

Вспомогательная система для ускорения автомобиля на основе принципов рекуперации энергии торможения



С. В. Данилов,
канд. техн. наук, доцент
кафедры «Технологические
машины и переработка
материалов» Северо-
Кавказской государствен-
ной академии (СКГА),

При трогании автотранспортного средства с места в выхлопных газах содержится максимум вредных веществ, а двигатель и весь кузов подвержены наибольшей вибрации, сопровождающейся шумом. Проблему можно решить, придав автомобилю дополнительную энергию для ускорения, тем самым уменьшив нагрузку на двигатель. Это приведет к сокращению расхода топлива, выбросов газов и шума.



Р. Ш. Мамаев,
генеральный директор
ООО «АвтоРэт»,

Функционирование транспортно-портного комплекса приносит стране ежегодный экологический ущерб в размере около 1,5 % от валового национального продукта. При этом его большая часть связана с автотранспортом (63 %), который выделяет в атмосферу городов России до 80 % от всех вредных выбросов.

Частое трогание с места, разгон и торможение автомобилей городского общественного транспорта помимо экологических последствий также дает снижение экономической эффективности и технической надежности работы транспортных средств. В связи с этим использование систем рекуперации энергии торможения (РЭТ) является перспективным направлением повышения эффективности эксплуатации автотранспорта [1].

Мировые автоконцерны активно внедряют на выпускаемых автомобилях вспомогательные системы для ускорения разгона на основе РЭТ, что особенно актуально для крупных городов и мегаполисов. На Западе такими системами оснащены многие автобусы, которые не уступают по ряду показателей электробусам, сохраняя мощность и запас хода, не будучи привязанными к черте города, электрозаправочным станциям.

Аналогичными системами оснащаются и некоторые мусоровозы, поскольку при утилизации придомовых отходов они многократно проходят цикл «разгон — торможение». Это способствует снижению выбросов в окружающую среду города, уменьшению шумности при

трогании, экономии топлива, уменьшению износа деталей и агрегатов.

Таким образом, системы РЭТ разрабатываются и применяются с целью минимизации затрат на топливо, а также повышения экологической и эксплуатационной эффективности городского автомобильного транспорта. Поэтому их использование наиболее выгодно на автобусах и мусоровозах из-за городского режима эксплуатации с штатными ускорениями и торможениями на перекрестках, переездах и остановочных пунктах.

В данной работе анализируется ряд уже запатентованных в нашей стране устройств и предлагается новая модель вспомогательной системы для ускорения эксплуатируемых автобусов и мусоровозов. Она характеризуется простотой конструкции, надежностью деталей, узлов и агрегатов, достаточной мощностью, низкой себестоимостью при производстве и техническом обслуживании¹.

В рамках данного проекта проанализирована работа автобуса ПА3 3205 на маршруте Медсанчасть — Универсам протяженностью 13 км в г. Черкесске [2]. Для исследования использовались натурные наблюдения и техническая информация обслуживающего маршрут МУП «Черкесское городское пассажирское автотранспортное предприятие № 1». Маршрут включал 16 остановок и 15 светофоров. За 12 часов наряда проводилось 10 рейсов. Пробег составлял 260 км

¹ Научно-исследовательская работа проводилась при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере программы «Студенческий стартап».



Р. Ш. Шайлиев,
канд. техн. наук, доцент
кафедры «Технологические
машины и переработка
материалов» СКГА

со средней скоростью 35 км/ч. Было зафиксировано 320 плановых циклов «торможение — остановка — разгон».

За основу была взята информация за год по 5 автобусам. При этом произошел 31 сход с неисправностями трансмиссии, из которых 6 — из-за сцепления. Статистическая обработка показала, что математическое ожидание пробега сцепления на отказ составляет 11 132 км, а коэффициент вариации — 1,14, что свидетельствует о низкой надежности сцепления. Это подтверждается в работе [3]. Также проведено исследование режимов движения автобусов по указанному маршруту [4].

Для оценки экономической эффективности использования РЭТ на городском пассажирском транспорте предлагается показатель «коэффициент экономии топлива» [5], определяемый по выражению

$$K_{\text{ЭТ}} = (1 - Q_{\text{АП}} / Q_{\text{А}}) 100, \quad (1)$$

где $Q_{\text{АП}}$ — расход топлива (л) в городском цикле за время в наряде после установки РЭТ;

$Q_{\text{А}}$ — расход топлива автомобилем без РЭТ.

Данный коэффициент показывает долю сэкономленного топлива в процентах.

Рассмотрим потребление топлива автомобилем, работающим в режиме «разгон — торможение» и на холостом ходу. По результатам анализа движения в городских условиях установлено время работы двигателя в различных режимах: 28 % — холостой ход, 23 % — разгон, 20 % — торможение, 29 % — движение с относительно постоянной скоростью.

Потребление топлива на разгон (γ) вычисляем по формуле

$$Q_{\text{пол}} = A_{\text{пол}} g_{\text{ср}}, \quad (2)$$

где $A_{\text{пол}}$ — полная работа ускорения с учетом КПД трансмиссии без сопротивления воздуха, Н·м = Дж;
 $g_{\text{ср}}$ — средний удельный расход топлива, г/(кВт·ч) = г/3,6·10⁶ Дж.

$$A_{\text{пол}} = \frac{\delta_{\text{ср}} m_a g_a^2}{2\eta_{\text{тр}}}, \quad (3)$$

где g_a — скорость автомобиля в конце разгона, м/с;
 $\eta_{\text{тр}}$ — КПД трансмиссии;
 m_a — масса автомобиля, кг;
 $\delta_{\text{ср}}$ — коэффициент вращающихся масс трансмиссии и колес автомобиля (при отключенном двигателе).

Численные расчеты для автобуса ПАЗ 3205 показали, что потребление топлива на ускорение до 40 км/ч составит 0,055 кг при плотности бензина АИ-92 0,75 кг/л. На 320 запланированных за смену в 12 часов разгонов расходуется 23,5 л топли-

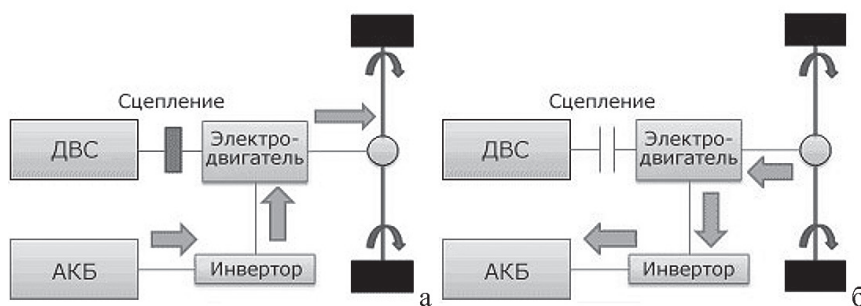


Рис. 1. Схема РЭТ гибридного автомобиля: а) ускорение, б) торможение

ва, что составляет почти 25 % от общего количества.

Использование РЭТ снизит стоимость эксплуатации за счет экономии топлива, а также продолжительности наработки на отказ агрегатов и узлов: двигателя, сцепления, коробки переключения передач, кривошипно-шатунного механизма, тормозных цилиндров, колодок и др.

При этом система рекуперации энергии торможения автомобиля, беря на себя часть функций, разгружает их от износа, не только снижая затраты на техническое обслуживание, но и уменьшая потери, связанные с простоями транспортного средства в ремонте [2, 3, 6].

Нужно отметить, что в настоящее время все реально эксплуатируемые вспомогательные системы для ускорения автомобиля на основе РЭТ устанавливаются исключительно на новые машины «с завода» и работают на электрическом или маховиковом принципах. Причем все они выпускаются зарубежными компаниями.

Устанавливать такие устройства на уже эксплуатируемый годами автотранспорт дорого, так как надо менять целиком конструкцию движителя автомобиля, устанавливая новые агрегаты и узлы: литий-ионный аккумулятор, электродвигатель, инвертор, маховиковую систему высокой частоты вращения, связанную с редуктором заднего моста или карданным валом, другие узлы (рис. 1).

В то же время отметим, что в работах [5, 7] пытались обосновать эффективность использования пневмогидравлического аккумулятора или маховичной трансмиссии на уже эксплуатируемом автотранспорте. Кроме того, надо констатировать, что и газобаллонное оборудование (ГБО) автопроизводители тоже сначала устанавливали только на новые автомобили, а сегодня специализированные малые предприятия предоставляют эту услугу для уже работающего транспорта, несмотря на высокий риск при

эксплуатации ГБО.

Однако задача данного исследования — разработать устройство с возможностью установки на уже эксплуатируемый городской автотранспорт. Основное преимущество предлагаемой разработки — доступная возможность оснастить автомобиль системой РЭТ без внесения существенных изменений в его конструкцию при соблюдении параметров безопасности движения. Предлагаемое устройство характеризуется малыми размерами и весом, низкой себестоимостью и энергозатратами при установке, мобильностью.

Сначала рассмотрим конструктивные, технологические и экономические недостатки уже существующих устройств. В конструкции, запатентованной как «Трансмиссия автомобиля с маховичным накопителем энергии» [8], пружинный механизм от двигателя к трансмиссии передает недопустимую силу крутящего момента, а используемый здесь механизм упругости имеет низкую энергоемкость и не даст особого эффекта при аккумулировании энергии.

В схеме рекуператора [9] (рис. 2) энергия аккумулируется механически при помощи ротационно-пластинчатого мотора, который изначально неэффективен, имеет низкий КПД. Также неэффективен поршневой привод пневмогидроаккумулятора (ПГА), который будет быстро выходить из строя из-за вибрации.

Довольно сложна, затратна и недостаточно эффективна в работе еще одна система РЭТ авторское свидетельство «Рекуперативный гидропривод» [10]. В процессе преобразования потенциальной энергии в кинетическую гидромотор будет работать нестабильно, возможны утечки рабочей жидкости.

Также рассмотрена система рекуперации энергии торможения [11], в конструкции которой гидромотор-насос (ГМН) соединен с предохранительным клапаном ПГА через электронные

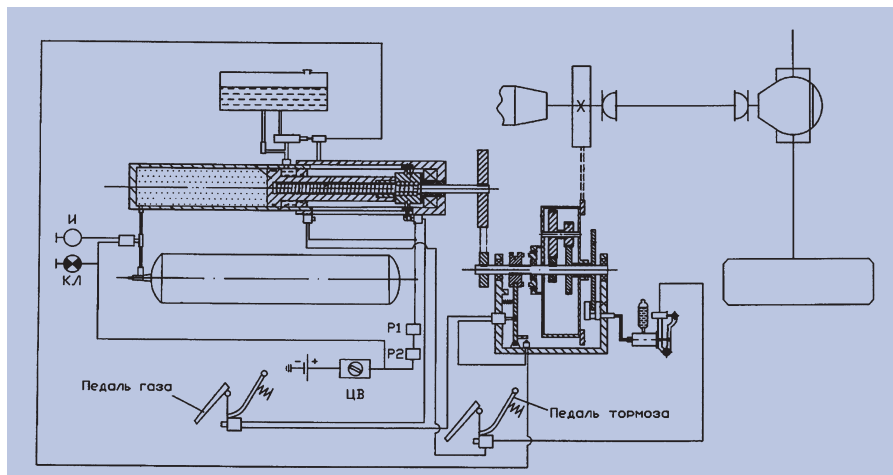


Рис. 2. Схема рекуператора с винтовым поршневым приводом пневмогидроаккумулятора

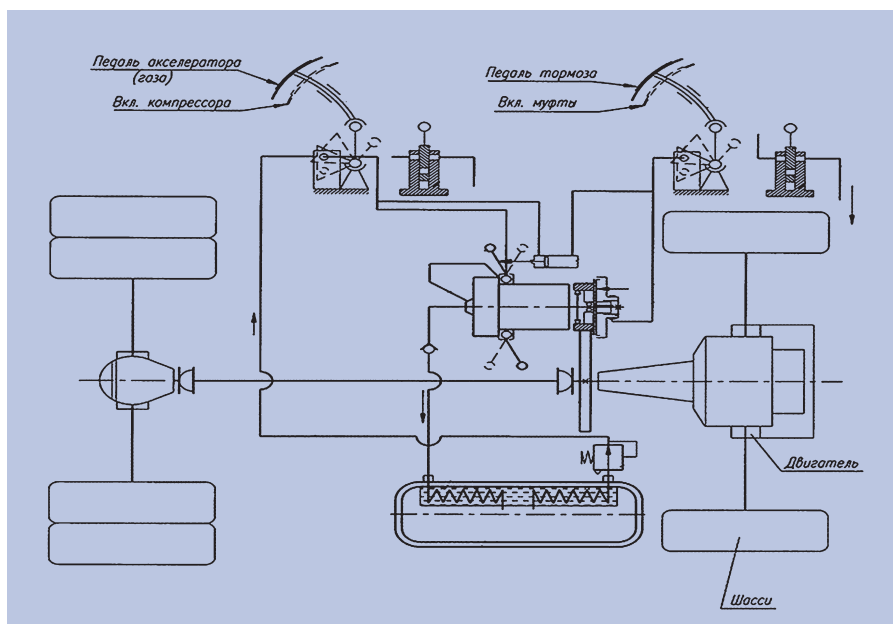


Рис. 3. Схема рекуператора [11]

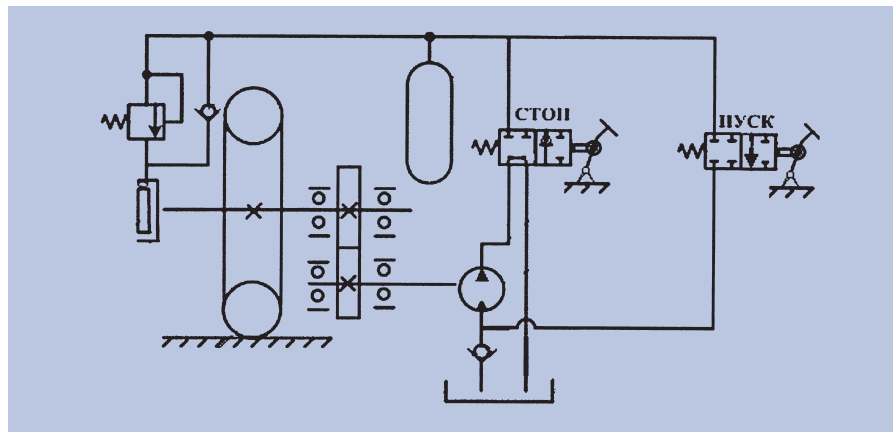


Рис. 4. Схема пускотормозного устройства транспортного средства

гидрораспределители рукавами высокого давления (рис. 3). Вал ГМН имеет жесткую зубчатую передачу с тормозным шкивом. Из недостатков можно выделить сложность устройства и дороговизну его установки на автомобиль, технологически сложные техническое обслуживание и ремонт, а также то обстоятельство, что

при торможении кинетическая энергия преобразуется в тепловую за счет дросселирования рабочей жидкости гидросистемы управления шкивом колодочного тормоза.

Более сопоставим с нашей разработкой по техническим решениям рекуператор, запатентованный как «Пускотормоз-

ное устройство транспортного средства» [12] (рис. 4).

Однако его конструктивным недостатком является снятие энергии крутящего момента с колес, а не с карданного вала, что удорожает конструкцию в два раза, так как для балансовой устойчивости устройства и всего автомобиля будут задействованы симметрично два или четыре колеса.

Кроме того, жесткая зубчатая передача будет быстро изнашиваться, подвергаясь отказам из-за постоянных вибрационных воздействий и качения колес при движении автомобиля. На каждое колесо нужен отдельный гидромотор-насос, а если передачу силы крутящего момента с двух колес замкнуть на один, то конструкция устройства заметно усложнится, увеличится ее стоимость, а также масса за счет передаточных валов.

Также здесь отсутствует понижающий редуктор, который мог бы высокие обороты колеса снизить для передачи крутящего момента на вал ГМН, находящийся в покое, а при разгоне — обратно с вала на колесо.

Предлагается следующая усовершенствованная вспомогательная система для ускорения автомобиля на принципах РЭТ (рис. 5). Конструкция снабжена двумя автоматическими гидрораспределителями 7 и 8, соединяющими через гидролинии 1, 4, 10 пневмогидроаккумулятор 9 и гидромотор-насос 6, один из которых 7 включается при ускорении автомобиля, а второй 8 — при торможении. Распределитель 7 через гидролинию 10 соединен с ПГА 9 для нагнетания в него рабочей жидкости, а распределитель 8 — через гидролинию 1 с ГМН 6 для вращения его вала. Карданный вал автомобиля 15 через цепную передачу 5 и электромуфту 12 связан с редуктором 11, понижающим и повышающим обороты вращения. Для передачи силы крутящего момента с выходного вала двигателя автомобиля 13 через карданный вал 15 в прямом и обратном направлениях вал редуктора 11 непосредственно связан с валом ГМН 6.

Система работает следующим образом. При торможении автомобиля включается гидрораспределитель 7 (замыкается линия), срабатывает электромуфта и крутящий момент передается с карданного вала через цепную передачу и редуктор на вал гидромотор-насоса, работающего как насос. Он качает масло из бака в пневмогидроаккумулятор до срабатывания датчика давления. После закрытия клапана отключаются

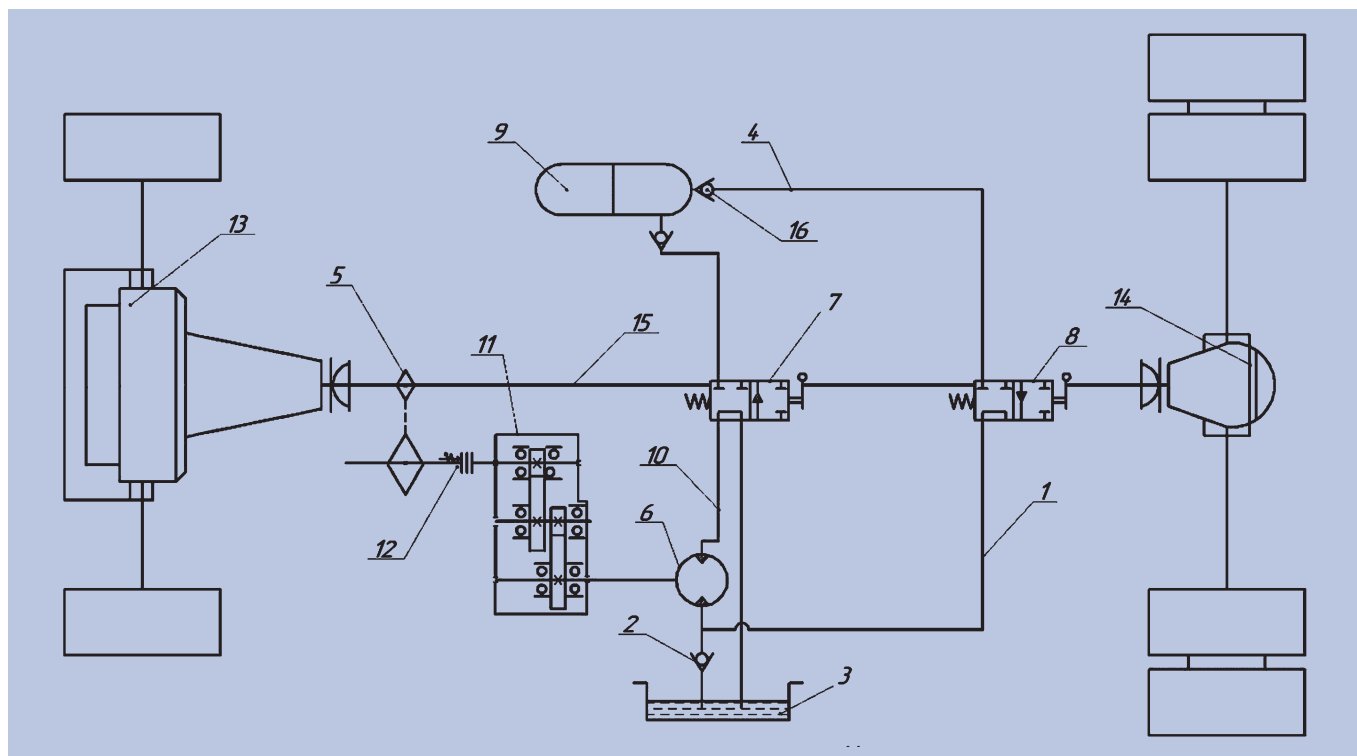


Рис. 5. Предлагаемая схема вспомогательной системы для ускорения автомобиля на принципах РЭТ: 1, 4, 10 — гидролинии; 2, 16 — обратные клапаны; 3 — бак для рабочей жидкости (моторного масла); 5 — цепная передача; 6 — гидромотор-насос; 7, 8 — гидрораспределители; 9 — пневмогидроаккумулятор; 11 — редуктор; 12 — электромуфта; 13 — двигатель; 14 — редуктор заднего моста; 15 — карданный вал

гидрораспределитель и электромуфта, гидромотор-насос не работает.

Для начала движения автомобиля включается гидрораспределитель 8 (закрывается линия), срабатывает электромуфта, открывается клапан. Масло под давлением из пневмогидроаккумулятора поступает в гидромотор-насос, вращая его вал. Сила крутящего момента с вала ГМН, работающего как мотор, через редуктор и цепную передачу передается на карданный вал автомобиля, вращая его. Транспортное средство начинает движение.

Таким образом, из приведенного описания принципа работы разработанной системы видно, что она выгодно отличается от существующих аналогов простотой конструкции надежностью деталей, узлов и агрегатов, достаточной мощностью, дешевизной технического обслуживания и низкой себестоимостью при производстве.

Источники

1. Данилов С. В., Рябов И. М., Омарова З. К. Анализ пускотормозного устройства транспортного средства // АвтоГазоЗаправочный комплекс + Альтернативное топливо. 2021. Т. 20, № 6. С. 263–266.
2. Мамаев Р. Ш., Хасанов С. М., Данилов С. В. Об одном применении систем рекуперации энергии торможения

автомобиля в городском режиме эксплуатации // Современная наука глазами студентов: Сб. материалов студенческой науч.-практ. конф. (технические науки) СевКавГА. Черкесск, 2022. С. 20–25.

3. Попов А. В., Чернова Г. А., Великанова М. В., Губанов Д. А. Анализ возможных причин возникновения неисправностей сцеплений автобусов Volgabus // Грузовик. 2020. № 5. С. 31–34.
4. Рыбак Д. В., Данилов С. В. Анализ режимов движения пассажирского автомобильного транспорта на городских маршрутах г. Черкесска // Научно-исследовательские публикации. 2022. № 1. С. 47–49.
5. Рябов И. М., Омарова З. К., Юсупов Ю. Г., Данилов С. В. Оценка экономической эффективности модернизации городских автобусов и автомобилей-такси путем установки системы рекуперации энергии торможения // Грузовик. 2019. № 8. С. 36–40.
6. Рыбак Д. В., Данилов С. В., Шайлиев Р. Ш. Схема вспомогательной системы для разгона городского автомобильного транспорта / Актуальные вопросы современной науки и практики: Сб. науч. ст. по материалам IX Междунар. науч.-практ. конф. Уфа, 2022. С. 36–42.
7. Королев В., Костюк И., Черепнина Т., Рогов В. Рекуперация энергии на го-

родских автобусах // Русский инженер. 2020. № 2 (67). С. 38–42.

8. Трансмиссия автомобиля с маховичным накопителем энергии. Пат. на полезную модель № 116595 U1 РФ, МПК F16H 33/02, B60K 6/10: № 2011149797/11: заявл. 07.12.2011: опубл. 27.05.2012 / Блохин А. Н., Кропп А. Е.; Нижегородский гос. тех. ун-т им. Р. Е. Алексеева (НГТУ).
9. Рекуператор. Пат. на полезную модель 103516 РФ, МПК B 60 K 6/12, г. / Рябов И. М., Чернышов К. В., Ковалев А. М. ВолгГТУ. 2011.
10. Авторское свидетельство № 1024622 A1 СССР, МПК F16H 33/02. Рекуперативный гидропривод: № 3304327: заявл. 12.06.1981: опубл. 23.06.1983 / А. Г. Черный; заявитель КУРСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ. — EDN HAUBWT.
11. Рекуператор. Пат. № 2214928 C2 РФ, МПК B60K 6/12, F01B 17/02: № 2001119667/28: заявл. 16.07.2001: опубл. 27.10.2003 / Гулевский А. Н.
12. Пускотормозное устройство транспортного средства. Пат. на полезную модель № 158458 U1 РФ, МПК B60T 13/14, B60T 1/10, F16D 61/00: № 2015109504/11: заявл. 18.03.2015: опубл. 10.01.2016 / Ляшенко Ю. М., Рыжиков В. А., Ревякина Е. А. и др.; Донской гос. тех. ун-т (ДГТУ).