ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

Издается с мая 1930 года

АВТОМОБИЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

УЧРЕДИТЕЛИ:
МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ,
науки и технологий РФ,
ОАО "АВТОСЕЛЬХОЗМАШ-ХОЛДИНГ"

№ 2 • февраль • 2019

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 629.113.004

РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА К СУММАРНОЙ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА БЕСПИЛОТНЫХ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Канд. экон. наук **НЕВЕЛЕВ В.А.**,
канд. техн. наук **ВАСИН В.А.**
Институт мировой экономики, Московский политехнический университет (МАМИ)
(nevelev50@mail.ru)

Реализован системный подход к суммарной количественной оценке экономической эффективности жизненного цикла беспилотных автотранспортных средств. При этом была использована многоуровневая система экономико-статистических аналитических моделей.

Ключевые слова: *беспилотные автотранспортные средства, жизненный цикл, экономическая эффективность, системный подход, суммарная количественная оценка, экономико-статистические аналитические модели.*

Nevelev V.A., Vasin V.A.

REALIZATION OF THE SYSTEM APPROACH TO TOTAL QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THE ECONOMIC EFFICIENCY OF LIFE CYCLE BY THE UNMANNED VEHICLES

There was realized the system approach to total quantitative assessment of the economic efficiency of life cycle by the unmanned vehicles. Under that was used the multilevel system of economic-statistical analytical models.

Keywords: *unmanned vehicles, life cycle, economic efficiency, system approach, total quantitative assessment, economic-statistical analytical models.*

Применение цифровых сквозных технологий, как указано в Программе "Цифровая экономика Российской Федерации", в настоящее время представляется решающим фактором повышения уровня конкурентоспособности страны, качества жизни населения, обеспечения экономического роста и национальной безопасности России [1, ст. 5138]. В связи с этим *"инфраструктурные проекты являются наиболее важными и сложными — в силу их масштабов и длительности инвестиционных циклов"*, как это явствует из новой модели экономического роста [2, с. 5]. Поэтому на первый план выступают, в частности, проекты формирования жизненного цикла беспилотных автотранспортных средств (БАС) при наличии в РФ дефицита рабочей силы, особенно на автомобильном транспорте. Жизненный цикл БАС как товара[1], следуя разработанной авторами схемы, состоит из проектирования, разработки, организации производства и использования, включая их утилизацию.

Под беспилотными автотранспортными средствами авторами понимаются (согласно определению Г.Б. Шипилевского) автомобили, оснащённые аппаратурой для автоматического управления движением по заданному маршруту без участия водителя [4, с. 1]. В мировой практике проводятся научные исследования по проектированию и разработке БАС. Так, в Германии были сконструированы БАС "Mercedes" и "Leonie", в Японии — NSC-2015 "Nissan", в США —"General Motors", а в Швеции —"Volvo". Учитывая высокую эксплуатационную эффективность вышеуказанных БАС, в России также приступили к проектированию, разработке и организации производства беспилотных автомобилей. Так, в Государственном научном центре Российской Федерации "НАМИ" при исполнении проекта "ШАТЛ 2.0" (ШирокоАдаптивная Транспортная Логистика) сконструирован макетный образец БАС на технологической платформе автомобиля ВАЗ семейства "Лада-Калина". В этом образце "обеспечена работоспособность приводов педали тормоза, дроссельной заслонки, рулевого управления и селектора переклю-

[1] Жизненный цикл товара авторы (согласно определению, данного Б.А. Райзбергом) представляют как процесс, состоящий из последовательно наступающих стадий зарождения идеи, разработки товара, освоения его производства, роста рыночной продажи, морального старения, снижения и прекращения производства, замены новым, более прогрессивным товаром [3, с. 83].

чения режимов работы автоматической коробки передач, управляемых с помощью электронных пультов системы управления движением" [5, с. 4]. Системное управление движением БАС включает подсистему технического обслуживания, подсистему спутниковой навигации и ориентации ГЛОНАСС с электронным пультом управления их движением, а также подсистему разработки маршрутного задания.

Группа "ГАЗ" разработала на технологической платформе электробусов "Газель NEXT" две модели БАС, которые выставлялись на Московском Международном автомобильном салоне в августе—сентябре 2018 г. [6, с. 7]. А ПАО "КамАЗ" спроектировало и разработало совместно с НАМИ модель БАС, которая представляет собой сочетание элементов автобуса, такси и легкового автомобиля для индивидуального пользования [7, с. 38].

В целях обеспечения эффективного управления беспилотными автотранспортными средствами авторы данной статьи на основе творческого изучения вышеуказанного опыта попытались построить алгоритм системного подхода к суммарной количественной оценке экономической эффективности их проектирования, разработки, организации производства и использования, включая утилизацию (см. таблицу). Данный алгоритм представляет собой систему взаимосвязанных во времени и в пространстве трёх подсистем функционирования жизненного цикла БАС: определения суммарных затрат (1), определения суммарного экономического эффекта (2) и обоснования суммарной экономической эффективности (3).

Подсистема формирования уровня суммарных затрат на функционирование жизненного цикла БАС представляет собой расчёт агрегированного показателя затрат на их проектирование, разработку, организацию про-

Подсистема	Формула	Обозначения
1	$\sum_{a=1}^{n} c^{t}_{p_a w_a o_a u_a} = \sum_{a=1}^{n} c^{t}_{p_a} + \sum_{a=1}^{n} c^{t}_{w_a} + \sum_{a=1}^{n} c^{t}_{o_a} + \sum_{a=1}^{n} c^{t}_{u_a}$	$\sum_{a=1}^{n} c^{t}_{p_a w_a o_a u_a}$ — уровень суммарных затрат на проектирование, разработку, организацию производства и использование, включая утилизацию, в t-м периоде (млн руб. в сопоставимых ценах); $\sum_{a=1}^{n} c^{t}_{p_a}$ — уровень суммарных затрат на проектирование БАС в t-м периоде (млн руб. в сопоставимых ценах); $\sum_{a=1}^{n} c^{t}_{w_a}$ — уровень суммарных затрат на разработку БАС в t-м периоде (млн руб. в сопоставимых ценах); $\sum_{a=1}^{n} c^{t}_{o_a}$ — уровень суммарных затрат на организацию производства БАС в t-м периоде (млн руб. в сопоставимых ценах); $\sum_{a=1}^{n} c^{t}_{u_a}$ — уровень суммарных затрат на использование, включая утилизацию, БАС в t-м периоде (млн руб. в сопоставимых ценах)
2	$\sum_{a=1}^{n} E^{t}_{p_a w_a o_a u_a} = \sum_{a=1}^{n} E^{t}_{p_a} + \sum_{a=1}^{n} E^{t}_{w_a} + \sum_{a=1}^{n} E^{t}_{o_a} + \sum_{a=1}^{n} E^{t}_{u_a}$	$\sum_{a=1}^{n} E^{t}_{p_a w_a o_a u_a}$ — уровень суммарного экономического эффекта от проектирования, разработки, организации производства и использования, включая утилизацию, БАС в t-м периоде (млн руб. в сопоставимых ценах); $\sum_{a=1}^{n} E^{t}_{p_a}$ — уровень суммарного экономического эффекта от проектирования БАС в t-м периоде (млн руб. в сопоставимых ценах); $\sum_{a=1}^{n} E^{t}_{w_a}$ — уровень суммарного экономического эффекта от разработки БАС в t-м периоде (млн руб. в сопоставимых ценах); $\sum_{a=1}^{n} E^{t}_{o_a}$ — уровень суммарного экономического эффекта от организации производства БАС в t-м периоде (млн руб. в сопоставимых ценах); $\sum_{a=1}^{n} E^{t}_{u_a}$ — уровень суммарного экономического эффекта от использования, включая утилизацию, БАС в t-м периоде (млн руб. в сопоставимых ценах)
3	$\sum_{a=1}^{n} e^{t}_{p_a w_a o_a u_a} = \frac{\sum_{a=1}^{n} E^{t}_{p_a} + \sum_{a=1}^{n} E^{t}_{w_a} + \sum_{a=1}^{n} E^{t}_{o_a} + \sum_{a=1}^{n} E^{t}_{u_a}}{\sum_{a=1}^{n} c^{t}_{p_a} + \sum_{a=1}^{n} c^{t}_{w_a} + \sum_{a=1}^{n} c^{t}_{o_a} + \sum_{a=1}^{n} c^{t}_{u_a}}$	$\sum_{a=1}^{n} e^{t}_{p_a w_a o_a u_a}$ — уровень суммарной экономической эффективности проектирования, разработки, организации производства и использования, включая утилизацию, БАС (руб./руб. в сопоставимых ценах)

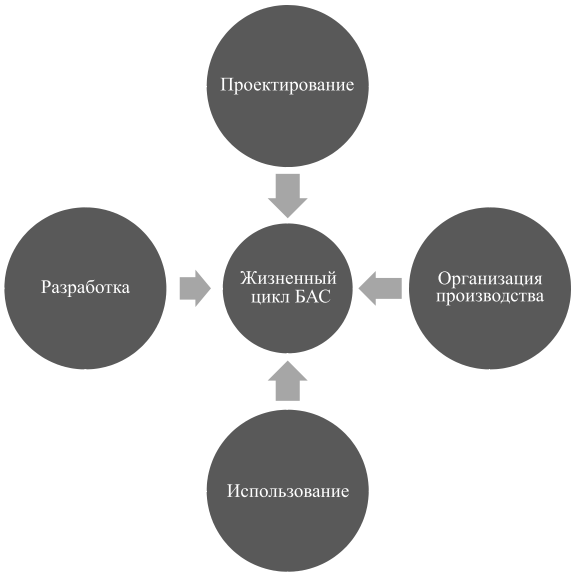


Схема формирования жизненного цикла БАС

изводства и использование, включая утилизацию $\left(\sum_{a=1}^{n} C^{t}_{p_{aw_a o_a u_a}}\right)$ на основе экономико-статистической аналитической модели.

Подсистема определения уровня суммарного экономического эффекта от функционирования жизненного цикла БАС представляет собой расчёт агрегированного индикатора экономического эффекта от их проектирования, разработки, организации производства и использования, включая утилизацию $\left(\sum_{a=1}^{n} E^{t}_{pwou}\right)$, на основе применения вышеуказанной экономико-статистической аналитической модели.

Подсистема обоснования уровня суммарной экономической эффективности функционирования жизненного цикла БАС представляет собой расчёт агрегированного показателя уровня экономической эффективности их проектирования, разработки, организации производства и использования, включая утилизацию $\left(\sum_{a=1}^{n} e_{pwou}\right)$, на основе комплексной экономико-статистической аналитической модели как соотношения вышеуказанных второй и первой подсистем.

Разработанный авторами алгоритм может быть использован при реализации "Стратегии развития автомобильной промышленности Российской Федерации на период до 2025 года" [8, ст. 2804], а также в учебном процессе Московского политехнического университета на факультете Экономики и управления.

Литература

1. Программа "Цифровая экономика Российской Федерации" / Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017г. № 1632-р//Собрание законодательства Российской Федерации № 32. 7 августа 2017 г. — Ст. 5138.
2. Медведев Д.А. Россия — 2024: Стратегия социально-экономического развития // Российская газета № 225(7688). 9 октября 2018 г. www.rg.ru — С. 1, 4, 5.
3. Райзберг Б.А. Жизненный цикл товара // Популярная экономическая энциклопедия. Гл. редактор А.Д. Некипелов. — С. 83.
4. Шипилевский Г.Б. Перспективы и целесообразность применения беспилотных автотранспортных систем // Автомобильная промышленность. 2018. № 1. — С. 1—5.
5. Проект "Шатл 2.0". — М.: НАМИ, КамАЗ. 2017. — 20 с.
6. Баршев В., Зубко Ю. Кто припаркуется в "Крокус Экспо"? // Российская газета. № 190 (7653). 29 августа 2018 г. — С. 1, 7.
7. Максютина Е., Головкин А. Автомобильная промышленность: проблемы и их решение в контексте четвёртой промышленной революции // Экономист. 2017. № 9. — С. 32—40.
8. Стратегия развития автомобильной промышленности Российской Федерации на период до 2025 года / Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 апреля 2018 г. № 831-р // Собрание законодательства Российской Федерации. № 19. 7 мая 2018 г. — Ст. 2804.

КОНСТРУКЦИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

УДК 621.435.01

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ ГАЗОВОГО ДВИГАТЕЛЯ, РЕГУЛИРУЕМОГО НА РЕЖИМАХ МАЛЫХ НАГРУЗОК ОТКЛЮЧЕНИЕМ ЧАСТИ ЦИЛИНДРОВ

Д-ра техн. наук **МАРКОВ В.А., ПАТРАХАЛЬЦЕВ Н.Н.**; канд. техн. наук **БАРЧЕНКО Ф.Б.; ЛОТФУЛЛИН Ш.Р.**, МГТУ имени Н.Э. Баумана, РУДН (patrakhaltsev37@mail.ru)

Приводятся результаты расчётно-экспериментального исследования возможностей повышения эксплуатационной топливной экономичности газового двигателя, конвертированного из дизеля типа КамАЗ, путём отключения части цилиндров на режимах малых нагрузок и холостых ходов.

Ключевые слова: *газовый двигатель, режимы малых нагрузок, экономичность, отключение цилиндров, регулирование активного рабочего объёма двигателя.*

Markov V.A., Patrakhaltsev N.N., Barchenko F.B., Lotfullin Sh.R.

FUEL ECONOMY RISING OF GAS ENGINE BY REGULATION OF NUMBER OF DISCONNTCTED CYLINDERS ON LOW LOAD REGIMES

There are presented some opportunities of improving of fuel economy of gas engines that are working within long time on low loads and idle.

Keywords: *gas engine, regimes of low loads, fuel economy, disconnection of cylinders, regulation of active working volume.*

В реальных условиях эксплуатации транспортные двигатели длительное время работают при режимах малых нагрузок и холостых ходов, что существенно снижает их топливную экономичность, повышает токсичность выбросов и т.д. Между тем давно известен такой метод повышения эксплуатационной топливной экономичности и экологичности двигателя, как отключение части цилиндров. В простейших случаях он реализуется выключением подачи топлива в отключаемые цилиндры [1, 2]. Этот метод довольно эффективен на двигателях с дроссельным регулированием (бензиновых, газовых и др.), благодаря "раздросселированию" как работающих (активных), так и отключённых (деактивированных) цилиндров. При этом желательно сопровождать выключение топливоподачи изменением фаз газообмена в отключаемых цилиндрах. Например, после такта всасывания деактивированного цилиндра оставляют клапаны в закрытом состоянии, в результате чего поршни в этих цилиндрах работают как пневматические пружины, что снижает механические потери двигателя благодаря снижению насосных потерь. В идеале же следовало бы вообще остановить поршни отключённых цилиндров, что ещё более снизит механические потери (такие технические решения в определённой степени освещаются в специальной литературе, содержатся в источниках патентной информации [1]).

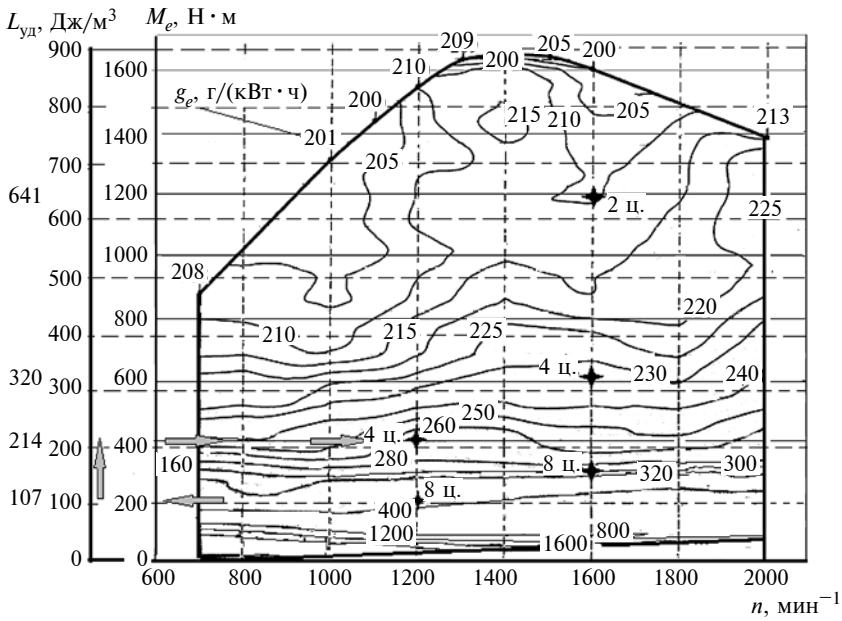


Рис. 1. Полученная экспериментально [5] универсальная (многопараметровая) характеристика газового монотопливного двигателя типа КамАЗ ЕС.820 (в координатах $M_e - n$), дополнительно снабжённая ординатой удельной работы ($L_{уд}$), выполняемой двигателем: шкала с ординатой M_e применима для анализа регулирования двигателя полноразмерного, а шкала $L_{уд}$ — для обоих вариантов (ПР или с ОЦ) двигателей

Регулирование двигателя отключением разного числа цилиндров на режимах малых нагрузок может происходить с использованием разных алгоритмов. Чаще всего при этом отключают половину цилиндров (например, алгоритм z = 4-8, где z — число активных цилиндров, 8 — полное (i) число цилиндров двигателя), что реализуется наиболее просто. Реже применяют изменение числа отключаемых цилиндров в зависимости от величины текущей малой нагрузки (т.е. алгоритм $z = var$). Классический пример реализации такого метода — 12-цилиндровый бензиновый двигатель с искровым зажиганием представительского автомобиля "Роллс-Ройс". У него реализовано бездроссельное регулирование мощности, т.е. регулирование отключением/включением необходимого числа цилиндров с изменением фаз газообмена в отключаемых цилиндрах. При этом все активные цилиндры всегда работают с полной нагрузкой, т.е. с высокой экономичностью.

Очевидно, что эффективность метода регулирования двигателя отключением цилиндров при прочих равных условиях зависит от показателей загрузки двигателя по мощности и моменту. При исследованиях эти показатели могут быть определены для стандартных испытательных ездовых и т.д. циклов, например, стандартного 13-ступенчатого цикла, эксплуатационного цикла городского автобуса [3] и др.

Ниже проведён анализ возможностей повышения эксплуатационной экономичности газового монотопливного двигателя КамАЗ мод. RGK.EC.820 (разработка фирм "РариТЭК" и "Е-Контролс") [4], а также связи этих показателей с коэффициентами загрузки двигателя. Для анализа применены полученные экспериментально универсальные (многопараметровые) характеристики двигателя по показателям удельных эффективных расходов топлива [5]. Такие характеристики, как известно, несут в себе большой объём фактической информации, которую целесообразно использовать в аналитических исследованиях [6]. Экспериментально полученная универсальная характеристика выполнена в координатах $M_e - n$ (рис. 1) и содержит параметрические кривые постоянных удельных расходов топлива ($g_e = const$).

Для достижения поставленных целей необходимо провести сравнение показателей экономичности двигателя полноразмерного и с отключением части цилиндров при реализации того же нагрузочного и скоростного режима. Сравнение проводится при условии, что эффективные мощность, крутящий момент, выполняемая работа одинаковы для полноразмерного двигателя (ПР) и с отключением цилиндров (ОЦ), т.е. $N_e^{ПР} = N_e^{ОЦ}$, $M_e^{ПР} = M_e^{ОЦ}$, $L_e^{ПР} = L_e^{ОЦ}$. Говорить о равенстве средних эффективных давлений, как отношений полной работы к полному рабочему объёму двигателя, нельзя, так как при отключении цилиндров двигатель работает с активным рабочим объёмом zV_h, который, естественно, меньше полного iV_h. Здесь следует отметить, что полный рабочий объём — это конструктивный параметр двигателя и он не меняется при изменении режимов работы. А активный рабочий объём zV_h — это регулировочный параметр и он меня-

ется по мере необходимости регулировать двигатель. При этом среднее эффективное давление отдельного цилиндра полноразмерного двигателя равно $p_e^{ПР}$ всего двигателя. Для двигателя с отключением цилиндров среднее эффективное давление отдельного цилиндра — это $p_e^{ОЦ}$ отдельного активного цилиндра, причём на данном режиме малых нагрузок $p_e^{ПР} < p_e^{ОЦ}$. Поскольку число отключаемых цилиндров может быть различным, в обозначение среднего давления отдельного активного цилиндра надо вводить дополнительные обозначения с информацией о количестве активных цилиндров двигателя, типа: $p_e^{ОЦ,\, z=1}$, $p_e^{ОЦ,\, z=2}$ и т.д. Применение таких обозначений параметров может приводить к путанице при анализе и расчётах. Поэтому возникла целесообразность применения удельной работы ($L_{уд}$), выполняемой двигателем на данном режиме, в качестве ординаты универсальной характеристики [7].

Итак, для реализации применяемой методики целесообразно воспользоваться показателями удельной работы, для чего универсальная характеристика (см. рис. 1) снабжается дополнительной ординатой — удельной работой $L_{уд}$, выполняемой как полноразмерным двигателем, так и двигателем с отключением того или иного числа цилиндров. При этом на данном нагрузочном и скоростном режиме полная работа, выполняемая как полноразмерным двигателем, так и двигателем с отключением цилиндров, определяется по формуле 1 табл. 1. Удельная работа определяется формулами 2, 3. Причём шкала ординаты $L_{уд}$ рис. 1 является общей для полноразмерного двигателя и для двигателя с отключением цилиндров, в отличие, например, от шкалы параметра M_e (или p_e), которая применима только для полноразмерного двигателя.

Приводимая расчётно-экспериментальная методика (математическая модель) применима при справедливости допущения, что абсолютные значения механических потерь в двигателях ($M_м$, $N_м$, $L_м$) обоих вариантов не зависят от нагрузки, от числа активных цилиндров и т.д., а зависят только от частоты вращения вала двигателя. Такая закономерность отмечена, например, в работе [8]. Поддержание исходного уровня малой нагрузки при отключении части цилиндров достигается увеличением индикаторных показателей момента, мощности и т.д. активных цилиндров, а с учётом допущения о механических потерях — соответствующим повышением эффективных показателей активных цилиндров. На рис. 1 звёздочками (8 ц., 4 ц.) при n = 1200 мин$^{-1}$ показано, что полноразмерный двигатель (8 ц.) развивает M_e = 200 Н · м, N_e = 25 кВт и, следовательно, $L_{уд}$ = 107 Дж/дм^3.

То есть нагрузка составляет порядка 13 % от уровня внешней скоростной характеристики. При этом удельный расход топлива, определяемый линейным интерполированием между значениями g_e = 320 и 400 г/(кВт · ч), составляет ~370 г/(кВт · ч) и, следовательно, часовой расход равен ~9,3 кг/ч.

Если этот же нагрузочный и скоростной режим реализуется двигателем с отключением цилиндров, т.е. на четырёх активных цилиндрах (4 ц., т. е. z = 4), то удельная работа, выполняемая двигателем, составляет $L_{уд}$ = 214 Дж/дм^3. На характеристике стрелками показано, что в этом случае $g_e^{ОЦ}$ составит ~265 г/(кВт · ч), часовой расход составит $G_т^{ОЦ}$ = 6,7 кг/ч, а относительная экономия топлива (иначе — выигрыш в расходе топлива) Δg_e, определяемая по формуле 4 табл. 1, может составить ~28 % от уровня расхода топлива двигателем полноразмерным.

Таблица 1

№	Формула	Примечания
1	$L_e = 2\pi M_e$, Дж	L_e — полная эффективная работа, выполняемая двигателем; M_e — эффективный крутящий момент
2	$L_{уд}^{ПР} = 2\pi M_e/(iV_h)$, Дж/дм^3	V_h — рабочий объём цилиндра; i — полное число цилиндров; iV_h — полный рабочий объём полноразмерного двигателя
3	$L_{уд}^{ОЦ} = 2\pi M_e/(zV_h)$, Дж/дм^3	z — число активных цилиндров; zV_h — активный рабочий объём двигателя с отключением цилиндров
4	$\Delta g_e = ((g_e^{ПР} - g_e^{ОЦ})/g_e^{ПР}) \cdot 100$, %	$g_e^{ПР}$ — удельный эффективный расход топлива полноразмерным двигателем на режиме малых нагрузок; $g_e^{ОЦ}$ — удельный расход топлива на том же режиме двигателем с отключением части цилиндров
5	$K_з^{13} = \dfrac{\sum_{j=1}^{13}(M_{ej}K_j)}{M_{e\,ном}}$	K_j — весовой фактор, т.е. относительное время работы на данном режиме; j — номер ступени испытательного цикла; M_{ej} — эффективный крутящий момент на j-й ступени цикла; $M_{e\,ном}$ — номинальный крутящий момент
6	$K_в^{13} = \dfrac{\sum_{j=1}^{13}(N_{ej}K_j)}{N_{e\,ном}}$	N_{ej} — эффективная мощность на j-й ступени цикла; $N_{e\,ном}$ — номинальная мощность
7	$\gamma_в = \dfrac{\sum_{j=1}^{13}\left(\dfrac{G_{Tj}K_j}{N_{ej}K_j}\right)}{g_{e\,min}}$	G_{Tj} — часовой расход топлива на j-й ступени цикла; $g_{e\,min}$ — минимальный эффективный расход топлива

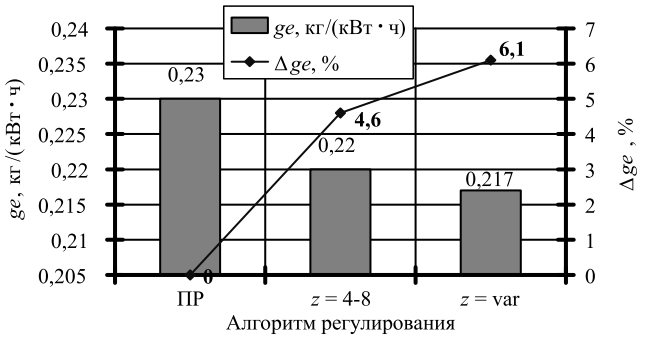


Рис. 2. Влияние алгоритма регулирования газового двигателя типа КамАЗ ЕС.820 отключением цилиндров при реализации стандартного 13-ступенчатого цикла на удельные расходы топлива (g_e) и относительные выигрыши в расходах (Δg_e): ПР — полноразмерный двигатель, z = 4-8 — работа двигателя на четырёх или восьми активных (не выключенных) цилиндрах в зависимости от текущей нагрузки, z = var — работа двигателя с переменным числом активных цилиндров, в зависимости от уровня текущей нагрузки (z = 2 или 4, или 6, или 8)

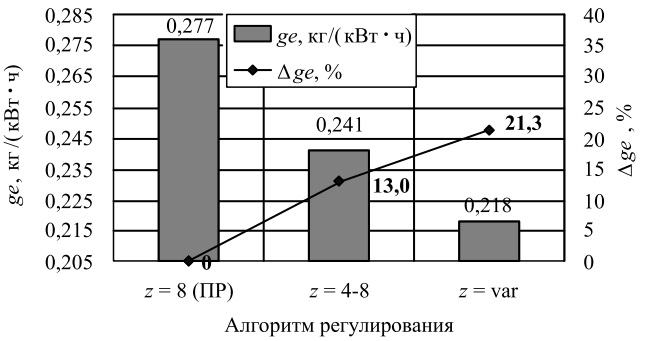


Рис. 3. Влияние алгоритма регулирования газового двигателя типа КамАЗ ЕС.820 отключением цилиндров при реализации цикла движения городского автобуса на удельные расходы топлива (g_e) и относительные выигрыши в расходах (Δg_e): z = 8 (ПР) — полноразмерный двигатель, z = 4-8 — работа двигателя на четырёх или восьми активных (не выключенных) цилиндрах в зависимости от текущей нагрузки, z = var — работа двигателя с переменным числом активных цилиндров, в зависимости от уровня текущей нагрузки (z = 2 или 4, или 6, или 8)

В качестве дополнительного примера на рис. 1 показана реализация режима n = 1600 мин$^{-1}$ при уровне малой нагрузки M_e = 300 Н · м (т. е. 19 % от уровня внешней скоростной характеристики) и $L_{уд}$ = = 160 Дж/дм^3. В этом случае $g_e^{ПР}$ = 300 г/(кВт · ч), $G_т^{ПР}$ = 15,1 кг/ч. Если тот же режим реализовать на четырёх цилиндрах, т. е. при $L_{уд}$ = 320 Дж/дм^3, то $g_e^{ОЦ}$ = 233 г/(кВт · ч), $G_т^{ОЦ}$ = 11,7 кг/ч, а экономия топлива составит ~22 % от уровня расхода полноразмерного двигателя.

Если этот же режим будет реализовываться при числе активных цилиндров z = 2, то расходы топлива могут составить соответственно 210 г/(кВт · ч) и 10,6 кг/ч. А экономия топлива составит около 30 %. Однако, учитывая то, что двигатель имеет газотурбинный наддув, очевидно, что указанный режим, скорее всего, невозможен ввиду рассогласования работы двигателя и турбокомпрессора.

Очевидно, что показанная методика применима прежде всего для двигателей без наддува или с механическим наддувом, или с регистровым и другим регулируемым наддувом. В противном случае требуется корректировка результатов по расходам воздуха и горючей смеси.

Проведём анализ влияния на эксплуатационную экономичность двигателя вида испытательного цикла, а точнее — коэффициентов загрузки двигателя в эксплуатации, т.е. при реализации данных циклов. Применяемый алгоритм регулирования влияет на достижимый экономический эффект, как это показано на рис. 2.

Для 13-ступенчатого стандартного цикла коэффициент загрузки по моменту полноразмерного двигателя определяется по формуле 5 табл. 1. Коэффициент загрузки по мощности — по формуле 6. Важным эксплуатационным показателем является коэффициент перерасхода топлива $\gamma_в$ в условиях эксплуатации, который определяется по формуле 7 и показывает перерасход топлива в условиях реализации данного цикла по сравнению с минимально возможным.

Таблица 2

Коэффициенты загрузки и потери экономичности	Испытательный цикл		
	Стандартный 13-ступенчатый	Нестандартный 13-ступенчатый	Городского автобуса
$K_з$	0,6	0,45	0,278
$K_в$	0,455	0,37	0,234
$\gamma_в$	1,09	1,15	1,24

Известный цикл работы городского автобуса (автобусный цикл) [3] содержит 58 режимных точек, т.е. в этом случае число ступеней j = 58 и, соответственно, изменяется обозначение 13 на 58 в формулах 5, 6, 7. Для сравнения исследован также нестандартный 13-ступенчатый цикл, который отличается от стандартного равенством весовых факторов на всех ступенях. По показателям загрузки двигателя такой цикл занимает промежуточное положение между стандартным и автобусным (табл. 2).

Таким образом, цикл работы городского автобуса создаёт двигателю наиболее низкие коэффициенты загрузки, что, естественно, сказывается на его экономичности (рис. 3). Причём если при реализации 13-ступенчатых циклов перерасходы топлива полноразмерным двигателем составляют 9 и 15 % соответственно для стандартного и нестандартного циклов, то реализация автобусного цикла приводит к перерасходу топлива уже на 24 %.

Применение отключения цилиндров по разным алгоритмам позволяет снижать этот перерасход. Так, при реализации 13-ступенчатого стандартного цикла двигателем с отключением цилиндров по алгоритму z = 4-8, перерасход топлива (потеря удельной экономичности) составит 4,2 %, а при алгоритме z = *var* — 2,6 %.

При реализации автобусного цикла, т.е. цикла с низкими показателями загрузки, регулирование двигателя отключением цилиндров даёт существенно более высокий эффект, причём наиболее существенный — при алгоритме z = *var* — более 21 % экономии топлива в сравнении с расходом полноразмерного двигателя (см. рис. 3).

Проведённое расчётно-экспериментальное исследование показало, что в различных условиях эксплуатации, которые могут быть отражены стандартными

или статистически достоверными испытательными циклами, существенно меняются показатели загрузки двигателя и его экономичности. Применение метода регулирования двигателя отключением части цилиндров на режимах малых нагрузок позволяет повысить экономические качества двигателя, причём тем существеннее, чем ниже коэффициенты загрузки двигателя. При этом изменение числа отключаемых цилиндров в зависимости от величины малой нагрузки даёт более существенный эффект в экономии топлива.

Литература

1. Балабин В.Н. Регулирование транспортных двигателей отключением части цилиндров. Монография. — М.: ГОУ "Учебно-методический центр по образованию на ж.-д. транспорте". 2007. 143 с.
2. Патрахальцев Н.Н., Ромеро А.В., Кальдерон Х.Г. От отключения цилиндров — к отключению циклов // Автомобильная промышленность. 1995. № 11. С. 23—24.
3. Марков В.А., Девянин С.Н., Мальчук В.И. Впрыскивание и распыливание топлива в дизелях. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2007. 360 с., ил.
4. Селиванов С.В. Презентация эффективной разработки РариТЭК и E-Controls // Транспорт на альтернативном топливе. 2017, № 1 (55). С. 62—63.
5. Селиванов С.В. Газовые двигатели с системой питания "E-Controls". Презентация. КамАЗ—центр. 2015. 36 с.
6. Кутенёв В.Ф. Перспективы совершенствования ДВС // Двигатель. 2005. № 6 (42).
7. Peters G.F. A Cylinder deactivation on 4 cylinder engines. A torsional vibration analysis. DCT 2007 — 11. — February 15, 2007. P. 10 — 15, 39.
8. Двигатели внутреннего сгорания: Системы поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для вузов по специальности "Двигатели внутреннего сгорания" / С.И. Ефимов, Н.А. Иващенко, В.И. Ивин [и др.] Под общ. ред. А.С. Орлина и М.Г. Круглова. 3-е изд. перераб. и доп. М.: Машиностроение. 1985. 456 с.

УДК 331.4

СНИЖЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ОКСИДОВ АЗОТА В ОТРАБОТАВШИХ ГАЗАХ БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ КОРРЕКТИРОВКОЙ СОСТАВА ТОПЛИВОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ НЕЙТРАЛИЗАЦИЕЙ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ В КАТАЛИТИЧЕСКОМ НЕЙТРАЛИЗАТОРЕ

СОЛОМИН В.А., канд. техн. наук **ШАБАНОВ А.В., ШАБАНОВ А.А., СЕЛЕЗНЕВ А.А.**
Центр испытаний НАМИ,
Московский политехнический университет

Рассматривается вопрос по изучению процессов, происходящих в каталитическом нейтрализаторе бензинового двигателя. Исследование возможности снижения оксида азота в отработавших газах бензинового двигателя проводилось за счёт корректировки состава топливовоздушной смеси и нейтрализации вредных выбросов в каталитическом нейтрализаторе. Показано воздействие кислорода на окисление окиси углерода и восстановление оксидов азота.

Ключевые слова: *бензиновый двигатель, оксиды азота, эффективность каталитической нейтрализации, реакции восстановления.*

Solomin V.A., Shabanov A.V., Shabanov A.A., Seleznev A.A.

TO THE ISSUE OF REDUCING NITRIC OXIDE IN THE EXHAUST GASES OF A GASOLINE ENGINE CORRECTION OF THE AIR-FUEL MIXTURE COMPOSITION AND SUBSEQUENT NEUTRALIZATION OF THE COMBUSTION PRODUCTS IN THE CATALYTIC CONVERTER

The article deals with the problem of studying the processes in the gasoline engine occurring in the catalytic converter. The possibility of reducing nitric oxide in the exhaust gases of the gasoline engine was investigated by adjusting the composition of the air-fuel mixture and neutralizing the harmful emissions in the catalytic converter. The effect of oxygen on the oxidation of carbon monoxide and the reduction of nitrogen oxides are shown.

Keywords: *gasoline engine, nitrogen oxides, efficiency of catalytic neutralization, reduction reactio.*

Требования к выбросам вредных веществ легковых автомобилей и лёгким грузовикам установлены, как известно, Правилами № 83 ЕЭК ООН, и в настоящее время на территории РФ действуют предусмотренные этими правилами нормы "Евро-5". При сопоставлении предельных значений действующих норм с действовавшими ранее нормами "Евро-4" видно, что требования по выбросам монооксида углерода (CO) и несгоревших углеводородов (HC) не изменились, а по оксидам азота (NO_x) ужесточились на 25 % для легковых автомобилей и в 5 раз — для грузовых автомобилей и автобусов.

В отработавших газах ДВС кроме продуктов неполного сгорания топлива присутствуют и другие вредные вещества (например, сернистые соединения). Следует сказать, что оксиды азота более агрессивны, чем сернистые соединения и многократно, на порядок, чем монооксид углерода и несгоревшие углеводороды. Воздействие сернистых соединений и оксидов азота проявляется при высокой температуре в газовой фазе, вызывая коррозию металлов. При низкой температуре оксиды серы и азота растворяются в капельках воды и образуют азотную и серную кислоты, которые при высоких концентрациях могут значительно повышать кислотность окружающей среды. Поэтому задачами экологического нормирования является установление предельных норм по выбросам вредных веществ с отработавшими газами ДВС, снижение выбросов оксидов азота, применение топлив с низким содержанием серы.

Природа образования вредных веществ в отработавших газах различна, поэтому пути решения проблемы снижения вредных выбросов выбираются исходя из эффективности применения систем снижения вредных выбросов и специфики их образования. Основные причины появления вредных веществ — это недостаток кислорода, приводящий к неполному сгоранию топлива, понижение температуры сгорания топливовоздушной смеси и как следствие этого существенное замедление реакций сгорания. Определённое влияние на выброс вредных выбросов оказывает "зона гашения" пламени, расположенная в пристеночном слое

камеры сгорания. В этой зоне вследствие низкой температуры замедляются или совсем прекращаются реакции горения. Концентрации CO и HC от несгоревшего топлива в этой зоне могут достигать значительных величин. Часть углеводородов при понижении температуры остаётся в газообразном виде, а другая высокомолекулярная, что характерно для дизелей, может конденсироваться и поступать в систему выпуска в жидкой фазе.

Оксиды азота образуются в результате взаимодействия азота и кислорода воздуха при высокой температуре. Причина же образования сернистых соединений — наличие серы в топливе. Если снижение содержания SO_2 и SO_3 можно и нужно обеспечить на этапе производства топлива и его очистки, то для уменьшения концентраций оксидов азота применяют мероприятия по их нейтрализации, а также направленные на снижение температуры сгорания топливовоздушной смеси. Концентрация серы в топливе стандарта "Евро-4" для бензиновых ДВС нормировалась в пределах 50 мг на кг топлива. В бензинах же "Евро-5" она ограничивается уровнем 10 мг/кг. Кроме вредного воздействия сернистых соединений на окружающую среду, её негативное влияние заключается также в отравлении каталитического слоя нейтрализатора. При этом падает эффективность очистки каталитического нейтрализатора отработавших газов и снижается ресурс его работы.

Из вышесказанного следует, что на современном этапе основное внимание при совершенствовании системы ограничения и нейтрализации вредных выбросов должно уделяться снижению концентрации в отработавших газах ДВС именно оксидов азота. Целью данной работы являлось исследование возможности такого снижения на бензиновом двигателе автомобиля категории M1 за счёт корректировки состава топливовоздушной смеси системой подачи топлива и нейтрализации вредных выбросов в каталитическом нейтрализаторе.

Процесс образования оксидов азота в отработавших газах ДВС и восстановление азота в нейтрализаторе

Известно, что концентрация оксидов азота зависит от температуры сгорания и состава смеси, а также наличия в составе отработавших газов оксида углерода, необходимого для нейтрализации NO_x в каталитическом нейтрализаторе. Состав смеси (α) определяет образование оксидов азота как фактор термического процесса окислительных реакций (рис. 1). Химический состав топлива также оказывает существенное влияние на общее количество выбросов как до, так и после каталитического нейтрализатора. Например, непредельные углеводородные соединения химически более активны в окислительных реакциях.

Фактор температуры при образовании оксидов азота был отмечен впервые Я.Б. Зельдовичем при исследовании горения топлив [1]. Природа образования оксидов азота в условиях поршневого ДВС связана с одной стороны с изменением температуры при горении топливовоздушной смеси в камере сгорания, а с другой — охлаждением продуктов горения вследствие движения поршня в процессе расширения. Если в обед-

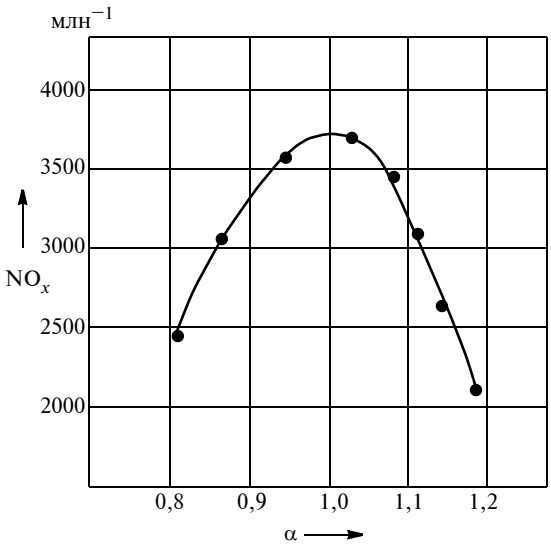


Рис. 1. Зависимость концентрации оксидов азота в отработавших газах от состава топливовоздушной смеси (двигатель рабочим объёмом 2,5 л, n = 3500 мин$^{-1}$, полный дроссель)

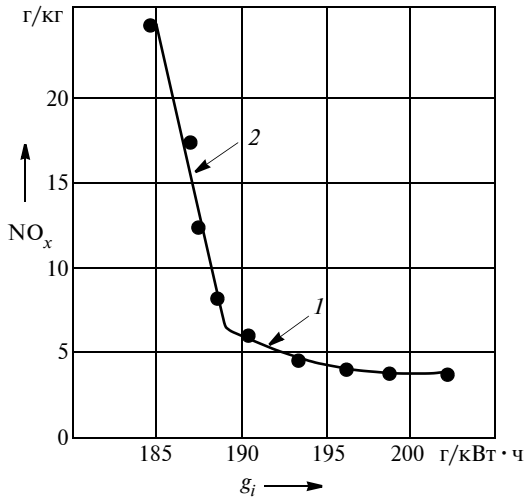


Рис. 2. Зависимость концентрации оксидов азота от эффективности процесса горения (удельного индикаторного расхода топлива) обогащённых (1) и обеднённых (2) смесей

нённых смесях концентрация NO_x определяется максимальной температурой, то в богатых — в большей степени зависит от кинетики разложения окиси азота, так как реакции образования и разложения оксидов азота в камере сгорания протекают в обе стороны [2]. Теоретически при полном сгорании топлива максимальная температура в цилиндре ДВС наблюдается при коэффициенте избытка воздуха, равном единице. Практически пик температуры соответствует несколько обеднённой смеси.

На рис. 2 представлена зависимость содержания оксидов азота в отработавших газах от индикаторного расхода топлива [3], который в данном случае характеризует процесс сгорания при различных составах топливовоздушной смеси. Как видим, концентрация NO_x определяется двумя различными механизмами их образования. При сгорании бедных смесей (прямая *2*) процесс образования оксидов азота более бурный, чем

при богатых смесях (линия *1*). Следует также сказать, что показатель эффективности процесса сгорания (g_i) является обратной величиной индикаторного КПД двигателя (η_i), который зависит от термического КПД (η_t). А термический КПД определяется через температуру сгорания топливовоздушной смеси в камере сгорания. Следовательно, очевидна прямо пропорциональная связь между температурой сгорания и образованием оксидов азота при сгорании обеднённых смесей.

Изучению процесса образования продуктов сгорания посвящено много исследований, в основе которых лежат работы научной школы академика Н.Н. Семёнова. Приведём основные реакции образования оксидов азота.

Под действием высокой температуры продуктов сгорания азот, находящийся в топливовоздушной смеси, вступает в реакции с кислородом, образуя оксиды. При взаимодействии атомов азота с молекулярным кислородом реакция идёт с выделением тепла: $N_2 + O_2 = 2NO$, $2NO + O_2 \leftrightarrow 2NO_2$.

Реакция образования монооксида азота (NO) идёт по цепи промежуточных цепных реакций. Окислителем в них является молекула кислорода, атомарный кислород, а также другие кислородные соединения: $N_2 + O^* \leftrightarrow NO + N^*$. Реакция идёт с поглощением тепла, а её скорость зависит от концентрации кислорода. Эта реакция является основной при термическом образовании оксида азота. На процесс образования NO в камере сгорания оказывает влияние также фактор диссоциации в зоне продуктов сгорания CO_2 и H_2O. Эти трёхатомные молекулы расщепляются на более простые с образованием атомов O*, H* и радикалов OH^-: $CO + OH^- = CO_2 + H^*$, $N^* + O_2 = NO + O^*$.

Процесс сопровождается снижением температуры продуктов сгорания. Важность данного процесса при рассмотрении образования оксидов азота определяется тем, что выполненные исследователями расчёты

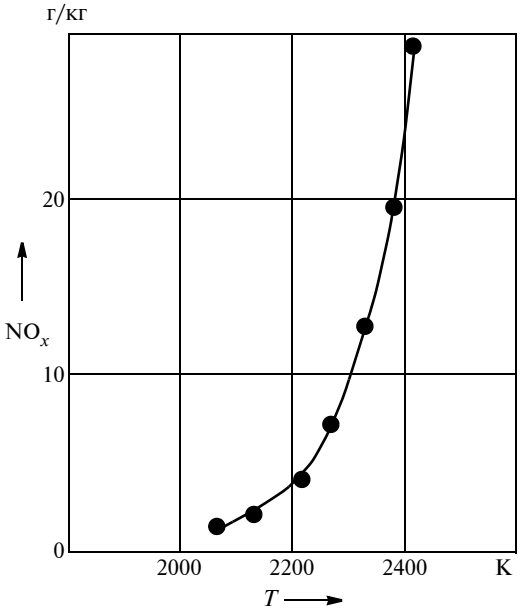


Рис. 3. Зависимость образования оксидов азота от температуры сгорания

процесса образования оксидов азота без учёта диссоциации приводят к завышению концентраций NO в несколько раз [2]. В богатых смесях образование монооксида азота уже не зависит от максимальной температуры горения, а определяется кинетикой разложения оксидов азота. Реакция образования NO также идёт через гидроксильные радикалы OH^-, образовавшиеся в результате распада паров воды: $N_2 + OH^- = NO + NH$, $NH + O_2 = NO + OH^-$.

Установлено, что при максимальных температурах сгорания в поршневых двигателях из оксидов азота образуется только монооксид. На рис. 3 приведена зависимость образования оксидов азота от температуры сгорания [3]. Как видим, бурный рост оксидов азота наблюдается при температуре выше 2200 K. В отработавших газах искровых ДВС содержание NO составляет 99 % количества всех оксидов азота. В выпускной системе двигателя при наличии кислорода в продуктах сгорания происходит окисление NO до NO_2.

Способы снижения выбросов оксидов азота в камере сгорания и в процессе восстановительных реакций в нейтрализаторе

Исследователями рабочего процесса ДВС были предложены различные способы управления температурой в цилиндре для снижения выбросов NO_x. Например, для этих целей использовались: рециркуляция отработавших газов, впрыск воды, изменение углов опережения зажигания и впрыскивания топлива. Эти мероприятия применялись на разных этапах развития поршневых двигателей, а некоторые применяются и сейчас, что определяется эффективностью достижения результата по снижению выбросов NO_x и конструктивной целесообразностью.

Рециркуляция отработавших газов весьма эффективна благодаря разбавлению топливовоздушной смеси инертными газами, снижающими температуру в камере сгорания. Данный способ конструктивно прост, однако приводит к ухудшению выходных показателей ДВС. Это также характерно и для изменения углов опережения зажигания и впрыскивания топлива. В данном случае интерес представлял процесс управления топливоподачи в сочетании с процессом нейтрализации NO_x в каталитическом нейтрализаторе. В работах по изучению окислительных процессов, происходящих в каталитическом нейтрализаторе, было отмечено, что процессы окисления происходят последовательно: сначала — промежуточное окисление CH в CO, а затем — окисление CO в CO_2 [3, 4]. Эффективность работы нейтрализатора по NO_x в значительной степени определяется составом отработавших газов и, в частности, концентрациями монооксида углерода и кислорода. Но отдельно вопрос о снижении выбросов оксидов азота в бензиновом двигателе именно за счёт управления составом топливовоздушной смеси не рассматривался. В статье, опубликованной авторами данной статьи ранее [5], была затронута тема по изучению процессов в нейтрализаторе. Было показано воздействие кислорода на окисление CO и восстановление N_2. Но, как будет показано ниже, механизм каталитического процесса восстановления азота в нейтрализаторе

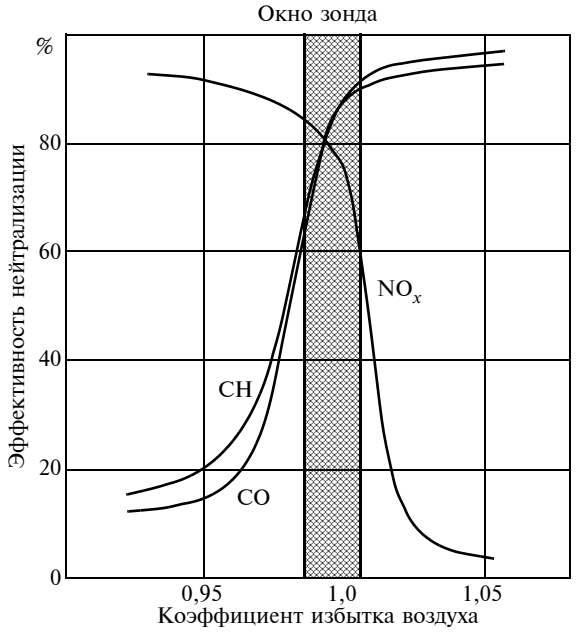


Рис. 4. Эффективность работы каталитического нейтрализатора в зависимости от изменения состава топливовоздушной смеси

имеет сложный характер. Оценка влияния продуктов промежуточных реакций, определяющих восстановление N_2 в нейтрализаторе и факторов, определяющих управление топливоподачей ДВС с низкими выбросами NO_x, требует детального изучения.

Известно, что в нейтрализаторе максимальный коэффициент "конверсии" оксидов азота находится на уровне 90—95 %. Зависимость степени очистки отработавших газов от состава топливовоздушной смеси α показана на рис. 4, из которого видно, что наибольшая эффективность нейтрализатора находится в зоне "окна бифункциональности" $\alpha \sim 1$.

Появление кислорода в отработавших газах свидетельствует об обеднении топливовоздушной смеси. В системе каталитической нейтрализации вредных веществ это является сигналом для коррекции подачи топлива с целью поддержания состава смеси в зоне стехиометрического соотношения.

В данной работе оценка эффективности работы каталитического нейтрализатора проводилась в стендовых условиях на 32 нагрузочных режимах многопараметрической характеристики бензинового ДВС рабочим объёмом 2,6 л с определением вредных выбросов до и после нейтрализатора. Это позволяло рассчитать эффективность работы нейтрализатора на различных режимах, определить влияние процентного содержания кислорода и других компонентов отработавших газов на процесс окислительно-восстановительных реакций, а также это давало дополнительную информацию для понимания процессов, происходящих в каталитическом реакторе нейтрализатора. Каталитическая активность определялась по формуле

$$Акт = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \cdot 100\ \%, \qquad (1)$$

где C_1 — концентрация ВВ в ОГ до нейтрализатора; C_2 — концентрация ВВ в ОГ после нейтрализатора [5].

Факторы и продукты промежуточных реакций, определяющие восстановление азота в нейтрализаторе

В табл. 1 приведены нагрузочные характеристики двигателя на разных частотах вращения коленчатого вала, т.е. концентрации оксидов азота и кислорода в отработавших газах до и после нейтрализатора, по которым были построены графики. Например, на рис. 5 показана зависимость концентрации NO_x от содержания в отработавших газах кислорода на разных частотах вращения коленчатого вала ДВС.

Зависимость концентрации оксидов азота от концентрации кислорода имеет определённую закономерность. Относительно небольшое содержание NO_x при n = 4500...3500 мин$^{-1}$ в зоне *A*, указанной стрелкой, объясняется обогащением смеси на режимах полного дросселя (см. табл. 1). С обеднением смеси, ростом концентрации кислорода и температуры в камере сгорания на режимах средних нагрузок наблюдается рост концентраций NO_x до нейтрализатора. При снижении нагрузки содержание оксидов азота в отработавших газах снижается, концентрация кислорода при этом повышается, так как смесь обедняется. Наклон линий определяется составом топливовоздушной смеси по нагрузочным характеристикам ДВС. Режимы низкой частоты вращения n = 1500 мин$^{-1}$ характеризуются пониженной температурой сгорания вследствие больших потерь в камере сгорания и, соответственно, небольшими концентрациями NO_x до 1300 млн$^{-1}$.

Для процесса восстановления оксидов азота до атомарного азота, как уже отмечалось, нужны продукты промежуточных реакций углеводородов — монооксид углерода. Этот процесс у исследуемого ДВС происходит при достаточно высоком содержании CO в отработавших газах: как правило, оно в 10...20 раз больше, чем углеводородов и оксидов азота, что способствует восстановительным реакциям в катализаторе. Из теории рабочих процессов известно, что на концентрации NO_x при сгорании топливовоздушных смесей в камере сгорания решающее значение оказывает температура горения смеси. Факторы, определяющие температуру горения смеси: это количество смеси в камере сгорания и её состав. Первый фактор определяет нагрузочный режим работы ДВС. Состав смеси определяется

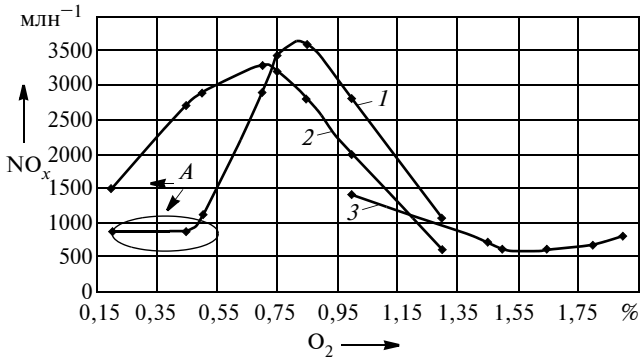


Рис. 5. Зависимость концентрации оксидов азота от содержания кислорода в отработавших газах:

1 — n = 4400 мин$^{-1}$; 2 — n = 3500 мин$^{-1}$; 3 — n = 1500 мин$^{-1}$

электронной системой регулирования двигателя, которая реагирует на сигнал кислородного датчика системы нейтрализации выбросов вредных веществ.

Известно, что максимальные концентрации оксидов азота достигаются при $\alpha = 1{,}05$. При обогащении смеси до $\alpha = 0{,}95$ снижение концентрации оксидов азота относительно максимальной величины при постоянстве других параметров может достигать двукратного значения [2]. Как показывают исследования данного процесса, в каталитическом нейтрализаторе идут окислительные реакции промежуточного окисления CH в CO и затем начинается окисление CO в CO_2. При этом параллельно идут восстановительные реакции N_2 с участием монооксида углерода и других веществ. Процесс окисления углеводородов до конечных продуктов определяется скоростью окисления CO. Окисление монооксида углерода в диоксид происходит лишь после того, как все углеводороды прореагируют до CO, т.е. реакция окисления CH является первичной [4]. Реакции происходят при наличии атомарного, двухатомного кислорода и радикалов OH^-. Активные радикалы OH^- являются продуктом распада инертных соединений H_2O, которые образуются под воздействием температуры: $CO + O = CO_2$, $H + O_2 = OH + O$, $2CO + O_2 = 2CO_2$. Малая концентрация кислорода в отработавших газах при работе на составе смеси $\alpha < 1{,}0$ может лимитировать процесс окисления CO в CO_2.

Восстановление оксидов происходит по уравнениям [3, 6]: $2NO + 2CO > N_2 + 2CO_2$, $2NO + H_2 > N_2 + 2H_2O$. Возможна также реакция прямого разложения оксидов азота на азот и кислород по уравнению $2NO \rightarrow N_2 + O_2$. При избытке кислорода в топливовоздушной смеси (обеднении смеси $\lambda > 1{,}03$) восстановительные реакции по оксидам азота в нейтрализаторе практически прекращаются. При этом эффективность нейтрализатора падает до минимального уровня (см. рис. 4).

Эффективность окислительных и восстановительных реакций в нейтрализаторе ДВС

Следует отметить высокую эффективность каталитических реакций от 67 до 99 %. Низкое значение эффективности нейтрализации по оксидам азота соответствует режиму принудительного холостого хода. На рис. 6 представлено изменение NO_x от концентрации кислорода в отработавших газах перед нейтрализатором и после. Концентрация кислорода из-за участия в восстановительных реакциях с ростом нагрузки ДВС снижается до 1,1 %.

Обогащение смеси на режимах, близких к полной нагрузке, кроме снижения выбросов NO_x, оправдано также увеличением крутящего момента и мощности ДВС. При этом концентрации CO, как видно из таблицы, также увеличиваются. Этим достигается снижение выбросов оксидов азота и увеличение мощности двигателя.

Концентрацией кислорода перед нейтрализатором можно оценить состав топливовоздушной смеси. Изменение нагрузки по её увеличению в соответствии с табл. 2 и рис. 6 происходит строго последовательно от первой точки до восьмой точки. При этом концентрация кислорода изменяется от 1,3 до 0,2 %. Это указывает на то, что почти весь кислород, содержащийся в отработавших газах, используется для нейтрализации NO_x. На рис. 6 наблюдается зона, где концент-

Таблица 1

n, мин$^{-1}$	Показатели отработавших газов	Среднее эффективное давление P_e, МПа								
		0,96	0,86	0,82	0,74	0,52	0,42	0,33	0,20	0,02
3500	NO_x, млн$^{-1}$:									
	до нейтр.	1500	2870	—	2900	3300	3200	3100	2950	600
	после нейтр.	10	10	—	10	10	500	1000	900	400
	O^2, %:									
	до нейтр.	0,2	0,45	—	0,5	0,7	0,75	0,85	1,0	1,3
	после нейтр.	0	0	—	0	0	0,2	0,1	0,05	0
4400	NO_x, млн$^{-1}$:									
	до нейтр.	860	870	—	1100	2900	3450	3600	2800	1050
	после нейтр.	10	10	—	10	10	400	1200	1200	400
	O^2,%:									
	до нейтр.	0,20	0,45	—	0,50	0,70	0,75	0,85	1,00	1,30
	после нейтр.	0	0	—	0	0,01	0,05	0,10	0,15	0,15
1500	NO_x, млн$^{-1}$:									
	до нейтр.	—	—	1400	675	800	675	710	590	600
	после нейтр.	—	—	200	100	100	120	150	150	150
	O^2,%:									
	до нейтр.	—	—	1,0	1,80	1,90	1,80	1,45	1,65	1,50
	после нейтр.	—	—	0	0,35	0,35	0,30	0,05	0,20	0,15

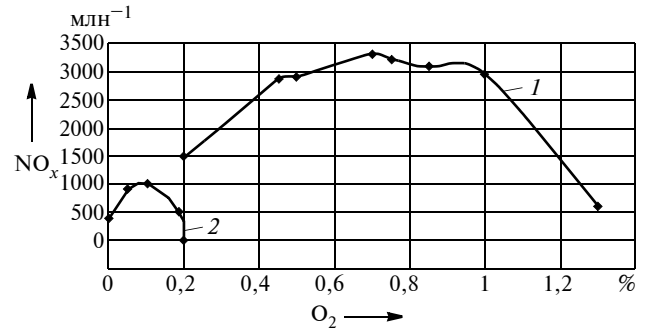


Рис. 6. Зависимость концентрации оксидов азота до и после нейтрализатора от содержания кислорода в отработавших газах до (1) и после (2) нейтрализатора

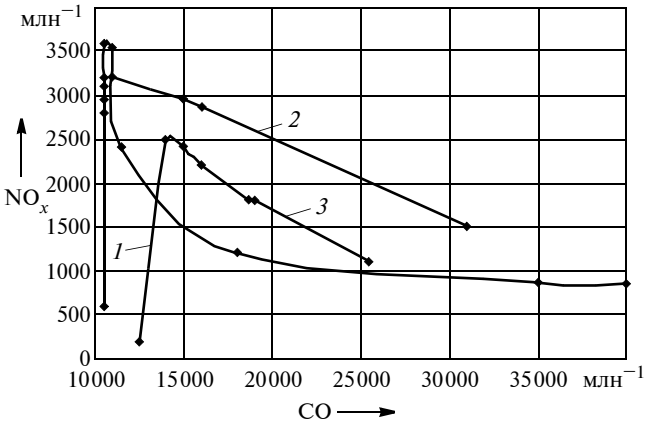


Рис. 7. Зависимость концентрации оксидов азота от концентраций монооксида углерода в отработавших газах:

1 — при n = 2500 мин$^{-1}$; *2* — при n = 3500 мин$^{-1}$; *3* — при n = 4400 мин$^{-1}$

рация оксидов азота имеет максимальное значение, а также зоны роста и их падения. Процесс увеличения концентраций NO_x в правой зоне объясняется увеличением температуры в камере сгорания при увеличении нагрузки. А на снижение концентраций NO_x в левой зоне в определяющей степени уже влияет обогащение смеси на режимах, близких к полной нагрузке. Температура, достигнув пикового значения в зоне максимальных концентраций оксидов азота, при обогащении смеси также начинает снижаться из-за обогащения смеси. Эффективность восстановительных каталитических реакций при участии кислорода составляет от 69 % в зоне эффективного процесса горения и до 99 % на режимах полного дросселя и малых нагрузок ДВС.

В табл. 2 приведены нагрузочные характеристики ДВС на разных частотах вращения коленчатого вала с концентрациями NO_x и CO в отработавших газах до и после нейтрализатора.

Зависимости протекания концентраций NO_x до и после нейтрализатора от концентраций CO в отработавших газах представлены на рис. 7. Характер этих зависимостей близок по приведённым частотам вращения коленчатого вала, но присутствуют особенности их протекания. Как видим, с ростом частоты вращения коленчатого вала с 2500 до 4500 мин$^{-1}$ пиковые концентрации оксидов азота растут. Это объясняется ростом температуры, которая определяется уменьшением потерь в стенки камеры сгорания. Но на образование оксидов азота оказывает также и общее время реакции, которое определяется главным образом частотой вращения коленчатого вала двигателя. На частоте 4500 мин$^{-1}$ времени на образование NO_x значительно меньше, чем при 3500 мин$^{-1}$ и поэтому концентрации оксидов азота небольшие. Влияние концентраций CO на NO_x проявляется в большей степени для зоны средних нагрузок, где механизм образования оксидов азота соответствует эффективному процессу горения (g_i) обеднённых смесей (кривая *2* на рис. 2).

На рис. 8 приведены зависимости концентрации оксидов азота до и после нейтрализатора от концентраций монооксида углерода по нагрузочной характеристике. Следует отметить высокую эффективность восстановительных каталитических реакций по нагрузочной характеристике от 67 % в зоне эффективного процесса горения и 99 % на режиме полного дросселя. В восстановительных реакциях оксида азота в нейтрализаторе, как видно из данного рисунка, участвуют до 10 000 млн$^{-1}$ CO.

Как видим, на режиме, характерном полной нагрузке двигателя, CO имеет набольшее значение (31 000 млн$^{-1}$), а конверсия NO_x максимальна (до 99 %). На нагрузочных режимах наблюдается сначала рост

Таблица 2

n, мин$^{-1}$	Показатели отработавших газов	Среднее эффективное давление P_e, МПа							
		0,02	0,20	0,33	0,42	0,52	0,74	0,86	0,96
4000	CO до нейтр., млн$^{-1}$	14 000	10 500	10 500	11 000	11 500	18 000	35 000	40 000
	NO_x до нейтр., млн$^{-1}$	1050	2800	3600	3550	2400	1200	870	860
3500	CO до нейтр., млн$^{-1}$	10 500	10 500	10 500	10 500	11 000	15 000	16 000	31 000
	NO_x до нейтр., млн$^{-1}$	600	2950	3100	3200	3200	2950	2870	1500
2500	CO до нейтр., млн$^{-1}$	17 000	12 500	14 000	15 000	16 000	18 700	19 000	25 500
	NO_x до нейтр., млн$^{-1}$	2000	200	2500	2400	2200	1800	1800	1100

Таблица 3

Показатели отработавших газов при n = 3500 мин$^{-1}$	Среднее эффективное давление P_e, МПа							
	0,02	0,20	0,33	0,42	0,52	0,74	0,86	0,96
CH, млн$^{-1}$:								
до нейтр.	1200	1300	1400	1500	1700	1400	1330	1220
после нейтр.	50	70	130	170	200	150	90	60
NO_x, млн$^{-1}$:								
до нейтр.	600	2200	2850	3200	3300	2850	2450	1200
после нейтр,	400	500	1000	1200	1300	1100	700	450

концентрации оксидов азота до величины 3000 млн$^{-1}$, а потом снижение до 1500 млн$^{-1}$. Эта зависимость характерна как до, так и после нейтрализатора и для разных частот вращения коленчатого вала. В процессе нейтрализации концентрация CO уменьшается до 9500 млн$^{-1}$. Из этого следует, что окись углерода активно участвует в восстановительных реакциях NO_x, что подтверждает теоретические положения. Концентрации CO_2 в процессе окислительных реакций растут до 2,5 % при работе ДВС в зоне эффективного сгорания и до 1,3 % на режиме малых нагрузок.

В табл. 3 приведены нагрузочная характеристика ДВС на частоте вращения коленчатого вала 3500 мин$^{-1}$ с концентрациями NO_x и CH в отработавших газах до и после нейтрализатора, по которым построен рис. 9. Эффективность каталитических реакций по нагрузочной характеристике составляет от 88 до 99 %. В окислительных реакциях в нейтрализаторе, как видим, также участвуют до 1500 млн$^{-1}$ несгоревших углеводородов.

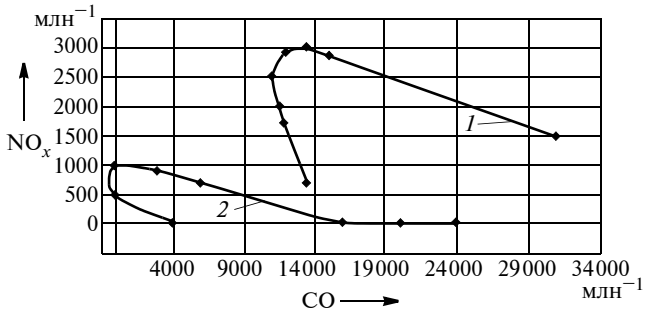


Рис. 8. Зависимость концентрации оксидов азота до (1) и после (2) нейтрализатора от содержания монооксида углерода в отработавших газах

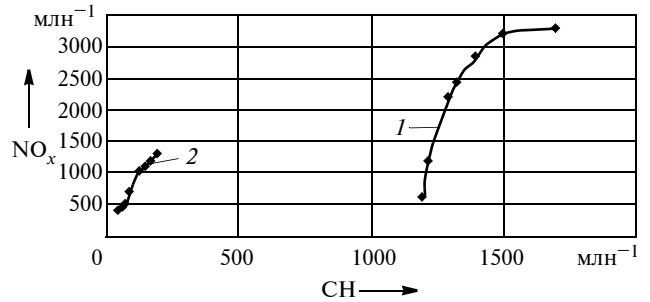


Рис. 9. Зависимость концентрации оксидов азота до (1) и после (2) нейтрализатора от содержания несгоревших углеводородов в отработавших газах

Таким образом, проведённые испытания системы нейтрализации, установленной на ДВС, позволили выявить ряд закономерностей.

1. Для эффективной каталитической нейтрализации оксидов азота очень важна настройка работы реактора на оптимальный диапазон нейтрализации. Процесс нейтрализации NO_x происходит при участии кислорода и окиси углерода. Эффективность каталитических реакций по нагрузочной характеристике при n = 3500 мин$^{-1}$ составляет от 92 % на режиме малых нагрузок и до 94 % на режиме полного дросселя. В восстановительных реакциях оксида азота в нейтрализаторе участвуют до 1,1 % кислорода и 10 000 млн$^{-1}$ монооксида углерода. Углеводороды также активно участвуют в восстановительных реакциях NO_x до 1500 млн$^{-1}$.

2. Влияние концентраций монооксида углерода на выбросы оксидов азота проявляется в большей степени для зоны средних нагрузок, где механизм образования оксидов азота соответствует эффективному процессу горения обеднённых смесей. В процессе нейтрализации концентрация CO уменьшается от 99 % в зоне эффективного процесса горения и до 67 % на режиме полного дросселя.

3. На образование оксидов азота существенное влияние оказывает общее время каталитической реакции, которое определяется частотой вращения коленчатого вала ДВС.

Литература

1. Зельдович Я.Б., Садовников П.Я., Франк-Каменский Д.А. Окисление азота при горении. М.-Л.: Издательство А.Н СССР, 1947.
2. Звонов В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания. М.: Машиностроение. 1981.
3. Кульчевский А.Р. Исследование процессов образования и разработки методов снижения выбросов вредных веществ с ОГ дизелей внедорожных машин. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Владимир. 2006.
4. Вайсблюм М.Е. Снижение токсичности 2-тактного мотоциклетного двигателя с помощью термического нейтрализатора. Кандидатская диссертация. Дмитров. 1986.
5. Соломин В.А., Шабанов А.В., Шабанов А.А., Килюшник В.М., Младенский А.В. К вопросу повышения эффективности работы каталитического нейтрализатора. Известия МГТУ МАМИ, № 1(31). 2017. С. 63—70.
6. Кутенев В.Ф., Кисуленко Б.В., Шюте Ю.В. Экологическая безопасность автомобилей с двигателями внутреннего сгорания. Экология. М.: Машиностроение. 2009, с. 253.

УДК 629.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРОНАГРУЖЕННОСТИ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ С АДАПТИВНОЙ СИСТЕМОЙ ПОДРЕССОРИВАНИЯ КУЗОВА

Д-р техн. наук **ГОДЖАЕВ З.А., КАМИТОВ М.С.**
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
Московский политехнический университет (МАМИ)
(mkamitov@yandex.ru)

Предложена "половинная" модель колебаний кузова легкового автомобиля с адаптивной системой подрессоривания. Расчётная модель учитывает продольно-угловые колебания кузова автомобиля. Введён элемент управления, который позволяет изменять упругодемпфирующие характеристики в зависимости от выходных параметров расчётной модели. Выявлены режимы движения и условия нагружения, на которых адаптивная система подрессоривания значительно улучшает плавность хода по сравнению с традиционной.

Ключевые слова: *система подрессоривания, адаптивная подвеска, алгоритм управления подвеской, алгоритм Skyhook, виртуальное моделирование, Matlab Simulink, блок-схема, ускорение подрессоренной массы.*

Godzhaev Z.A., Kamitov M.S.

SIMULATION AND INVESTIGATION OF VIBRATION OF THE MOTOR CAR WITH ADAPTIVE SYSTEM OF BODY SUSPENSION

The article proposes a 1/2 ("half") model of the motor car body oscillations with an adaptive suspension system. The simulation model takes into account the longitudinal-angular vibrations of the car body. A control element has been introduced that allows changing the elastic-damping characteristics depending on the output parameters of the simulation model. The modes of motion and loading conditions are revealed, on which the adaptive suspension system significantly improves the ride comfort as compared with the traditional one.

Keywords: *suspension system, adaptive suspension, suspension control algorithm, Skyhook algorithm, virtual simulation, Matlab Simulink, block diagram, acceleration of sprung mass.*

Современные темпы развития автомобильной промышленности требуют повышения средних скоростей движения, долговечности и комфортабельности легковых и легкогрузовых АТС. Один из возможных путей решения этой задачи — совершенствование системы подрессоривания. Необходимо создавать новые адаптивные системы, позволяющие изменять упругодемпфирующие характеристики в зависимости от условий движения. В современных условиях при проектировании новых моделей транспортных средств необходима проверка тех или иных решений по формированию технического облика на реальных образцах. Натурные дорожные испытания позволяют учесть большинство влияющих факторов, но их проведение возможно лишь после изготовления опытного образца, так сказать "в металле", что требует больших материальных затрат. Решить проблему можно посредством испытаний виртуальных — на расчётной модели.

Задачи расчётного моделирования таковы: разработать и апробировать математическую модель системы подрессоривания с собственным подрессориванием сиденья водителя; разработать математическую модель системы с адаптивным упругодемпфирующим элементом и синтезировать оптимальные алгоритмы управления адаптивной подвеской; смоделировать условия нагружения системы подрессоривания для оценки плавности хода и уменьшения максимальных динамических нагрузок; сравнить эффективность трёх систем подрессоривания — адаптивной, традиционной и системы с собственным подрессориванием сиденья водителя.

В качестве расчётной модели выбрана хорошо известная модель одной четверти автомобиля [4] и дополнена до модели половины автомобиля (рис. 1), так как она позволяет оценить продольно-угловые колебания кузова. Однако поперечные колебания остаются неучтёнными. Их возможно смоделировать при изменении входных параметров модели. В дальнейшем, при необходимости исследования одновременного действия продольных и поперечных колебаний, расчётная модель будет дополнена до четырёхопорной. Модель половины автомобиля построена в программном пакете *"Matlab Simulink"* [1, 2].

При построении математической модели СП были приняты следующие допущения: утечки и вспенивание гидравлической жидкости амортизаторов отсутствуют; температура жидкости постоянна (коэффициенты кинематической вязкости постоянны); потери на трение в шаровых шарнирах системы подрессоривания не учитываются; отклонение центральной оси пружины от вертикали приблизительно

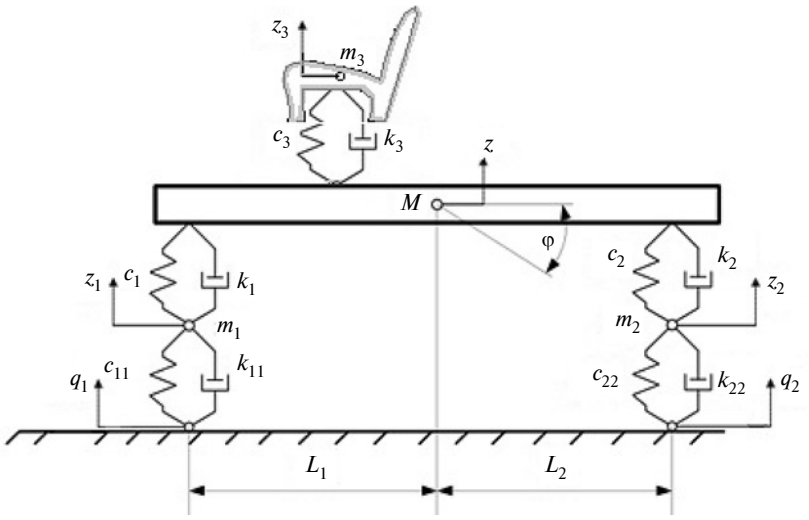


Рис. 1. "Половинная" модель системы подрессоривания

равно 0; демпфирование в резинометаллических шарнирах (сайлентблоках) не учитывается.

Уравнения, описывающие колебания кузова автомобиля и работу систиемы подрессоривания:

$$\ddot{z} = \frac{1}{M}[c_1(z_1 - z + l_1\varphi) + k_1(\dot{z}_1 - \dot{z} + l_1\dot{\varphi}) + c_2(z_2 - z - l_2\varphi) + k_2(\dot{z}_2 - \dot{z} - l_2\dot{\varphi}) - c_3(z - z_3) - k_3(\dot{z} - \dot{z}_3);$$

$$\ddot{\varphi} = \frac{1}{I}[l_1(c_1(z_1 - z + l_1\varphi) + k_1(\dot{z}_1 - \dot{z} + l_1\dot{\varphi})) - l_2(c_2(z_2 - z - l_2\varphi) + k_2(\dot{z}_2 - \dot{z} - l_2\dot{\varphi}))];$$

$$\ddot{z}_1 = \frac{1}{m_1}[-c_1(z_1 - z + l_1\varphi) - k_1(\dot{z}_1 - \dot{z} + l_1\dot{\varphi}) + c_{11}(q_1 - z_1) + k_{11}(\dot{q}_1 - \dot{z}_1)];$$

$$\ddot{z}_2 = \frac{1}{m_2}[-c_2(z_2 - z - l_2\varphi) - k_2(\dot{z}_2 - \dot{z} - l_2\dot{\varphi}) + c_{22}(q_2 - z_2) + k_{22}(\dot{q}_2 - \dot{z}_2)];$$

$$\ddot{z}_3 = \frac{1}{m_3}[c_3(z - z_3) + k_3(\dot{z} - \dot{z}_3)].$$

В качестве базовых параметров для расчёта системы подрессоривания были выбраны следующие значения: $M = 900$ кг — подрессоренная масса; $c_1 = 25\,000$ Н/м — жёсткость передней подвески; $c_2 = 30\,000$ Н/м — жёсткость задней подвески; $k_1 = 1000$ Н/(м/с) — коэффициент демпфирования передней подвески; $c_{22} = 120\,000$ Н/м — жёсткость шины задней оси; $k_{11} = 300$ Н/(м/с) — коэффициент демпфирования шины передней оси; $k_{22} = 340$ Н/(м/с) — коэффициент демпфирования шины задней оси; $m_1 = 50$ кг — неподрессоренная масса передней оси; $I = 5460$ Н/м^2 — момент инерции кузова; $L_2 = 1{,}4$ м — расстояние от центра тяжести до задней оси; $c_{11} = 12\,000$ Н/м — жёсткость шины передней оси; $k_2 = 1000$ Н/(м/с) — коэффициент демпфирования задней подвески; $m_2 = 60$ кг — неподрессоренная масса задней оси; $L_1 = 1{,}2$ м — расстояние от центра тяжести до передней оси; $m_3 = 50 + 75$ кг — масса сиденья с водителем; $c_3 = 600$ Н/м — жёсткость сиденья водителя; $k_3 = 5000$ Н/(м/с) — коэффициент демпфирования подвески сиденья.

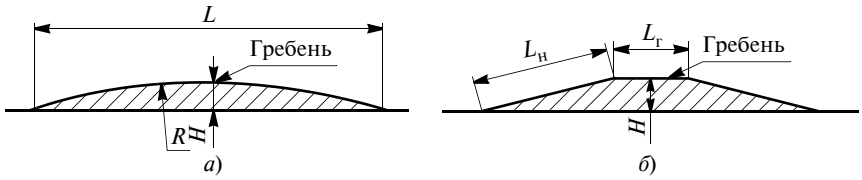


Рис. 2. Поперечный профиль волнообразной (а) и трапециевидной (б) неровности

В построении блок-схемы в среде *"Matlab Simulink"* использовали следующие блоки: *"Constant"* (источник постоянного сигнала), *"Product"* (блок умножения), *"Integrator"* (блок интегрирования входного сигнала), *"Transport Delay"* (блок фиксированной задержки сигнала), *"Derivative"* (блок вычисления производной сигнала), *"Gain"* (постоянный коэффициент усиления сигнала), *"Sum"* (блок вычисления суммы), *"Signal Bulder"* (генератор сигнала), *"Sine Wave"* (источник синусоидального сигнала).

Для начала проверили правильность построения модели, адекватность реакции на изменение входных параметров. Для этого имитировали несколько наездов на классическое препятствие — вертикальный ступенчатый выступ разной высоты (5, 10, 20, 50 и 100 мм) и рассмотрели вертикальное ускорение подрессоренной массы и сиденья водителя (табл. 1). При анализе полученных результатов видна закономерная тенденция — а именно увеличение максимального значения вертикального ускорения пропорционально изменению высоты неровности. То есть можно сделать вывод о работоспособности и адекватности модели. Таким образом, подтвердив адекватность построенной модели, проведём имитационное моделирование наезда на единичные неровности различного профиля и езду по неровностям с синусоидальным и случайным профилем.

Таблица 1

№ заезда	Высота выступа, мм	"Пиковые" ускорения при наезде на единичный выступ, ед. g	
		подрессоренной массы	ощущаемое водителем
1	5	0,25	0,19
2	10	0,49	0,38
3	20	0,98	0,75
4	50	2,48	1,86
5	100	4,86	3,76

Моделируемые неровности — четырёх типов.

Монолитные искусственные неровности (согласно ГОСТ Р 52605—2006). В том числе: неровность с волнообразным профилем (высота гребня $H = 0{,}07$ м, длина неровности $L = 3$ м, радиус скруления криволинейной поверхности — 20 м, скорость — 20 км/ч (рис. 2, *а*)) и неровность с трапециевидным профилем (длина горизонтальной площадки $L_г = 3$ м, длина наклонного участка $L_н = 1{,}2$ м, высота гребня $H = 0{,}07$ м, скорость — 20 км/ч, рис. 2, *б*).

Единичный вертикальный выступ — имитация наезда (на скоростях 20, 30, 40, 60 и 80 км/ч) на ступенчатый выступ (высотой 0,05, 0,07 и 0,10 м), образующийся при плановом ремонте дорожного полотна. С помощью программного комплекса *"Matlab Simulink"* смоделировали самые тяжёлые варианты нагружения подвески автомобиля. Анализ графиков ускорения подрессоренной массы при наезде на единичные искусственные неровности с волнообразным и трапециевидным профилями показывает, что "пик" вертикального ускорения наступает непосредственно в момент наезда. При использовании системы подрессоривания сиденья максимальное вертикальное ускорение, ощущаемое водителем, снижается на 22...26 % по сравнению со случаем, когда отсутствует собственная система подрессоривания сиденья водителя. После прохождения препятствия колебания затухают и вертикальные ускорения на кузове и сиденье водителя практически совпадают.

Случайный профиль дорожного полотна — профиль неровностей при движении автомобиля по грунтовой дороге среднего качества (рис. 3). Максимальная высота неровности — 198 мм. Максимальная глубина впадины — 327 мм. Скорость движе-

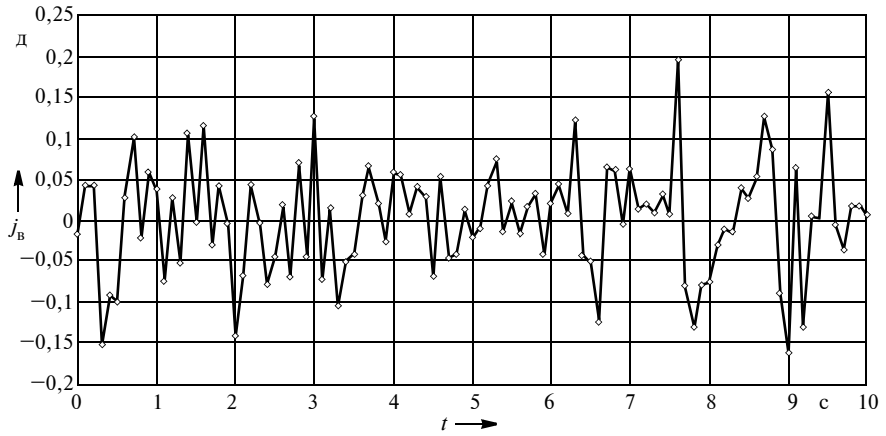


Рис. 3. Профилограмма случайного микропрофиля дорожного полотна

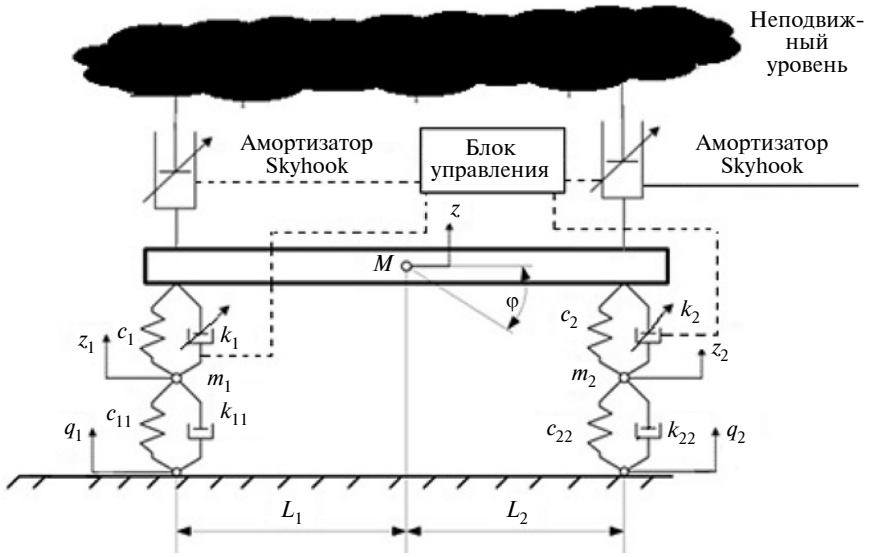


Рис. 4. "Половинная" модель адаптивной системы подрессоривания

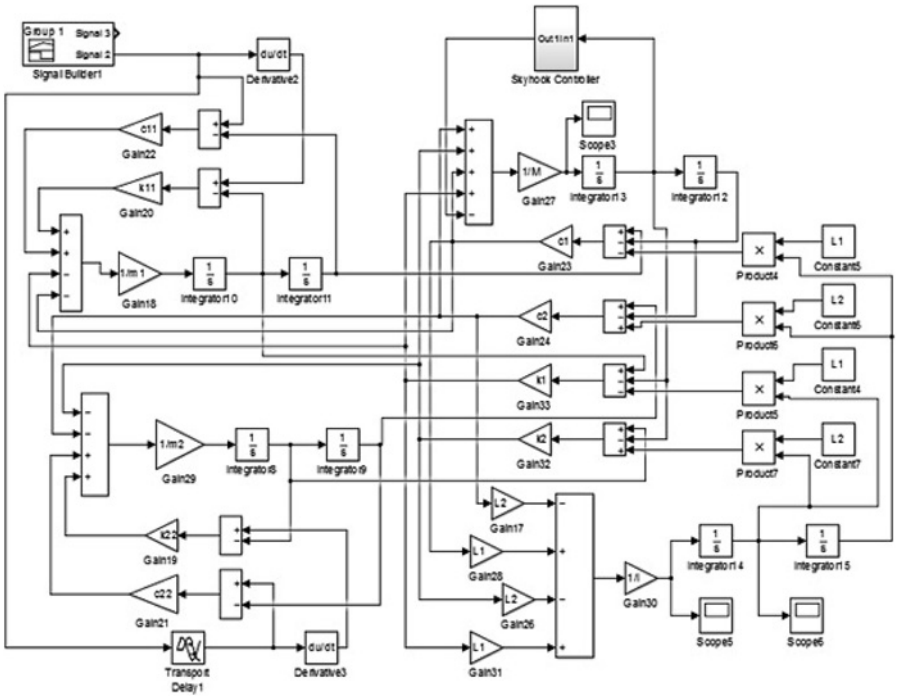


Рис. 5. Блок-схема математической модели автомобиля с адаптивной системой подрессоривания

ния — 20 м/с. Графики ускорений подрессоренной массы и сиденья водителя практически совпадают. То есть при данном конкретном условии движения подрессоривание сиденья водителя не участвует в снижении вибронагруженности.

Синусоидальное возмущение дорожного полотна. В этом случае нагрузки, воспринимаемые водителем, снижаются на 2—6 % за счёт применения системы подрессоривания сиденья водителя. То есть эффект заметно ниже, чем при проезде монолитных искусственных неровностей, что связано со сверхтяжёлыми условиями движения при проезде указанных неровностей и выбранными упругодемпфирующими параметрами подрессоривания сиденья водителя.

Выбранные параметры подрессоривания сиденья водителя заметно уменьшают нагрузки при езде по единичным неровностям высотой до 70—100 мм. К сожалению, по ряду причин система подрессоривания сиденья практически не находит применения на современных легковых автомобилях, и для снижения вибронагруженности на рабочем месте водителя требуется применить другой подход. Например, использование адаптивной подвески подрессоренной массы с возможностью изменения параметров в зависимости от условий движения.

Во многих современных работах по исследованию систем подрессоривания [6, 7] отмечается необходимость внедрения элемента управления для создания адаптивной системы, позволяющей изменять упругодемпфирующие характеристики. Один из применяемых методов — внедрение в систему подрессоривания упругодемпфирующего элемента, работающего по алгоритму *"Skyhook"*.

Суть данного алгоритма [8] заключается в том, что имеется теоретический амортизатор, который закреплён между подрессоренной массой и неподвижным уровнем, который не является частью системы, расположен вне её. Усилие в теоретическом амортизаторе поступает в блок управления, который вырабатывает управляющий сигнал для адаптивного амортизатора. Амортизатор *"Skyhook"* значи-

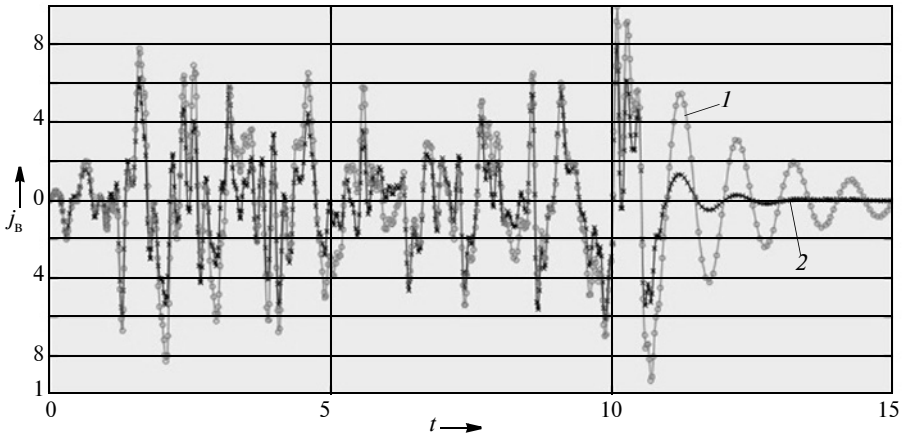


Рис. 6. Сравнение ускорения подрессоренной массы автомобиля с традиционной (1) и адаптивной (2) системами подрессоривания при езде по неровностям со случайным профилем

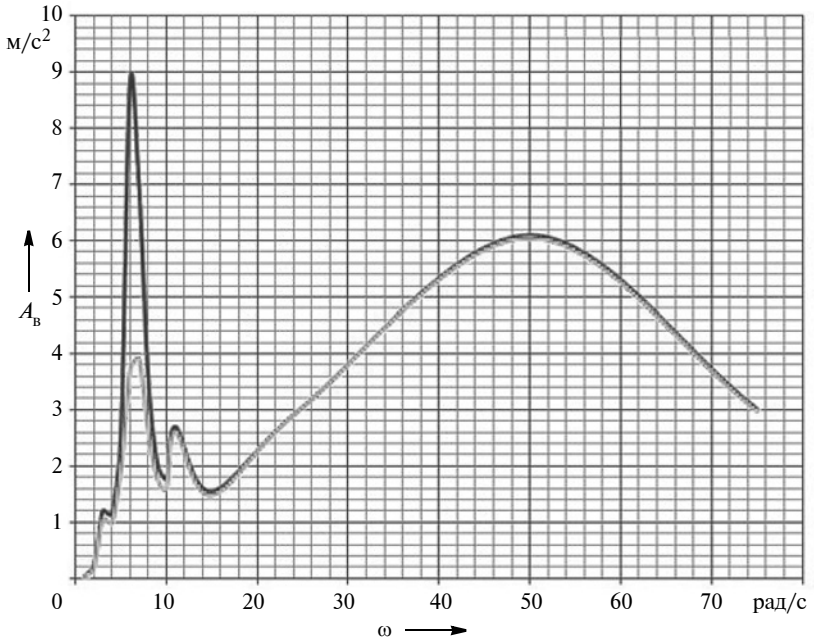


Рис. 7. Сравнение амплитудно-частотных характеристик традиционной (1) и адаптивной систем подрессоривания

тельно снижает резонансную частоту колебаний системы. Не являясь непосредственно частью автомобиля, он позволяет существенно улучшать характеристики плавности хода. Алгоритм находит применение, в том числе, в разработке управления системой подрессоривания кабины грузовых автомобилей с актуаторами. Кроме того, помимо демпфирующего можно управлять и упругим элементом. Тогда появляется возможность эффективно управлять продольно-поперечными колебаниями и высотой кузова относительно дороги.

"Половинная" модель системы подрессоривания с демпфирующим элементом, работающим по алгоритму *"Skyhook"*, представлена на рис. 4. Блок-схема в *"Matlab Simulink"* включает блок управления, показанный на рис. 5.

Сравнить ускорения подрессоренной массы автомобиля с традиционной и адаптивной системами подрессоривания при езде по неровностям со случайным профилем, а также амплитудно-частотные характеристики (при высоте неровности h = 0,05 м) можно по рис. 6 и 7. Анализ графиков показывает, что ускорение подрессоренной массы значительно снижается при частоте, равной собственной частоте колебаний кузова. Разница достигает 2,25 раз. На остальных частотах разница составляет до 5—13 %.

Таким образом, можно сделать вывод, что применение адаптивной подвески оправдывает себя при низкочастотном возмущении, однако при высокочастотном эффект от внедрения в систему подрессоривания элемента управления значительно снижается.

Оценка эффективности системы подрессоривания с адаптивным демпфированием выполнена по критериям эффективности, предложенным в статье [3].

1. Эквивалентное значение воздействия вибрации:

$$a_{w,e} = \left[\frac{\sum a_{wi}^2 T_i}{\sum T_i}\right]^{1/2},$$

где a_{wi} — среднеквадратическое значение корректированного виброускорения в м/с^2, на периоде длительностью T_i, с.

2. Критерий eVDV можно вычислить следующим образом: eVDV = $= 1{,}4 a_w T^{1/4}$, где a_w — среднеквадратичное значение корректированного виброускорения в м/с^2, T — длительность воздействия в секундах.

3. Коэффициент рассеяния энергии $\psi_р$ (в зависимости от давления в пневмоэлементе P_w): $\psi_р = 0{,}082 + 0{,}005 P_w^{0,9}$.

Результаты оценки сведены в табл. 2.

Таким образом: моделирование и апробирование системы подрессоривания, включающей собственную систему амортизации сиденья води-

Таблица 2

Тип неровности	Эффективность систем подрессоривания					
	традиционной			адаптивной		
	$a_{w,e}$	eVDV	$\psi_р$	$a_{w,e}$	eVDV	$\psi_р$
Единичный выступ	1,27	3,87	0,11	1,16	3,37	0,11
Волнообразный профиль	1,45	4,55	0,11	1,25	3,22	0,11
Трапециевидный профиль	2,44	6,27	0,11	—	—	—
Случайный профиль	—	—	—	2,17	5,74	0,11

теля, показали, что сиденье создаёт дополнительные упругодемпфирующие силы, которые позволяют снизить уровень вибраций кузова на 22—26 % в зависимости от условий движения; доказана необходимость применения адаптивной системы подрессоривания с возможностью изменения её упругодемпфирующих характеристик в зависимости от условий движения и неровности дорожного полотна; выявлено, что адаптивная система наиболее эффективна при низкочастотном возмущении (снижение вибронагруженности 2,25 раза), тогда как при высокочастотном возмущении эффект незначителен (5—13 %).

Литература

1. Математические модели систем транспортных средств / Жилейкин М., Котиев Г., Сарач Е. М., 2017.
2. Моделирование динамических процессов в колесных машинах средствами MATLAB SIMULINK и MATLAB SIMULINK/SIMSCAPE / Викович И.А., Житенко О.В., Осташук М.М. // Вісник СевНТУ: 2012. № 134. С. 200—204.
3. О критериях оценки эффективности системы подрессоривания автомобилей / З.А. Годжаев, С.В. Борисов, М.С. Камитов // Автомобильная промышленность: научно-технический журнал. — 2017. — № 7. — С. 7—13
4. Оптимизация упругодемпфирующих характеристик системы подрессоривания автомобилей высокой проходимости / М.С. Камитов, З.А. Годжаев, С.В. Борисов // XXVIII Международная инновационно-ориентированная конференция молодых ученых и студентов (МИКМУС—2016): сборн. труд. — М., 2017. — С. 159—164.
5. Проектирование полноприводных колёсных машин. Т. 3 / Б.А. Афанасьев, Б.Н. Белоусов, Л.Ф. Жеглов, В.Н. Зузов, Г.О. Котиев, А.А. Полунгян, А.Б. Фоминых // М., 2008.
6. Разработка адаптивных законов управления двухуровневым демпфированием в подвеске быстроходных многоосных колёсных машин / М.М. Жилейкин, Г.О. Котиев, Е.Б. Сарач // Журнал автомобильных инженеров: 2012. № 72. С. 28—33.
7. Сравнительная оценка эффективности виброзащиты активной системы подрессоривания с ПИД-регулированием / В.А. Кузьмин, З.А. Годжаев // Тракторы и сельхозмашины: 2018. № 3. С. — 62—67.
8. Development of an active suspension control strategy for a forestry machine with pendulum arms. JORGE AGUILAR MORGAN VIKTORSSON

УДК 629.113.001

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ КОНСТРУКТОРА КОЛЁСНОЙ МАШИНЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ С АБС

Д-ра техн. наук **РЕВИН А.А., ДЫГАЛО В.Г.**
Волгоградский ГТУ (vladislav.dygalo@gmail.com)

Рассмотрены основные задачи, которые необходимо решать конструктору колёсной машины при проектировании её тормозной системы с АБС.

Ключевые слова: *эксплуатационные свойства, надёжность, элементы тормозного привода, подвеска.*

Revin A.A., Dygalo V.G.

MAIN OBJECTIVES OF THE DESIGNER IN DESIGNING WHEELED VEHICLES BRAKING SYSTEM WITH ABS

It addresses the main challenges that must be addressed designer wheel machine in the design of its braking system ABS.

Keywords: *performance characteristics, reliability, elements of the brake actuator, suspension.*

Логика развития тормозной системы колёсной машины в целом и, в частности, изменения в распределении тормозных моментов по колёсам осей свидетельствуют в пользу применения автоматизированной тормозной системы "экстремального типа", способной в условиях стохастического изменения сцепных свойств поверхности дороги как по пути, так и в поперечном направлении обеспечивать состояние затормаживаемого колеса в области максимума коэффициента сцепления или смещать его при необходимости восприятия больших боковых реакций. К таким системам относятся современные АБС, в задачи которых входит не столько функция исключения блокирования колёс, сколько задача гибкого формирования требуемых основных эксплуатационных свойств (управляемости, устойчивости и динамичности) в особом режиме движения — режиме экстренного торможения [1].

Иными словами, перевод тормозной системы колёсной машины на новый качественный уровень, при котором она в состоянии в зависимости от изменяющихся дорожных условий формировать требуемые эксплуатационные свойства, является важнейшей задачей. На начальном этапе её решения основное внимание было уделено разработке унифицированной, помехозащищённой, эффективной и надёжной АБС. Поэтому зачастую в целом комплексная проблема сводилась лишь к данному аспекту. Тем более, что без успешного решения первоочередной задачи не имело смысла говорить об остальных. Однако при этом опускается из рассмотрения взаимное влияние отдельных, на первый взгляд, частных, аспектов решаемой комплексной проблемы.

При торможении колёсной машины в типичных условиях эксплуатации (неравномерность коэффициента сцепления на дороге — "микст") должна обеспечиваться не только тормозная динамичность, которая достигается путём максимального использования каждым из колёс сцепных свойств поверхности, но и устойчивость, для обеспечения которой стремятся к снижению возмущающего воздействия со стороны дороги. Следовательно, требуется противоположное решение, которое ведёт часто к недоиспользованию сцепных свойств поверхности. Сказанное выше достигается за счёт выбора оптимальной структуры управления с учётом основных параметров колёсной машины (компоновки, характеристик подвески, высоты центра масс и т.п.). Так, для короткобазного автомобиля с высоким расположением центра масс подходят одни структуры управления (схемы установки), а для длиннобазного — другие. Поэтому необходима адаптация АБС к конкретной модели колёсной машины с учётом особенностей тормозного привода, режимов движения, эксплуатационных скоростей движения, типа тормозных механизмов, рулевого управления и т.д.

В настоящее время устойчивость при торможении колёсной машины с АБС основным нормативным документом на дорогах с поперечной неравномерностью коэффициента сцепления нормируется путём накла-

дываемого ограничения на отсутствие пересечения колёсами любого из бортов в процессе торможения начальной осевой линии [2]. Другой подход ориентирован на определённую ширину коридора безопасности, которая увязана с дорожными условиями. При этом необходимо учесть, что сохранение возможности водителем коррекции курсового движения в течение всего процесса торможения в корне меняет ситуацию и существенно усложняет решаемую задачу, поскольку требует оценки предельных возможностей водителя, в первую очередь — времени запаздывания реакции и времени моторного компонента. Ответ на основной вопрос о тормозной динамичности при торможении колёсной машины на миксте остаётся открытым, а от этого зависят многие принципиальные конструктивные решения и прежде всего по выбору структуры управления, от которой зависят эксплуатационные свойства. Это первоочередная задача конструктора при проектировании колёсной машины с АБС и более подробно она рассмотрена в предыдущей статье авторов [3].

Однако есть и другая категория задач, которые приходится решать при проектировании тормозной системы колёсной машины с АБС в связи с принципиальным изменением рабочего процесса затормаживаемых колёс. К ним следует добавить пока ещё мало изученное влияние последнего на функционирование традиционных элементов. При этом на первый план выступает то, как изменение рабочего процесса отразится на надёжности традиционных элементов тормозного привода, уплотнениях в рабочих тормозных цилиндрах и диафрагмах тормозных камер, собственно тормозных механизмов, а также элементов подвески. Следует отметить, что зарубежные фирмы информацию такого рода стараются скрыть и неохотно идут на подобные публикации в силу их антирекламного характера.

По просочившимся в печать сведениям канадских исследователей, при установке АБС на седельные и прицепные автопоезда большой грузоподъёмности для обеспечения прочности элементов подвески потребовалось увеличение их металлоёмкости на 15—20 % по сравнению с обычной конструкцией. Аналогичные результаты получены в МАДИ при испытании легковых автомобилей.

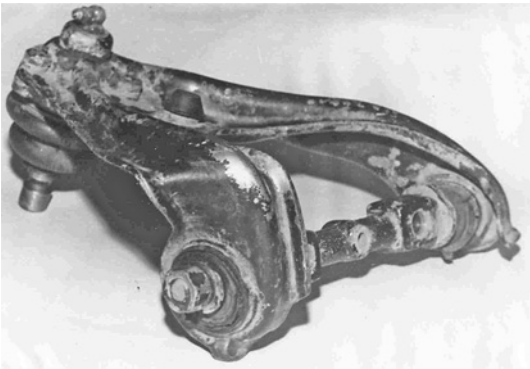


Рис. 1. Вид деформации верхнего рычага передней подвески легкового автомобиля

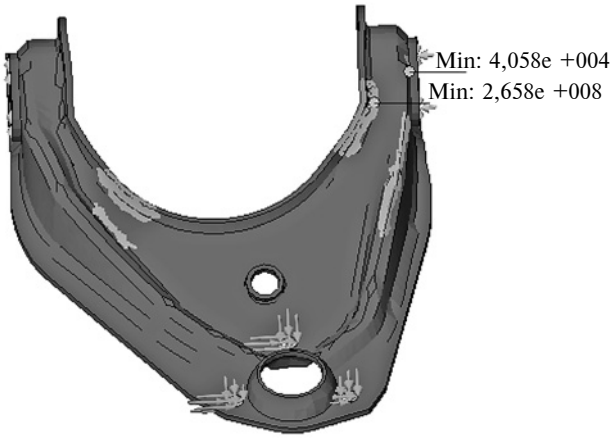


Рис. 2. Места распределения опасных сечений в верхнем рычаге передней подвески легкового автомобиля

Проведённые в ВолгГТУ исследования процесса торможения легкового автомобиля с опытной конструкцией АБС, а также автофургона малой грузоподъёмности показали возможность отказа элементов подвески и тормозной системы даже при малоцикловом нагружении, что не позволяет отождествить процесс разрушения с усталостным. Так, было установлено, что при торможении легкового автомобиля с АБС возникли нерасчётные величины усилий в верхних рычагах подвески, что привело к её деформации. Характер возникшего нарушения геометрии рычага представлен на рис. 1. При торможении традиционным способом, с доведением колёс до юза, в том числе на поверхности с высокими сцепными свойствами, этого не наблюдалось. Последнее подтверждает правильность прочностных расчётов, проведённых для данного автомобиля с обычной тормозной системой.

Известно, что максимальная величина действующей тормозной силы в пятне контакта колеса с дорогой определяется нормальной нагрузкой и максимальной величиной коэффициента сцепления, реализованного в области критического проскальзывания. Проведённый в ВолгГТУ анализ показал, что решающую роль в росте усилий в рычагах подвески, превышающих расчётные на 20—25 %, сыграли действующие на элементы подвески при циклическом характере нагружения инерционные силы, существенно возрастающие при возникновении частичного резонанса из-за совпадения частот собственных колебаний элементов подвески в продольном направлении и частоты изменения тормозного момента. Росту реализованных тормозных реакций также способствует прохождение максимума коэффициента сцепления при низких скоростях движения. Известно явление увеличения коэффициента сцепления по мере снижения скорости движения.

Анализ особенностей нагружения рычагов подвески, в том числе с использованием метода конечных элементов, позволил выявить наиболее нагруженные места (см. рис. 2) и произвести их усиление. Проведённые дорожные испытания полностью подтвердили правильность сделанных выводов.

Учёт действия инерционных сил, действующих на элементы тормозного барабана позволил установить причины его разрушения после 5—8 циклов тормозных испытаний, что, как уже было сказано, не позволяет отождествлять полученные разрушения с усталостными. Характер появления и развития трещин даже в усиленном тормозном барабане короткобазного автомобиля-фургона представлен на рис. 3. При этом торможение в тех же условиях традиционным способом с доведением колёс до юза не вызывало отказов штатных тормозных механизмов.

Увеличение пути перемещения поршней рабочих тормозных цилиндров в процессе функционирования АБС при каждом торможении с модуляцией величины давления рабочего тела неизбежно приводит к сокращению ресурса манжет уплотнений. Кроме того, проведённые в ВолгГТУ исследования показали изменение вида их изнашивания, что необходимо учесть как при проектировании колёсной машины, так и при её эксплуатации. Так, периодичность технического обслуживания тормозов колёсной машины должна быть сокращена на 15—20 %, по сравнению с традиционной [4].

К сказанному выше следует добавить ещё не изученное в полной мере влияние циклического характера изменения давления рабочего тела на долговечность резинокордных соединительных шлангов в тормозном приводе. Испытания данного типа целесообразно проводить в лабораторных условиях при использовании комплексных моделирующих установок, что позволяет фиксировать на определённом уровне воздействие ряда второстепенных внешних факторов. Это же относится к испытаниям на долговечность элементов подвески и тормозных механизмов. В последнем случае усилие создаётся с помощью гидроцилиндра и золотника, управляемого по командам работающей в реальном времени вычислительной машины. Фрагмент реализованного на виртуально-физическом стенде варианта такого узла представлен на рис. 4 (*1* — силовой гидроцилиндр; *2* — электроуправляемый гидравлический золотник типа 12Г68-12; *3* — насосная станция; *4* — датчики обратной связи; *5* — инерционные массы).

Отдельная задача перспективного характера, которую необходимо решать при участии конструктора колёсной машины, — дальнейшее развитие средств бортовой диагностики. Известно, что обычным порядком диагностируется не более половины всех неисправностей тормозной системы, тогда как существующие конструкции АБС имеют встроенные системы самодиагностики, ориентированные на проверку исправности электрических цепей соленоидов, реле, клапанов и др. Техническое состояние модулятора, степень засорения его каналов, "заедание" клапанов при изменении геометрии сопряжений вследствие изнашивания пока не рассматриваются. Вместе с тем даже предварительный анализ рабочего процесса [1] показывает, насколько велико их влияние на выходные характеристики экстремальной автоматизированной системы. При этом необходимо учесть, что с оценкой хотя бы в первом приближении качества процесса затормаживания колёсной машины по наблюдаемым внешним признакам (например, наличию в определённых условиях торможения юза колёс) у водителя возникают сложности.

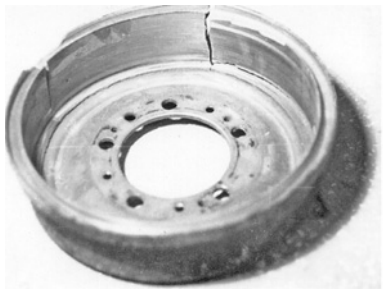


Рис. 3. Вид разрушения тормозного барабана автомобиля УАЗ-451М

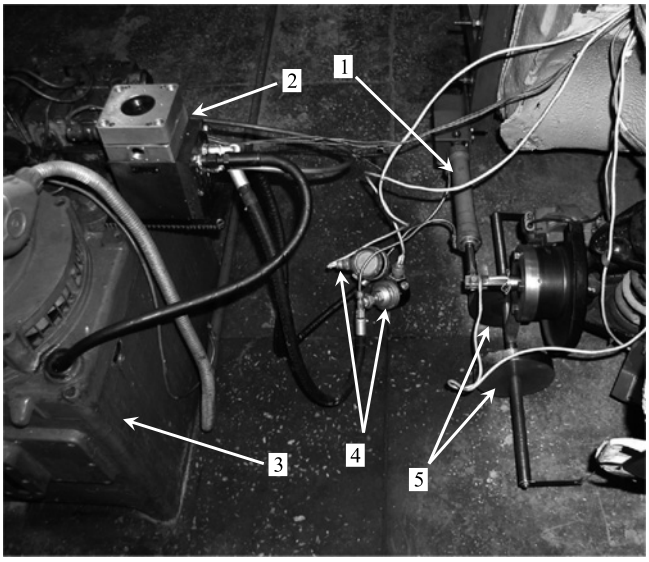


Рис. 4. Стенд для моделирования воздействия тормозной реакции на элементы подвески и рулевого управления

Ниже кратко остановимся на средствах, которые целесообразно использовать при решении указанных выше задач на заводе-производителе колёсных машин.

Так, задача оценки влияния рабочего процесса затормаживания колёс на долговечность элементов подвески автомобиля может эффективно решаться при использовании стенда, подобного показанному на рис. 4. При этом на персональном компьютере реализуется математическая модель затормаживаемого колеса в заданных дорожных условиях, а элементы подвески устанавливаются на стенде в виде реальных агрегатов.

Изменение момента инерции управляемых колёс производилось за счёт передвижения находящихся на поворотных кулаках установленных дополнительных масс. Момент инерции рулевого колеса моделировался с помощью дополнительных масс, расположенных на рулевом колесе или установкой более лёгкого рулевого колеса, а также с помощью установки дополнительной массы на средней тяге. С помощью упругого закрепления маятникового рычага и рулевого механизма, производилось изменение жёсткости рулевого управления. Жёсткость рулевого управления изменялась с помощью упругого закрепления маятникового рычага и рулевого механизма. Изменение момента затягивания упругого элемента даёт возможность изме-

нять суммарную жёсткость рулевого управления в заданных пределах.

Изменение демпфирования рулевого управления проводилось путём попеременного введения дополнительных элементов — двухтрубных гидравлических амортизаторов параллельно средней тяге. Экспериментальное исследование проводилось в двух режимах: в режиме жёстко закреплённого рулевого колеса и удерживаемого руками водителя. Был также рассмотрен вариант упругой фиксации рулевого колеса. Это позволило провести анализ колебательного процесса управляемых колёс при упругой фиксации рулевого колеса и сравнить его с эталонным, за который было принято жёстко закреплённое рулевое колесо.

В процессе исследования на экспериментальной установке было реализовано четыре закономерности изменения поворачивающего момента, характерных для следующих типов структур управления (схем установки): независимой (*IR*) — зависимой высокопороговой (*SLH*), зависимой низкопороговой (*SLL*) и двух эксплуатационных факторов — торможение автомобиля в условиях неравномерности действия тормозных механизмов (н.д.т.м.) и в условиях поперечной неравномерности коэффициента сцепления.

Воздействие возмущающего фактора выполнялось с различной частотой (1—5 Гц), которое соответствует области частот действия возникающего поворачивающего момента на колёса управляемой оси автомобиля при срабатывании различных типов АБС. Время действия возмущающего фактора задавалось временным отрезком в 5 с в целях выявления неустановившейся области и более детального описания колебательного процесса.

Действие поворачивающего момента осуществлялось с трёхкратной повторяемостью, что повысило точность экспериментального исследования. Общее число опытов, определённых в результате планирования эксперимента, составило более 1200.

В процессе эксплуатации автомобиля жёсткость рулевого управления снижается, что обусловлено изменением физико-механических свойств резинометаллических шарниров рулевого привода и изменением податливости крепления рулевого механизма, маятникового рычага, вала рулевого колеса, а также опор передней подвески под воздействием сил, действующих в боковых тягах. Это способствует увеличению угла самопроизвольных отклонений управляемых колёс в процессе торможения. При установке АБС на управляемой оси автомобиля такая опасность увеличивается, так как снижение собственных частот колебаний системы рулевого управления при работе АБС способно вызывать резонансные явления, что явилось основой для изучения явления самоповорота управляемых колёс в области низких величин жёсткости рулевого управления автомобиля.

Литература

1. Ревин А.А. Теория эксплуатационных свойств автомобилей и автопоездов с АБС в режиме торможения: Монография, РПК Политехник. — Волгоград, 2002. — 372 с.
2. Приложение 13 к правилам 13 ЕЭКООН "Предписания, касающиеся испытания тормозных систем, оборудованных антиблокировочными устройствами" Документ ЕЭКООН TRANS/SK.1/WP.29/GRF/2
3. Ревин А.А., Дыгало В.Г. Средства и методы формирования эксплуатационных свойств колёсной машины в режиме торможения. Автомобильная промышленность № 10. 2018. — С. 19—21.
4. Ревин А.А., Полуэктов М.В., Радченко М.Г., Заболотный Р.В. Влияние рабочего процесса АБС на долговечность элементов шасси автомобиля: монография, под ред. А.А. Ревина. — М.: Машиностроение, 2013. — 222 с.
5. Дыгало В.Г., Ревин А.А. Виртуально-физическая технология лабораторных испытаний систем активной безопасности автотранспортных средств: монография, РПК Политехник. — Волгоград. 2006. — 316 с.

УДК 629.3; 629.067

ПОДУШКА КАК ЭЛЕМЕНТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И ЕЁ ЭВОЛЮЦИОННЫЕ ЭТАПЫ ИНКОРПОРИРОВАНИЯ В КОНСТРУКЦИЮ АВТОМОБИЛЯ

Д-р техн. наук **БАЛАБИН И.В.**, канд. техн. наук **БОГДАНОВ В.В.**
МГТУ имени Н.Э. Баумана,
Московское высшее общевойсковое командное училище
(vvbogdanov@t-online.de)

Описаны этапы эволюции надувных подушек безопасности транспортных средств от момента их возникновения до настоящего времени; приведена современная классификация данных устройств безопасности; сделаны выводы о перспективном развитии подушек безопасности.

Ключевые слова: *транспортное средство, надувная подушка безопасности транспортного средства, конструктивная безопасность, активная безопасность, пассивная безопасность.*

Balabin I.V., Bogdanov V.V.

AIRBAG AS THE ELEMENT OF CONSTRUCTIVE SAFETY AND ITS MAIN EVOLUTIONARY STAGES OF INCORPORATION IN THE VEHICLE'S DESIGN

Stages of airbag's evolution from its appearance up to present times are described; modern technical classification of airbags is given; conclusions on perspective development of airbags are drawn.

Keywords: *vehicle, airbag, constructive safety, active safety, passive safety.*

Подушка безопасности в современной трактовке — элемент системы пассивной безопасности (SRS, Supplementary Restraint System) в транспортных средствах, представляющий собой эластичную оболочку, быстро заполняемую воздухом либо другим газом при аварии. Изначальное предназначение подушек безопасности — защита водителя, затем пассажиров, а в настоящее время уже и прочих участников дорожного движения от травмирования твёрдыми предметами и, что вполне естественно, ослабление последствий удара. Физически цель применения подушки безопасности — замедлить, насколько это возможно, движение пассажира вперёд в имеющиеся доли секунды, причём замедлить максимально равномерно.

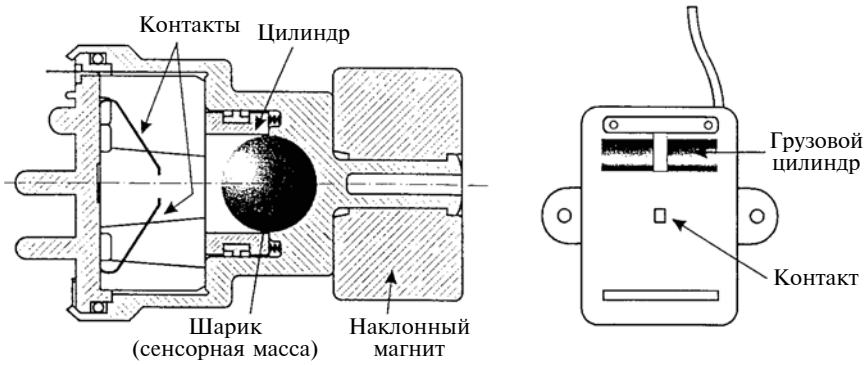


Рис. 1. Электромеханические сенсоры (слева — по принципу вытеснения газом, справа — "пружина—масса")

В соответствии с современными нормами безопасности на автомобильном транспорте подушки, как и ремни, являются обязательным элементом АТС, однако их максимальное число не лимитировано.

Подобием подушек безопасности в 1940-х годах оснащались самолёты, а первые патенты для использования в автомобилях были оформлены в 1950-х американцем Джоном Хетриком (патент US2649311, опубликованный 18.08.1953) и немцем Вальтером Диндерером (патент DE896312, от 06.10.1951). Американский изобретатель А.К. Брид создал ключевой компонент для использования подушек безопасности в автомобилях — шариковый сенсор для определения столкновения (см. аналог на рис. 1). Своё изобретение он представил в 1967 году компании "Крайслер", а впоследствии основал собственную фирму по их производству. Долгое время подобные датчики столкновения, основанные на электромеханическом принципе, существовали вне конкуренции, а затем уступили место более надёжным и современным. Наибольшее распространение получили два варианта: по принципу вытеснения газом — когда расположенный в цилиндре шарик преодолевает встречное давление замкнутого газового объёма и, когда действующая сила замедления достаточно велика, замыкает электрический контакт (рис. 1, слева); по принципу системы "пружина—масса" — когда замедление заставляет ролик растягивать пружину и замыкать контакт (рис. 1, справа). Они использовались в серийных конструкциях подушек безопасности, однако благодаря существенному недостатку (ложное срабатывание при резком торможении) в настоящее время заменены на электронные реле-замыкатели, которые с помощью пьезоэлектрических кристаллов подают сигналы обрабатываемые бортовым компьютером в совокупности с другими сигналами.

Однако старт эволюционного развития подушек безопасности следует отнести не к моменту создания сенсорного устройства, а к появлению всей составной конструкции. Ниже описаны этапы эволюции подушек безопасности в порядке их появления сначала как экспериментальных, а впоследствии уже как серийных образцов.

Американская автомобилестроительная компания "Форд" выпустила экспериментальную партию автомобилей, оснащённых подушками безопасности, в 1971 году (мод. "Таурус" 20М Р7В). Первый образец подушки безопасности в серийном автомобиле был представлен американской компанией "Дженерал моторс" в 1972 году, когда с конвейера вышла модель "Олдсмобиль Торонадо". В 1974 г. двойные подушки безопасности были опцией на некоторых крупногабаритных автомобилях, выпущенных подразделениями "Бьюик", "Кадиллак" и "Олдсмобиль". Однако эти устройства не получили широкого признания на рынке, в частности потому, что на тот момент позиционировались как замена ремней безопасности, а как показала практика эксплуатации, могут быть использованы лишь как дополнение к ним. В начале 1980-х годов немецкая компания "Мерседес-Бенц" вновь представила подушку безопасности как опцию в своих моделях легковых автомобилей представительского класса (мод. W126). В этой системе при аварии сначала затягивались ремни безопасности и лишь потом развёртывалась подушка. Таким образом, с подачи немецких инженеров, надувная подушка безопасности перестала позиционироваться как средство, заменяющее ремни безопасности, и стало способом дополнительной защиты водителя и пассажиров. С середины 1990-х годов стали появляться и патентоваться подушки безопасности не только от фронтального удара, но и от боковых, а также малоразмерные подушки, защищающие определённые части тела (например, висок или колени). В ряде моделей боковые подушки безопасности гипертрофировались в "надувные занавески" ("шторки безопасности"), которые устанавливаются в салоне в передних стойках или спинках сидений и предотвращают, в том числе, выпадение пассажиров через окно или защищая от осколков разбитого стекла.

Современные легковые автомобили имеют несколько подушек безопасности, которые располагаются в разных местах салона автомобиля. В зависимости от места расположения различают следующие виды подушек: фронтальные (см. рис. 2); боковые (см. рис. 3); головные (см. рис. 4), как разновидность боковых; коленные (см. рис. 5) и центральная (см. рис. 6).

Фронтальная подушка безопасности водителя располагается в рулевом колесе, переднего пассажира — в верхней правой части передней панели. В ряде современных конструкций фронтальных подушек используется двухступенчатое и даже многоступенчатое срабатывание в зависимости от тяжести аварии (так

Рис. 2. Фронтальные подушки безопасности

называемые адаптивные подушки безопасности). Основная цель, как указывалось выше, обеспечить максимально эффективное замедление пассажира во время всего процесса столкновения и последующей деформации салона АТС. Для фронтальной подушки безопасности переднего пассажира как правило предусмотрена возможность отключения. Это продиктовано скорее экономическими соображениями. Одноразовая подушка безопасности достаточно дорогостоящий атрибут защиты.

Боковые подушки безопасности призваны снизить риск травмирования таза, грудной клетки и брюшной полости при аварии. Пионером в применении боковых подушек безопасности является шведский концерн "Вольво", который в 1994 году начал предлагать их для установки в качестве опции. Боковые подушки безопасности устанавливаются обычно в спинке переднего сидения. Ряд автомобилей предлагают боковые подушки безопасности и на задних сидениях. Наиболее современные боковые подушки безопасности имеют двухкамерную конструкцию: более жёсткая нижняя часть для защиты таза и мягкая верхняя часть — для защиты грудной клетки.

Головные подушки безопасности (или так называемые "шторки безопасности" или "занавески безопасности") служат для защиты головы при боковом столкновении, а также грудной клетки и височной области водителя и пассажиров. Поэтому ряд производителей и разработчиков причисляют иногда их к боковым подушкам безопасности. Впервые серийно "шторки" безопасности начал устанавливать японский концерн "Тойота" в 1998 г. Такие подушки безопасности располагаются, в зависимости от модели автомобиля, в передней части крыши (между стойками) и в задней части крыши. Подушки защищают пассажиров переднего и заднего рядов сидений.

Коленная подушка безопасности защищает колени и голени водителя от травм. Располагается под рулевым колесом. Впервые серийно применена на автомобилях южно-корейской компании "Киа" в 1996 г. В ряде моделей устанавливается коленная подушка безопасности и для переднего пассажира, которая располагается под "ящиком-перчаточником".

В 2009 г. концерн "Тойота" предложил центральную подушку безопасности, которая призвана снизить тяжесть вторичных повреждений пассажиров при боковом столкновении. Располагается в подлокотнике переднего ряда сидений, центральной части спинки заднего сидения. Теперь центральные подушки как для переднего, так и для заднего ряда сидений используют и другие известные автопроизводители.

Рис. 3. Примеры боковых подушек безопасности ("Субару", БМВ)

Рис. 4. Примеры головных (боковых) подушек безопасности (БМВ, "Мерседес-Бенц)

Рис. 5. Подушки безопасности для колена ("Шкода", "Мерседес-Бенц)

Рис. 6. Центральная подушка безопасности

Рис. 7. Круговая внешняя подушка безопасности ("Вольво")

В апреле 2013 г. подразделение легковых автомобилей "Вольво" анонсировало о создании и планируемом серийном внедрении внешней круговой подушки безопасности для всего автомобиля (см. рис. 7) в рамках проекта по разработке внешней системы защиты автомобиля (*EnVeloP — External Vehicle Protection*). Внешняя круговая подушка безопасности АТС представляет собой небольшой контейнер, устанавливаемый на крыше автомобиля. В контейнере находится уложенный при помощи вакуумной вытяжки шар из материала, подобного тому, который используется для производства современных подушек безопасности. При потенциальной опасности столкновения с другим автомобилем или любым препятствием на дороге, в частности, даже в случае контакта с поверхностью водного объекта, шарообразная внешняя подушка безопасности раскрывается за миллисекунды и обволакивает автомобиль. Благодаря полному охвату транспортного средства такая система защиты призвана сводить к минимуму как повреждения автомобиля, так и травмирование находящихся внутри людей.

Вышеприведённая конструкция лишний раз подтверждает доводы авторов о целесообразности коррекции классического представления схемы о конструктивной безопасности (переход от классификации "активная—пассивная" на "внешняя—внутренняя"), ведь даже такой элемент активной безопасности, как подушка безопасности, может быть как внутренним конструктивным элементом, так и внешним. Причём дуализм трактовки защитных функций подушки безопасности этой конструкцией не ограничивается. Появляются новые варианты конструкций подушек безопасности, о чём пойдёт речь далее.

В 2006 г. японская компания "Хонда" представила первую систему подушек безопасности для мотоцикла, установленную на серийном образце модели "Голд Винг" (рис. 8). Как видно, это некий аналог фронтальной подушки безопасности, однако в этом случае водитель не удерживается ремнями безопасности, как в автомобиле, и в случае падения (выпадения из седла) функционал такой конструкции лишён смысла. Тем не менее в подобной ситуации есть другие конструктивные решения, о чём будет сказано далее.

В настоящее время активно разрабатываются экспериментальные образцы подушек безопасности, располагаемые снаружи автомобиля, перед ветровым стеклом, которые раскрываются от сигнала сенсора столкновения переднего бампера и минимизируют последствия удара голени пешехода о бампер, туловища о капот или головы о лобовое стекло (рис. 9).

Эволюция подушек продолжается также и в "персональном" направлении, как элемент экипировки водителя. Шведские дизайнеры А. Хаупт и Т. Алстин разработали прототип подушки безопасности "Хёвдинг" для мотоциклистов и велосипедистов, которая надувается в случае падения и предохраняет голову и шею от серьёзных травм. Такая подушка находится внутри водонепроницаемого тканевого чехла и в сложенном состоянии крепится

Рис. 8. Подушка безопасности на мотоцикле "Хонда Голд Винг"

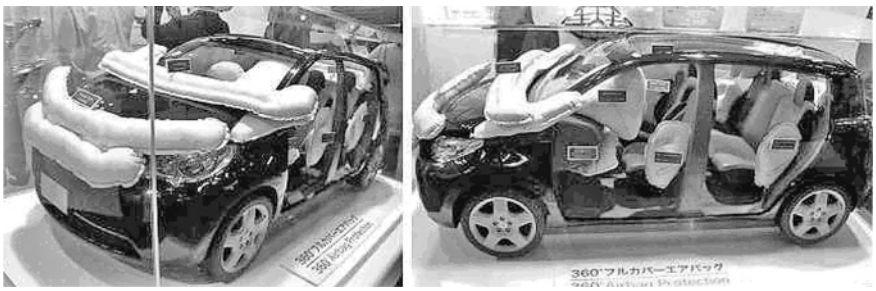


Рис. 9. Внешние подушки безопасности для пешеходов

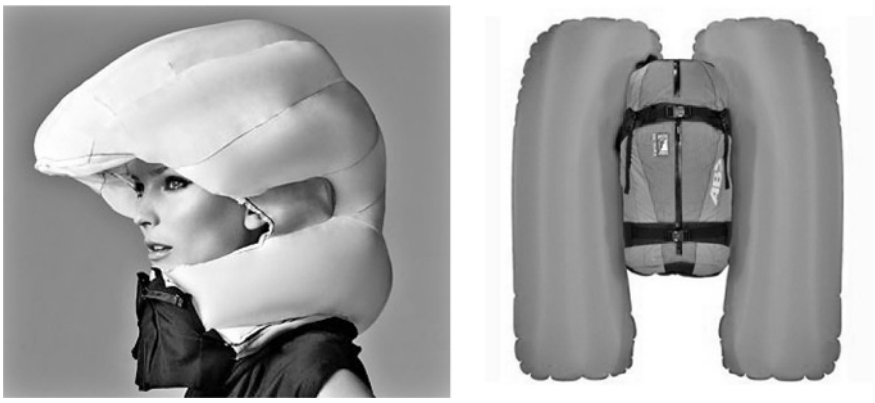


Рис. 10. Подушка безопасности для велосипедистов/мотоциклистов "Хёвдинг"

Рис. 11. Надувной ремень безопасности

Рис. 12. Детское кресло с подушками безопасности

вокруг шеи водителя. В момент падения подушка раскрывается за 0,1 с, что обеспечивает защиту, сравнимую с использованием обычного мотоциклетного шлема (рис. 10).

Кроме того, подушки безопасности интегрируются в другие устройства безопасности автомобиля, образуя симбиоз ударозащитных конструкций. К таким, помимо вышеприведённого бампера с интегрированной подушкой безопасности, можно отнести надувной ремень безопасности (рис. 11) и детское автокресло модели "ЭксиссФикс Эйр" со встроенными в прижимающие лямки подушками безопасности — технология голландской компании "Макси Кози" (рис. 12).

Нельзя не отметить тот факт, что благодаря внедрению подушек безопасности в серийные конструкции автотранспортных средств произошёл значительный спад в статистике погибших и пострадавших в ходе ДТП. Подводя некий итог вышеприведённым этапам эволюции конструкций подушек безопасности, следует констатировать, что современное развитие и дальнейшее совершенствование этих устройств будет выражено в комплексной установке по возможности большего числа разных подушек, а также в реализации комбинированных устройств безопасности на их основе.

Литература

1. Appel H., Krabbel G., Vetter D. Unfallforschung, Unfallmechanik und Unfallrekonstruktion. 2 Auflage, Verlag Information Ambs GmbH, 2002.
2. Kramer F. Passive Sicherheit von Kraftfahrzeugen. Grundlagen-Komponenten-Systeme. ATZ/MTZ-Fachbuch, Vieveg, 1998.
3. Burg/Moser (Hrsg.). Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion. Unfallaufnahme-Fahrdynamik-Simulation. ATZ/MTZ-Fachbuch, 1 Auflage, Vieveg, 2007.
4. Solomon K.A., Kendall J. Air Bag Deployment Criteria. The Journal of The Forensic Examiner, August 2014.

УДК 629.124:629.331.5

АМФИБИЙНЫЕ ГИБРИДНЫЕ ВЕЗДЕХОДЫ НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ СЕМЕЙСТВА "АРКТИКА" ПРИ РАБОТЕ В УСЛОВИЯХ ЗАПОЛЯРЬЯ. ОСОБЫЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ И ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ

Кандидаты техн. наук **ДУБИН А.Е., НЕСТЕРОВ В.Е.**
МГТУ имени Н.Э. Баумана
(tec@sm.bmstu.ru)

Анализируются условия эффективного использования на территориях Заполярья для современных серийных амфибийных гибридных вездеходов на воздушной подушке семейства "Арктика". Приведены особые экологические и эксплуатационные требования для наземного транспорта в этом регионе. Представлены главные особенности конструкции и основные технические характеристики гибридных вездеходов "Арктика".

Ключевые слова: *Арктика, Заполярье, транспорт, особые требования, тундра, экология, амфибия, вездеход, судно на воздушной подушке, амфибийное, гибридное, колёсное шасси, технические характеристики, управляемость, устойчивость, способ управления, компенсация дрейфа.*

Dubin A.E., Nesterov V.E.

A FAMILY OF AIR-CUSHION-SURFACE-CONTACTING HYBRID VEHICLES FOR THE RUSSIAN ARCTIC: DESIGN AND DATA SHEETS

In this paper, we introduce a family of the Russian modern serial hybrid hovercrafts equipped with wheeled chassis to operate effectively in the Arctic. Special requirements for vehicles working in the Arctic tundra are represented. Also, design particularities and technical specifications of the hybrid hovercrafts are demonstrated.

Keywords: *Russian Arctic, transportation, special demands, tundra, bog, ecology, hovercraft, air cushion vehicle, amphibious, hybrid, surface-contacting, wheeled chassis, technical data sheets, controllability, transverse stability, control method, drifting preventing.*

Поставленные в последние годы государством стратегические цели по интенсификации освоения природных богатств и увеличению доли присутствия вооружённых сил России в Арктике [1] заставили отечественных разработчиков вновь обратить самое пристальное внимание на возможности амфибийной техники на воздушной подушке [2, 3]. Присущий таким машинам уникальный набор технико-эксплуатационных качеств позволяет рассматривать их в качестве одного из наиболее перспективных видов транспорта для территорий российского Заполярья [4, 5]. Важен и тот факт,

что до настоящего времени в России сохраняется заметный научно-технический потенциал, позволяющий претендовать на роль одного из мировых лидеров в данном направлении инновационной деятельности.

В силу своих конструктивных особенностей амфибийная техника на воздушной подушке способна передвигаться по различным типам подстилающей поверхности. Сюда относятся, например: водные бассейны, заснеженные, ледовые, грунтовые и каменистые поверхности, битый лёд. Кроме того, такая техника может преодолевать различные препятствия, типа ледовых торосов, невысоких кустарников, кочек, брёвен или крупных валунов. При этом в арктических условиях по эффективности эксплуатации амфибии на воздушной подушке заметно превосходят как вертолетную технику, так и автомобильный транспорт. А с точки зрения выполнения современных экологических требований в тундре амфибии на воздушной подушке вообще не имеют конкурентов среди любых наземных видов транспорта.

Очевидно, что амфибийная техника на воздушной подушке потенциально представляет значительный интерес при решении разнообразных транспортных задач как в военной области, так и в гражданской сфере в ходе организации региональных пассажиропотоков и грузоперевозок на территориях арктической зоны страны.

Особые требования к наземному транспорту в Заполярье

В последние годы в государственных нормативных правовых актах, относящихся к Арктике, используется термин "Арктическая зона Российской Федерации", который более ориентирован на существующее административно-территориальное устройство страны [1, 5]. Географически границы этой зоны в значительной части совпадают с границами арктических территорий и акваторий, географически расположенных к северу от Северного полярного круга, т.е. Заполярьем [4, 5]. Обе эти области характеризуются сходными природно-климатическими условиями, поэтому в настоящей работе оба эти понятия в смысловом плане будем считать равнозначными.

Таблица 1

Характеристики	Погодные условия в шельфовых акваториях и береговых районах северных морей России			
	Баренцево	Карское	Лаптевых	Восточно-Сибирское
Средняя температура воздуха, °С:				
зимой	−10...−20	−17...−25	−28...−30	−25...−30
летом	+3...+7	+3...+7	+10...+15	+2...+3
Среднегодовая скорость ветра, м/с	10...15	5...8	5...6	5...6
Максимальная скорость ветра, м/с	—	34...40	25...30	18...20
Высота волн, м	5...9	Более 3	3...6	3...5
Высота торосов, м	До 2..3	До 2	До 2...3	До 2...3

Для всех территорий российского Заполярья характерны природно-климатические условия, определяемые как чрезвычайно тяжёлые. В табл. 1 приведены основные сведения по типичным погодным условиям в этом регионе [6]. Полярная ночь, предельно низкие температуры воздуха, сильные ветра, ледовые торосы — вот далеко не полный перечень тяжёлых природных факторов, при активном влиянии которых приходится функционировать арктическим транспортным средствам. Ситуация ещё более осложняется крайне низкой плотностью и фрагментарным (часто сезонным) характером проживания населения на данных территориях. Здесь нет устойчиво работающих всесезонных и всепогодных транспортных сетей, крайне слабы либо практически отсутствуют подразделения государственных аварийно-спасательных и навигационных служб.

По этим причинам к образцам наземной транспортной техники, предназначенной для работы в условиях Заполярья, предъявляются особые требования по показателям надёжности и безопасности эксплуатации. В частности, такие машины должны обладать достаточной энерговооружённостью, чтобы в условиях бездорожья иметь возможность свободно маневрировать на косогорах, а также уверенно преодолевать затяжные подъёмы с уклонами 15° и более. Кроме того, они должны обладать достаточными показателями устойчивости при воздействии дестабилизирующей ветровой нагрузки с характерными скоростями ветра вплоть до 15 м/с.

Для перспективных машин, помимо того, предъявляются жёсткие требования по надёжности эксплуатации их бортовых электронных систем. Бортовые информационно-управляющие и навигационные системы арктической наземной транспортной техники должны устойчиво функционировать в условиях полярной ночи, нулевой видимости, предельно низких температур, при действии сильных ветров и наличии непредсказуемых препятствий на трассе движения [7].

В последние годы к образцам арктической наземной транспортной техники во всем мире, в том числе и в России, стали дополнительно предъявлять новый набор серьёзных экологических требований, направленных на усиление защиты окружающей среды. Дело в том, что арктические природные экосистемы тундры оказались крайне уязвимы к последствиям хозяйственной деятельности человека.

В результате многочисленных исследований зарубежных и отечественных специалистов было, в частности, установлено [8—12], что практикой предыдущих десятилетий по освоению природных ресурсов арктических территорий и наращиванию здесь государственных сил военного присутствия, которые проводились с активным использованием тяжёлых колёсных и гусеничных вездеходов, уже был нанесён серьёзный экологический урон местной природе. В весенне-летне-осенний период, когда оттаивает тонкий припо-

верхностный слой многолетнемёрзлых грунтов, такая техника при движении необратимо разрушает слабый растительный покров мохово-лишайниковых и травяных тундр. Оставленные на поверхности колеи полностью уничтожают почвенный слой, проникая в толщу "вечной мерзлоты". Образующиеся канавы заполняются талой водой и очень быстро, в результате природных термокарстовых и термоэрозионных процессов превращаются в глубокие овраги либо в безжизненные болота. При массовом использовании вездеходного транспорта в тундре образуются целые поля безжизненных болот. Восстановление целостности поверхностного защитного растительного слоя в условиях многолетнемерзлых грунтов происходит крайне медленно и занимает от 20 до 50 лет "при условии полного "покоя" (даже при проведении комплекса специальных рекультивационных мероприятий). Таким образом, приходится констатировать, что при использовании традиционных транспортных технологий техногенные нагрузки на поверхность почв в тундре значительно превышают порог устойчивости арктических экосистем [10, 11].

Известно [13], что основным параметром, характеризующим уровень экологического воздействия движителей колёсно-гусеничных транспортных средств на почву, служит величина максимального контактного давления. По этой причине в технических требованиях к перспективной арктической наземной транспортной технике вводятся ограничения по значению предельно допустимого давления, действующего в пятне контакта между транспортным средством и подстилающей (опорной) поверхностью.

Данные по максимально допустимому давлению на тундровые почвы, а также характерные величины контактного давления для современных арктических наземных транспортных средств [10, 14—17] приведены в табл. 2. Для сравнения показано расчётное давление, оказываемое на грунт человеком (в качестве примера взят средний российский мужчина с массой 75—80 кг и 41—42 размером обуви). Числовые данные — для трёх наиболее часто используемых в профильной технической литературе систем измерения: СИ, МКГСС и североамериканской.

Приведённые величины предельно допустимого контактного давления для арктических почв моховолишайниковой и травяной тундры были определены в процессе комплексных исследований, выполненных американскими учёными на Аляске в 70-х годах прошлого века. Эти результаты легли в основу ряда защитных природоохранных юридических актов, принятых к настоящему времени в США и Канаде. Российское законодательство на сегодня эти параметры транспортных средств жёстко не регламентирует. Однако величины предельно допустимого контактного давления для тундровых почв выступают целевым ориентиром при разработке новых перспективных арктических транспортных средств. Кроме того, возможность удовлетворения данным экологическим требованиям является важным конкурентным преимуществом для образцов современных машин при их сравнении с зарубежными аналогами.

Анализ данных табл. 2 показывает, что доступные на российском рынке лучшие экземпляры современных серийно выпускаемых арктических наземных транспортных средств — колёсные и гусеничные вездеходы, снегоболотоходы и амфибии (особенно их более лёгкие модификации) — имеют параметры среднего удельного давления на грунт, лежащие в диапазоне 10—24 кПа. Они могут безопасно эксплуатироваться на территориях травяной тундры в течение всего года. В то же самое время, очевидно, что ни одно транспортное средство с традиционным колёсно-гусеничным движителем не удовлетворяет современным требованиям экологической безопасности при эксплуатации в весенне-летне-осенний период в более северных областях, для которых характерны обширные заболоченные пространства мохово-лишайниковых тундр.

Единственным универсальным транспортным средством, которое отвечает условиям предельно допустимого контактного давления для любого типа тундры в течение всего года, является вариант аппарата на воздушной подушке. Так, например, амфибийные суда на воздушной подушке могут эксплуатироваться практически по любым типам подстилающей поверхности. При этом для подобных машин даже сверхтяжёлой группы грузоподъёмности [10] максимальное контактное давление на почву не превышает значения 5 кПа (например, у амфибийного десантного корабля на воздушной подушке проекта 12322 "Зубр" грузоподъёмность составляет более 150 т, а давление в воздушной подушке всего 0,048 кгс/см^2 [17]).

Таблица 2

Характеристики	Системы измерения		
	Международная СИ, кПа	Техническая МКГСС, кгс/см^2	Американская, фунт-сила/дюйм^2 (psi)
Предельно допустимое контактное давление на почву в тундре [14]:			
травяная тундра	24	0,24	3,5
мохово-лишайниковая тундра	5	0,05	0,7
Давление на почву среднего человека:			
неподвижно стоящего	20	0,2	3
идущего	60...80	0,6...0,8	9...12
Среднее удельное давление на грунт современных арктических гусеничных вездеходов [10, 15, 16]	20...50	0,2...0,5	3...7
Среднее удельное давление на грунт современных арктических колёсных вездеходов [10, 15, 16]	10...50	0,1...0,5	2...7
Максимальное давление на грунт судов на воздушной подушке (полной массой свыше 6 т) [17]	1...5	0,01...0,05	0,2...0,7

Специализированные арктические амфибийные суда на воздушной подушке: текущее состояние вопроса

Над проблемой создания универсального транспортного средства, способного эффективно осуществлять перевозки в северных условиях, работают инженеры и учёные во многих странах мира [18]. В этом направлении был разработан ряд конструкций амфибийных судов на воздушной подушке, предназначенных для решения разноплановых транспортных задач как военного, так и гражданского назначения. Отдельные образцы таких машин неоднократно испытывались в природно-климатических условиях Арктики [19]. Однако важно отметить, что во всех случаях испытания носили опытный, исследовательский характер. До настоящего времени в мире не создавались серийные образцы амфибий на воздушной подушке, специально предназначенные для эффективной эксплуатации в условиях Заполярья.

Хотя амфибийные суда на воздушной подушке демонстрируют уникальную проходимость в арктических условиях, недоступную традиционным транспортным средствам, им всё же присущ при этом ряд специфических проблем, связанных как с длительным движением над твёрдой поверхностью, так и с местными климатическими особенностями. По оценке ведущих специалистов ОАО "ЦМКБ "Алмаз" (российский и мировой лидер в области проектирования крупных военных катеров на воздушной подушке), практически все основные подсистемы существующих серийных судов на воздушной подушке должны быть доработаны для надёжной эксплуатации в условиях Заполярья. Это касается как конструкции корпуса, гибкого ограждения, силовых установок, воздушных винтов, подсистем навигации и управления, так и других бортовых систем и устройств. Для решения этих проблем требуется проведение дополнительных проектных и опытно-конструкторских работ, поиск новых технических и технологических решений [19].

Для доработки существующих серийных образцов судов на воздушной подушке в ЦМКБ "Алмаз" предлагается развернуть полномасштабную целевую государственную программу с ориентировочными сроками проектирования 1—2 года и сроками постройки головного образца 1—3 года дополнительно (в зависимости от назначения и грузоподъёмности конкретной модели машины). При этом для эффективной реализации предлагаемой программы предусматривается возможность организации совместных работ с рядом заинтересованных структур международного сотрудничества, особенно со странами северного региона [19].

Кроме этого предприятия в направлении создания перспективных арктических амфибийных судов на воздушной подушке в России в настоящее время работает ещё ряд организаций. Одна из наиболее известных среди них — ОАО "ТПЦ "СибВПКнефтегаз". Компания с 2001 г. самостоятельно разрабатывает и с 2003 г. серийно производит быстроходные амфибии и суда на воздушной подушке под общим брендом "Арктика". По заявлению производителя, конструкция этих машин ориентирована на эффективную круглосуточную эксплуатацию на акваториях больших и малых рек, озёр, прибрежной полосы морей, по лесным просекам, зимникам, на болотах и в тундре в течение всего года [15, 18].

Главные конструктивные особенности амфибий "Арктика"

Амфибийные грузопассажирские вездеходы данного семейства (рис. 1) — транспортные средства на воздушной подушке нового поколения. В отличие от своих предшественников, эти амфибии в равной степени предназначены как для эксплуатации по снегу, водной или ледовой поверхности, так и для работы на суше (в том числе и в тундре) в течение всего года. Ряд применённых в них технических решений принципиально отличает эти машины от обычных конструкций амфибийных судов на воздушной подушке.

Основные технические характеристики серийно выпускаемых в настоящее время моделей амфибий "Арктика", а также параметры традиционных судов на воздушной подушке сходной грузоподъёмности [18] приведены в табл. 3. Как видим, по классификации, приведённой в [10], вездеходы "Арктика" относятся к классу наземных амфибий, к подклассу судов на воздушной подушке и к следующим группам (по грузоподъёмности): малые (полезная нагрузка 500...1000 кг, пассажировместимость 6...10 человек); средние (1000...3000 кг и 10...30 человек соответственно); тяжелые (3000...5000 кг и 30...60 человек). Рассмотрим главные конструктивные особенности этих машин.

В отличие от аналогов, в вездеходах "Арктика" значительно (в 1,5—2,5 раза) увеличена мощность двигателей главной силовой установки. Благодаря этому, а также совершенствованию конструкций тяговых воздушных винтов появилась возможность устойчивого преодоления затяжных подъёмов с уклонами вплоть до 20...25°, что в 5—6 раз превышает возможности традиционных судов на воздушной подушке. Также с 12...15 до 20 м/с возросло значение максимальной ско-

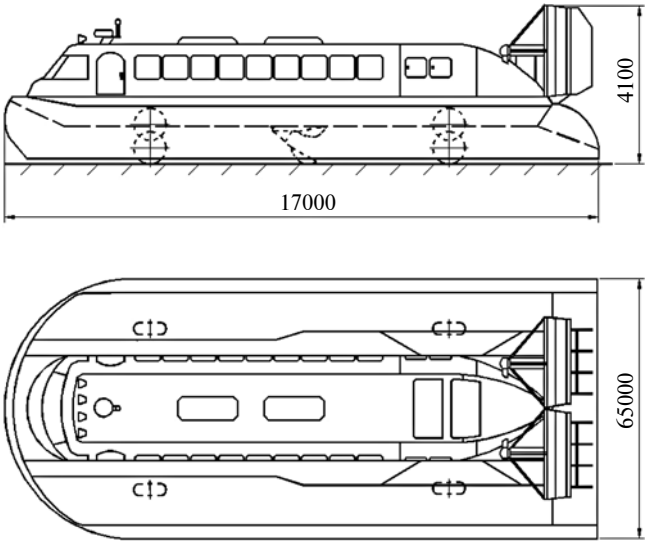


Рис. 1. Амфибийный вездеход на воздушной подушке "Арктика-5"

рости ветра, при котором допустима безопасная эксплуатация этих машин.

Для улучшения управляемости, маневренности и безопасности движения вездеходы "Арктика" комплектуются специальными упругими тормозными щитками с направляющими ножами-килями и тормозными шипами (рис. 2) [20, 21]. Эти тормозные щитки приводятся в действие с помощью пневмоцилиндров. Они обеспечивают связь транспортного средства с опорной поверхностью, удержание его от заносов на поворотах, при действии бокового ветра, при движении на косогорах и торможение на спусках. Кроме того, на тормозные щитки возложена функция обеспечения экстренного (аварийного) торможения при движении машины с большой скоростью.

Практика использования амфибий "Арктика" в северных условиях показала, что при взаимодействии

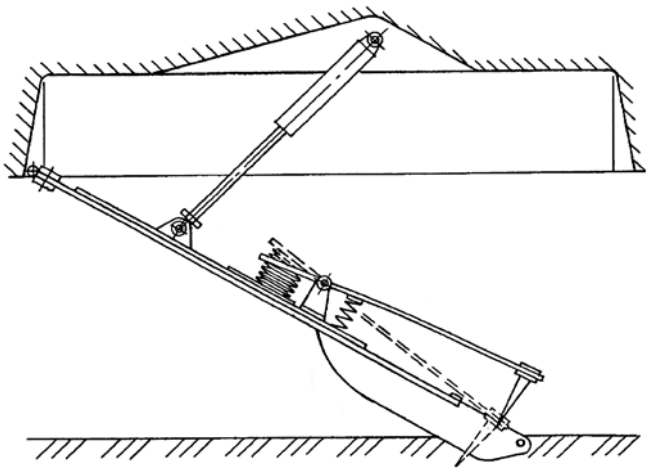


Рис. 2. Конструкция тормозного щитка

Таблица 3

Технические характеристики	"Арктика-1"	"Арктика-2"	"Арктика-3"	"Арктика-5"	"Ирбис"	"Нептун-23"
Габаритные размеры: Д × Ш × В, м	8,2 × 4,0 × 3,6	10,4 × 4,6 × 3,6	14,8 × 5,6 × 3,7	17,0 × 6,5 × 4,1	17,5 × 6,2 × 4,8	11,7 × 4,3 × 3,8
Полная масса, кг	4200	6600	10 200	16 100	10 700	5480
Грузоподъёмность, кг	1000	2000	3000	5000	3200	2180
Число пассажирских мест	7	14	25...28	50...54	28...32	19...22
Силовая установка (дизельная): количество × мощность, л.с.	1 × 300	"ИВЕКО" 1 × 510	"Дойц" 2 × 440	"Катерпиллер" 2 × 705	"Дойц" 2 × 191	"Камминз" 2 × 150
Максимальная скорость, км/ч:						
на воде	85	80	85	85	55	70
по снегу и льду	125	120	120	120	65	80
по болоту и тундре	80	55	60	60	—	—
Ёмкость топливных баков, л:						
основных	400	500	900	1500	500	390
дополнительных	—	200	400	400	—	—
Дальность хода, км:						
на основных баках	1100	900	1000	1000	500	550
с дополнительными баками	—	1200	1400	1400	—	—
Крутизна затяжного подъёма, град.:						
на воздушных винтах	25	20	20	20	4	4
с применением ведущих колёс	—	28	30	30	—	—
Максимальная скорость ветра, м/с	20	20	20	20	15	12
Максимальная высота волны, м	1,0	1,2	1,8	2,0	1,2	1,2
Максимальная высота препятствий, м	0,4	0,5	0,7	1,1	0,5	0,6
Ограничения по температуре, °С	−50...+40	−50...+40	−50...+40	−50...+40	−40...+40	−40...+30
Воздушные винты (изменяемого шага)	Реверсивные, алюминиевый сплав		Реверсивные, алюминиевый сплав		Реверсивные, пластик	
Тормозной путь при скорости 80 км/ч на воде, на снеге, на грунте, м	60	60	65	70	—	—
Тормозные устройства	Упругие титановые щитки с направляющими ножами				—	—
Колёсный движитель	—	Шасси 4 × 4			—	—
Непотопляемость в аварийных ситуациях	Обеспечивается конструкцией корпуса и блоков плавучести				—	—
Остекление салона и ходовой рубки	Двойное; поликарбонат, триплекс				Одинарное; оргстекло, триплекс	

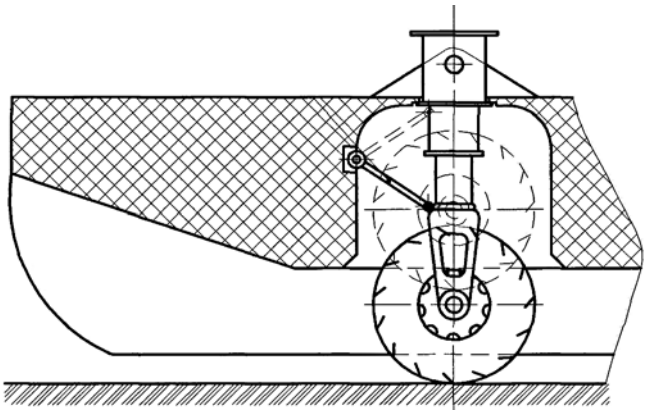


Рис. 3. Конструкция колеса шасси

с поверхностью земли, воды, снега, льда тормозные щитки с направляющими ножами-килями обеспечивают существенную дополнительную курсовую устойчивость. Однако их эффективность, особенно на льду и мерзлых грунтах, недостаточна. Для усиления эффекта в устройстве одновременно приводятся в действие как привод выдвижения тормозного щитка в рабочее положение, так и привод выпуска тормозных шипов. В результате обеспечивается заметно лучшая управляемость машиной и значительно более эффективное торможение [18].

Важным нововведением в конструкции вездеходов "Арктика" (кроме самой младшей модели семейства) выступает наличие управляемого убирающегося полноприводного колёсного шасси самолётного типа (рис. 3). Такое решение существенно повышает управляемость, маневренность и безопасность движения амфибий на дорогах и в населённых пунктах, увеличивает проходимость машин при движении по заросшим болотам, лесным просекам и по сильно пересечённой местности, где тягового усилия воздушных винтов недостаточно. В процессе эксплуатации колёсное шасси выполняет также защитную функцию, амортизируя удары корпуса о поверхность земли, и, кроме того, обеспечивает возможность буксировки транспортного средства обычным автомобильным транспортом [22, 23].

Колёсное шасси вездеходов "Арктика" укомплектовано пневматическими колёсами с индивидуальным тяговым гидроприводом и тормозными механизмами на каждое колесо. Тяговое усилие на всех колёсах шасси реализуется с помощью встроенных в их ступицы высокомоментных гидромоторов и колёсных редукторов. Для улучшения управляемости и маневренности машины передние колёса выполняются поворотными.

В убранном положении колёса шасси выступают ниже плоскости днища амфибии, что защищает гибкое ограждение и корпус от повреждений при движении над неровностями поверхности земли, льда и при посадке на каменистый грунт. Во время стоянки шасси воспринимает на себя полный вес машины.

Выдвижение колёс шасси в рабочее положение реализуется с помощью управляемых гидропневматических механизмов. В выпущенном положении колёса выступают за нижнюю кромку гибкого ограждения. При этом возможны как полное вывешивание амфибии над грунтом, так и частичное, в пределах 10...30 % от веса машины. Регулированием степени вывешивания обеспечивается необходимое сцепное качество колёс с опорной поверхностью.

Использование колёсного движителя одновременно с тяговыми винтами значительно улучшает проходимость и управляемость транспортного средства на воздушной подушке при движении по суше в особо трудных условиях: сильно пересечённая местность, заросшие кустарником и мелколесьем болота, крутые подъёмы и спуски, движение по косогору, при сильном боковом ветре и т. д. Сюда же относится движение в условиях плохой видимости и в ночное время. Наличие колёсного шасси значительно расширяет возможности самостоятельного передвижения вездеходов "Арктика" на суше, по автомобильным дорогам и в населённых пунктах.

(*Продолжение следует*)

Литература

1. Государственная программа РФ "Социально-экономическое развитие Арктической зоны РФ на период до 2020 года (документ утверждён постановлением Правительства РФ от 21.04.2014 № 366) // Официальный сайт Правительства России. URL: http://government.ru/docs/11967 (дата обращения: 30.01.2018).
2. Соколянский В.П., Захарченко Ю.А., Котиев Г.О. и др. Амфибии с шасси на воздушной подушке — ключ к Арктике // Арктика: экология и экономика. — 2012. № 1(5). — С. 38—47.
3. Абрамовский В.А., Пивоваров Н.И., Цымляков Д.Е., Шляхтенко А.В. Перспективы использования амфибийных судов на воздушной подушке для решения транспортных задач в районах Крайнего Севера // Морской вестник. — 2011. № 3. — С. 13—16.
4. Дубин А.Е., Нестеров В.Е. Перспективы использования большегрузных амфибийных транспортных средств на воздушной подушке для организации систем интермодальных контейнерных перевозок в арктической зоне России // Автомобильная промышленность. — 2014. № 1. — С. 37—40.
5. Сухопутные территории Арктической зоны Российской Федерации (документ утверждён указом Президента РФ от 02.05.2014 № 296 (ред. от 27.06.2017)) // СПС КонсультантПлюс. URL: http://www.consultant.ru (дата обращения: 30.01.2018).
6. Лопатухин Л.И. и др. Ветер и волны в океанах и морях: справочные данные. — Л.: Транспорт, 1974. — 359 с.
7. Дубин А.Е., Нестеров В.Е. Перспективные большегрузные амфибийные транспортные средства на воздушной подушке для работы в арктической зоне России: основные тактико-технические требования и компоновочные схемы // Автомобильная промышленность. — 2015. № 1. — С. 21—24.
8. Сохранение арктической флоры и фауны (CAFF). 2013. Оценка биоразнообразия в Арктике: резюме для политического руководства. — КАФФ, Акьюрейри, Исландия, 2013. — 28 с.
9. Cumulative Environmental on Alaska's North Slope: Polar Research Board of the NRC Report. — Washington: The National Academies Press, 2003. — 305 pp.
10. Стратегия социально-экономического развития Камчатского края до 2025 года (документ утверждён постановлением Правительства Камчатского края от 27.07.2010 № 332-П) // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: http://docs.cntd.ru/document/446224042 (дата обращения: 30.01.2018).
11. Капелькина Л.П. Нарушенные земли Севера и проблемы их рекультивации // Арктика: экология и экономика. — 2011. № 3. — С. 60—67.
12. Соколов Ю.И. Арктика: к проблеме накопленного экологического ущерба // Арктика: экология и экономика. — 2013. № 2(10). — С. 18—27.
13. Годжаев З.А., Измайлов А.Ю., Шевцов В.Г. и др. Исследование давления колёсного движителя на почву с учётом характеристики шины // Сельскохозяйственные машины и технологии. — 2016. № 1. — С. 5—10.
14. Amyot J.R. Hovercraft Technology, Economics and Applications. — New York: Elsevier Science Publishing, 1989. — 770 p.
15. Базовый каталог высокотехнологичной промышленной продукции и услуг для нужд Арктической зоны Российской Федерации (Минпромторг России) // Официальный сайт Государственной комиссии по вопросам развития Арктики. URL: https://

arctic.gov.ru/8622c06d-c70b-e711-80c6-00155d006312 (дата обращения: 30.01.2018).
16. Монин И.А. Повышение проходимости амфибийно-вездеходных транспортных средств // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. "Машиностроение". — 2007. № 3. — С. 91—101.
17. Yun L., Bliault A. High Performance Marine Vessels. — New York: Springer, 2012. — 378 pp.
18. ОАО "Торгово-промышленный центр "СибВПКнефтегаз" [Электронный ресурс]: офиц. сайт. Омск, 2017. URL: http://www.sibvpk.ru (дата обращения: 30.01.2018).
19. Цымляков Д.Е., Алексеев П.Г. Перспективы использования амфибийных судов на воздушной подушке проектов ОАО "ЦМКБ "АЛМАЗ" для решения транспортных задач в районах Крайнего Севера // Теория и практика морской деятельности. — 2013. Выпуск 24. — С. 100—117.
20. Мамонтов В.Г., Красюк С.В. Амфибийное транспортное средство на воздушной подушке // Патент России № 2269441. 2006. Бюл. № 4.
21. Мамонтов В.Г., Красюк С.В. Амфибийное транспортное средство на воздушной подушке // Патент России № 2328390. 2008. Бюл. № 19.
22. Мамонтов В.Г., Красюк С.В., Заводов В.Я. Амфибийное транспортное средство на воздушной подушке // Патент России № 2164481. 2001. Бюл. № 9.
23. Мамонтов В.Г., Красюк С.В. Самоходная амфибийная платформа на воздушной подушке // Патент России № 2345916. 2009. Бюл. № 4.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ. ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС АТС

УДК 621.3

ЭЛЕКТРОБУСЫ И ЗАРЯДНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА В УСЛОВИЯХ МЕГАПОЛИСОВ

Кандидаты техн. наук **ФЕОФАНОВ С.А., ЛАЙКО Е.М., ФЕОФАНОВА Л.С.**
МАДИ (feofanov_s_a@yahoo.com)

Проведён технико-экономический анализ эксплуатации электробусов в мегаполисах и возможности их интеграции в городскую среду в соответствии с последними международными тенденциями. Рассмотрены проблемы и перспективы внедрения электробусов в разрезе инфраструктурных, законодательных актов РФ, международных стандартов и технологии интеллектуального управления электрическими нагрузками городских электрических сетей "Smart grid". Приведены результаты расчётных исследований влияния бортовых систем электрооборудования и электроники на запас хода электрических автобусов.

Ключевые слова: *электротранспорт, городская инфраструктура, электрические сети, управление сетями, зарядные станции, электробусы, эксплуатация.*

Feofanov S.A., Lajko E.M., Feofanova L.S.

ELECTRIC BUSES AND CHARGING INFRASTRUCTURE UNDER CONDITIONS OF MEGAPOLISES

A technical and economic analysis of the operation of electric buses in megacities was carried out. The possibility of using electric buses in the city infrastructure is assessed taking into account international trends. The problems and possibility of the implementation of electric buses are considered taking into account the infrastructure, legislative acts of the Russian Federation, international standards and technology of intellectual control of electric loads "Smart grid". The results of a calculation study of the influence of on-board systems of electrical equipment and electronics on the drive range of electric omnibus are given.

Keywords: *electric vehicle, city infrastructure, electrical grid, network management, electric omnibus, Smart grid, maintenance.*

С точки зрения городских электрических сетей использование в автотранспортных средствах буферных электрохимических накопителей энергии позволяет улучшить экологическую среду в городе, снизить эксплуатационные затраты и повысить общую энергоэффективность. Одно из перспективных направлений — применение в транспортной отрасли технологии интеллектуальных сетей "Смарт Грид" (*Smart Grid*), способствующее лучшему и более равномерному распределению энергии.

Ночью, в моменты статистического спада суточного потребления, электротранспорт обеспечивает дополнительную электрическую нагрузку в моменты заряда (по льготным тарифам) своих аккумуляторных батарей. Днём же, наоборот, в часы-пик часть энергии от батарей (до 20—30 % ёмкости) может отдаваться в промышленные сети, тем самым уменьшая дефицит электроэнергии (рис. 1) [1]. Технология эта находится в стадии проработки, один из вариантов которой предполагает денежную компенсацию (или бесплатный заряд ночью) за использование городом энергии от аккумуляторных батарей электромобилей днём в часы-пик.

В целях стимулирования владельцев электротранспорта предоставлять часть ёмкости своих батарей промышленным городским сетям в дневное время рассматриваются разные способы: бесплатные парковки, проезд по выделенным полосам для транспорта, налоговые льготы, сниженный тариф для заряда электробатарей, отмена ввозных таможенных пошлин, снижение транспортного налога и т.п. Комбинация льгот различается в разных странах в зависимости от политики и актуальности стоящих эколого-энергетических проблем [8]. В России принят Федеральный закон № 261-ФЗ от 23.02.2009 "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации", а также есть постановления Правительства РФ № АД-П9-3076 от 28 апреля 2014 г. и № 890 от 27 августа 2015 г. "Об оборудовании автозаправочных станций зарядными колонками для транспортных средств с электродвигателями". До 1 сентября 2017 года действовали льготные пошлины на ввоз электромобилей: легковых — 0 % и грузовых (грузоподъёмностью выше 5 т) — 5 %. На данный момент вице-премьером правительства РФ дано поручение проработать меры государственной поддержки электрических колёсных транспортных средств [6]. Кроме того, прорабатывается ряд законодательных инициатив о внесении изменений в существующие федеральные законы, постановления правительства и в отдельные законодательные акты РФ (например: ФЗ № 35 от 26.03.2003 "Об электроэнергетике", НК РФ ч. 2, статьи 149, 271 и 272; Постановления правительства РФ № 717 от 2.09.2009, № 720 от 10.09.2009, № 611 от 12.10.2006 г. и № 1221 от 31.12.2009 г. [6, 7]). Основными выгодоприобретателями от применения технологий "Смарт Грид" являются энергосети. В России, например, "МОЭСК", "Россети", "ФСК ЕЭС", "Мосгортранс" и др. занимаются развитием инфраструктуры и увеличением доли парка электротранспорта. На конец 2017 года по данным Россетей в России насчитывалось около 2 тыс. электромобилей, при этом в 2017 г. их продажи

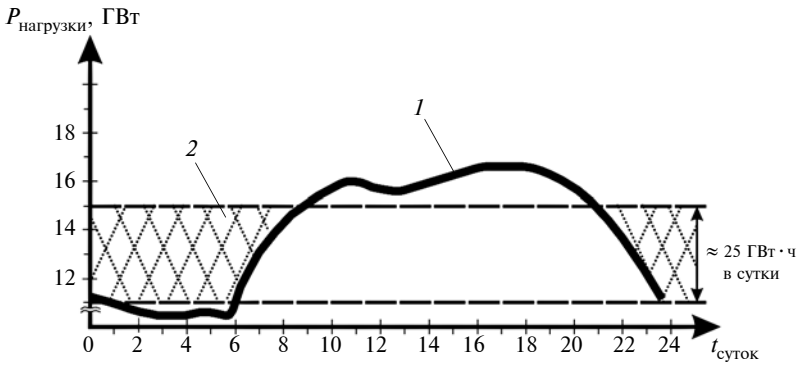


Рис. 1. График суточной нагрузки на электросеть в Москве:

1 — кривая потребления электрической нагрузки в течение суток; *2* — потенциальное количество энергии, доступное для дополнительных электрических нагрузок

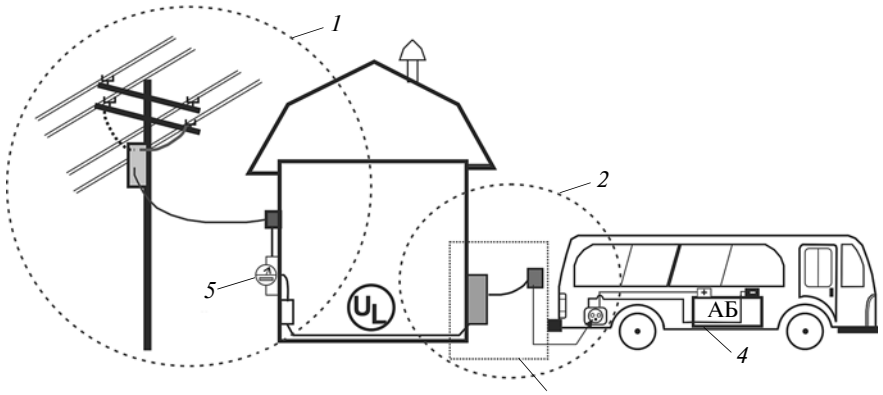


Рис. 2. Функциональная схема взаимодействия электротранспорта и системы "Смарт Грид":

1 — зона ответственности электросетевых компаний (регламентируется, например, стандартом *IEEE 1547 Distributed energy interconnection); 2* — системы преобразования и передачи энергии для электрических АТС (стандарты *SAE J2847, J2836, J2293 — Communication &energy transfer V2G/G2V; SAE J 1772 Electric vehicle coupler, V2G, G2V); 3* — зарядные устройства для электрических АТС *(EVSE); 4* — тяговые электрохимические накопители энергии (стандарты *SAE J1798 Performance, SAE J2929 Safety, SAE J537 Storage*)

выросли на 35 % [6]. Развитие электротранспорта входит в планы профильных министерств РФ, в частности, министр энергетики России А. Новак на форуме ENES 2016 дал прогноз, что к 2020 г. в России может использоваться около 200 тыс. электромобилей [9]. Развитие инфраструктуры и технологий "Смарт Грид" сталкивается с рядом объективных проблем. Во-первых, для ночного заряда аккумуляторных батарей необходима локализация и концентрация дополнительных электромощностей для зарядных подстанций, что влечёт за собой необходимость в создании соответствующей отдельной инфраструктуры. Во-вторых, для своевременного перераспределения электроэнергии между потребителями требуется создание единого информационного интерфейса и центров управления (рис. 2) [2—4].

При рассмотрении вопросов интеграции АТС с электроприводом в городскую среду в первую очередь внимание уделяется коммерческому и городскому транспорту, так как их окупаемость возможна только при интенсивной эксплуатации. Электротранспорт, несмотря на значительно более низкую стоимость эксплуатации по сравнению с дизельными аналогами, имеет на 60...150 % большую начальную стоимость [1, 8]. Главное преимущество электрических АТС перед традиционными — нулевые выбросы токсичных газов от энергоустановки в окружающую среду и пониженные выбросы пыли и твёрдых частиц от тормозных колодок и шин [11], так как в электротранспорте используется рекуперативное торможение.

В городах длительное время эксплуатируются трамваи и троллейбусы, имеющие свои достоинства и недостатки. Для трамваев требуется отдельное пространство с уложенными рельсовыми путями, коэффициент загруженности которых относительно мал, хотя в часы-пик это даёт преимущество и существенно уменьшает длительность поездки. Например, в Вене используют гладкие плиты между рельсами, что позволяет использовать трамвайные пути как выделенные транспортные полосы, по которым передвигаются также и городские автобусы. Самую же низкую стоимость эксплуатации (с учётом содержания инфраструктуры) по многим оценкам имеют троллейбусы. Однако их относительно низкая средняя скорость и недостаточная маневренность, а также "визуальное загрязнение" города линиями электропередач ограничивают их использование в городах с высокой плотностью населения. Использование троллейбусов целесообразно на маршрутах вне исторического центра с длинными прямолинейными участками. Аналитические исследования показывают [13], что у каждого вида наземного городского транспорта есть своя ниша: при пассажиропотоке менее 500 пасс./ч выгоднее автобусные перевозки, от 500 до 1,5 тыс. пасс./ч — троллейбусы, а свыше этих значений трамваи (причём при пассажиропотоке свыше 18 тыс. пасс./ч участок трамвайной линии должен проходить без пересечений в одном уровне (на эстакаде или в тоннеле).

Одно из решений по расширению области применения троллейбусов заключается в оснащении их электрохимическими накопителями энергии для обеспечения автономного запаса хода от 3 до 15 км без подключения к контактной цепи постоянного тока. Использование троллейбусов и трамваев в системе "Смарт Грид" ограничено вследствие отсутствия в их конструкции ёмких химических источников тока (ХИТ). Однако жизнь не стоит на месте и технологии в области таких источников динамично развиваются, способствуя всё большему распространению электробусов, которые в "интеллектуальных" сетях могут использоваться весьма успешно [14].

Городские и транспортные службы Москвы провели обширную аналитическую работу с приглашением экспертов (специалисты МАДИ также направляли свои предложения к дополнению Технического задания на электробусы), представителей промышленности и бизнеса и выработали основные требования к ним (табл. 1).

Предъявляемые требования были получены в том числе на основе опытной эксплуатации на городских маршрутах Москвы автобусов: ЛиАЗ-6274 (Россия, поколение 1 и 2), КамАЗ-6782 (Россия), БКМ 43303А (Белоруссия), "Линкер 13" (Финляндия), БКМ Е433 "Витовт Макс Электро" (Белоруссия), "Ютон" (Китай), "Модуло" (Венгрия) и др. Среди электробусов, проходивших тестовую эксплуатацию, самое низкое заявленное энергопотребление имеет "Модуло" — всего 0,65—0,75 кВт · ч/км по протоколу Будапештской транспортной компании BKV, и 0,62 кВт · ч/км про протоколу TUV SORT2. Поддержание столь высоких показателей (табл. 2) на протяжении 15 лет эксплуатации является трудновыполнимой задачей и зависит, в том числе, от выбранной конечной схемы эксплуатации АТС с электроприводом. Развитие соответствующей инфраструктуры и выбор оптимальных зарядных схем и комплектующих — одна из ключевых задач, от решения которой зависит интенсивность применения электроавтобусов в городе. Во многом указанный выбор зависит от конструкции АТС с электроприводом [11, 16]. Мировым сообществом накоплен определённый опыт,

и на практике используются следующие четыре схемы для электрических АТС: 1) с постоянным питанием в движении контактным и бесконтактным (крайне редко) способом ("*in-Motion-Feeding*"); 2) с автономными ХИТ с периодическим подключением для подзаряда к контактной сети; (*"in-Motion-Charging"*); 3) с автономными ХИТ с поднарядом на маршруте при помощи пантографа (*"Opportunity Charging"*); 4) с автономными ХИТ высокой ёмкости с продолжительным зарядом в автопарке (*"Overnight Charging"*).

К первому типу относятся традиционные троллейбусы, преимущества и недостатки которых были проанализированы выше в данной статье.

Второй тип (*"in-Motion-Charging"*) подходит для городов, имеющих контактную воздушную высоковольтную сеть. ХИТ используются для: выезда АТС на маршрут, на участках без контактной сети (например, в историческом центре города), при необходимости маневрирования (например, при ДТП) или отключении (аварии) контактной сети. Решаются задачи повышения экологической безопасности городского транспорта, улучшения маневренности, устранения "визуального загрязнения" от кабельных воздушных линий в центре города и обеспечения достаточного запаса хода с возможностью почти круглосуточной эксплуатации при относительно небольшой нагрузке на ХИТ (благоприятные эксплуатационные режимы). Данный тип АТС имеет меньшие по ёмкости (и, соответственно, массе) тяговые батареи, что, соответственно, снижает его начальную стоимость. Указанное техническое решение — интересный компромисс, объединяющий достоинства троллейбуса и автобуса.

Третий тип (*"Opportunity charging"*) использует для заряда на маршруте и конечных станциях ультрабыстрые зарядные устройства высокой мощности (продолжительность заряда 2—8 минут). Данный подход обеспечивает стабильный отлаженный режим эксплуатации, аналогичный автобусам с дизельными ДВС. С точки зрения тяговых ХИТ быстрый заряд высокими токами приводит к более быстрой их деградации и снижению срока службы, а также существенно снижает эффективность передачи энергии от электрической зарядной станции (ЭЗС). Ввиду этого при нахождении в автопарках целесообразен заряд от стационарных ЭЗС более низкими токами в течение 2...4 ч с целью увеличения срока службы ХИТ.

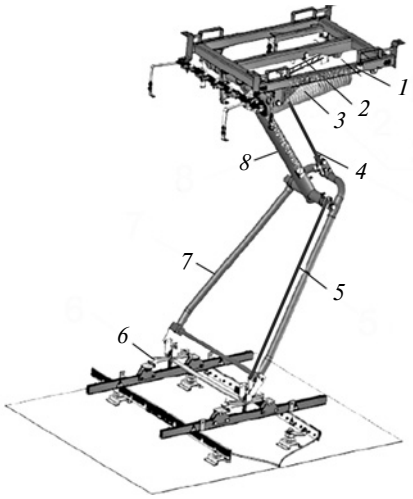


Рис. 3. Г-образная конструкция пантографа для подключения электробусов к электрической сети:
1 — опорная рама; *2* — привод шпинделя; *3* — пружина; *4* и *5* — направляющие; *6* — токосъёмник; *7* — нижний рычаг; *8* — верхний рычаг

Концепция *"Opportunity charging"* предусматривает подключение посредством пантографа к 2-полюсным рельсам. Механизм пантографа совместно с зарядным устройством может быть размещён в зарядной станции или на борту АТС. В случае нахождения зарядного устройства и пантографа на борту АТС подключение происходит к контактной группе на мачтовой опоре. С одной стороны, данный подход снижает инвестиционные затраты города на величину стоимости зарядных устройств и нагрузку на сервисные службы. С другой стороны, усложняется эксплуатация, увеличивается масса, габаритная высота и начальная стоимость АТС (в Европе примерно на 21 тыс. евро), а также снижается его надёжность и вместимость (рис. 3). В процессе ультрабыстрого заряда передаются большие токи и происходит значительное выделение удельной тепловой мощности, что в случае возникновения аварийной ситуации может привести к значительному повреждению аппаратуры и даже к возгоранию. Кроме того, срок службы данных силовых зарядных устройств больше срока эксплуатации АТС. Эти факторы повышают требования к надёжности и встроенным системам защиты, что отражается и на конечной стоимости. Указанные недостатки привели к возникновению другой концепции ЭЗС.

Более технико-экономически обоснована "обратная" концепция, когда силовая электроника с системой управления и механизм пантографа находятся в "Г-образной" мачте ЭЗС, а позиционирование АТС для подключения к контактным площадкам осуществляется посредством радиометок (например, *Wi-Fi*). В рамках этой концепции в соответствии со стандартом для ЭЗС ISO 15118-1:2013 проработан унифицированный стандарт *"OOPCharge"* для производителей, который находится на стадии обсуждения в Евросоюзе. По данным разработчиков этого стандарта стоимость зарядного комплекта для интеграции в одну ЭЗС в виде "Г-образной" мачты в Европе составляет 26 тыс. евро, но при этом стоимость АТС возрастает только на относительно небольшую величину стандартизированных контактных рельсов с системой коммутации с радиопозиционированием. Конструктивные особенности и подобранные геометрические размеры контактных рельсов позволяют обеспечивать надёжный безопасный контакт даже при непараллельном подъезде АТС к остановке общественного транспорта (рис. 4).

Четвёртый тип (*"overnight charging"*) не подходит для крупных мегаполисов с режимом эксплуатации АТС более 20 ч в сутки при существующих на данный момент типах ХИТ.

При эксплуатации электробусов необходимо определить расчётную нагрузку от потребителей электроэнергии на борту АТС. Расчёт проводился методом эквивалентных токов по методике [4], с учётом оснащения современными системами бортового электрооборудования и электроники городских автобусов мегаполисов. Максимальный потребляемый эквива-

Таблица 1

Параметр	Значение
Минимальная пассажировместимость, чел.	85
Минимальный пробег без подзаряда при максимальной электрической нагрузке, км	40
Максимальный удельный расход электроэнергии, кВт · ч/км	1,3
Минимальное непрерывное время эксплуатации в сутки, ч	20
Минимальный срок эксплуатации химических источников энергии по контракту жизненного цикла, лет	15
Время ультрабыстрого заряда до 80 %, мин	15

Таблица 2

Параметр	Техническая характеристика электробуса		
	ЛиАЗ-6274 (Россия)	"Линккер" (Финляндия)	"Каталист XR" (США)
Энергоёмкость химического источника тока, кВт · ч	280	55	257
Запас хода (по паспортным данным/с учётом включенных электропотребитей), км	250/140	50/28	300/160
Расход электроэнергии (с учётом электропотребителей, при средней скорости 23 км/ч), кВт · ч/км	1,6	1,6	1,3

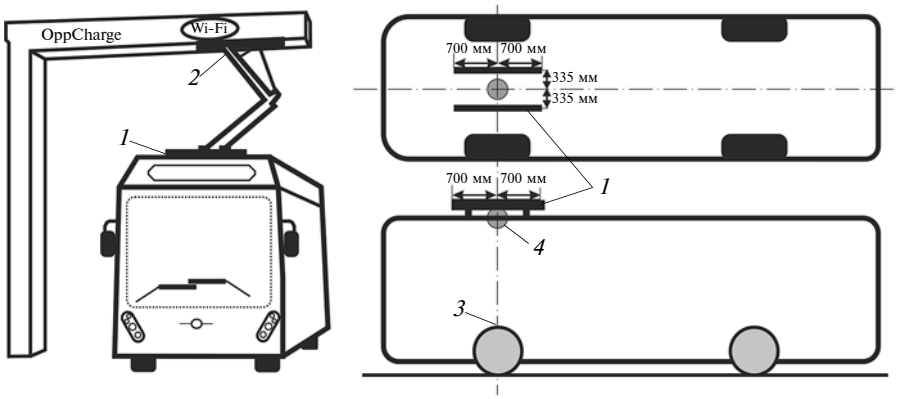


Рис. 4. Размещение контактных выводов по стандарту OPPCharge на крыше АТС:
1 — контактные рельсы; *2* — пантограф; *3* — передняя ось; *4* — радиометка

лентный ток систем электрооборудования с учётом коэффициента использования составляет 400 А для самого энергоёмкого режима "лето—город—день". Необходимо отметить, что наибольшее потребление электроэнергии летом связано с климатической установкой, эквивалентная мощность которой составляет 6...9 кВт в зависимости от класса городского пассажирского автобуса (при расчётах принималась величина 8 кВт).

При рабочем напряжении бортовой сети 28 В и с учётом необходимых сервисных остановок удельный расход энергии для обеспечения работы электрических и электронных потребителей на 1 км пути в среднем составил 0,48 кВт·ч/км. Используя полученное расчётное значение и технические характеристики электробусов, были скорректированы паспортные данные по общему удельному энергопотреблению на 1 км пробега для более точного прогнозирования реального запаса хода (табл. 2). В расчётах также учитывалось, что энергия ХИТ электробусов вследствие особенностей эксплуатации используется не более чем на 80 %. Как видим, в реальных городских условиях эксплуатации бортовые потребители систем электрооборудования и электроники оказывают существенное влияние на уменьшение запаса хода.

В большей степени именно городская администрация определяет способ и подходы к интеграции в городские электрические сети. При выборе электробусов для каждого города и маршрута городские службы ориентируются на городскую инфраструктуру, возможность её развития, масштабирования или модернизации, а также технических параметров самих АТС. Например, удалённость ЭЗС на маршруте зависит от запаса хода АТС, а их тип от вида ХИТ и их характеристик: ёмкости, энергии, массы, токов заряда/разряда и т.д. Международные тенденции указывают на принятие концепции использования ультрабыстрых электрозарядных станций (УЭЗС) в мегаполисах. Соответственно, при выборе АТС необходимо учитывать тип ХИТ и их температурную стабильность, возможность принимать высокие токи заряда и число циклов заряд—разряд. В процессе движения и, особенно, при использовании УЭЗС выделяется значительное количество тепла с локальным перегревом в местах подключения полюсных выводов. Чем выше температура ХИТ (даже в рамках рабочего диапазона), тем меньше их срок службы. Вследствие этого АТС должны оснащаться ХИТ с низким внутренним сопротивлением и климатическими установками для них в целях охлаждения при перегреве и подогреве в зимнее время для обеспечения номинальных характеристик. Учитывая значительную стоимость сложного аккумуляторного модуля, климатических установок, систем мониторинга состояния, защиты и коммутации ХИТ, а также необходимость последующей их утилизации, целесообразно делать выбор в пользу аккумуляторных ячеек с большим числом циклов заряд—разряд, низким внутренним сопротивлением и незначительно теряющих ёмкость при отрицательных температурах. Одним из таких типов являются литий-титанатные ($Li_4Ti_5O_{12}$) аккумуляторы с числом циклов заряд—разряд до 15 тысяч при токах 1—2С [17].

Один из вариантов интеграции электротранспорта в городскую среду — это реализация технологий "Смарт Грид" с использованием электробусов в дневное время суток (когда сети наиболее нагружены) вместо троллейбусов и автобусов с ДВС. Это позволит снизить пиковые нагрузки на подстанции и, соответственно, уменьшить мощностные потери в системе, а также уменьшить суммарные эксплуатационные затраты.

Одним из вариантов, снижающим инфраструктурные затраты, может стать размещение промежуточных зарядных станций на маршруте для электробусов около кабельных силовых воздушных троллейбусных линий. Для воздушной сети используется фидерный кабель, в котором проходят две независимые друг от друга и силовой части кабеля изолированные контрольные жилы. "Мосгортранс" проработал возможность использования данных жил для обмена информацией между электробусом и зарядной станцией, а также для питания *Wi-Fi*-точки доступа для коммуникации, в том числе с центром управления городскими электросетями (в частности с ближайшей тяговой подстанцией) [11].

При выборе концепции интеграции электротранспорта в городскую инфраструктуру важно провести комплексный анализ с учётом не только базовой стоимости комплектующих и их паспортных данных, но и сервисно-ремонтные затраты и изменения характеристик в процессе длительной эксплуатации.

Развитие городских маршрутов АТС с электрическим приводом целесообразно начинать с центра Москвы, в пределах Третьего транспортного кольца. Это даст преимущество в экологической составляющей (при замене автобусов с ДВС) и поспособствует снижению нагрузки в дневное время на электрические подстанции (при замене троллейбусов). При массовой замене в дневное время(!) троллейбусов на электробусы можно уменьшить скачки мощности, тем самым обеспечив устойчивую генерацию.

Одним из вариантов внедрения электробусов в общую городскую электросеть может быть "комбинированная" эксплуатация автотранспортным предприятием троллейбусов и электробусов. В качестве объекта расчётного исследования был взят маршрут № 63 (Москва) с ежедневным круглосуточным режимом работы. Был рассмотрен вариант использования в дневное время электробусов, а в ночное (с 21-00 до 5-00) — троллейбусов, что теоретически позволяет разгрузить городскую электросеть в дневное время. Во время эксплуатации троллейбусов ночью электробусы получают энергию от электросети в режиме "медленного" заряда. Однако ёмкости аккумуляторных батарей электробуса недостаточно при использовании данного вида АТС на всём городском маршруте, поэтому необходимы УЭЗС на маршруте в дневное время суток.

Например, при указанной схеме работы автопарком из 10 автоколонн возможно сократить нагрузку на электросеть в дневное время на 0,155 %, а ночью нагрузить на 0,45 %, что положительно сказывается на суточном балансе электропотребления (см. рис. 1). Описанная концепция позволяет использовать "медленный" способ заряда ХИТ электробусов, что значительно повышает их срок эксплуатации и надёжность. К недостаткам следует отнести затраты на поддержание отдельной инфраструктуры для троллейбусов и электробусов, а также повышенных эксплуатационных расходов на два разных типа АТС. Несмотря на подобный вариант использования троллейбусов, с развитием электротехнологий в области тягового электропривода и ХИТ эксплуатация троллейбусов будет уменьшаться с постепенным замещением электробусами с использованием промежуточных пунктов для заряда.

Одна из трудностей интеграции пантографов в средней полосе — климатические условия. Служащая основным ме-

таллом контактов медь сильно подвержена окислению под действием таких негативных природных явлений, как снег, дождь, туман, мороз. Поэтому необходимо предпринимать защитные меры (например, использовать специальные покрытия) и, возможно, специальные средства подогрева для устранения наледи. Сравнительный анализ электробусов и зарядной инфраструктуры для них показывает, что на данный момент целесообразнее использование зарядной инфраструктуры пантографического типа. Использование суперконденсаторов и узкоспециализированных зарядных станций существенно ограничит перечень потенциальных производителей электробусов и производителей УЭЗС.

Проведённое исследование позволяет сформулировать ряд практических рекомендаций. Так, для интеграции в городскую инфраструктуру и в целях обеспечения возможностей расширения сети маршрутов электробусов электрозарядные станции должны иметь возможность подключения к источникам постоянного и переменного тока. В целях гармонизации с международными стандартами и увеличения потенциального числа поставщиков электробусов для мегаполисов РФ целесообразно ориентироваться на стандарт *"OPPCharge"* для УЭЗС с размещением зарядного модуля и пантографа в составе мачты. При расчёте баланса потребления энергии бортового электрооборудования автобусов с электроприводом необходимо учитывать режим максимальной нагрузки для городского транспорта "летом в городе днём". В целях оптимизации эксплуатационных, утилизационных затрат и увеличения срока службы должны выбираться химические источники тока с максимально возможным числом циклов заряд—разряд с возможностью принимать и отдавать значительные токи. Такие источники имеют большую начальную стоимость, но при полном жизненном цикле их использование значительно выгоднее.

Литература

1. Цыпулев Д.Ю. Электротранспорт и его интеграция в интеллектуальные сети будущего [Электронный ресурс] // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 1. URL: http://www.metaninfo.ru/aftmarchive/TAT12013.pdf (дата обращения 25.07.2018).
2. Энергоэффективный мегаполис — Smart City "Новая Москва" / под ред. Бушуева В.В., Ливинского П.П. М.: ИД "Энергия". 2015. 76 с.
3. Rodrigo Garcia-Valle and Joao A. Pecas Lopes Editors. Electric Vehicle Integration into Modern Power Networks, Technical University of Denmark, Kgs. Lyngby, Denmark, 2013, 384 p.
4. Bend M. Buchhols and Zbigniew Styczunski. Smart Grids — Fundamentals and Technologies in Electricity Networks, NTB Technoservice Pyrbaum, Germany and Universityof Magdeburg, Magdeburg, Germany, 2014, 396 p.
5. Фещенко А.И., Феофанов С.А., Феофанова Л.С. Расчёт баланса электроэнергии на автомобиле: методические указания к курсовому проекту. М.: МАДИ. 2016. 48 с.
6. Феофанов С.А., Чернов А.В., Мороз С.М., Фещенко А.И. Особенности системы "стоп—старт" для городских автобусов на основе бесщёточных стартеров и генераторных установок повышенной мощности // М.: Труды НАМИ. № 261. 2015. С. 58—67.
7. Веденеева А., Скоробогатько Д. Зелёный транспорт заряжают от государства // М.: Коммерсантъ. 2018. № 47. С. 1.
8. Колбасов А.Ф., Карпухин К.Е., Дебелов В.В. Исследование инфраструктуры для личного электротранспорта: актуальные проблемы, варианты решений // М.: ООО Издательский Дом ААИ ПРЕСС, Журнал автомобильных инженеров, 2017. № 2. С. 36—45.
9. Черников А.В. Государственное регулирование автомобильной промышленности: опыт стран мира и возможности его применения в России: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.14 утв. 15.12.16. — М., 2016. 172 с.
10. Инюцын А.Ю. Умные технологии для умного города // М.: Практика муниципального управления, 2017. № 2. С. 46—55.
11. Выступление С. Королькова на научно-техническом совете ГУП Мосгортранс от 08.09.2017 "Электробус — технические особенности вариантов исполнения", 2017. 29 с.
12. Кутенев В.Ф. К вопросу об экологически чистом городском транспорте [Электронный ресурс] // Автомобили. Автомобильный транспорт. 2016. № 2. С. 36—41. URL: http://www.aae-press.ru/f/97/36.pdf (дата обращения 15.05.2018 г.).
13. Закиров С.С., Матросов В.А., Матвеева Е.В. Положение городского электрического транспорта в России. Вестник института проблем естественных монополий. № 4 (36). 2016. С. 12—17.
14. Чурова А.В., Феофанов С.А. Интеграция автобусов с электрическим приводом в умные электрические сети Smart Grid [Электронный ресурс] // Новосиб.: Студенческий. 2018. № 10-4 (30). С. 64—70. ULR: https://elibrary.ru/contents.asp?id=34898855 (дата обращения 27.07.2018)
15. Болнокин В.Е., Нгуен Д.Ч., Феофанов С.А. Электронное управление распределёнными транспортными процессами с помощью многосерверных систем обработки информации // М.: Электроника и электрооборудование транспорта. 2017. № 3. С. 24—29.
16. Оспанбеков Б.К., Голубчик Т.В., Сидоров К.М. Технологические аспекты зарядной инфраструктуры для электромобилей // М.: Электроника и электрооборудование транспорта. 2016. № 4. С. 35—38.
17. Gert Berckmans, Maarten Messagie, Jelle Smekens. Cost Projection of State of the Art Lithium-Ion Batteries for Electric Vehicles Up to 2030. [Электронный ресурс] // Basel, Switzerland, Energies, 2017. ULR: http://www.mdpi.com/1996-1073/10/9/1314/pdf (дата обращения 09.08.2018).
18. ГОСТ Р МЭК 60050-482—2011 Источники тока химические. Термины и определения. Дата введения 8.12.2011 г.

ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ

УДК 620.178

О ВЕКТОРНОМ ХАРАКТЕРЕ ТВЁРДОСТИ

Канд. техн. наук **СВЕЩИНСКИЙ В.О.***
ООО "Промышленное оборудование"
(v.sveshinsky@azpi.ru)

Приведены результаты испытания микротвёрдости в продольных и поперечных сечениях стальных бесшовных труб российского и иностранного производства.

Ключевые слова: *твёрдость, испытания, вектор, скаляр.*

* Автор благодарит инженера И.С. Шахурину за помощь в проведении работ.

Sveschsinsky V.O.

ON THE VECTOR CHARACTER OF HARDNESS

The results of testing of microhardness in longitudinal and cross sections of seamless steel pipes of Russian and foreign production are presented.

Keywords: *hardness, testing, vector, scalar.*

Измерение (испытание) твёрдости широко применяется на практике для оценки прочностных качеств детали. При этом остаётся нерешённым вопрос о том, к какому типу величин относится данный параметр: в литературных источниках и при опросах специалистов — инженеров-конструкторов — не удалось обнаружить чёткого определения того, является ли твёрдость векторной или скалярной величиной. Как характеристика прочности детали, твёрдость, вообще говоря, имеет несколько абстрактный характер и этим подобна температуре.

Расстояние от края внутреннего диаметра, мм	Результаты испытания твёрдости в стенке стальной бесшовной трубы							
	по ГОСТ 11017 (сталь 20)		производства "Цзянсу" (сталь St52)		по ТУ 24.20.13.140-388-00186619 (сталь Т22)			
					без автофретирования		после автофретирования	
	HV_1 вдоль	HV_1 поперёк	HV_1 вдоль	HV_1 поперёк	HV_1 вдоль	HV_1 поперёк	HV_1 вдоль	HV_1 поперёк
0,2	177	190	221	242	198	176	339	240
0,4	166	186	207	277	203	169	310	260
0,6	171	188	206	231	197	191	342,5	329
0,8	174	200	210	246	185	178	428,5	319
1	170	199	209	256	186	176	424,5	372
1,2	170	203	214	243	201	188	416	371
1,4	161	214	216	260	172	199	420,5	381
1,6	170	208	223	244	186	205	427,5	375
1,8	170	231	209	265	185	197	403,5	384
2	174	204	217	256	176	211	376	260
2,2	170	195	211	259	183	212	335,5	212
2,4	164	205	215	248	181	215	320	218
Максимальное	177	231	223	277	203	215	428,5	384
Минимальное	161	186	206	231	172	169	310	212
Среднее	169,75	201,92	213,17	252,25	187,75	193,08	378,63	310,08

Если последняя есть косвенная мера количества теплоты, то твёрдость есть косвенная мера остаточных напряжений в детали. Но если температура представляет собой явную скалярную величину, а температурное поле детали — скалярное поле, то с твёрдостью ситуация более интересная.

Фундаментальное различие между векторами и скалярами достаточно полно изложено в учебниках, справочниках и энциклопедиях. Например, С.Э. Фриш и А.В. Тиморева дают следующее определение: "Величины, характеризуемые не только числовым значением, но и направлением, называются векторами. Величины, для определения которых достаточно задать только их численное значение, называются скалярами (например, промежуток времени, масса, плотность и т.д.)" [1]. Аналогичные определения приведены в Кратком политехническом словаре [2], Математическом энциклопедическом словаре [3], Советском энциклопедическом словаре [4] и др.

Если только речь не идёт о микротвёрдости, измеряют некоторое интегральное значение — усреднённое для всех структурных составляющих [5]. Принято считать, что для условно изотропных деталей твёрдость является одинаковой во всем объёме. На практике изотропное состояние можно с определённой долей условности приписывать, в частности, деталям, получаемым литьем и спеканием. Для деталей, получаемых пластическим деформированием, наблюдается вполне определённое распределение твёрдости, которое зависит от так называемой термомеханической предыстории детали в терминологии Я.Д. Вишнякова и В.Д. Пискарева [6].

Многочисленные исследования показывают, что значения микротвёрдости, измеренной в различных сечениях трубчатых заготовок, полученных волочением, различаются между собой на величину, превышающую погрешность измерений.

В качестве примере в таблице приведены результаты испытания твёрдости в продольном и поперечном сечении стальных бесшовных труб высокого давления размерности 8хвн.3 производства ОАО "Первоуральский новотрубный завод" (Россия) и китайской "Цзянсу" (*"Jiangsusheng zhangjia gangfuren he gaojingguan Co."*). Испытания производили по следующей схеме: изготавливали шлиф в диаметральной плоскости трубы и замеряли твёрдость на микротвердомере "Шимадзу" HMV-G21DT в радиальном направлении от внутреннего диаметра до наружного с шагом 0,2 мм. Затем делали второй шлиф в перпендикулярной плоскости, стараясь совместить его с линией точек предыдущих испытаний твёрдости. Точки испытания твёрдости на втором шлифе располагали так же: в радиальном направлении от внутреннего диаметра до наружного с шагом 0,2 мм.

Пренебрегая погрешностью расположения точек испытания твёрдости, можно считать, что для одних и тех же точек в стенке трубы получены распределения твёрдости вдоль и поперёк продольной оси. Испытания проводили на свободных образцах трубы, т. е. не нагруженных каким-либо способом. Представляется, что, с некоторым допущением, полученные значения можно было бы соотнести с распределением остаточных нормальных и тангенциальных напряжений в стенке трубы.

Можно предположить, что пространственная анизотропия механических характеристик детали обуславливает зависимость твёрдости от направления измерения. Но, как известно, величина, определяемая не только числовым значением, но и направлением, может быть трактуема как вектор. Это кажется тем более логичным, что напряжённость некоторого поля, например, электромагнитного, является векторным полем. И хотя твёрдость нельзя непосредственно отождествлять с напряжением или иными механическими свойствами материала, поле распределения твёрдостей, вероятно, можно рассматривать, как векторное поле.

Пока трудно сказать, какой практический результат может иметь представление твёрдости как векторной характеристики детали. Но, думается, более адекватная трактовка широко применяемой характеристики позволит конструкторам более осознанно, а значит более внимательно относиться к расчётам проектируемой детали, а технологов — к процессам её изготовления.

Литература

1. Фриш С.Э., Тиморева А.В. Курс общей физики. Т. 1. Физические основы механики. Молекулярная физика. Колебания и волны. — М.: Госиздат. технико-теоретической литературы, 1955, с. 111.
2. Краткий политехнический словарь. — М.: Госиздат технико-теоретической литературы, 1956, с. 134, 864.
3. Математический энциклопедический словарь. — М.: Сов. Энциклопедия, 1988, с. 107.
4. Советский энциклопедический словарь. — М.: Сов. Энциклопедия, 1988, с. 204, 1228.
5. Колмаков А.Г. и др. Методы измерения твёрдости: справ. изд. / А.Г. Колмаков, В.Ф. Терентьев, М.Б. Бакиров. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Интермет Инжиниринг, 2005. — 150 с.
6. Вишняков Я.Д., Пискарев В.Д. Управление остаточными напряжениями в металлах и сплавах. — М.: Металлургия, 1989. — 254 с.

ИНФОРМАЦИЯ

Из истории отечественного автомобилестроения

УДК 338.242.42+338.532.4.024+629.032

АВТОТРАКТОРНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ В ОЧАГЕ ИНФЛЯЦИОННОГО ВЗРЫВА

Д-р техн. наук **КАТАНАЕВ Н.Т.**
Московский политехнический университет (МАМИ)
(katanaevnt@yandex.ru)

Приводятся результаты исследования влияния ключевых макроэкономических факторов на выпуск продукции автотракторной отрасли машиностроения в условиях высокого уровня нестабильности инфляционных процессов. Анализ проводится на основе моделей спроса и предложения с использованием данных выпуска продукции. Рассмотрены промышленные циклы производства тракторов, грузовых и легковых автомобилей за последние 46 лет. Даётся математическая трактовка понятия "инфляционный взрыв" и сформулированы выводы по результатам исследования отрасли за этот период.

Ключевые слова: *автомобили, тракторы, производство, инфляция, кризис, модели, устойчивость.*

Katanaev N.T.

AUTOMOTIVE INDUSTRY IN THE MIDDLE OF AN INFLATIONARY EXPLOSION

The results of research of influence of key macroeconomic factors on the production of automotive machinery industry in conditions of high level of volatility of inflation processes. The analysis is based on supply and demand models using data output. Reviewed industrial production cycles of tractors, trucks and cars over the past 46 years. Provides a mathematical interpretation of the notion of "inflationary explosion" and the conclusions of the study branch during this period.

Keywords: *automobiles, tractors, production, inflation, crysis, model, sustainability.*

Эффективность восстановления экономики, перед необходимостью которого страна оказалась в данный момент, во многом зависит от того, насколько хорошо мы усвоили уроки прошлого в части изучения причин возникновения структурного кризиса, произошедшего в начале девяностых годов прошлого века. На описательном уровне этот период довольно подробно освещён в многочисленных публикациях, авторы которых излагают эти события с позиций собственных представлений и интересов. Попытаемся же преодолеть субъективизм и положим в основу исследований математическую формализацию причинно-следственных связей, возникающих в структуре управления экономикой. В качестве объекта исследований примем автотракторную промышленность в структуре управления экономикой в целом. Некоторые аспекты этой темы неоднократно освещались в работах [1—4].

Сначала рассмотрим важный для производителей товара вопрос, касающийся качества выпускаемой продукции. Активно культивируется мнение, что основная причина падения реального сектора экономики в период кризиса заключена в низком качестве отечественной продукции времён ещё советского периода. Этот аргумент накладывает тёмное пятно на уровень развития нашей экономики тех времён и, главное, отвлекает от необходимости поиска причин распада СССР и последующей длительной стагнации экономики РФ.

В противовес этому утверждению приведём статистические данные. В СССР в 1975 году выпуск тракторов превысил 550 тыс. шт., в то время как суммарное производство тракторов в Англии, ФРГ, Франции и Италии составляло 516 тыс. шт., а в США — всего лишь 270 тыс. шт. Поставлялись отечественные тракторы в большинство стран мира, что свидетельствовало об их достаточно высоком на тот период показателе конкурентоспособности — качество/цена. При плохом качестве товара таких показателей достичь невозможно. И, тем не менее, только в период с 1990 по 1995 год произошло практически одновременное падение выпуска тракторов различными заводами почти в 50 раз (рис. 1).

Крушение произошло как по команде, невзирая на уровень качества продукции реального сектора экономики. Этому явлению предшествовала тщательная теоретическая и практическая подготовка определённых движущих сил, способных вызвать неустойчивую ситуацию и последующий взрыв в экономике, который в конечном счёте под действием центробежных сил привёл к разрыву не только связей между отдельными республиками СССР, но и к нарушению экономических отношений между ними. Безусловно, этот гигантский финансово-экономический коллапс заслуживает всестороннего и глубокого изучения в целях выявления причин, способствующих развитию этих явлений — чему и посвящена данная работа.

В качестве инструмента исследований примем модель функционирования рыночных отношений, формулируемых кривыми спроса и предложения (формулы 1—3 в таблице).

В модель 1 совокупного спроса Y_c на товары и услуги входят произведение уровня автономных расходов G на постоянный коэффициент γ, и слагаемое в виде отношения денежной массы M к уровню цен P. Трудно формализуемое совокупное предложение Y_n в общем виде может рассматриваться как функция 2 составляющих: труд — T, капитал — M (денежная масса — агрегат M_2) и ресурсы — R. Однако в точке равновесия на рынке устанавливается равенство 3, поэтому значение спроса Y в этой точке может быть смоделировано любым из первых двух описаний.

Функцию состояний экономического объекта можно рассматривать как множество равновесных точек, изменяющихся во времени и описываемых, например, выражением вида 1. Такого рода кривые носят название промышленных циклов [2, 3] и являются "зеркалом", в котором отражается реакция объекта на внутренние и внешние факторы, действующие на систему. На рис. 2 представлены в относительных координатах промышленные циклы производства тракторов, грузовых и легковых автомобилей. Перевод относительных показателей в абсолютные показатели выпуска может быть осуществлён с помощью коэффициентов, указанных в подрисуночных надписях.

Временной диапазон выбран таким образом, чтобы, во-первых, можно было объективно оценить достижения плановой экономики в течение 20 лет до 1990 года и "успехи" рыночной экономики более чем за 25 лет после 1990 года. Во-вторых, в указанном диапазоне чётко просматриваются результаты структурного кризиса начала девяностых годов прошлого века, кризиса 2008 года и нового после 2011 г. падения производства автотракторной техники. Естественно, что эти явления должны отражаться в моделях 1 и 2. Одним из ключевых факторов в этих моделях является денежная масса M, которая через скорость V оборота капитала непосредственно связана с *ВВП* в форме известного уравнения Фишера (формула 4), из которого следует формула 5 коэффициента монетизации (K_M), отражающего уровень монетизации экономики.

В реализации *ВВП* участвует почти весь объём денежной массы M и может быть вычислен с использованием выражения 4. При

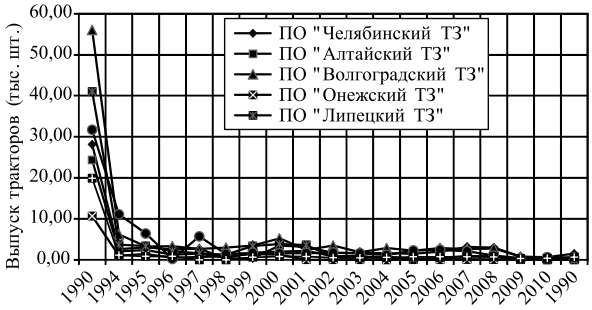


Рис. 1

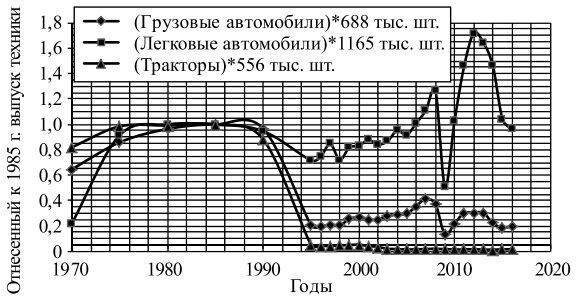


Рис. 2

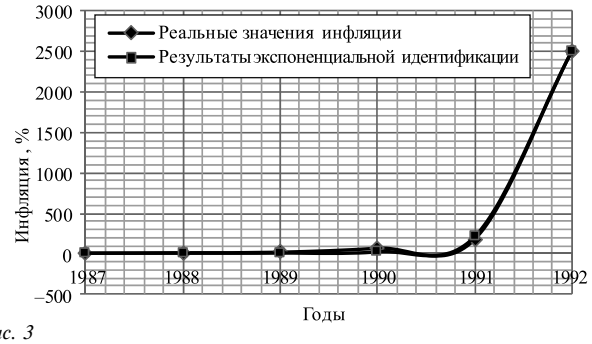
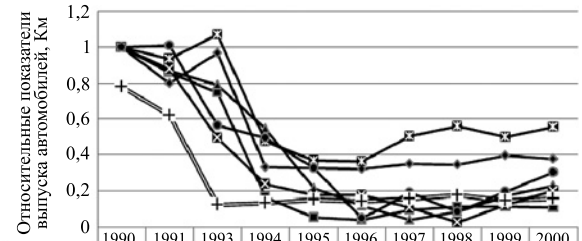


Рис. 3



	1990	1991	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
ГАЗ	1	0,800	0,967	0,330	0,327	0,322	0,351	0,345	0,394	0,376
ЗИЛ	1	0,858	0,749	0,168	0,055	0,039	0,099	0,118	0,118	0,111
«Ижмаш»	1	0,867	0,790	0,545	0,214	0,118	0,041	0,090	0,171	0,229
КамАЗ	1	0,877	0,496	0,236	0,178	0,178	0,109	0,028	0,127	0,201
УАЗ	1	0,933	1,071	0,477	0,369	0,362	0,504	0,559	0,500	0,556
УралАЗ	1	1,009	0,566	0,495	0,326	0,050	0,189	0,088	0,194	0,301
Км	0,78	0,620	0,125	0,134	0,155	0,144	0,160	0,176	0,148	0,158

Рис. 4

производстве валового продукта отдельным экономическим субъектом используется лишь часть денежной массы — μM, где μ является долей M, которая образуется в результате суммарного спроса со стороны всех потребителей произведённых субъектом товаров. Кроме того, составляющая γG учитывается в макроэкономических расчётах и формируется из результатов налоговых сборов. Таким образом, если для отдельного субъекта числитель и знаменатель второго слагаемого выражения 1 умножим на Y, то с учётом вышеизложенного получим уравнение 6. Оно является лишь структурой составляющих спроса, включающей суммарный спрос со стороны всех потребителей товара, координату Y, представляющую собой равновесную точку пересечения кривых спроса и предложения, а также коэффициент монетизации экономики, который является важнейшим макроэкономическим фактором роста валового продукта.

Рассмотрим K_M, представленный выражением 5, в знаменателе которого содержится уровень цен P, изменяющийся во времени и оцениваемый индексом цен $I_ц$. Особый интерес представляет результат компьютерной идентификации (рис. 3) этого фактора в классе экспоненциальных функций в период 1987—1992 годов (формула 7).

Близкий к 1 коэффициент детерминации свидетельствует о том, что (7) фактически является решением функциональной зависимости, переменная часть которой в общем виде может быть представлена уравнением 8, а сама функция — дифференциальным уравнением 9, где: $C_ц = 0{,}00932$ — постоянная интегрирования; $T_ц = 0{,}4$ — постоянная времени, характеризующая темп роста индекса цен.

Уравнение 9 представляет собой неустойчивое звено с апериодическим расходящимся процессом, который при $t \to \infty$ приводит к тому, что $I_ц \to \infty$. Денежная масса M также успешно идентифицируется в классе экспоненциальных функций, приобретающих структуру, подобную описаниям 8 и 9. Существенная разница между ними состоит в том, что постоянная времени, характеризующая темп роста денежной массы T_M много ниже $T_ц$, т.е. $T_M > T_ц$. Здесь следует понимать, что с ростом значений постоянной времени скорость протекания процесса снижается.

Теперь траектория движения равновесных точек субъекта экономики может быть представлена системой уравнений 10 и 11, где M_0, P_0, $I_ц^0$ — базовые значения соответственно денежной массы, цены и индекса цен.

Следует заметить, что каждый субъект имеет свой рынок сбыта и потенциальные возможности финансировать свою производственную деятельность, от которых зависит объём спроса на его продукцию. Это даёт возможность, в случае возникновения кризисных явлений, на какой-то период времени частично сохранить производство продукции, в результате чего образуется лаг (рис. 4) или задержка реакции на внешние или внутренние воздействия на субъект экономики. Из этих графиков видно, что траектории падения выпуска продукции заводами имеют индивидуальные особенности, но они с некоторой задержкой повторяют закономерность спада K_M. Подобные зависимости наблюдаются не только в тракторной промышленности, но и в целом уровень монетизации также влияет на *ВВП*. В свою очередь, на K_M влияет инфляция (индекс цен $I_ц$), которая находится в знаменателе выражения 11 и потому K_M носит обратную зависимость по отношению к $I_ц$ (рис. 5; здесь инфляция *Inf* представлена в масштабе 1:20,5).

Особенность негативных проявлений инфляции состоит в том, что на экономические показатели влияют не только абсолютные значения, но и скорость её изменения. Например, манипуляции с ценой на энергоносители, санкции, политические и экологические факторы и т. д. могут явиться причиной скачкообразных изменений цен, которые служат детонатором для инфляционного взрыва.

В цепи причинно-следственных связей мы коснулись лишь анализа следствий, которые возникают в результате внешних и внутренних воздействий на систему. Необходимо признать, что на современном этапе развития мировой экономики внешние воздействия приобретают ключевую роль. Россия вошла в эту систему и вынуждена соблюдать международные правила игры, составленные таким образом, чтобы экономики развивающихся стран были открытыми для дешёвого импортного сырья, продовольствия, рабочей силы и соблюдали либеральные монетарные принципы, а также свободное ценообразование. В результате эти страны попадают в экономическую и политическую зависимость. Так

№	Формула	Примечания
1	$Y_c = \gamma G + \dfrac{M}{P}$	Y_c — совокупный спрос; G — автономные расходы; γ — постоянный коэффициент; M — денежная масса; P — уровень цен
2	$Y_n = f(T, M, R)$	Y_n — совокупное предложение; T — труд; R — ресурсы
3	$Y_c = Y_n = Y$	—
4	$MV = ВВП = YP$	V — скорость оборота капитала
5	$1/V = M/YP = K_M$	K_M — коэффициент монетизации или уровень монетизации экономики
6	$Y_c = Y\dfrac{\mu M}{YP} = \mu Y K_M$	μM — доля денежной массы, образующаяся в результате суммарного спроса со стороны всех потребителей
7	$I_ц = 0{,}00932(\exp(t/0{,}4) - 1) + 8$; $R^2 = 0{,}999$	$I_ц$ — индекс цен
8	$I_ц = C_ц(e^{(t/T_ц)} - 1)$	$C_ц = 0{,}00932$ — постоянная интегрирования; $T_ц = 0{,}4$ — постоянная времени, характеризующая темп роста индекса цен
9	$T_ц\dfrac{dI_ц}{dt} - I_ц = C_ц$	
10	$Y_c = \mu Y K_M$	—
11	$K_M = \dfrac{M_0(\exp(t/T_M) - 1)}{YP_0 I_ц^0(\exp(t/T_ц) - 1)}$	M_0, P_0, $I_ц^0$ — базовые значения денежной массы, цены и индекса цен

возникает проблема, связанная с внешнеэкономической безопасностью. Россия вплотную столкнулась с этой проблемой в конце прошлого века.

Быстрый рост инфляции в 1990—1991 гг. было необходимо оперативно погасить кардинальным образом, и, на мой взгляд, это было возможно. Но вместо этого цены были отпущены и инфляция (см. рис. 3) мгновенно подскочила до 2508,8 %, т.е. произошёл небывалой мощности инфляционный взрыв, под обломками которого была похоронена значительная часть реального сектора экономики. В целях борьбы с инфляцией на протяжении всех девяностых годов проводилась либеральная монетарная политика, направленная на сжатие денежной массы, которое в первую очередь приводило к снижению уровня монетизации, это подтверждается тем, что денежная масса M стоит в числителях выражений 5 и 11.

Сжатие денежной массы вошло важнейшим пунктом в программу той политики, которая была разработана международными организациями типа МВФ, Всемирный банк, ВТО и др. для развивающихся стран, обрекая их на перманентную экономическую и политическую отсталость. В то же время ведущие страны (например, Англия) на стадии становления мировыми промышленными державами руководствовались политикой меркантилизма: запрет на вывоз сырья, поощрение торговли готовой продукцией, жёсткий контроль над вывозом денег и ценами на товары и т. д. Таким образом, с инфляцией они боролись не сжатием денежной массы, а в первую очередь путём введения жёсткого государственного регулирования. Для доказательства этого тезиса приведём пример изменения финансово-экономических показателей ряда стран.

На рис. 6 изображены графики изменения уровня монетизации в первой половине девяностых годов целого ряда стран, из которых виден рост этого показателя во всех представленных здесь странах, кроме России, где он за этот период упал почти в 4,5 раза. Отметим, что пятерка стран из списка с самыми высокими коэффициентами монетизации в то же время имели достаточно высокие уровни инфляции (рис. 7). Они, очевидно, понимали, что для борьбы с инфляцией существуют другие более эффективные инструменты, чем губительное сжатие денежной массы.

Таким образом, установлены количественные связи функции Y_C с аргументами M и $I_ц$. Теперь обратим внимание на то, что K_M является монетарной оценкой экономики в целом, представленной

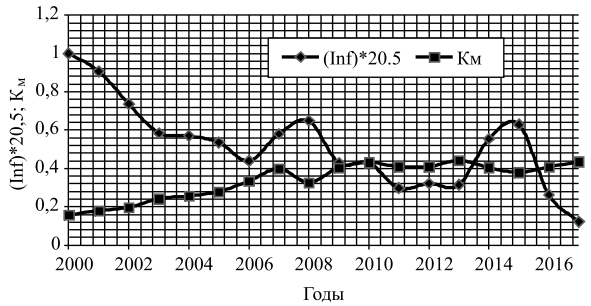


Рис. 5

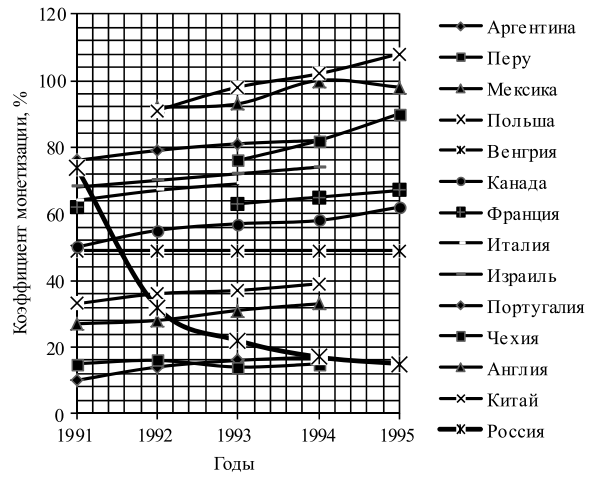


Рис. 6

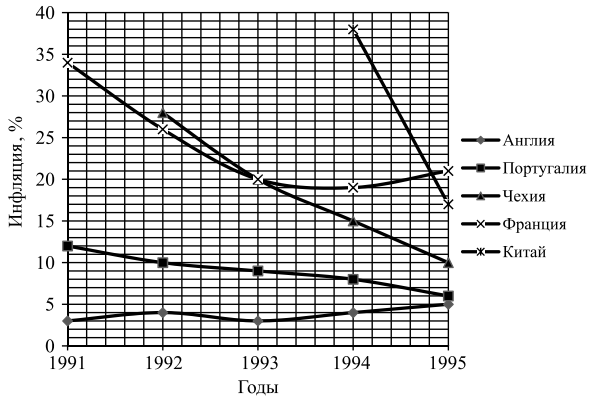


Рис. 7

на рис. 5 одной кривой, в то время как промышленные циклы только в одной автотракторной отрасли машиностроения (см. рис. 2) для тракторов и автомобилей (легковых и грузовых) имеют существенно отличающиеся траектории. Именно эти отличия явились следствием влияния на Y_C третьего аргумента — доли μ денежной массы M, которая образуется в результате суммарного спроса со стороны всех потребителей произведённых субъектом товаров. Действительно, падение сельскохозяйственной отрасли и ряда других отраслей свело к минимуму фактор спроса μM на продукцию тракторной промышленности, при котором низкий уровень выпуска тракторов привёл к убыточности предприятий. В меньшей мере постигла участь предприятий, производящих грузовые автомобили, но и они находятся на предельно низком уровне. Поскольку производимая автотракторными предприятиями техника используется в производственных циклах всех отраслей реального сектора экономики, падение производства тракторов и грузовых автомобилей полностью совпадало с глобальными планами внешних сил по превращению России в сырьевой придаток экономически развитых стран.

Что же касается выпуска легковых автомобилей, то следует учесть тот факт, что они, в основном, непосредственно не участвуют в производственных циклах реального сектора. Спрос на этот вид продукта в большей части обеспечивается за счёт личного потребления достаточно широкими платежеспособными слоями населения, что не противоречит вышеотмеченным стратегическим планам внешних сил. Этим и объясняется некоторый рост потребительского спроса, а следом и производства легковых автомобилей.

Именно фактор формируемого потребителями товаров совокупного спроса μM следует признать среди других факторов важнейшим в решении задачи возрождения нашей экономики, требующим формирования инновационных стратегических планов развития экономики в целом и решительной политической воли. Не стоит, на мой взгляд, забывать историю отечественной экономики в период становления плановой. При построении системы социально-экономических отношений необходимо изучать и использовать лучшие результаты многолетнего существования российского государства. В руках менеджеров макроэкономического уровня имеется широкий набор общеизвестных монетарных и фискальных инструментов управления экономикой, но для того, чтобы эффективно владеть этими инструментами, необходимо иметь опыт, высокий уровень знаний и талант в области управления такого рода системами.

Литература

1. Катанаев Н.Т., Ларина Е.В. Диагностика устойчивости и степени риска экономических объектов. Известия МГТУ "МАМИ". Научный рецензируемый журнал. — М., МГТУ "МАМИ", № 2 (10), 2010. — С. 201—207.
2. Катанаев Н.Т. Российская автомобильная промышленность в различных фазах промышленного цикла. М.: Автомобильная промышленность, № 7, 2012. С. 5—7.
3. Катанаев Н.Т., Аркатова Н.А., Козлов Д.И. Особенности циклического развития автомобильной и тракторной отраслей машиностроения Известия МГТУ "МАМИ". Научный рецензируемый журнал. — М., МГТУ "МАМИ", № 1 (15), 2013. Т. 5. С. 166—171.
4. Катанаев Н.Т., Максимов П.В., Лаврентьева К.А. Кризис и стагнация предприятий автотракторной промышленности. Известия МГТУ "МАМИ". Научный рецензируемый журнал. — М., МГТУ "МАМИ", № 4 (18), 2013. Т. 1. С. 15—20.

Содержание

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Невелев В.А., Васин В.А. — Реализация системного подхода к суммарной количественной оценке экономической эффективности жизненного цикла беспилотных автотранспортных средств 1

КОНСТРУКЦИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Марков В.А., Патрахальцев Н.Н., Барченко Ф.Б., Лотфуллин Ш.Р. — Повышение эксплуатационной топливной экономичности газового двигателя, регулируемого на режимах малых нагрузок отключением части цилиндров 3

Соломин В.А., Шабанов А.В., Шабанов А.А., Селезнев А.А. — Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах бензинового двигателя корректировкой состава топливовоздушной смеси и последующей нейтрализацией продуктов сгорания в каталитическом нейтрализаторе 7

Годжаев З.А., Камитов М.С. — Моделирование и исследование вибронагруженности легкового автомобиля с адаптивной системой подрессоривания кузова 14

Ревин А.А., Дыгало В.Г. — Основные задачи конструктора колёсной машины при проектировании тормозной системы с АБС 18

Балабин И.В., Богданов В.В. — Подушка как элемент обеспечения безопасности и её эволюционные этапы инкорпорирования в конструкцию автомобиля 21

Дубин А.Е., Нестеров В.Е. — Амфибийные гибридные вездеходы на воздушной подушке семейства "Арктика" при работе в условиях Заполярья. Особые эксплуатационные требования и особенности конструкции 25

ЭКСПЛУАТАЦИЯ. ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС АТС

Феофанов С.А., Лайко Е.М., Феофанова Л.С. — Электробусы и зарядная инфраструктура в условиях мегаполисов 31

ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ

Свещинский В.О. — О векторном характере твёрдости 35

ИНФОРМАЦИЯ

Из истории отечественного автомобилестроения

Катанаев Н.Т. — Автотракторная промышленность в очаге инфляционного взрыва 37

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"*
Ксеневич 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-Мкртичьян 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*
Мариев 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 Болорусско-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 09.12.2018. Подписано в печать 05.02.2019.
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 "Адвансед солюшнз".
119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: **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
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.