$ , которые приведены в

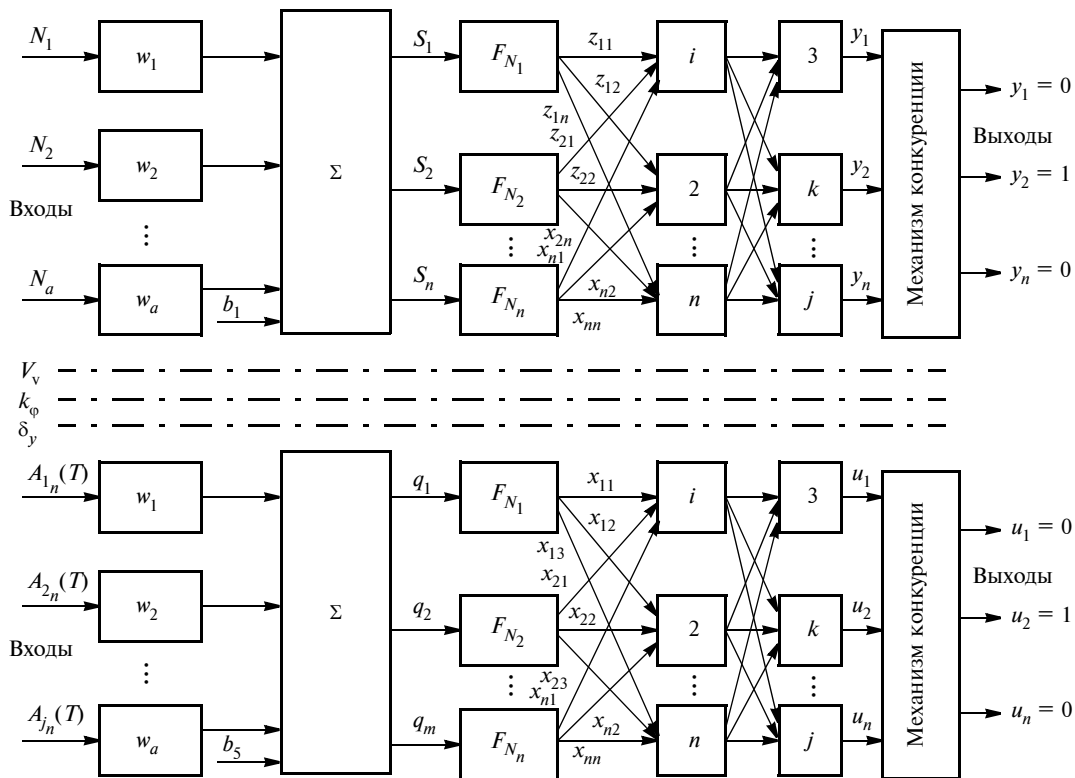


Рис. 3. Структурная схема уточнения параметров шины при проектировании в многослойном нейроне

относительных величинах, например, относительно её грузоподъёмности.

Таким образом,  $(u_i)$  выходов  $z_{N_i}^2$  являются характеристиками каждой шины, что соответствует решению выше поставленной цели. Для решения задачи с позиции общего состояния конкурентного процесса на рынке необходимо выполнить обобщение отдельных характеристических величин  $u_i$  для получения единого показателя, описывающего всю производственную систему в целом в виде стоимостного показателя (3).

Для этой цели необходим третий слой. Причём, стоимостной показатель можно формировать как на основе характеристики  $z_{1n}^{пер}$ , так и на основе  $y_{1n}^{втр}$  (рис. 3). Величина  $u_i$  является характеристикой состояния всего производственного сегмента, включая производственные затраты. Отношение всех затрат к производительности транспортного средства представляет собой критерий эффективности, который должен иметь минимальное значение.

Первая и последующие нейронные сети имеют  $n$  входов и, например,  $N_1, N_2, \dots, N_n$  выходов, а его математическая модель описывается соотношением № 13. Весовые коэффициенты входов сумматора, на которые поступают входные сигналы  $N_j$  ( $j = 1, 2, \dots, k$ ) суммируются с учётом соответствующих весов  $w_{ji}$  (сигнал поступает в направлении от узла  $j$  к узлу  $i$ ) в сумматоре, после чего результат сравнивается с пороговым значением  $[w_{i0}]$ . Выходной сигнал нейрона  $u_i$  определится

при этом зависимостью  $u_i = f\left(\sum_{j=1}^n w_{ji}N_j(n) + [w_{i0}]\right)$ , где  $n$  — номер предыдущего цикла.

Аргументом функции выступает суммарный сигнал  $u_j$ , его называют функцией активации. Нелинейная функция активации представляет собой дискретную функцию ступенчатого типа, вследствие чего выходной сигнал нейрона может принимать только два значения 0 или 1 в соответствии с правилом в виде № 14.

Главная функция нейрона — формировать выходной сигнал в зависимости от сигналов, поступающих на его входы. Каждый нейрон в нейронной сети осуществляет преобразование входных сигналов в выходной сигнал и связан с другими нейронами. Входные нейроны формируют так называемый интерфейс нейронной сети. Существует большое число алгоритмов обучения, ориентированных на решение разных задач. Среди них выделяют алгоритм обратного распространения ошибки, который является одним из наиболее успешных современных алгоритмов. Его основная идея заключается в том, что изменение веса происходит с учётом локального градиента функции ошибки. Для увеличения или уменьшения активности данного нейрона другими нейронами существуют так называемые синапсы. Если синапс является возбуждающим, то величина активности нейрона увеличивает активность нейрона получателя. Если синапс является тормозящим, то величина активности нейрона-отправителя уменьшает активность нейрона-получателя. Синапсы различаются не только по признаку торможения, но и по суммарному воздействию.

Информация вводится в нейронную сеть через входные слои. Они бывают однослойные и многослойные. Все слои нейронной сети обрабатывают сигналы до тех пор, пока они не достигнут выходного слоя.

Задача нейронной сети — преобразование информации требуемым образом. Для этого сеть предварительно обучается. При обучении используются идеальные (эталонные) значения пар "входы—выходы" или учитель, который оценивает поведение нейронной сети. Учитель — это либо математическая функция, либо лицо, которое оценивает качество поведения нейронной сети. Поскольку нейронные сети в основном используются в сложных расчётах, где нет хороших математических моделей, то обучение проводится с помощью обучающей выборки (обучающий алгоритм) по шагам, т.е. эталонных пар "входы—выходы".

*Первый шаг* при использовании нейронной сети состоит в её обучении решаемому результату. Это — фаза обучения. В результате обучения нейронная сеть будет вычислять сигналы, близкие к эталонным данным при соответствующих входных сигналах. В качестве первоначального выбора значений весов используются случайные значения. На вход нейрона подаётся обучающий вектор и рассчитывается значение выходного сигнала  $y_i$ . По результатам сравнения фактически полученного значения  $y_i$  с заданным ожидаемым значением  $[N_i]$  уточняются значения весов.

*Второй шаг*, если выходное значение  $y_i$  совпадает с ожидаемым значением  $[N_i]$ , то весовые коэффициенты  $w_{ji}$  не изменяются.

*Третий шаг*, если  $y_i = 0$ , а значение  $[N_i] = 1$ , то значения весов уточняются в соответствии с формулой  $w_{ji}(n + 1) = w_{ji}(n) + N_i$ , где  $n$  обозначает номер предыдущего цикла,  $(n + 1)$  — номер текущего цикла.

*Четвёртый шаг*, если  $y_i = 1$ , а значение  $[N_i] = 0$ , то значения весов уточняются по формуле  $w_{ji}(n + 1) = w_{ji}(n) - N_i$ . По завершении уточнения весовых коэффициентов представляется очередной обучающий вектор  $N$  и связанное с ним значение  $[N_i]$ , после чего значения весов уточняются заново. Этот итерационный процесс повторяется многократно на всех обучающих выборках, пока не будут максимизированы различия между всеми значениями  $y_i$  и соответствующими им ожидаемыми идеальными значениями.

Для успешного обучения сети требуется приблизить выход сети к оптимальному выходу, т.е. последовательно уменьшать величину функции ошибки. Это достигается настройкой межнейронных связей. Каждый нейрон в сети имеет свои веса, которые настраиваются, чтобы уменьшить величину функции ошибки.

Импульсы, поступившие к нейрону одновременно по нескольким дендритам, суммируются. Если суммарный импульс превышает некоторый порог, нейрон возбуждается, формирует собственный импульс и передаёт его далее по аксону. Веса синапсов могут изменяться со временем, значит, меняется и поведение соответствующего нейрона. В итоге каждый нейрон способен определить вклад каждого своего веса в суммарную ошибку сети. Весовые коэффициенты меняются при передаче от слоя к слою по формуле № 15.

Анализ данных, основанный на нейронной сети, может работать только с числовыми данными, отсюда следует необходимость преобразования символьных данных в числовые. Программа реализация состоит из двух головных программ. Первая используется для

обучения нейронной сети. В результате её работы формируется таблица весовых коэффициентов. Вторая программа запускается для оценки качества сформированной нейронной сети.

Простейший способ заключается в создании таблицы соответствий между символьными и числовыми данными. Для расчёта характеристик шины принимаем 10 диапазонов (табл. 2). В пустые клетки вставляются нули. В строчной форме производится запись в следующем виде:

$$y_i = 1100000000*0110000000*0011000000*0001100000*0000110000*000001100*00000001100*000000110*0000000011,$$

где символ "\*" использован в качестве разделителя между строками.

Таким образом, на вход нейрона поступает множество сигналов в виде приведённого выражения, каждый из которых является векторной величиной. Сигнал каждого входа умножается на соответствующий вес, аналогичный соответствующей синаптической силе. Все произведения суммируются, определяя уровень активации нейрона. Для повышения точности прогноза производится предварительная (предпроцессорная) обработка информации. Такая обработка сводится к масштабированию значений отсчётов с целью их сведения в единый диапазон.

При ограничении числа нейронов возрастает ошибка сети. Это может потребовать её периодического переобучения. Нейросеть со скрытым слоем обладает лучшей способностью к обобщению при ограниченном числе нейронов, но процесс её обучения становится сложнее. Нейроны внутренних слоев, которые связаны с выходами, имеющими большую погрешность, должны изменять свои веса значительно сильнее, чем нейроны, соединённые с корректными выходами. Следовательно, веса данного нейрона должны изменяться прямо пропорционально ошибке тех нейронов, с которыми данный нейрон связан.

Если функция ошибки прямо пропорциональна квадрату разности между допускаемым показателем и действительными выходами, то для всей обучающей выборки используют выражение  $\delta_{h\sigma} = \frac{1}{2} \sum_j (y_i^k - |N_i^k|)^2$ .

Множитель 1/2 вводится для упрощения операции дифференцирования.

Таблица 2

1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

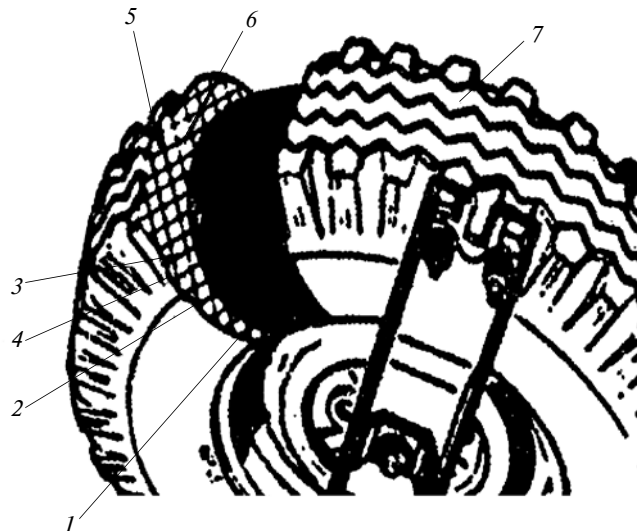
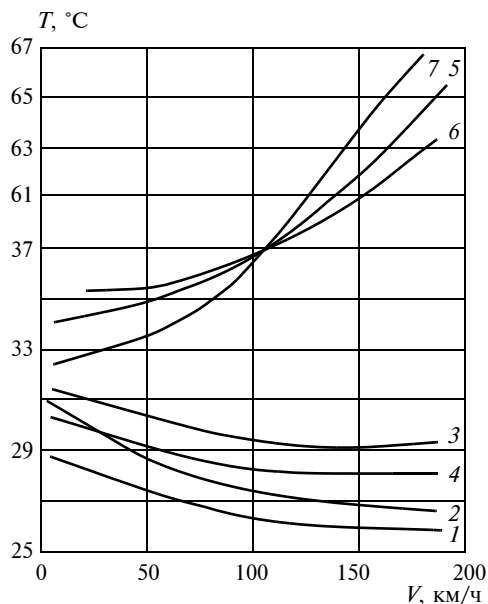


Рис. 4. Влияние скорости движения на распределение температур в шине: 1—7 контрольные точки замера температуры

Алгоритм обучения, работа которого является итеративной, его шаги называют эпохами или циклами, состоит в следующем.

1. Задать начальное значение весов и порог каждого нейрона. Всем весам и порогам присваиваются малые случайные значения.

2. Представить из обучающей выборки входной и выходной показатели допускаемых значений согласно установленным ГОСТам.

Провести модификации весов связей, начиная от выходного слоя и, двигаясь в обратном направлении; изменить веса связей следующим образом:  $\omega_{ij}(n+1) = \omega_{ij}(n) + \dot{v} \Delta N_i$ , где  $\omega_{ij}(n)$  — вес связи между  $i$ -м и  $j$ -м нейронами на  $n$ -м шаге;  $\dot{v}$  — скорость обучения;  $\Delta N_i$  — приращение случайной величины.

Самым сложным этапом решения задачи является сбор данных для обучения сети и их обработка. Набор данных для обучения должен удовлетворять следующим требованиям: данные должны иллюстрировать истинные значения в рассматриваемой области и быть непротиворечивыми (противоречивые данные в обучающей выборке приведут к недостаточно точному обучению сети и, в конечном итоге, не получим качественных результатов).

Исходные данные преобразуются к виду, в котором их можно подать на входные сети. Существует ряд способов улучшения восприятия сети.

Первое — это нормировка. Нормировка выполняется, когда на различные входы подаются данные разной размерности. Из-за отсутствия нормировки значения на втором входе будут всегда оказывать большее влияние на выходе сети, чем значения на первом входе. При нормировке размерности всех входных и выходных данных сводятся воедино.

Второе — это квантование. Квантование выполняется для непрерывных величин, для которых выделяется конечный набор дискретных значений.

*Экспериментальный подбор характеристик сети.* После выборки структуры нужно подбирать параметры сети — число слоёв, блоков в скрытых слоях (для сетей Ворда), наличие или отсутствие обходных соединений, передаточные функции нейронов. При выборе количества слоёв и нейронов в них следует исходить из того, что способности сети к обобщению тем выше, чем больше суммарное число связей между нейронами. Однако число связей ограничено сверху количеством записей в обучающих данных.

*Экспериментальный подбор параметров обучения.* Этот этап важен для сетей, обучающихся с учителем. От правильного выбора параметров зависит не только то, насколько быстро будут получены ответы в сети, а будут ли они сходиться с правильными ответами.

*Собственно обучение сети.* В процессе обучения сеть просматривают в определённом порядке. Порядок может быть последовательным или случайным. Некоторые сети (например, сети Хопфильда), обучающиеся без учителя, выборку просматривают только один раз, другие (например, сети Кохонена), а также сети, обучающиеся с учителем, просматривают множество раз [13—15]. Сеть Кохонена можно использовать в тех задачах, где заданы классы. Сеть обучается методом последовательных приближений. При этом один полный проход по выборке называют *эпохой обучения*. При обучении с учителем набор исходных данных делят на две части: собственно обучающую выборку и тестовые данные. Обучающие данные подаются сети для обучения, а проверочные используются для расчёта ошибки сети. Если на проверочных данных ошибка уменьшается, то сеть выполняет обобщение. Если сеть перестала выполнять обобщение и просто "запоминает" обучающие данные, то такое явление называется переобучением или оверфиттингом. В таких случаях обучение прекращают.

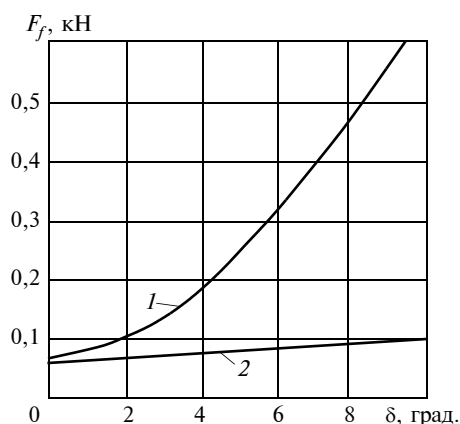


Рис. 5. Изменение силы сопротивления качению от углов схода и развала: 1 — угол схода; 2 — угол развала

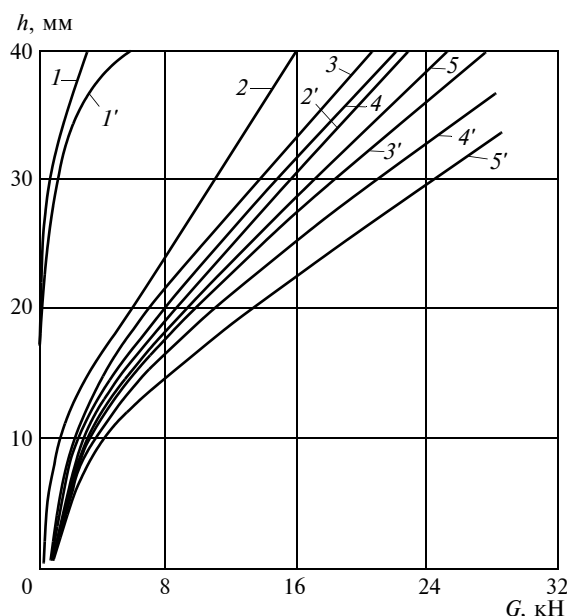


Рис. 6. Зависимость нормальной деформации шины от нагрузки: кривые 1–5 — шины 260-505 модели И-99; кривые 1'–5' — шины 260-20

**Проверка адекватности обучения.** Адекватность обучения — способность отображать заданные параметры объекта с погрешностью, не выше заданной. Поскольку параметры пневмоколеса являются функциями собственной массы транспортного средства и грузоподъемности, погрешность зависит от массы перевозимого груза с использованием прицепов или полуприцепов. При этом, как правило, адекватность обучения имеет место лишь в ограниченной области изменения внешних переменных.

Проверку качества обучения нейросети необходимо проводить на примерах тестирования, которые не участвовали в её обучении. При этом число тестовых примеров должно быть тем больше, чем выше качество обучения. Поэтому тестирование хорошо обученных нейронных сетей становится трудной задачей. Однако основным достоинством применения нейронных сетей является возможность решать различные неформализованные задачи, построения одной сети для вы-

числения нескольких выходных значений по нескольким входам, а также способность к логическому описанию процессов и ручной корректировке функции принадлежности. Причём можно просто моделировать различные ситуации, подавая на вход сети различные данные и оценивая выдаваемые сетью результаты.

Некоторые результаты исследования пневмоколёс автомобиля УАЗ приведены на рисунках. Например, температурное поле шины в различных точках замера показано на рис. 4. При увеличении скорости движения больше всего нагревается протектор шины (точка 7) и меньше — в зоне диска (точка 1). Потери на качение у отечественной шины ниже, чем у импортного аналога на 11 %. Показатели силовой неоднородности и бокового биения шины не превышают установленные новым ГОСТом нормативы, а радиальное биение не превышает норматив на 7 %. На сопротивление качению (рис. 5) больше всего влияет схождение колёс. При скорости движения более 125 км/ч коэффициент сопротивления качению превышает 0,020 для диагональных и 0,014 — низкопрофильных шин. Температура на внешней поверхности протектора составила 37 °С, а внутренней 33 °С. Вертикальная нагрузка, приходящаяся на одно колесо выше нормативной, приводит к изменению объёма  $\Delta V$  (деформации  $h$ ) шины и интенсивному износу, увеличению расхода топлива и максимальному выбросу отравляющих веществ (рис. 6).

Использование нейронной сети при выборе пневмоколеса позволит снизить материальные и трудовые затраты на восстановление работоспособности шины при эксплуатации, сократить сроки проектирования и изготовления пневмоколёс и повысить коэффициент технической готовности парка транспортных средств.

#### Литература

- Колбасов А.Ф. Некоторые актуальные вопросы работы автомобильной шины // *Фундаментальные исследования*. 2011. № 8. С. 128–130.
- Кадыров А.С., Кобикена С.Ж., Жаркенов Н.Б. и др. Методика определения прогнозируемого ресурса автомобильных шин большегрузных автосамосвалов по эксплуатационным показателям // *Успехи современного естествознания*. Карагандинский гос. университет, Респуб. Казахстан, 2015. № 1–4. С. 648–650.
- Дамзен В.А. Математическая модель автомобильной шины // *Информация технических систем и процессов сб. тр. XXI международной конференции*. Саратов, 2008. — Т. 5, секц. 11. С. 74–75.
- Ломакин Е.В., Карпухин А.К. и др. Перспективные направления развития автомобильных шин // *Известия Московского государственного технического университета МАМИ*, 2008. № 2 (6). С. 64–65.
- ГОСТ 4754–97 Шины пневматические для легковых автомобилей, прицепов к ним, легковых, грузовых автомобилей и автобусов особо малой вместимости. Технические условия. — <http://protect.gost.ru> (дата обращения 2010).
- Голубев Ю.Ф. Нейросетевые методы в мехатронике М.: изд-во Московского университета, 2007. — 157 с.
- Kut'kov G.M. Traktory i avtomobil. Teoriga I technologicheskiye svoystva [Traktor and automobiles Theory and technological properties] Moscow. Infra-M Press, 2014, 506 p.
- GOST 27021–86 Agricultural and forestry tractors. Traction classes. Moscow, izdatelstva standartov, 1986.
- He Y., Liu G., and Qiu Y. New adaptive strategy for the search for intensification and dieverin search of Taboos. *Journal of Computer Research & Development*, 41 (2004). P. 162–166.
- He Y., Qiu Y., Liu G., et al. Optimization of weights of neural network using adaptive approach to taboo search, in the second interna-

tional Symposium on nerve nets 2005 (isnn-2005) Chongqing, China. P. 672—676.

11. Hassoun M., Cherkassky V., Hanson S., Oja E., Sarle W. and Sudjianto A. (1996). Panel on neural networks and statistical models, in International Conference on Neural Networks, ICNN 96, IEEE, Piscataway, NJ. P. 18—22.
12. Jacobs R. (1995). Methods for combining experts probability assessments, Neural Computation 7. P. 867—888.

13. Hamey L. (1995). Analysis of the error surface of the XOR network with two hidden nodes, Technical Report. — 167 p.
14. Breiman L. (1994). Обсуждение нейронных сетей и связанных с ними методов классификации // Journal of The Royal Статистическое Общество В 56 (3). С. 409—456.
15. Patterson D.W. Artificial Neural Networks, Theory and Applications. Singapore: Prentice Hall, 1996. P. 141—179.



Возвращаясь к напечатанному

## ПОД ПАРУСОМ

В журнале АП, 2020, № 3 опубликована статья С.П. Пожидаева и А.Т. Лавриненко "Экспериментальная проверка некоторых положений новой теории движения автомобиля". Напомним, её авторы поставили эксперимент с целью сравнения силы сопротивления воздуха в точке её приложения и на высоте, равной радиусу качения колеса, для чего построили одноосный прицеп с "парусом" из листа фанеры.

Идея сама по себе довольно интересная! Однако бросается в глаза ошибка. Тщательно измеряя силу сопротивления воздуха, приложенную на высоте центра паруса, в своих расчётах авторы приводят её к оси колеса (радиусом 0,27 м) — согласно проверяемой *новой теории* движения автомобиля. Однако полученный результат сравнивают с показаниями динамометра, установленного на дышло прицепа (на высоте ~0,4 м), т.е. переносят силу согласно *традиционной теории* и вопреки проверяемой. Считать такое сравнение корректным никак нельзя.

Между тем одноосный прицеп с парусом — довольно простой объект по сравнению с автомобилем, и для него должно быть несложно показать и проанализировать распределение сил.

Представим, что прицеп помещён в аэродинамическую трубу и прицеплен к шару на жёсткой стойке (рис. 1). На прицеп действует сила  $P_w$  от потока "встречного" воздуха, приложенная на высоте центра паруса, которая стремится опрокинуть прицеп назад; со стороны поверхности дороги, через колесо — вертикальная реакция опоры  $N$ ; на тягово-сцепном устройстве (точка  $O$ ) — соответственно будут реакции по вертикали и горизонтали. (Вес самого прицепа — не учитываем.) Таким образом, можно представить твёрдое тело "прицеп с парусом" в виде треугольника (рис. 2), по углам которого приложены соответствующие силы.

Часть силы  $P_w$  создаёт относительно шара ТСУ момент, который уравнивается моментом относительно той же точки от реакции опоры  $N$ . То есть из силы  $P_w$  следует выделить вертикальную составляющую  $F_1$  (рис. 3).

Вторая составляющая, которую по правилам теоретической механики было бы можно перенести на

дышло, должна лежать на прямой, проходящей через точку  $O$  и центр паруса. Для наглядности будем считать, что между этими точками имеется растяжка в виде стержня или троса. Силу эту обозначим  $F_2$ .

Таким образом, сила "сопротивления" воздуха  $P_w$  раскладывается на  $F_1$  и  $F_2$ .

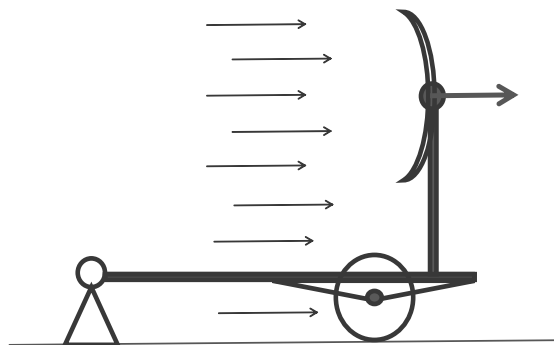


Рис. 1

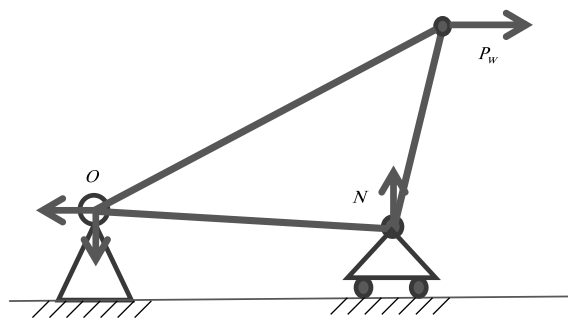


Рис. 2

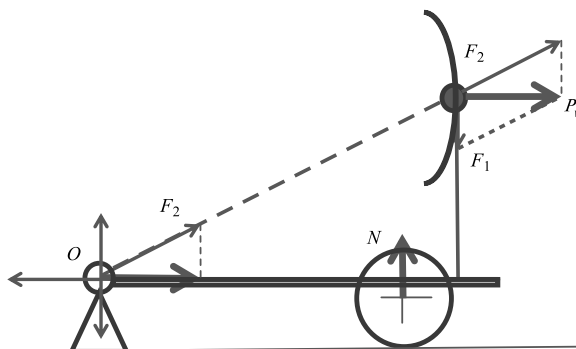


Рис. 3



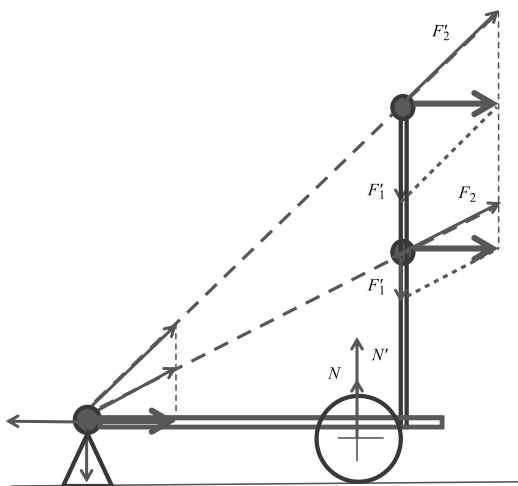


Рис. 4

Переносим  $F_2$  в точку  $O$  и раскладываем в свою очередь на вертикальную и горизонтальную составляющие, которые будут уравниваться соответствующими реакциями жёсткой стойки. Как видим, горизонтальная проекция силы  $F_2$  получается равной силе  $P_W$ . При условии, что данное распределение сил верно.

Попробуем теперь изменить точку приложения силы  $P_W$ , т.е. поднимем парус, мысленно нарастив его "мачту" (рис. 4). "Растяжка" поменяет угол наклона и

сила  $F_2$  по модулю увеличится. Соответственно возрастёт  $F_1$ , а пропорционально ей и реакция опоры  $N$ . Однако перенесённая на конец дышла сила  $F_2$  и в этом случае будет иметь такую же горизонтальную проекцию, как в случае первом.

Значит ли это, что от высоты точки приложения силы ничего не зависит? Разумеется, не значит. От неё, как видим, зависит вертикальная составляющая, т.е. "нагрузка" на колесо, от которой, как известно, зависит сопротивление качению.

И в заключение вернёмся к натурному эксперименту с прицепом. Представляется, что его можно было бы радикально упростить, получив при этом ещё и более достоверные результаты. Для этого прицеп следует поставить дышлом вверх и колёсами к стене. Конец дышла закрепить к стене серьгой соответствующей длины (0,4 м), а под "корму" прицепа подвести обыкновенные весы. Парус в этом случае уже не нужен, достаточно голый мачты, на которую в процессе экспериментов можно было бы подвешивать гирию (на любом плече). Соответственно, разницу в показаниях весов в ходе эксперимента — сравнивать с массой гири, а по деформации шин можно наблюдать (качественно) изменение нагрузки на колесо. Можно обойтись и вообще без прицепа, изготовив его масштабный макет из подходящих материалов. При этом диаметр колеса, разумеется, может быть любым, на результат он в данном случае не влияет.



## ЭКСПЛУАТАЦИЯ. ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС АТС

УДК 656.09

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ В СОСТАВЕ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

АКУЛОВ К.А., д-р техн. наук БЛЯНКИНШТЕЙН И.М.

Сибирский федеральный университет  
(akulov-kostya@mail.ru)

*Представлен обзор на использование наноматериалов в моторном масле. Описаны работы учёных, раскрывающих тему влияния наноматериалов в моторном масле на эксплуатационные свойства автомобиля. Сделан упор на рассмотрение работ, посвящённых использованию наноалмазов в составе моторного масла и проанализирована оценка его эффективности.*

**Ключевые слова:** моторное масло, наноматериалы, техническая эксплуатация, ресурс, углерод, экологическая безопасность.

### Akulov K.A., Blyankin I.M. USE OF NANOMATERIALS IN COMPOSITION OF MOTOR OILS

*This article provides an overview of the use of nanomaterials in motor oil. The paper describes the work of scientists who disclose the effect of nanomaterials in motor oil on the performance of a car.*

*Emphasis is placed on the consideration of works devoted to the use of nanodiamonds in engine oil and an assessment of its effectiveness is analyzed.*

**Keywords:** motor oil, nanomaterials, technical operation, resource, carbon, environmental safety.

При разработке автомобильных двигателей надёжность пар трения обеспечивается выбором износостойких конструкционных материалов и соответствующих им смазочных масел. Причём выбор смазочного материала для машин и механизмов, работающих в большом интервале температур, нагрузок и скоростей, относится к задачам особенно сложным.

Чаще всего в одном механизме применяется одно масло, хотя узлы трения выполнены из конструкционных материалов с широким диапазоном механических свойств. Кроме того, на рынке существует множество масел, применение которых для разных механизмов практически не обосновано [1]. Ресурс работы масел на минеральной, синтетической и смешанной основах принят постоянным и регламентируется заводами-изготовителями по наработке часов или километрам пробега для автотранспорта. Режимов и условий экс-

плутации эти параметры не учитывают, как и технического состояния узлов трения, состояния системы фильтрации масла и его свойств. Для повышения надёжности и достижения долговечности работы транспортного средства, к выбору моторного масла необходимо подходить предельно тщательно, так как именно оно отвечает за работу трущихся поверхностей.

Одним из перспективных средств обеспечения бесперебойной работы двигателя является применение моторного масла с присадками из наноматериалов [2].

Особенный интерес среди углеродных наноматериалов исследователи проявляют к модифицирующим возможностям детонационных наноалмазов. Алмазная модификация углерода имеет одну из самых больших значений удельной свободной поверхностной энергии, которая приводит к высокой активности наночастиц в модифицируемом материале, делая его преобразование наиболее глубоким [3].

На сегодняшний день существует множество работ, посвящённых изучению влияния наноалмазов при добавлении их в моторное масло [4—7]. Например, работа В.Ю. Долматова [4], который выделяет следующие преимущества использования наноалмазов в моторных маслах: эффективное действие при низких концентрациях наночастиц; совместимость с разного рода маслами (минеральными и синтетическими); экологическая безопасность углеродных наночастиц в сравнении с металл- и фторсодержащими соединениями [4]. Автор говорит об устойчивости кластерного углерода (преимущественно наноалмазов) в масле вследствие размера энергетически равновесного кластерного углерода, не превышающего 30...60 нм [4].

Действие углеродных кластеров в смазочном материале имеет механический характер, при этом проявляются различные его механизмы. Например, углеродные наночастицы малого размера заполняют неоднородности на поверхности, создавая новые поверхности трения. Также возможно повышение вязкости смазочного материала в тонких плёнках за счёт дисперсного структурирования, при этом снижаются потери масла от утечек через уплотнения и зазоры, исключается растрескивание плёнки при высоких скоростях деформирования. Кроме того, возможно снижение вязкости смазочной композиции, содержащей углеродные кластеры, под действием низких температур в связи со снижением *"порога стеклования дисперсно-наполненной среды"*. Углеродные нанокластеры могут адсорбировать смолы, образующиеся в процессе окисления масла, исключая их осаждение на поверхностях двигателя. При высоких нагрузках и максимальном вытеснении смазочного материала из пространства между трущимися поверхностями наноалмазные кластеры работают как микроподшипники качения [8].

Группа учёных Института химии и химической технологии, а также Института биофизики СО РАН разработала технологию получения продукта, являющегося именно наноалмазами, с повышенной коллоидной стабильностью наночастиц в моторных и трансмиссионных маслах [9].

Наноалмазы — это сверхмалые частицы алмаза шаровидной формы размером 4...6 нанометров. При ис-

следовании свойств нового продукта обнаружилось, что полученное вещество обладает рядом уникальных свойств, отсутствующих у других материалов и позволяющим существенно снизить коэффициент трения в механизмах и активизировать рост поверхностей трения в местах ударных нагрузок. Материал химически инертен, т.е. не вступает в химические реакции с компонентами масла и поверхностями трения.

В настоящее время производство данных наноалмазов организовано в промышленном масштабе (до 50 кг/мес.). Выделены три фракции F1, F2 и F3, отличающиеся размерами, характером примесей (до 300 нм). Экспериментальные результаты показали, что присутствие наноалмазов в парах сталь—сталь, сталь—чугун, сталь—цветные сплавы сопровождается уменьшением температуры масла, уменьшением коэффициента трения, уменьшением износа пар трения и образованием защитной углеродожелезосодержащей плёнки на поверхности металла.

Также существуют и, довольно таки, значимые недостатки использования наноалмазов. Например, при больших концентрациях наноалмаза увеличивается дефектность поверхности трущихся деталей [10]. Это связано с тем, что при больших концентрациях наноалмаза начинает вести себя как абразивный материал, нанося механические повреждения трущимся поверхностям.

На основе наноалмазов был получен один из препаратов, под названием "Карат-М", представляющий собой устойчивый коллоидный раствор модифицированных наноалмазов в синтетическом масле, не изменяющий своих свойств в течение 3-х лет.

Результат работы данного материала описан производителем следующим образом.

Добавки в масло реально работающих двигателей (на примере более 700 обработанных автомобилей) приводят к увеличению компрессии на 10—20 %, уменьшению потребления бензина на 4—5 %, уменьшению токсичности выхлопных газов. Эффект однократной обработки двигателя наноалмазами сохраняется до 250—300 тыс. км пробега. Наноалмазная добавка положительно зарекомендовала себя в условиях интенсивной эксплуатации автотранспортных средств — городские автобусы, тяжёлая карьерная техника при трёхсменной работе (БелАЗ).

На сегодняшний день данный препарат и нанотрубки показывают наилучшие результаты в снижении трения, износа и даже восстановлении изношенных поверхностей.

Вышеописанный материал сообщает о двух важных моментах использования детонационных наноалмазов и наночастиц в целом. Во-первых, чем более дезагломерированы частицы, тем меньшая их концентрация приводит к повышению эксплуатационных свойств материалов. Во-вторых, механизм действия наночастиц в смазочном материале в большинстве случаев сводится к выравниванию шероховатости поверхностей за счёт заполнения наночастицами неровностей.

Как видно, вопрос использования наноматериалов в качестве добавок в моторное масло на данный момент неплохо изучен, но, к сожалению, не со всех

сторон. Так, в большинстве случаев упускается момент влияния наноразмерных добавок в моторные масла на экологические показатели автомобиля.

### Литература

1. Курасов В.С. Топливо и смазочные материалы: Учебное пособие / В.С. Курасов, В.В. Вербицкий. — Краснодар: КубГАУ, 2013. — С. 40.
2. Моколучина (Гнатюк) Т.В., Парфененкова В.Е., Винокуров В.А., Аладинская О.Е., Провоторов М.В. Вязкостные характеристики и поверхностное натяжение базовых нефтяных масел, модифицированных наночастицами синтетических алмазов // Журнал "Трение и смазка в машинах и механизмах". 2014. № 7. С. 42—48.
3. Покровская С.В. Технология переработки нефти. Производство нефтяных масел: Учебно-методический комплекс / С.В. Покровская. — Новополюск: ПГУ, 2008. — С. 25.
4. Долматов В.Ю. Детонационные наноалмазы в маслах и смазках / В.Ю. Долматов // Сверхтвёрдые материалы. 2010. № 1. С. 19—28.
5. Ананьева Е.С. Технология и эффективность модифицирования углепластиков наночастицами детонационных алмазов / Е.С. Ананьева,

Е.А. Новиковский, В.Б. Маркин // Журнал "Нанотехника". 2012. № 2 (30). С. 66—72.

6. Лямкин А.И., Редькин В.Е. Ультрадисперсные алмазографитовые и алмазные порошки, получаемые из взрывчатых веществ // Наука производству. 2000. № 3 (28). С. 59—64.
7. Богданов Д.Г. Структурно-фазовое состояние кристаллического ядра и примесной оболочки детонационного наноалмаза: диссертация кандидата физико-математических наук: 01.04.07 / Барнаул, 2015. — 138 с.
8. Игнатовский М.И. Влияние наноаппендителей на картину износа поверхности стали в субмикронном диапазоне / М.И. Игнатовский, А.И. Свириденко, В.А. Смуругов, П.А. Ховатов, Т.Г. Чмыхова // Методологические аспекты сканирующей микроскопии. VII Международный семинар, г. Минск. 2006. С. 227—230.
9. Продлить жизнь агрегатам: электронная статья — [Электронный ресурс] — режим доступа — <http://www.nanodiamonds.ru/html>
10. Образцов Л.Н. Применение наноалмазов в смазочных композициях — эффективный путь повышения контактной долговечности подшипников качения // Ползуновский вестник. 2009. № 4. С. 182—184.

УДК 629.114

## БОРТОВОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ ПО ЕГО ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ

Кандидаты техн. наук **ГЕРАЩЕНКО В.В.,**  
**КОВАЛЕНКО Н.А.,** **ЛОБАХ В.П.**

Белорусско-Российский университет  
(mogilev-kovalenko@rambler.ru)

*Приведены обоснование и описание разработанного метода бортового диагностирования двигателя внутреннего сгорания по его постоянной времени, предложено устройство для реализации этого метода.*

**Ключевые слова:** автомобиль, бортовое диагностирование, двигатель внутреннего сгорания, сумматор, компаратор, датчик, частота вращения, переходная характеристика, постоянная времени, метод, электронный блок управления, неисправность.

### Geraschenko V.V., Kovalenko N.A., Lobah V.P. ON-BOARD ENGINE DIAGNOSTICS BASED ON ITS TIME CONSTANT

*The justification and description of the developed method for on-board diagnostics of an internal combustion engine based on its time constant are given, and a device for implementing this method is proposed.*

**Keywords:** vehicle, on-board diagnostics, internal combustion engine, adder, comparator, sensor, speed, transient response, time constant, method, electronic control unit, fault.

Возникающие в процессе эксплуатации автомобилей неисправности узлов и агрегатов неизбежно ухудшают их характеристики, в том числе такие важнейшие эксплуатационные показатели, как топливная экономичность и производительность автомобиля. Однако далеко не всегда они выявляются сразу после появления: на практике автомобили могут эксплуатироваться с неисправностями до значительного ухудшения их эксплуатационных показателей, что выявляется только при очередном техническом обслуживании [1, 2].

Своевременно выявить неисправности двигателя возможно при оборудовании автомобилей бортовыми

диагностическими устройствами для определения динамических характеристик ДВС. Такие устройства отличаются большой эффективностью, простотой, малой стоимостью и низкими расходами на их обслуживание. Их наличие позволяет водителю в процессе эксплуатации автомобиля определять изменение динамических характеристик ДВС и не допускать его эксплуатацию при возникновении неисправностей.

Для решения этой задачи авторами были проведены исследования, в результате чего разработан новый метод бортового диагностирования ДВС по такому диагностическому параметру, как *постоянная времени двигателя*, являющаяся основным показателем переходной характеристики ДВС и характеризующая величину запаздывания частоты вращения коленчатого вала относительно изменения вращающего момента на его валу.

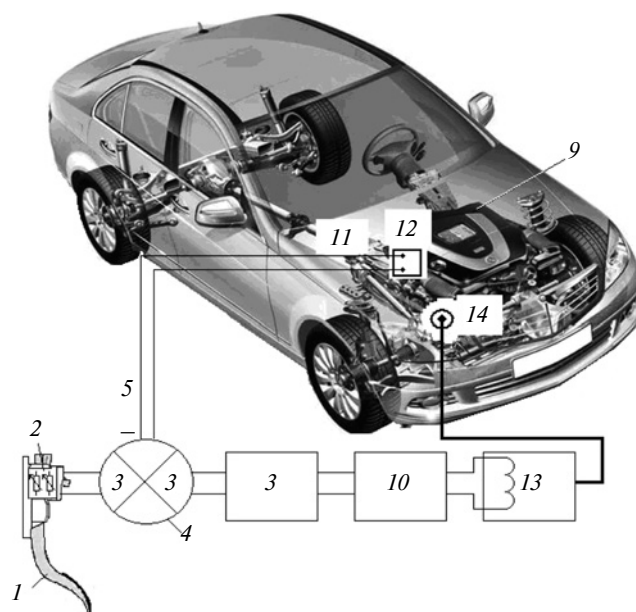


Рис. 1. Схема системы автоматического управления движением автомобиля

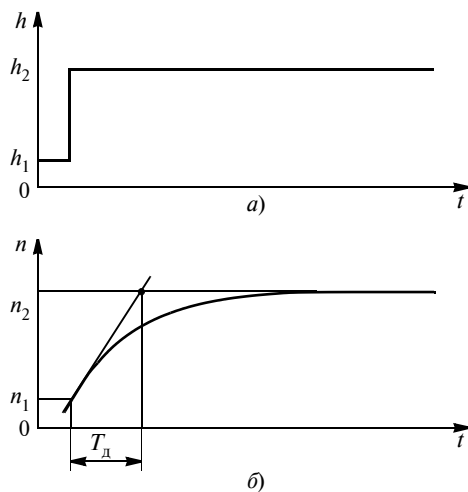


Рис. 2. Графики перемещения педали (а) и изменения частоты вращения (б) вала двигателя

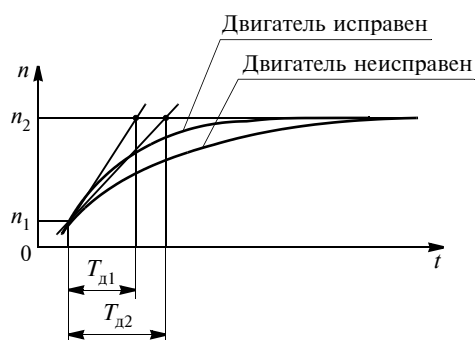


Рис. 3. Переходные характеристики исправного и неисправного двигателей

Разработанный метод применим для автомобилей, на которых устанавливается широко распространённая система автоматического управления движением. Она включает в себя датчик 2 перемещения педали управления подачей топлива 1 (рис. 1), сумматор 4, первым входом 3 соединённый с выходом датчика перемещения педали управления подачей топлива, датчик частоты вращения 12 коленчатого вала ДВС 9, выход 11 которого соединён обратной отрицательной жёсткой связью 5 со вторым входом сумматора 6, а выход 7 сумматора 4 последовательно соединён с усилителем 8, электронным блоком управления 10 и электромагнитной форсункой 14 с обмоткой 13 [3, 4].

Предлагаемый авторами экспериментальный метод диагностирования ДВС по постоянной времени  $T_d$  заключается в том, что на заданном скоростном режиме эксплуатации автомобиля ступенчато перемещают педаль управления подачей топлива на величину  $\Delta h = h_2 - h_1$  (рис. 2, а), изменяя при этом подачу топлива в двигатель тоже в виде ступенчатой функции, и регистрируют изменение во времени частоты вращения вала ДВС. Это изменение (рис. 2, б) при ступенчатом изменении положения педали подачи топлива и является переходной динамической характеристикой двигателя по частоте вращения его вала. А постоянная времени  $T_d$  определяется как производная от полученной кривой (рис. 2, б).

При появлении неисправностей в двигателе, частота вращения коленчатого вала будет изменяться медленнее при одном и том же перемещении педали управления подачей топлива и, следовательно,  $T_d$  будет возрастать по сравнению с нормативной (рис. 3). Таким образом и определяют наличие неисправностей в двигателе внутреннего сгорания.

Значение постоянной времени двигателя можно получить и расчётным путём. Известно, что движение автомобиля описывается дифференциальным уравнением первого порядка [1–3] (формула 1 в таблице). Так как приведённый момент сопротивления движению автомобиля возрастает при увеличении его скорости движения, то он соответственно возрастает и при увеличении угловой скорости  $\omega_d$  вращения коленчатого вала. Эта зависимость носит практически линейный характер (рис. 4).

Преобразуем уравнение 1, с учётом практически линейной зависимости  $M_{nc}$  от  $\omega_d$ , к виду 2, откуда вытекает уравнение 3. Разделим каждый член этого уравнения 3 на  $\alpha$ , а отношение вращающего момента двигателя  $M_d$  к  $\alpha$  назовём коэффициентом усиления и обозначим  $k$ . Получим дифференциальное уравнение для двигателя внутреннего сгорания в виде формулы 4.

Отношение  $I_{пр}/\alpha$  характеризует замедление изменения угловой скорости двигателя при ступенчатом изменении его вращающего момента из-за перемещения педали подачи топлива. Обозначим её как  $T_d$  (постоянная времени двигателя), а  $\frac{d\omega_d}{dt}$  — как  $e$  (угловое ускорение вала двигателя). Тогда уравнение 4 примет

№	Формула	Примечания
1	$I_{пр} \frac{d\omega_d}{dt} = M_d - M_{nc}$	$I_{пр}$ — приведённый к валу двигателя момент инерции всех поступательно и вращательно движущихся масс автомобиля, $кг \cdot м^2$ ; $\frac{d\omega_d}{dt}$ — производная от угловой скорости вала ДВС, $с^{-2}$ ; $M_d$ — вращающий момент ДВС, $Н \cdot м$ ; $M_{nc}$ — приведённый к валу ДВС момент сопротивления движению автомобиля, $Н \cdot м$
2	$I_{пр} \frac{d\omega_d}{dt} = M_d - \alpha\omega_d$	$\alpha$ — коэффициент пропорциональности, показывающий, на сколько увеличится момент $M_{nc}$ при увеличении $\omega_d$ на единицу
3	$I_{пр} \frac{d\omega_d}{dt} + \alpha\omega_d = M_d$	—
4	$\frac{I_{пр}}{\alpha} \frac{d\omega_d}{dt} + \omega_d = \frac{M_d}{\alpha} = k$	—
5	$T_d \varepsilon + \omega_d = k$	—
6	$T_d = \frac{k - \omega_d}{\varepsilon}$	—

вид 5. Зная такие параметры двигателя, как  $k$ ,  $\omega_d$  и  $e$ , можно определить постоянную времени переходной характеристики  $T_d$  (формула 6).

Для экспериментального определения постоянной времени разработано устройство, схема которого приведена на рис. 5. Оно содержит датчик 2 перемещения педали управления подачей топлива 1, сумматор 4, первым входом 3 соединённый с выходом датчика 2 перемещения педали управления подачей топлива 1, датчик частоты вращения коленчатого вала 12 двигателя 9, выход 11 которого соединён обратной отрицательной жёсткой связью 5 со вторым входом 6 сумматора, а выход 7 сумматора последовательно соединён с усилителем 8, электронным блоком 10 управления и электромагнитной форсункой 14 с обмоткой 13. Входной резистор 15 соединён с реостатом 16, имеющим движок 17 для регулирования напряжения, последовательно соединённые компаратор 18 с инвертирующим 19 и неинвертирующим 20 входами, повторитель 21 напряжения, диод 22 и контрольную лампу 23, установленную на щитке приборов автомобиля. Дифференцирующая цепь 24, выполненная на резисторе 25 и конденсаторе 26, соединена выходом с инвертирующим входом 19 компаратора 18.

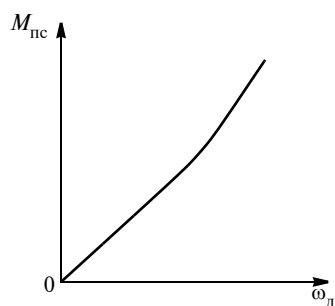


Рис. 4. Зависимость момента сопротивления движению автомобиля, приведённого к валу двигателя, от угловой скорости вращения вала ДВС

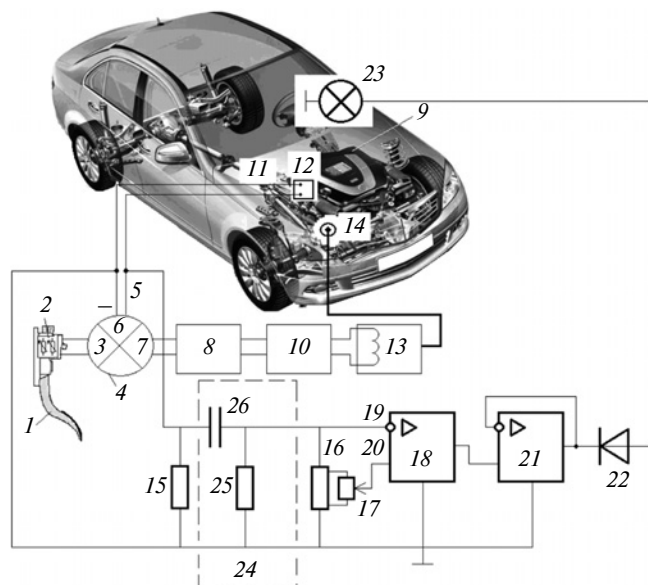


Рис. 5. Схема устройства для диагностирования ДВС по его переходной характеристике

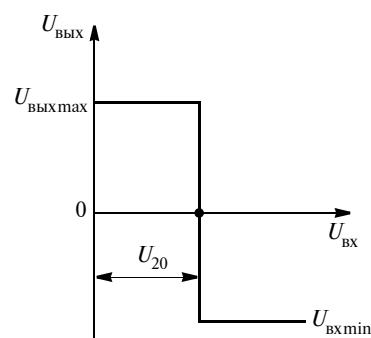


Рис. 6. Передаточная характеристика компаратора

При диагностировании ДВС, когда автомобиль движется на заданном скоростном режиме, быстро перемещают педаль управления подачей топлива. Частота вращения двигателя начинает возрастать, а следовательно, и напряжение на выходе датчика 12 частоты вращения вала двигателя, которое подаётся на вход дифференцирующей цепи 24. На её выходе появляется напряжение, пропорциональное величине производной от изменения частоты вращения, которая характеризует быстроту её нарастания (по сути, это и есть  $T_d$ ). Это напряжение подаётся на инвертирующий вход 19 компаратора 18.

Заданное нормативное значение напряжения, соответствующее исправному двигателю (рис. 6), подаётся на неинвертирующий вход 20 компаратора 18. Если двигатель исправен, то величина напряжения, получаемого от дифференцирующей цепи 24 и подаваемого на инвертирующий вход 19 компаратора 18, больше, чем нормативное напряжение, устанавливаемое с помощью регулируемого резистора 16 и подаваемого на неинвертирующий вход 20 от регулируемого источника 17 постоянного тока. На выходе компаратора 18, в соответствии с его передаточной характеристикой [5], формируется отрицательное напряжение, которое посредством повторителя 21 и включённого в обратном направлении диода 22 подаётся на лампу 23.

Лампа загорается, что свидетельствует об исправности ДВС. При диагностировании же неисправного двигателя его постоянная времени больше нормативного значения. Поэтому напряжение, подаваемое на вход 19 компаратора 18, меньше нормативного, и контрольная лампа 23 гореть не будет.

#### Литература

1. Герашенко В.В. Методы и средства диагностирования и повышения эксплуатационных свойств автомобилей и их агрегатов: [монография] / В.В. Герашенко, Н.А. Коваленко, В.П. Лобах. — Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2017. — 170 с.
2. Герашенко В.В. Безопасность, экономичность и повышение проходимости автомобильного транспорта: [монография] / В.В. Герашенко, А.И. Зайцев, Н.А. Коваленко, В.П. Лобах, А.В. Шур. — СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2018. — 154 с.
3. Герашенко В.В. Усовершенствованная система автоматического управления скоростью движения автомобиля / В.В. Герашенко, Н.А. Коваленко, А.В. Шур, В.И. Гуменюк // Автомобильная промышленность. 2017. № 2. С. 11–13.
4. Герашенко В.В. Проектирование датчика частоты вращения вала автомобиля / В.В. Герашенко, В.П. Лобах, Н.А. Коваленко, О.В. Билык // Грузовик. 2019. № 11. С. 10–14.
5. Попов Д.Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем / Д.Н. Попов. М.: Машиностроение, 1976. — 424 с.

## ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ

Д-р техн. наук ГОРОЖАНКИН С.А.,

канд. техн. наук САВЕНКОВ Н.В.

Донбасская национальная академия строительства  
и архитектуры

*Исследовано влияние режимов работы силовой установки на расход топлива и время движения автомобилей категории  $N_3$  в условиях городского ездового цикла по ГОСТ Р 54810—2011.*

**Ключевые слова:** топливно-экономические свойства автомобиля, городской ездовой цикл, оптимизация, параметры оптимизации, двигатель внутреннего сгорания, коробка передач, передаточные числа, скоростные характеристики двигателя, режимы движения, время движения.

### Gorozhankin S.A., Savenkov N.V. THE OPTIMIZATION OF TRAFFIC MODES OF VEHICLE IN THE URBAN DRIVING CONDITIONS

*The influence of the power plant operating modes on fuel consumption and driving time of vehicles of categories  $N_3$  in the urban driving cycle conditions in accordance with GOST R 54810—2011 is investigated.*

**Keywords:** fuel economy characteristics of the vehicle, the urban driving cycle, optimization, optimization parameters, combustion engine, gearbox, gear ratios, speed characteristics of the engine, operating modes, time of driving.

Приоритетной задачей как этапов проектирования и доводки, так и технической эксплуатации автотранспортных средств [1, 2] является снижение путевого расхода топлива. Топливо-экономические эксплуатационные свойства автомобилей определяются не только контрольным расходом топлива, но и другими показателями, основными среди которых в настоящее время являются значения путевого расхода в комплексе ездовых циклов.

Одним из путей его снижения является строгое согласование параметров силовой установки за счёт обеспечения рациональных режимов работы, позволяющих поддерживать общий КПД силовой установки на высоком уровне. Для реализации этого требуется создание метода выбора рациональных параметров процесса движения с учётом влияния неустановившихся режимов на характеристики перечисленных узлов и агрегатов автомобиля.

Цель настоящей работы — исследовать возможность обеспечения максимальной топливной экономичности автомобиля категории  $N_3$  путём оптимизации режимных и конструкционных параметров его силовой установки при движении в городских условиях. Решение этой научной задачи позволяет определить для конкретной модели автомобиля рациональные режимы работы двигателя и параметры трансмиссии в соответствии с заданными режимами движения. Ниже приведены результаты изучения режимов движения грузовых автомобилей в стандартизированном городском ездовом цикле, дающие возможность разработать комплексные рекомендации как для проектирования силовых агрегатов (ДВС с роботизированными и, в перспективе, автоматическими коробками передач) автотранспортных средств последующих поколений, так и для совершенствования соответствующих алгоритмов управления.

В данном исследовании целью оптимизации являлось нахождение экстремального (минимального) значения расхода топлива за ездовой городской цикл. Определение этой величины (критерия оптимизации) даёт возможность вычислить соответствующие оптимальные значения остальных (варьируемых) параметров движения — длины участков движения, время их прохождения, коэффициенты использования мощности двигателя, номер включённой передачи и др. Ограничениями при этом могут являться малые промежутки времени (вплоть до нулевых) при движении на определённой передаче, необходимость замедления или торможения сразу после достижения требуемого значения скорости, чрезмерная частота вращения ДВС и т.п. Эти и другие ограничения дополнительно введены в программы.

В составе парка грузовых автомобилей России значительную долю составляют автомобили КамАЗ. Многочисленные их модели и модификации зарекомендовали себя как относительно надёжные, простые в обслуживании и ремонте, в меру экономичные и комфортабельные транспортные средства. Этим обусловлен выбор автомобилей-самосвалов КамАЗ в качестве предмета исследования параметров работы двигателя и трансмиссии, а также режимов движения в условиях городского ездового цикла по ГОСТ Р 54810—2011 [3].

Исследованы параметры движения двухосных и трёхосных самосвалов (см. табл. 1) с приводом на

Таблица 1

Основные параметры автомобилей-самосвалов	КамАЗ-5511	КамАЗ-55111	
Колёсная формула	6×4	6×4	
Снаряжённая масса, кг	8850	9250	
Грузоподъёмность, кг	10 000	13 000	
Полная масса, кг	19 000	22 400	
Двигатель: модель номинальная мощность, кВт (л.с.) / при частоте, мин <sup>-1</sup>	КамАЗ-740.10 154(210)/2600	КамАЗ-740.10 154(210)/2600	КамАЗ-740.31 191(260)/2200
Число передач, $n_m$	5 или 10	10	
Передаточное число главной передачи, $U_0$	5,43	5,43	
Размер шин	10.00R20	10.00R20, 11.00R20	
Максимальная скорость, км/ч	90	90	

заднюю ось (тележку), ориентированных на использование в черте города, а также по грунтовым или отсыпным дорогам с ровной подготовленной поверхностью [4].

Обязательным условием вычисления параметров процесса движения является связь параметров автомобиля и характеристик его силовой установки со скоростью движения и продольным ускорением [5]. Для горизонтальных участков дороги, на которых проводятся испытания в стандартизованных ездовых циклах, расчётные зависимости упрощаются.

Кинематическая составляющая рассматриваемой связи определяется передаточными числами трансмиссии. Зависимости частоты вращения ( $\text{мин}^{-1}$ ) и углового ускорения ( $\text{рад}/\text{с}^2$ ) коленчатого вала двигателя от скорости движения автомобиля и его продольного ускорения определяются по формулам 1 и 2 соответственно (табл. 2)

Процесс движения автомобиля определяется уравнением тягового баланса, которое удобно представить в виде баланса мощности (формула 3). Требуемая мощность  $N_T$ , которую развивает двигатель, определяется с учётом дополнительных потерь мощности  $N_{\Pi}$  в трансмиссии и ходовой части (формула 4). КПД трансмиссии исследуемых автомобилей был вычислен по методике Кудрявцева [6] с учётом числа мостов в задней тележке автомобиля. Его среднее значение для исследуемых моделей автомобилей принято равным 0,85.

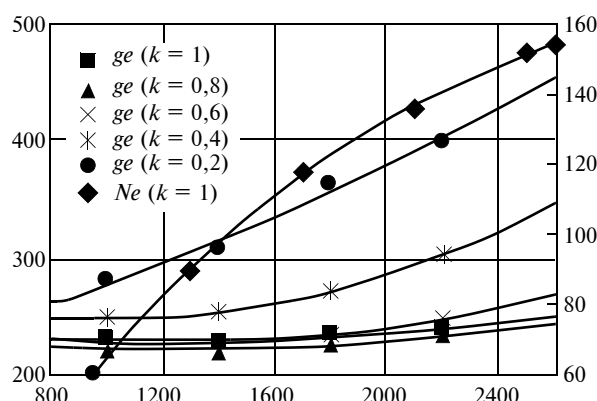


Рис. 1. Нагрузочно-скоростные характеристики дизеля КАМАЗ-740.10

Правая часть уравнения 4 справедлива с учётом допущения постоянства КПД трансмиссии в эксплуатационном нагрузочно-скоростном диапазоне. Тогда уравнение 4 приобретает вид 5. С учётом выражений 1 и 2 приведённое уравнение даёт возможность определить текущие значения требуемой эффективной мощности  $N_e$  двигателя автомобиля и частоту его вращения на любом участке ездового цикла.

Аналитические зависимости нагрузочно-скоростных характеристик (в том числе на установившихся режимах с учётом частичных нагрузок) эффективной мощности и эффективного удельного расхода топлива (рис. 1) двигателя модели КАМАЗ-740.10 определены

Таблица 2

№	Формула	Примечания
1	$n = \frac{V U_0 U_{(m)}}{0,105 r_k}$	$V$ — продольная скорость движения автомобиля в ездовом цикле, м/с; $U_{(m)}$ — передаточное число $m$ -й передачи; $j$ — продольное ускорение автомобиля в ездовом цикле, м/с <sup>2</sup> ; $r_k$ — радиус качения колеса, м
2	$\varepsilon = \frac{j U_0 U_{(m)}}{r_k}$	
3	$N_P = N_k + N_B + N_{\Pi}$	$N_P$ — тяговая мощность автомобиля на ведущих колесах; $N_k$ — мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления качению; $N_B$ — мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления воздуха; $N_{\Pi}$ — мощность, затрачиваемая на преодоление сил и моментов инерции автомобиля
4	$N_T = N_P + N_{\Pi} = \frac{1}{\eta_t} (N_k + N_B + N_{\Pi\tau} + N_{\Pi\epsilon})$	$\eta_t$ — КПД трансмиссии; $N_{\Pi\tau}$ — затраты мощности на преодоление силы инерции движущегося автомобиля; $N_{\Pi\epsilon}$ — доля мощности на преодоление моментов инерции вращающихся масс
5	$N_T(V, j, i) = \frac{0,001}{\eta_t} \left( V(\psi m_a g + k_B F V^2 + m_a j) + (J_k n_k + J_{\text{КП}} U_0^2) \frac{j V}{r_k^2} \right)$	$\psi$ — коэффициент сопротивления движению; $m_a$ — масса автомобиля, кг; $k_B$ — коэффициент сопротивления воздушной среде, кг/м <sup>3</sup> ; $F$ — площадь миделевого сечения автомобиля, м <sup>2</sup> ; $J_k$ — момент инерции колеса в сборе со ступицей, кг·м <sup>2</sup> ; $n_k$ — количество колес на автомобиле; $J_{\text{КП}}$ — момент инерции карданной передачи, кг·м <sup>2</sup>
6	$k = \frac{N_e}{N_{e\text{BCX}}}$	—
7	$N_e = f(k, n) = k N_{e\text{max}} (a(n/n_N)^3 + b(n/n_N)^2 + c(n/n_N) + d)$	—
8	$g_e = (a_1 k^4 + a_2 k^3 + a_3 k^2 + a_4 k + a_5)(n/n_N)^2 + (b_1 k^4 + b_2 k^3 + b_3 k^2 + b_4 k + b_5)(n/n_N) + (c_1 k^4 + c_2 k^3 + c_3 k^2 + c_4 k + c_5)$	$n_N$ — номинальная частота вращения коленчатого вала двигателя, $\text{мин}^{-1}$

на базе результатов опытных исследований таких двигателей (табл. 3 и 4) [7].

Параметр  $k$  (коэффициент использования мощности двигателя) в табл. 4 и на рис. 1 представляет отношение текущего значения эффективной мощности двигателя к значению эффективной мощности при работе ДВС по внешней скоростной характеристике при той же частоте вращения (формула 6).

Приведённые результаты позволили получить универсальную статическую (на установившихся режимах работы) характеристику рассматриваемого двигателя. Диаграмма этой характеристики в виде проекций зависимостей  $g_e(n, k)$  и  $N_e(n, k)$  на плоскость с координатами  $n$  и  $k$  приведена на рис. 2.

На диаграмме показаны линии равной эффективной мощности и линии равных эффективных удельных расходов топлива для частичных нагрузок. Эта характеристика даёт возможность определить наиболее выгодные, с позиции топливной экономичности, установившиеся режимы работы ДВС, на которых каждому значению  $N_e$  соответствует такое сочетание параметров регулирования  $n$  и  $k$ , при котором обеспечивается минимальная величина  $g_e$ .

Скоростная характеристика эффективного удельного расхода топлива ДВС является в значительной мере дифференцированной по своим значениям в эксплуатационном нагрузочно-скоростном диапазоне. Работа двигателя с позиции энергетической эффективности более предпочтительна в определённой области значений коэффициентов использования мощности и частоты вращения коленчатого вала. Для рас-

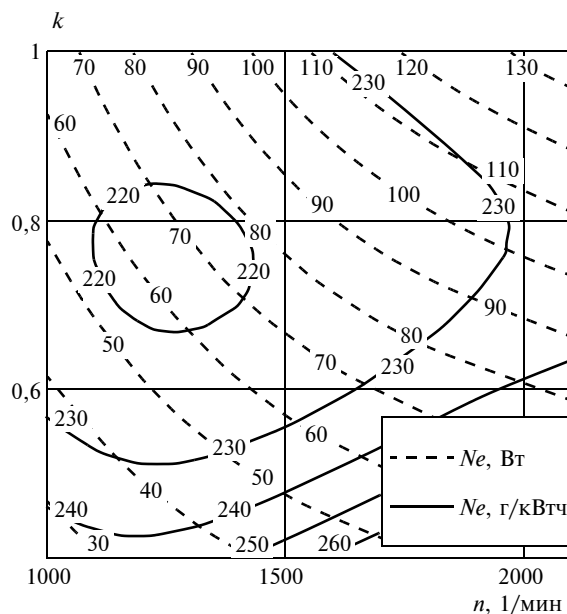


Рис. 2. Универсальная статическая характеристика дизеля КамАЗ-740.10

считываемого двигателя такими являются (например, при условии сохранения  $g_e < 225$  г/(кВт·ч)) диапазоны  $[1 > k > 0,6]$  и  $[1000 < n < 1700]$ . В определённой мере это практически соответствует положениям теории автомобилей [8], в соответствии с которыми рекомендуемые значения коэффициента использования мощности  $k$  составляют  $\sim 0,75$  при относительной скорости вращения коленчатого вала  $n/n_N$  около 0,65.

В ходе эксплуатации предпочтительно обеспечивать работу двигателя таким образом, чтобы требуемое значение мощности, развиваемой силовой установкой, сопровождалось максимальным значением произведения эффективного КПД ДВС и общего КПД трансмиссии. При этом особый практический интерес представляют закономерности изменения эффективных показателей двигателя на неустановившихся режимах работы, которые характерны для условий эксплуатации автомобиля.

Для значений эффективной мощности и удельного расхода топлива двигателя КамАЗ-740.10 были найдены следующие аналитические зависимости 7 и 8. Приведённая аппроксимирующая функция эффективной мощности представляет собой полиномиальную зависимость 3-й степени; соответствующие коэффициенты приведены в табл. 5. Аналитическая функция эффективного удельного расхода топлива задана комбинированной полиномиальной зависимостью 4-й степени по переменной  $k$  и 2-й степени по переменной  $n$  (частоте вращения). Полученные коэффициенты представлены также в табл. 5.

Оптимизация параметров движения автомобиля в ездовых циклах является важным этапом при исследованиях, однако её результаты далеко не всегда могут выступать в качестве определяющих при проектировании или модернизации двигателей и трансмиссии. В процессе расчётов параметров ездового цикла на дороге путём численного интегрирования и оптимизации режимных и конструкционных параметров сило-

Таблица 3

$n, \text{мин}^{-1}$	950	1300	1700	2100	2500	2600
$N_e, \text{кВт}$	60	90	118	136	152	154

Таблица 4

$k$	$g_e, \text{г}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$ при $n, \text{мин}^{-1}$			
	1000	1400	1800	2200
1	231	227	234	238
0,8	222	220	227	232
0,6	228	224	235	246
0,4	247	256	269	303
0,2	279	306	364	401

Таблица 5

Эффективная мощность, $N_e = f(k, n)$			
$a$	$b$	$c$	$d$
0,5839	-2,111	2,9741	-0,445
Эффективный удельный расход топлива, $g_e = f(k, n)$			
$a_1; a_2; a_3; a_4; a_5$	-5500,5; 16942; -18130; 7586,7; -813,23		
$b_1; b_2; b_3; b_4; b_5$	6263; -20367; 23271; -10776; 1522,9		
$c_1; c_2; c_3; c_4; c_5$	-1777,6; 5834,8; -6595,9; 2955,9; -166,4		



вой установки, режимы движения автомобиля, работы его двигателя и трансмиссии принимались согласно требованиям ГОСТ Р 54810—2011.

Следует отметить, что ГОСТ Р 54810—2011 "Автомобильные транспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний" не устанавливает (в отличие от процедур выполнения испытаний по Европейским ездовым циклам) номер передачи, включённой на участках цикла, а также времени прохождения этих участков. Это даёт возможность в процессе расчёта режимов движения в городском цикле на дороге по ГОСТ Р 54810—2011 для АТС категорий N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub> и M<sub>2</sub> класса II разбивать цикл на участки в зависимости от скоростных характеристик ДВС и конструктивных параметров автомобилей — мощности и частоты вращения двигателя, передаточных чисел в коробке передач, главной передаче, диаметров колёс и др. Отмеченные обстоятельства приводят к тому, что число расчётных участков городского цикла для исследуемых автомобилей составило 62.

Результаты расчётов расходов топлива в городском ездовом цикле автомобилями вышеперечисленных моделей (см. табл. 1) при их полной массе приведены в табл. 6.

Компьютерные программы, разработанные в рамках данного исследования для проведения расчётов режимов движения автомобиля с учётом параметров его двигателя и трансмиссии, позволяют выполнять расчёты всех составляющих участков городского ездового цикла в соответствии с ГОСТ Р 54810—2011. В программах заложены характеристики эффективной мощности и эффективного удельного расхода топлива ДВС, параметры городского ездового цикла на дороге, а также основные технические характеристики исследуемых автомобилей. Это даёт возможность на основе энергетического баланса силовой установки автомобиля в каждый момент времени вычислять параметры участков движения в цикле, удельный расход топлива двигателя, расходы по участкам цикла и за цикл в целом. Для оценки расхода топлива двигателем в программу вводятся аналитические выражения для его внешних и частичных скоростных характеристик.

Алгоритм программ позволяет для всех участков цикла вычислять текущие значения скорости, ускорения, пройденного пути, частоты вращения ДВС, его мощности и удельного расхода топлива, что позволяет имитировать динамику движения автомобиля в городских условиях.

Для каждого элементарного участка движения в соответствии с зависимостью 5 осуществляется вычисление скорости и ускорения автомобиля с учётом передаточных чисел основной и дополнительных коробок передач, главной передачи. Помимо этого, выполняется операция определения требуемой тяговой мощности (мощности, развиваемой силовой установкой с учётом характеристик ДВС и КПД трансмиссии).

Каждый участок ездового цикла по времени разбивался на равные отрезки (элементарные участки). Для каждого элементарного участка вычисляется текущее значение расхода топлива на этом участке. В ходе вычислений установлено, что с достаточной для практики точностью приемлемо значение временного шага 0,01 с. Это позволяет проводить вычисления с конечным результатом до пяти значащих цифр, поскольку большинство исходных данных и параметров имеют точность не выше трёх значащих цифр.

Определение оптимальных значений длины составляющих участков пройденного пути и соответствия их требованиям ГОСТ Р 54810—2011 для городского цикла на дороге осуществлялось методом последовательных приближений с учётом ускорений автомобиля на каждом из участков.

Исследования показали, что для достижения максимальной экономичности с достаточной для практики точностью ускорения автомобиля можно принимать постоянными по величине в пределах каждого из участков.

Суммарный расход топлива за цикл составляет 1522 г при постоянных значениях ускорений на участках разгона. Оптимизация с изменением этих ускорений по линейной зависимости от скорости автомобиля практически не даёт снижения расхода (его величина уменьшается до 1521 г — менее чем на 0,1 %).

Картина изменяется при снижении полной массы автомобиля (уменьшении массы перевозимого груза). При движении в городском ездовом цикле порожнего автомобиля вследствие существенного снижения его полной массы с 19 до 9 т значительно уменьшаются нагрузки на двигатель и трансмиссию. Это, в свою очередь, позволяет изменить оптимальную зависимость изменения ускорений автомобиля от скорости на участках разгона. Так, например, изменение ускорений автомобиля по линейной зависимости от скорости даёт снижение расхода на ~2,0 % (с 920,2 до 899,0 г за цикл). Однако ускорения при таком режиме на участках разгона изменяются в слишком широких преде-

Таблица 6

Модель автомобиля	Движение					
	при максимальных ускорениях на участках разгона		при постоянных ускорениях и оптимизации по минимальному времени прохождения цикла		при оптимизации по минимальному путевому расходу топлива в цикле	
	Путевой расход топлива кг/100 км	Средняя скорость в цикле, км/ч	Путевой расход топлива кг/100 км	Средняя скорость в цикле, км/ч	Путевой расход топлива кг/100 км	Средняя скорость в цикле, км/ч
КамАЗ-5511	38,69	29,22	39,35	28,76	38,04	28,08
КамАЗ-55111	43,56	28,91	46,32	28,86	44,50	28,09

лах — от 0,01 до 0,4 м/с<sup>2</sup>. Ограничение ускорений минимальной их величиной 0,1 м/с<sup>2</sup> приводит к снижению времени прохождения цикла и в то же время увеличивает расход топлива до ~916 г за цикл. В настоящее время авторы проводят дополнительные исследования по выбору приемлемого для практики закона изменения ускорения автомобиля от его скорости с целью снижения расхода топлива на участках разгона.

В ходе исследований и расчётов время ускорения автомобиля на отдельных участках городского цикла корректировалось таким образом, чтобы обеспечить длину пройденного пути в соответствии с требованиями стандарта. При этом осуществлялся контроль эффективной мощности, развиваемой двигателем на каждом участке цикла, в соответствии с условием, чтобы потребная тяговая мощность не превышала эффективной ( $k \leq 1$ ). В случае несоблюдения этого условия в расчёте изменялось передаточное число в коробке передач (принималась пониженная передача коробки) для выполнения условия  $N_t \leq N_e$  на любом элементарном участке цикла с постоянной скоростью движения или ускорением. Вторым ограничением на всех режимах движения являлось условие  $n < n_N$ .

При проектировании коробки передач выбор передаточного числа первой, а зачастую и второй передачи определяется требованиями обеспечения движения автотранспортного средства в сложных дорожных условиях, необходимостью преодоления подъёма установленной крутизны с полной массой.

В расчётах процесса движения в городском цикле значения передаточных чисел 1-й и 2-й передач не варьировались, а принимались в соответствии с данными завода-изготовителя. Участки 1 и 3 разгона для процесса оптимизации особого интереса не представляют, поскольку абсолютный расход топлива на этих отрезках пути невелик и составляет около 2 % от общего расхода топлива в цикле. Поэтому в расчётах время разгона на первой и второй передачах принято по 5 с, а движение на этих передачах предполагается до достижения скорости автомобиля соответственно 10 и 20 км/ч.

Рассматривались несколько вариантов оптимизации параметров цикла. Если принять движение автомобиля в цикле с максимальными ускорениями на участках разгона, то это приводит к необходимости работы двигателя по внешней скоростной характеристике на многих участках, т.е. с коэффициентом использования мощности двигателя  $k = 1$ . Удельный расход топлива при этом, как и путевой расход, естественно, далеки от минимальных, но средняя скорость прохождения цикла максимальна, как это видно из табл. 6. Такой режим движения принят в качестве "базового" для сравнения с остальными. Для всех режимов при проведении сравнительного анализа топливной экономичности автомобилей в городском ездовом цикле принято, что автомобиль проезжает всю дистанцию цикла (4000 м), не нарушая при этом требований к параметрам ездового цикла со стороны ГОСТ Р 54810—2011, а также условий  $n < n_N$  и  $0 < k \leq 1$ .

Другой вариант предусматривает движение с постоянными ускорениями на участках разгона. При-

нципиально такой режим может быть предусмотрен и реализован электронным блоком управления силовым агрегатом автомобиля. При этом также возможен вариант движения с максимальной средней скоростью в цикле. В этом случае на отдельных участках цикла коэффициент использования мощности двигателя  $k = N_e/N_{e\text{ВСХ}}$  может достигать значений  $k = 1$ , а частота вращения двигателя — номинальной. Путевой расход топлива за ездовой цикл в этом случае, как и в предшествующем варианте, не может быть минимальным.

Наибольший интерес представляет движение с минимальным путевым расходом топлива. Такой режим обеспечивает работу автомобиля (и его силового агрегата) с максимальной экономичностью, а средняя скорость движения в цикле снижается незначительно.

Нахождение оптимальных параметров движения для всех рассмотренных режимов выполнено путём решения задачи оптимизации параметров движения в ездовом цикле. Поиск экстремума осуществляется путём последовательного вычисления значений оптимизируемого параметра в фиксированных точках заданных интервалов изменений переменных, являющихся параметрами оптимизации. Оптимизируемый параметр (целевая функция) определяется для каждого из них. Одно из двух полученных его значений (максимальное либо минимальное) принимается для дальнейших сравнений (метод Хука—Дживса [9, 10]). Такая операция последовательно осуществляется для всех вариантов сочетаний значений независимых переменных и каждая полученная величина оптимизируемого параметра сравнивается с экстремальным ранее вычисленным его значением. Перебор всех сочетаний позволяет определить значение оптимизируемого параметра и полученные для него величины параметров оптимизации.

На рис. 3 представлены зависимости путевого расхода топлива в городском ездовом цикле и средняя скорость автомобиля-самосвала КамАЗ-5511 с двигателем мод. 740.10 в зависимости от его массы — от снаряжённой (9 т) до полной (19 т). Оптимизация по путевому расходу топлива даёт возможность снизить его на 3—5 % по отношению к "базовому" режиму. Причём при движении на нижнем ряду передач масса автомобиля может достигать 21 т. Полученный вариант движения в цикле следует рекомендовать для эксплуатации автомобиля.

Движение с применением верхнего ряда передач коробки передач обеспечивает полное выполнение всех параметров цикла только до максимальной массы автомобиля 16 т. Экономия топлива при этом существенна и составляет до 10 % для порожнего автомобиля. Поэтому при неполной загрузке автомобиля (до 7 т) движение целесообразно осуществлять на верхнем ряду передач. Нижний ряд следует использовать при нагрузке, близкой к максимальной.

Для автомобилей модификации КамАЗ-55111 с тем же двигателем динамические свойства ухудшаются. Движение в соответствии с требованиями ездового цикла на нижнем ряду передач обеспечивается до массы автомобиля 19 т, что не соответствует его максималь-

ной грузоподъёмности (13 т) и полной массе (22,4 т). Это, по-видимому, и предопределило установку на этих автомобилях двигателя мод. 740.30 повышенной до 191 кВт (260 л.с.) мощности.

На рис. 4 показаны сравнительные результаты для автомобиля КамАЗ-5511 и КамАЗ-55111 с двигателями мощностью соответственно 154 кВт и 191 кВт при прохождении городского ездового цикла. При массе автомобиля 19 т путевые расходы практически одина-

ковы, однако при её превышении двигатель мощностью 154 кВт не обеспечивает строгого выполнения всех условий движения в цикле.

На грузовых автомобилях средней и большой грузоподъёмности в настоящее время автоматические трансмиссии, подобные трансмиссиям легковых автомобилей, не применяются вследствие значительного ряда сложностей. Применение гидротрансформаторов, традиционно входящих в состав автоматических транс-

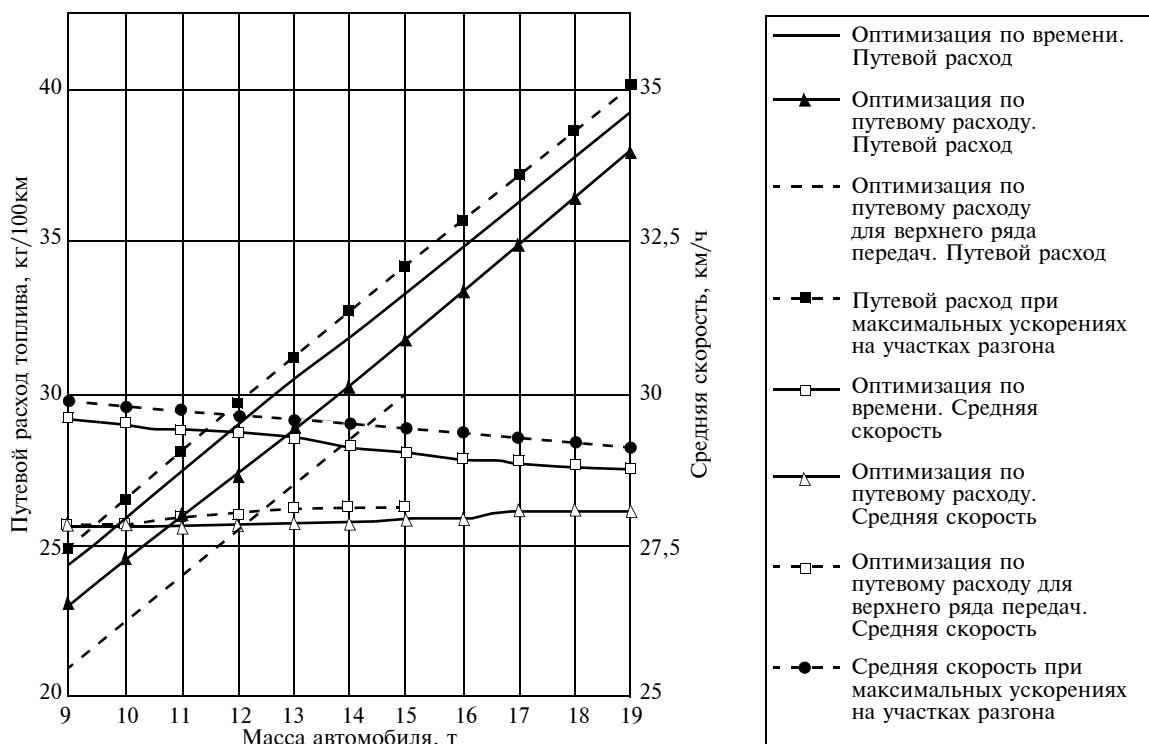


Рис. 3. Путевой расход топлива и средняя скорость движения в цикле автомобиля-самосвала КамАЗ 5511

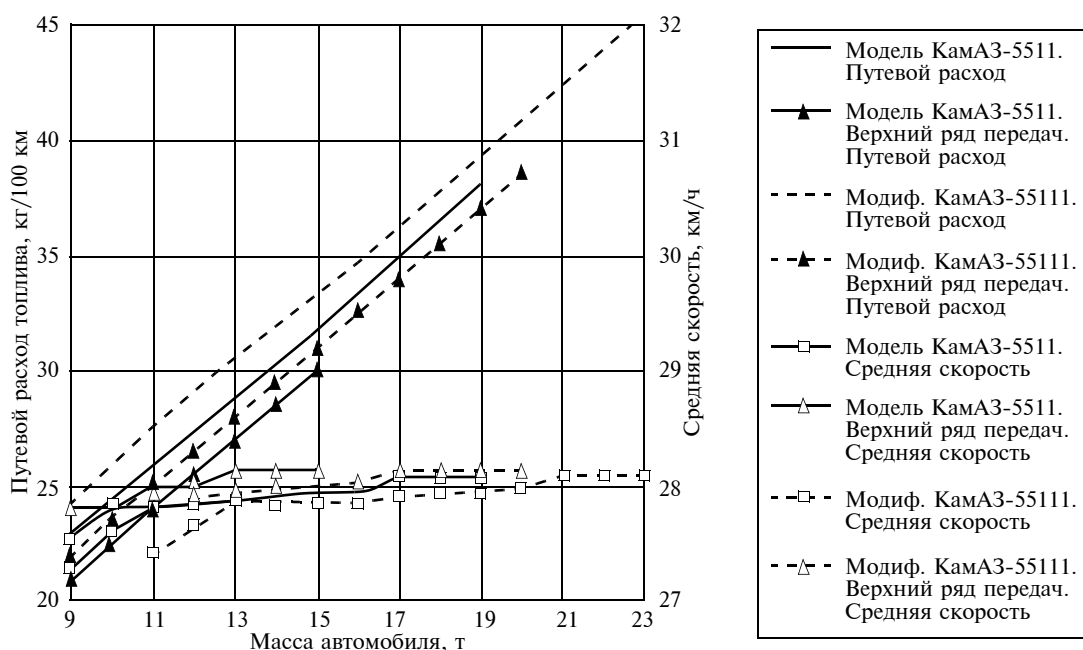


Рис. 4. Путевой расход топлива и средняя скорость движения в цикле автомобилей КамАЗ 5511 и КамАЗ 55111

миссий, приводит к значительным потерям мощности в сравнении с механическими коробками передач. До настоящего времени не удастся устанавливать на грузовые автомобили и коробки передач с вариаторами (типа CVT) ввиду ограничений последних по величине крутящего момента. Помимо этого, такие коробки передач также обычно содержат гидротрансформатор.

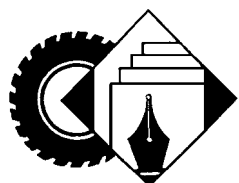
В то же время в последнее десятилетие, как на легковых, так и на грузовых автомобилях, интенсивно внедряются механические ступенчатые коробки передач с автоматическим управлением (роботизированные). Программное обеспечение для блока управления такой силовой установкой может быть выполнено на основе результатов проведённых исследований. Поэтому результаты данной работы найдут своё применение в ходе проектирования таких силовых агрегатов, а также по мере внедрения других типов трансмиссий, коробок передач с вариаторами, гибридных силовых установок.

Таким образом, показано, что процесс движения грузового автомобиля в городском ездовом цикле в соответствии с ГОСТ Р 54810—2011 может быть оптимизирован с целью снижения путевого расхода топлива; определено, что путевой расход топлива автомобилем зависит как от массы перевозимого груза, характеристик двигателя и параметров трансмиссии, так и от режимов движения; в исследовании разработана и применена программа расчёта расхода топлива грузовым автомобилем с дизельным двигателем при его движении в городском ездовом цикле (программа составлена на базе метода расчётов и оптимизации параметров движения автотранспортных средств на неустановив-

шихся режимах); установлено, что у серийных моделей автомобилей категории N<sub>3</sub> для городского ездового цикла путевой расход топлива может быть снижен на 3—10 % при рациональном выборе передач и скорости движения при переключении этих передач; разработаны рекомендации для использования полученных результатов при проектировании блоков управления роботизированными коробками передач.

#### Литература

1. Экология автомобильного транспорта: учебное пособие: 2-е изд., перераб. и доп. / Ю.Ф. Гутаревич, Д.В. Зеркалов, А.Г. Говорун [и др.].— К.: Аристей, 2008. — 296 с.
2. Карбанович И.И. Экономия автомобильного топлива: Опыт и проблемы / И.И. Карбанович. М.: Транспорт, 1992. — 145 с.
3. ГОСТ Р 54810—2011. Автомобильные транспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2012. — 23 с.
4. Машков Е.А. Руководство по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей КамАЗ / Е.А. Машков // Третий Рим, 1997. — 87 с.
5. Automotive engineering. Powertrain, chassis system and vehicle body / Edited by David A. Crolla. — Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier, 2009. — 828 p.
6. Кудрявцев В.Н. Зубчатые передачи / В.Н. Кудрявцев. — М.—Л.: Машгиз, 1957. — 263 с.
7. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн. 3. Компьютерный практикум: учеб. / В.Н. Луканин, М.Г. Шатров, А.Ю. Труш; под ред. Луканина В.Н. М.: Высшая школа, 1995. — 256 с.
8. Литвинов А.С. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств: Учебник для вузов по специальности "Автомобили и автомобильное хозяйство" / А.С. Литвинов, Я.Е. Фаробин. М.: Машиностроение, 1989. — 240 с.
9. Kelley C.T. Iterative methods for optimization / C.T. Kelley. — Raleigh: North Carolina State University, 1999, 180 p.
10. Аттетков А.В. Методы оптимизации / А.В. Аттетков, С.В. Галкин, В.С. Зарубин; под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. — 440 с.



## ИНФОРМАЦИЯ

УДК 338.45.01

### О ПОВЫШЕНИИ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ

Канд. экон. наук **КАЛМЫКОВ Ю.П., БЕКУЛОВА С.Р.**

Финансовый университет (jkalmukov@rambler.ru)

*Рассмотрены вопросы удовлетворения потребности населения в продукции автомобильной промышленности и роль отрасли в создании новых рабочих мест. Уделено внимание росту реальных доходов работников и защите их от социальных рисков. Анализируются экологическая безопасность автомобилей, состояние транспортной инфраструктуры и их влияние на жизнедеятельность и социальную активность населения. Дается оценка по выводу на рынок продуктов с новыми решениями и состояния обновления парка колёсных транспортных средств. Раскрывается необходимость и механизмы обеспечения экономического роста автомобильной индустрии.*

**Ключевые слова:** качество жизни населения, автомобильная индустрия, инновации, субсидии, институты социального страхования, экономический рост, малый бизнес, экологическая безопасность, транспортная инфраструктура.

### Kalmykov Yu.P., Bekulova S.R. LIFE QUALITY INDUSTRY

*The issues of satisfying the needs of the population in the products of the automotive industry and the role of the industry in creating new jobs are considered. Attention is paid to the growth of real incomes of workers and their protection from social risks. The environmental safety of cars, the state of transport infrastructure and their impact on the livelihoods and social activity of the population are analyzed. An assessment is given of the launch of products with new solutions and the status of updating the fleet of wheeled vehicles. The necessity and mechanisms for ensuring the economic growth of the automotive industry are revealed.*

**Keywords:** quality of life, automobile industry, innovation, subsidies, social insurance institutions, economic growth, small business, environmental safety, transport infrastructure.

Автомобильная промышленность — одна из ключевых отраслей российской экономики, которая во многом определяет социально-экономические горизонты развития нашей страны. Предприятия отрасли выпус-

кают разнообразную промышленную продукцию, которая пользуется спросом в домашних хозяйствах и широко используется в коммерческих целях, — легковые и грузовые автомобили, автобусы и специальные АТС. Сведения об объёмах производства автомобилей по всем сегментам (тыс. шт.) представлены в табл. 1 [1].

Из приведённых данных видно, что выпуск автомобилей имеет разнонаправленную динамику, что вызвано рядом причин. Прежде всего сыграли свою роль неготовность предприятий отрасли к переходу на рыночные условия хозяйствования: низкий технический уровень выпускаемой продукции, изношенность производственной инфраструктуры, высокие операционные издержки и содержание на балансе многочисленных дорогостоящих объектов социальной сферы — жилого фонда, детских и медицинских учреждений, домов культуры, спортивных сооружений и др. К этому следует добавить отсутствие должного таможенного регулирования и инструментов государственной финансовой поддержки автомобилестроения, включая льготное инвестиционное кредитование и налогообложение.

В совокупности перечисленные и другие факторы привели к утрате конкурентоспособности отечественных автомобилей, тяжёлому финансовому положению автопроизводителей и даже банкротству ряда крупных предприятий. В результате производство автомобилей в 1995 г. сократилось против 1985 г. (табл. 1) почти в 2 раза, в т.ч. легковых автомобилей в 1,4 раза.

Для удовлетворения растущего спроса населения на легковые автомобили в Россию ежегодно стали ввозиться сотни тысяч легковых автомобилей, из которых более 1/3 приходилось на подержанные. Если в 2001 г. автомобили зарубежных брендов составляли 42 % от произведённых в стране автомобилей, то в 2004 г. — уже 61 %. По существу страна, одна из крупнейших в мире производителей автомобильной техники, превратилась в страну-импортёра подержанных автомобилей.

Для предотвращения риска существования отечественного автомобилестроения Правительством РФ были приняты два исключительно важных решения: Постановление от 29.03.2005 года № 166 "О введении на территории страны локализации производства зарубежных автомобилей" и Постановление от 15.04.2014 № 328 "Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Развитие промышленности и повышение её конкурентоспособности", рассчитанной на период с 2012 года по 2020 год.

Таблица 1

Год	Объём отечественного производства автомобилей				
	Легковые	Грузовые	Автобусы	Специальные	Всего
1985	1165	688	59,9	н.д.	1912,9
1995	835	142	39,8	н.д.	1016,8
2012	1964	212	58,6	15,9	2250,5
2016	1100	137	43,2	3,2	1283,4
2018	1565	157	45,8	3,9	1771,7
2019	1575	157	45	4,5	1781,5

Введение на территории России режима "промышленной сборки" зарубежных автомобилей способствовало соперничеству между автомобильными концернами за занятия мест на российском рынке, потенциал которого оценивался ёмкостью до 4 млн автомашин в год. В качестве стимула организации автоконцернами производства автомобилей явилось освобождение их от таможенных пошлин на ввоз в страну автокомпонентов. Это позволило заключить с автоконцернами 29 соглашений и получить приток в страну инвестиций в объёме 185 млрд руб. и создать 25 тыс. рабочих мест.

Постановлением № 328 был утверждён Паспорт государственной программы Российской Федерации в составе 21 подпрограммы развития приоритетных отраслей промышленности, в т.ч. Паспорт Подпрограммы 1 "Автомобильная промышленность", в котором нашли отражение перечень актуальных задач развития отрасли на период до 2020 года и ежегодное предоставление предприятиям субсидий из федерального бюджета.

За период с 2012 по 2017 г. на оказание поддержки автомобильной промышленности из федерального бюджета были выделены бюджетные ассигнования в сумме 354 922 463,5 тыс. руб. Эти средства, как показал анализ, были направлены *на субсидирование*: инвестиционной активности по модернизации производственной инфраструктуры; операционных (переменных) и постоянных затрат для обеспечения конкурентоспособности отечественных автомобилей; проведения НИОКР для создания новой автомобильной техники и автокомпонентов; обновления текущего автомобильного парка России и на стимулирование спроса физических и юридических лиц на новые автомобили.

Введение на территории России режима "промышленной сборки" зарубежных автомобилей и предоставление на развитие автомобильной индустрии субсидий из федерального бюджета позволили переломить отрицательный тренд по производству автомобилей. Их выпуск в 2012 году превысил уровень 1995 г. (см. табл. 1) в 2,2, раза, в т.ч. по легковым автомобилям в 2,4 раза. Весьма важно также, что локализация производства позволила существенно поднять уровень технологии производства на предприятиях и повысить качество продукции — более 60 % выпускаемых сегодня в стране моделей автомобилей спроектированы на базе глобальных платформ. Это позволило многократно уменьшить объёмы импорта новых машин из-за рубежа.

Однако дальнейшему развитию автомобильного производства помешало введение западными странами жёстких экономических санкций. Они привели к девальвации рубля и крайне отрицательно повлияли на покупательную способность населения. Резко упал спрос на легковые автомобили и объём их производства, что видно из данных, приведённых в табл. 2 [1].

Обращает на себя внимание значительное недоиспользование производственных мощностей на предприятиях отрасли. Этот вопрос не нашёл решения и в Стратегии развития автомобильной промышленности на период до 2025 года. Вместе с тем увеличение загрузки вновь созданных производств, наряду с сохранением высокопроизводительных рабочих мест

Легковые автомобили	2012 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	Стратегия 2025 г.
Продажа, тыс. ед. % к 2012 году	2740 100,0	1310 47,8	1356 49,5	1565 57,1	1543 56,3	2210 80,7
Выпуск, тыс. ед. % к 2012 году	1964 100,0	1100 56,0	1349 68,7	1654 84,2	1575 80,2	2120 107,9
Выпуск в % к произв. мощности (3,2 млн в год)	61,3	34,4	42,1	51,7	49,2	66,3

и улучшением финансового положения предприятий, позволило бы существенно повысить обеспеченность населения России автомобилями. Сведения об этом социальном показателе по отчёту за 2017 г. представлены в табл. 3 [2].

Из приведённых данных видно, что в России обеспеченность населения в автомобилях на 1000 человек составляет 306 автомобилей, при этом ряд субъектов Российской Федерации далеко отстают от этого уровня. Для сравнения с развитыми странами России предстоит многое сделать для увеличения выпуска колёсных транспортных средств. Это видно из данных, представленных в табл. 4 [3—5].

Решение проблемы повышения покупательной способности населения и, соответственно, увеличения выпуска легковых автомобилей ряд экономистов видят в предоставлении покупателям льготных потребительских кредитов. Надо сказать, что эту меру уже использует государство. Так, из общей суммы средств, предоставленных на развитие автомобильной отрасли в период с 2012 по 2017 г. (354,9 млрд руб.), более 75 % было направлено на стимулирование спроса на внутреннем автомобильном рынке. Помогло ли это? Да помогло, особенно в 2016 и 2017 гг., когда продажи легковых автомобилей из-за ухудшения внешнеэкономической и внешнеполитической конъюнктуры снизились почти наполовину (см. табл. 2).

Однако этот путь имеет существенные ограничения: его использование возможно лишь в условиях увеличения реальных располагаемых доходов населения. В ином же случае, что имеет место в последние годы (табл. 5), он может привести к перекредитованию заёмщиков и даже их банкротству, а кредитные учреждения из-за массовых нарушений сроков возврата ссуд — к утрате ликвидности. Поэтому к использованию этого инструмента следует относиться весьма избирательно, взвешивая финансовые последствия.

По оценке Минэкономразвития России (письмо от 13.09.2019 г № 30867) прирост задолженности по потребительским кредитам (кредиты населения за исключением жилищных кредитов) в 2019 году находился в диапазоне 22—24 % г/г. Темп роста портфеля потребительских кредитов, существенно превысивший темп роста доходов населения, привёл в 2019 году к задолженности по потребительским кредитам на сумму 1,7 трлн рублей, что сопоставимо с расходами федерального бюджета за 2018 год.

Опыт ведущих экономик показывает, что наиболее перспективным направлением для повышения спроса является повышение благосостояния народа на осно-

ве стабильного экономического роста при сохранении инфляции на низком уровне. О состоянии факторов производства в промышленности России перечень мер и ответственность за их осуществление достаточно подробно изложены в Основных направлениях деятельности Правительства РФ на период до 2024 года (далее — ОНДП).

Важно здесь отметить, что повышение покупательной способности населения — это ключ не только для сохранения автоиндустрии, но и обеспечения дальнейшего поступательного развития других, смежных с ней отраслей экономики. Выпуск автомобилей генерирует потребность в высокотехнологичной продукции металлургической, химической, электротехнической и других стратегических отраслей промышленности, обеспечивая занятость в размере более чем 3,5 млн человек.

Таблица 3

Субъект Федерации	Число автомобилей на 1000 чел.
Карелия	370
Московская область	366
Псковская область	366
Калужская область	365
Омская область	306
Томская область	305
Саратовская область	304
Владимирская область	302
Дагестан	188
Ингушетия	162
Чечня	150
Чукотка	110
Россия в целом	306

Таблица 4

Страна	Число автомобилей на 1000 чел.
США	838
Италия	721
Польша	698
Испания	616
Германия	605
Франция	590
В среднем по Евросоюзу	602
Россия	306

Большое влияние оказывает автомобилестроение и на малый бизнес: в системе торговли автомобилями, техническом их обслуживании, добровольном и обязательном страховании функционирует в настоящее время более одного миллиона рабочих мест, превышая численность производственного персонала самого автопрома более чем в 2 раза.

Автомобильная отрасль, наряду с мерами по повышению эффективности производства, предусмотренными в ОНДП, имеет значительные, ещё не вовлечённые в действие, резервы по использованию имеющихся мощностей. В условиях падения спроса на автомобили внутри страны одним из важнейших и перспективных направлений увеличения производства и продаж автомобилей является их продвижение на зарубежные рынки. Анализ показывает, что пока этому направлению в отрасли не уделяется должного внимания. Об этом свидетельствуют данные об экспорте произведённых на территории России автомобилей, приведённые в табл. 6 [1, 4].

Из приведённых данных видно, что поставка автомобилей на экспорт имеет отрицательную динамику. В 2019 году их объём против 1995 года сократился почти в 2 раза, или с 238,8 тыс. штук до 127,5 тыс. штук. Существенно сократилась и доля экспорта к выпуску автомобилей: с 23,5 до 7,2 %, или в 3,3 раза. Стратегией развития автомобилестроения предусмотрено увеличение поставок продукции на экспорт. Однако их доля по отношению к общему выпуску автомобилей остаётся значительно ниже достигнутого уровня в 1995 году: было 23,5 %, планируется 13,6 %.

Одним из важных резервов роста объёмов экспорта является использование потенциала поставок автомобилей в страны дальнего зарубежья. Так, в 1995 году доля экспорта в Азию, на Ближний Восток и Южную Америку составила в общем объёме поставок 86 %.

Для существенного оживления экспорта автомобильной продукции необходимо, на наш взгляд, широкое взаимодействие бюджетных стимулов и регулятивных инструментов, в т.ч.: субсидирование создания совместных предприятий и дочерних структур российских компаний за рубежом, включая упрощение процедуры открытия счетов этих организаций; заключение Соглашений о свободной торговле со странами-импортерами и др.

В ОНДП планируется по автомобилестроению обеспечить достижение в 2024 году объёма экспорта продукции — до 7,5 млрд долларов США (экспорт за 2017 год составил 4,3 млрд долларов США), что предполагает увеличение экспорта в стоимостном выражении на 74,4 процента. В Стратегии автопрома на 2025 год объём экспорта в стоимостном выражении предусмотрен в объёме 293 млрд руб., что в пересчёте на доллары США по минимальной его стоимости в конце февраля 2018 года (55,6717) 5,2 млрд долларов США, а по текущему курсу на 14.08.2019 (65,26) лишь 4,5 млрд долларов США. Из этого следует необходимость пересмотра в Стратегии финансового индикатора по объёму экспорта продукции.

Наряду с продвижением отечественных автомобилей на зарубежные рынки, увеличение выпуска и про-

Показатели	Динамика денежных доходов населения (%)		
	2016 г.	2017 г.	2018 г.
Денежные доходы населения	2,2	3,0	4,0
Реальные денежные доходы	-4,5	-0,7	1,1
Реальные располагаемые доходы	-4,5	-0,5	0,1
Реальные располагаемые доходы (без учёта %)	-4,8	-1,1	0,8

Таблица 6

Период	Экспорт	Легковые	Грузовые	Автобусы	Всего
1995 г.	Экспорт (тыс. ед.)	211,8	24,1	2,9	238,8
	Экспорт в % от пр-ва	25,4	17,0	7,3	23,5
2012 г.	Экспорт (тыс. ед.)	112,7	18,8	4,3	135,8
	Экспорт в % от пр-ва	5,6	9,8	7,3	6,1
2019 г.	Экспорт (тыс. ед.)	109,4	14,6	3,5	127,5
	Экспорт в % от пр-ва	6,9	9,3	7,7	7,2
2025 г., стратегия	Экспорт (тыс. ед.)	287,7	22,2	1,3	311,2
	Экспорт в % от пр-ва	13,4	20,1	0,6	13,6

даж автомобильной техники может быть обеспечено за счёт принятия мер по обновлению парка. В его составе, насчитывающем 49 730 тыс. АТС, по всем сегментам на долю автомобилей с пробегом старше 10 лет приходилось 22 %. При этом средний возраст легковых машин всех марок приблизился к 13 годам, грузовых — к 19, автобусов — 15, а легковых российского производства достиг 16,4 г.

Возрастная структура автомобильного парка даёт хороший потенциал для обновления и, как следствие, развития рынка новых транспортных средств. Однако, несмотря на принятие ряда регулятивных инструментов в виде постановлений Правительства Российской Федерации (№ 609 от 12.10.2005 г., № 720 от 10.09.2009 г.) существенных изменений в осуществлении утилизации автомобилей, утративших свои потребительские свойства, за прошедшие годы не произошло.

*Окончание в следующем номере "АП"*

#### Литература

1. Официальный сайт ОАО "Автосельхозмаш-холдинг" (ОАО "АСМ-холдинг"). URL: <http://www.asm-holding.ru/> (дата обращения: 06.04.2020).
2. Сайт аналитического агентства АВТОСТАТ. URL: <https://www.autostat.ru> (дата обращения: 23.03.2020).
3. The European Automobile Manufacturers' Association (ACEA). URL: <https://www.acea.be/> (дата обращения: 23.03.2020).
4. Официальный сайт Федеральной государственной статистики (Росстат). URL: <https://www.gks.ru/> (дата обращения: 23.03.2020).
5. Официальный сайт Федерального управления автомобильных дорог Министерства транспорта США. The Federal Highway Administration (FHWA). <https://highways.dot.gov/> (дата обращения: 23.03.2020).
6. Отчёт о начислении и поступлении налогов, сборов и страховых взносов в бюджетную систему Российской Федерации по основным видам экономической деятельности за 2019 год. URL: [https://www.nalog.ru/m48/related\\_activities/statistics\\_and\\_analytics/fo rms/](https://www.nalog.ru/m48/related_activities/statistics_and_analytics/fo rms/) (дата обращения: 23.03.2020).

# Содержание

## ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Невежин В.П. — Прогнозирование стоимости легковых автомобилей среднего класса . . . . . 1

## КОНСТРУКЦИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Тарасик В.П., Пузанова О.В. — Влияние режима движения автомобиля на его топливную экономичность . . . . . 6

Шабанов А.В., Бернацкий В.В., Соколов С.А. — Моделирование алгоритма работы комбинированной силовой установки спортивного автомобиля . . . . . 10

Дьяков И.Ф., Моисеев Ю.В. — Использование нейронной сети при проектировании пневмоколёс . . . . . 16

Возвращаясь к напечатанному

Под парусом . . . . . 24

## ЭКСПЛУАТАЦИЯ. ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС АТС

Акулов К.А., Блякинштейн И.М. — Использование наноматериалов в составе моторных масел . . . . . 25

Герашенко В.В., Коваленко Н.А., Лобах В.П. — Бортовое диагностирование двигателя по его постоянной времени . . . . . 27

Горожанкин С.А., Савенков Н.В. — Оптимизация режимов движения грузовых автомобилей в городских условиях . . . . . 30

## ИНФОРМАЦИЯ

Калмыков Ю.П., Бекулова С.Р. — О повышении качества жизни . . . . . 36

Главный редактор **Н.А. ПУГИН**

Зам. главного редактора **Р.В. Козырев**

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

- Балабин И.В.** — д-р техн. наук, профессор МГТУ имени Н.Э. Баумана  
**Бахмутов С.В.** — д-р техн. наук, зам. директора по научной работе ГНЦ "НАМИ"  
**Гируцкий О.И.** — д-р техн. наук, профессор, зам. председателя Экспертного совета НАМИ  
**Гладков В.И.** — канд. техн. наук, зам. генерального директора по научной работе ОАО "НИИТавтопром"  
**Ковригин А.С.** — зам. генерального директора ОАО "АСМ-холдинг"  
**Комаров В.В.** — канд. техн. наук, зам. генерального директора ОАО "НИИАТ" по научной работе  
**Коровкин И.А.** — канд. экон. наук, исполнительный директор НП "ОАР"  
**Котиев Г.О.** — д-р техн. наук, профессор МГТУ имени Н.Э. Баумана  
**Круглов С.М.** — зам. генерального директора ОАО "НИИТавтопром"  
**Ксенович Т.И.** — канд. физ.-мат. наук, МГТУ имени Н.Э. Баумана, НИЦ "Русаен"  
**Мамити Г.И.** — д-р техн. наук, профессор Горского Агроуниверситета (Владикавказ)  
**Марков В.А.** — д-р техн. наук, профессор МГТУ имени Н.Э. Баумана  
**Сорокин Н.Т.** — д-р экон. наук, директор ФГБНУ ВНИМС ФАНО России  
**Тер-Мкртчян Г.Г.** — д-р техн. наук, ГНЦ "НАМИ"  
**Титков А.И.** — канд. техн. наук, эксперт аналитического центра ОАО "АСМ-холдинг"  
**Топалиди В.А.** — канд. техн. наук, ТАДИ  
**Филимонов В.Н.** — ответственный секретарь "АП"

## Белорусский редакционный совет:

- Альгин В.Б.** — д-р техн. наук, профессор, заместитель директора по научной работе ОИМ НАН Беларуси  
**Егоров А.Н.** — генеральный конструктор — начальник НТЦ ПО "БелАЗ"  
**Захарик А.М.** — канд. техн. наук, технический директор РУП "МАЗ"  
**Кухаренок Г.М.** — д-р техн. наук, профессор БНТУ  
**Мариив П.Л.** — д-р техн. наук, директор НТЦ "Карьерная техника" ОИМ НАН Беларуси  
**Николаев Ю.И.** — главный конструктор ОАО "МЗКТ"  
**Сазонов И.С.** — д-р техн. наук, проф., ректор Белорусско-Российского университета (Могилёв)  
**Харитончик С.В.** — д-р техн. наук, доцент БНТУ (Минск)

Информационный партнёр АНО "НИЦ "Русаен"

Технический редактор *Шацкая Т.А.*

Корректор *Сажина Л.И.*

Сдано в набор 09.04.2020. Подписано в печать 26.05.2020.

Формат 60×88 1/8. Усл. печ. л. 4,9. Бумага офсетная.

Отпечатано в ООО "Канцлер".

150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49.

Оригинал-макет: ООО "Авансед солюшнз".

119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: [www.aov.ru](http://www.aov.ru)

## ООО "Издательство "Инновационное машиностроение"

Адрес издательства и редакции: 107076, Москва, Колодезный пер., 2а, стр. 2

Телефоны: (915) 412-52-56 и (499) 269-54-98; (495) 785-60-69 (реклама и реализация)

E-mail: [avtoprom-atd@mail.ru](mailto:avtoprom-atd@mail.ru)

[www.mashin.ru](http://www.mashin.ru)

Журнал зарегистрирован Министерством РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Свидетельство ПИ № 77-7184

Цена свободная.

Журнал рекомендован ВАК РФ для публикации трудов соискателей ученых степеней, входит в международную базу данных "Chemical Abstracts".

За содержание рекламных объявлений ответственность несет рекламодатель.

Перепечатка материалов из журнала "Автомобильная промышленность" возможна при обязательном письменном согласовании с редакцией; ссылка — обязательна.