

УДК 621.43.044.7

К ВОПРОСУ УВЕЛИЧЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ РАБОТЫ ЛЕСОВОЗНОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА В СУРОВЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

¹Горбунов А.А., ¹Бургонутдинов А.М., ²Бурмистрова О.Н., ²Тимохова О.М.

¹ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь;

²ФГБОУ ВПО «Ухтинский государственный технический университет»,
Ухта, e-mail: chonochka@mail.ru

В статье проанализировано приспособление автомобильного транспорта к суровым климатическим условиям, что влечет неизбежное повышение энергопотребления и разряд аккумуляторных батарей. Выявлено, что основная проблема при эксплуатации аккумуляторных батарей в холодный период – низкий зарядный ток при отрицательных температурах. В работе рассмотрен вопрос эксплуатации аккумуляторных батарей автотранспортных средств в холодный период года, проведен обзор средств облегчения пуска двигателя, представлены результаты испытаний аккумуляторных батарей на прием заряда при отрицательных температурах. Оптимальными средствами облегчения пуска двигателя в холодный период будут являться те, которые при обеспечении пуска минимизируют энергопотребление. Проведенный обзор средств облегчения пуска двигателей показывает, что при температурах ниже минус 40°C наиболее эффективным решением является применение СЭП с емкостным накопителем энергии.

Ключевые слова: аккумуляторная батарея, ток заряда, отрицательная температура, автомобильный транспорт

TO THE ISSUE OF INCREASING THE SERVICE LIFE OF WORK FORESTRY ROAD TRANSPORT IN HARSH ENVIRONMENTS

¹Gorbunov A.A., ¹Burgonutdinov A.M., ²Burmistrova O.N., ²Timokhova O.M.

¹FGBOU VPO «Perm National Research Polytechnic University», Perm;

²FGBOU VPO «Ukhta State Technical University», Ukhta, e-mail: chonochka@mail.ru

The article analyzes the adaptation of road transport to harsh climatic conditions, which entails an inevitable increase in energy consumption and discharge batteries. Revealed that the main problem in the operation of batteries in a cold period □ low charging current at low temperatures. In this paper we consider the question of operation batteries of vehicles in the cold season, a review of tools to facilitate starting the engine, the results of tests on the batteries charge admission at low temperatures. Best means of starting aid during the cold period will be the ones that start with providing minimize power consumption. The review means starting aid shows that at temperatures below –40°C the most effective solution is the use of EPAs with capacitive energy storage.

Keywords: analysis, battery, charging current, negative temperature, road transport

Лесная промышленность является стратегически важной сферой экономики страны. В настоящее время автомобильный транспорт является основным средством доставки древесины из районов лесозаготовок до перерабатывающих предприятий и транспортных узлов. Более половины современных районов лесозаготовок и большинство перспективных районов лесозаготовок находятся в трех климатических поясах – холодном, умеренно холодном и очень холодном (рис. 1), где средняя продолжительность периода с отрицательными температурами составляет 180 суток, при средней температуре минус 15°C [12]. Пермский край расположен в умеренно холодном климатическом районе. Холодный период года длится с ноября по март. Продолжительность холодного периода года с температурой ниже 0°C составляет от 164...185 суток, при этом среднесуточные значения температур составляют минус

9,5...10,5°C. Температура воздуха наиболее холодной пятидневки составляет минус 35...40°C, а наиболее холодных суток минус 39...45°C [12].

Условия движения и дорожные условия в районах лесозаготовок соответствуют III–V категориям условий эксплуатации. Кроме того, преобладает безгаражное хранение подвижного состава, а также продолжительная работа в отрыве от производственной базы. В таких условиях крайне актуальными являются проблемы, связанные с эксплуатацией подвижного состава в холодный период года, в том числе и работа аккумуляторных батарей.

Для обеспечения работоспособности подвижного состава при отрицательных температурах используется ряд мер и средств облегчения пуска двигателя, применяются они как отдельно, так и комплексно.

Все решения можно разделить на четыре направления (табл. 1).

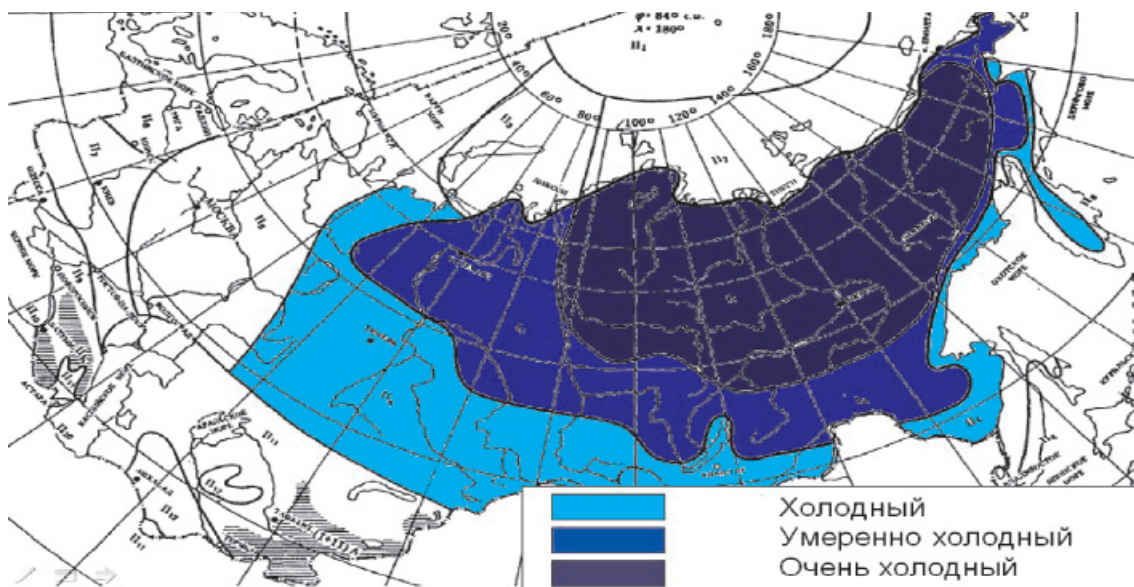


Рис. 1. Климатические пояса России

Таблица 1

Средства облегчения пуска двигателя

Средства, улучшающие воспламенение	Средства, уменьшающие сопротивление вращению КВ	Средства повышения мощности СЭП	Средства поддержания температуры АБ
1. Электрофакельные подогреватели поступающего воздуха 2. Свечи накаливания 3. Применение пусковых жидкостей	1. Декомпрессоры 2. Предпусковые подогреватели 3. Системы автоматического запуска двигателя по температуре 4. Применение маловязких масел	1. Применение АБ увеличенной емкости 2. Применение СЭП с ЕНЭ 3. Переход на более высокое напряжение бортовой сети	1. Утепление АБ 2. Обогрев АБ 3. Применение АБ с системой обогрева

К средствам, улучшающим воспламенение топливовоздушной смеси, относятся:

– Электрофакельные подогреватели поступающего воздуха и свечи накаливания применяются во всех современных дизельных двигателях. Их применение обеспечивает надежный пуск до минус 30°C, недостаток – увеличение разряда АБ при пуске [4].

– Пусковые жидкости используются для облегчения пуска бензиновых и дизельных двигателей до минус 40°C. Однако для применения пусковых жидкостей требуются определенные навыки и квалификация, а также соблюдение необходимых мер безопасности [4].

К средствам, уменьшающим сопротивление вращению коленчатого вала двигателя, относятся:

– Декомпрессоры применяются на дизельных двигателях большегрузных автомобилей и специальной техники. Совместно с электрофакельными подогревателями поступающего воздуха и свечами накаливания обеспечивается надежный пуск до минус 30°C, недостаток – усложнение конструкции двигателя [4].

– Автономные жидкостные подогреватели позволяют разогревать двигатель до рабочей температуры за 15...40 мин при температуре воздуха до минус 60°C, при этом снижается нагрузка на АБ во время пуска, а также уменьшается износ двигателя и токсичность отработанных газов во время прогрева. Однако при разогреве двигателя питание подогревателя происходит от АБ, что приводит к ее разряду [13].

– Системы автоматического запуска двигателя по температуре позволяют поддерживать температуру двигателя в заданных пределах, обеспечивая надежный запуск. К недостаткам данных систем следует отнести потребление топлива в процессе прогрева и загрязнение окружающей среды, накопление конденсата в системе выпуска и возможность его замерзания, обводнение моторного масла, разряд аккумулятора при отрицательных температурах [7].

– Применение маловязких масел является обязательным при безгаражном

хранении автомобилей и дает хорошие результаты в комплексе с другими мерами.

К средствам повышения мощности системы электростартерного пуска относятся:

– Применение АБ увеличенной емкости позволяет увеличить энергозапас СЭП. Недостатки – увеличение стоимости АБ и разряд при отрицательных температурах.

– Применение в СЭП емкостных накопителей энергии (ЕНЭ) позволяет увеличить отдачу энергии при пуске двигателя, что обеспечивает надежный пуск при отрицательных температурах с аккумуляторной батареей, разряженной до 70%, кроме того, снижается пиковая нагрузка на аккумуляторную батарею и увеличивается срок ее службы [3, 5, 6, 8], недостатком данного решения является высокая стоимость, в 5...10 раз превышающая стоимость аккумуляторных батарей.

– Перевод СЭП на более высокое напряжение бортовой сети 48 В. Это решение позволяет при одинаковых массогабаритных показателях СЭП значительно увеличить энергозапас и снизить величину пусковых токов. Недостаток данного решения в том, что имеется большой парк техники с напряжением бортовой сети 12 и 24 В, кроме того, переход на более высокое напряжение не решит проблему разряда при отрицательных температурах.

К средствам поддержания температуры аккумуляторной батареи относятся:

– Утепление, обогрев и применение АБ с системой обогрева являются обязательными для полноценной работы автомобильного транспорта в суровых климатических условиях. Данные мероприятия позволяют сохранить отдачу энергии при пуске на приемлемом уровне и обеспечить заряд батарей. Недостатком является непригодность данного решения при кратковременном режиме работы и длительных (до нескольких дней) перерывах в работе. В первом случае батареи не успевают прогреться, а во втором – успевают остыть до температуры окружающей среды.

Подводя итоги проведенного анализа, можно сделать следующие выводы – приспособление автомобильного транспорта к суровым климатическим условиям влечет неизбежное повышение энергопотребления и разряд аккумуляторных батарей. Основная проблема при эксплуатации аккумуляторных батарей в холодный период – низкий зарядный ток при отрицательных температурах. Вопросами эксплуатации АБ занимались многие советские и российские ученые [1, 3, 5, 6]. Однако данные исследования проводились достаточно давно, с тех пор существенно изменились технологии изготовления аккумуляторных батарей и их характеристики. Поэтому было принято решение – провести испытания на прием заряда современных АБ. Устройство в рабочем процессе и технологии изготовления АБ для легковых автомобилей и грузовых автомобилей идентичны, поэтому было принято решение для проведения испытаний использовать АБ легковых автомобилей.

С целью обоснования выбора марок аккумуляторных батарей для испытаний на прием заряда был проведен анализ российского рынка стартерных аккумуляторных батарей. Анализ рынка за 2008...2012 гг. выявил наиболее крупных поставщиков стартерных аккумуляторных батарей – это *Johnson controls* (Германия, Франция, Чехия, Испания, США), *Westa* (Украина), *АКОМ* (Россия, г. Тольятти) и Тюменский аккумуляторный завод (Россия). Все перечисленные поставщики занимают примерно равную долю рынка (около 10%), объемы поставок приведены в табл. 2 [9, 10, 11].

Таким образом, основываясь на результатах проведенного анализа рынка аккумуляторных батарей и данных анализа характеристик систем энергоснабжения автомобилей, для проведения испытаний были выбраны батареи четырех крупных производителей АБ, занимающих 40% рынка – это «АКОМ», «Тюменский аккумуляторный завод», «Johnson controls», характеристики выбранных батарей представлены в табл. 3.

Таблица 2

Структура рынка стартерных аккумуляторных батарей

Производитель	Объем поставок, шт.				
	2008 г.	2009г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.
Johnson controls (Германия, Франция, Чехия, Испания, США)	529854	590000	1001811	1145449	1043909
Westa (Украина)	333284	691860	1268826	1482451	1266236
АКОМ (Россия)	738700	656331	1203614	1366000	1390000
Тюменский АЗ (Россия)	1181300	917152	1318528	1446417	1198000
Остальные производители	6518762	5178492	6530942	7887144	8212565
Расчетная емкость рынка	9301900	8033835	11323721	13327461	13110710

Таблица 3

Характеристики аккумуляторных батарей

Марка	Страна-производитель	Маркировка	Напряжение, В	Ёмкость, А·ч
«Тюмень»	Россия	6СТ75	12	75
«Westa»	Украина	–	12	62
«Varta»	Чехия	555 065 042	12	55
«АКОМ»	Россия	–	12	45

Испытание АБ на прием заряда производится в соответствии с ГОСТ Р 53165-2008 [2]:

1. Батареи должны заряжаться при постоянном напряжении U в течение 20 ч с ограничением максимального тока до $5I_{ном}$ ($0,25C_{20}$). Если отсутствуют полные сведения о конструкции батареи или отсутствует спецификация от изготовителя, то рекомендуется проводить заряд при напряжении $U = 14,8$ В.

2. На все время испытаний батарею помещают в водяную ванну при температуре $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$.

3. Батарея должна разряжаться при температуре $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$ током $I_0 = C_{20}/10$ ($0,1C_{20}$), А в течение 5 ч, т.е. разряжена на 50%.

4. Сразу после разряда батарею охлаждают в течение не менее 20 ч при температуре $(0 \pm 1)^\circ\text{C}$.

5. При температуре $(0 \pm 1)^\circ\text{C}$ батарея должна заряжаться при постоянном напряжении $(14,40 \pm 0,10)$ В.

6. После 10 мин заряда величину зарядного тока записывают. При испытании на прием заряда ток, принимаемый батареей в конце десятой минуты, должен быть не менее $0,2C_{20}$, А.

Однако ГОСТ Р 53165-2008 не предусматривает испытание АБ на прием заряда при отрицательных температурах. Поэтому

было решено провести такие испытания. Но при охлаждение разряженной АБ возникает опасность замерзания электролита и разрушения активной массы электродов кристаллами льда. А в соответствии с требованиями [11], АБ должна быть разряжена на 50%.

На рис. 2 представлена зависимость температуры замерзания электролита от степени разряженности для батарей с различной начальной плотностью. Плотность электролита полностью заряженной АБ в соответствии с [2] составляет $1,28 \pm 0,01$ г/см³, а разряженной на 50% – $1,20 \pm 0,01$ г/см³, температура замерзания при которой составляет -28°C .

Для предупреждения замерзания электролита степень разряженности была уменьшена с 50 до 25% (рис. 2).

Перед охлаждением АБ разряжались на 25% при помощи нагрузочных устройств током $I_p = 0,1C_{20}$, А в течение 2,5 ч. Затем АБ охлаждались в течение 24 часов до различных температур от минус 0°C до минус 30°C .

После охлаждения АБ заряжались от источника постоянного напряжения 14,4 В в течение 10 минут. Значения зарядного тока фиксировались в конце первой и в конце десятой минут заряда, результаты представлены в табл. 4.

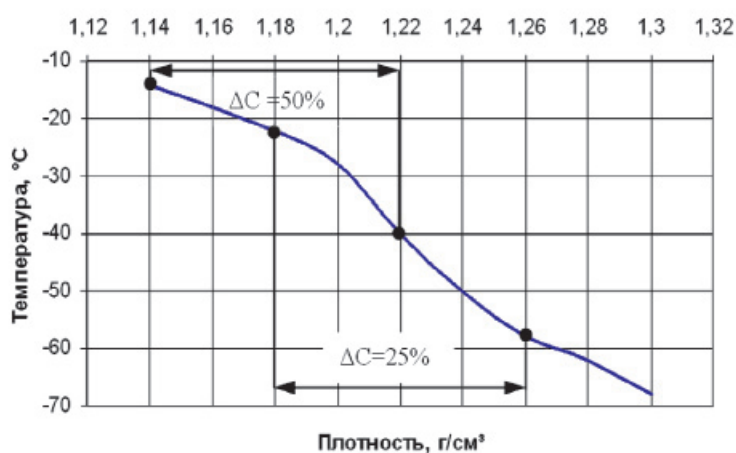


Рис. 2. Температура замерзания электролита в АБ с различной начальной плотностью при разряде на 25 и 50%

Таблица 4

Сила зарядного тока в конце 1-й и 10-й минут заряда при различных температурах

Марка батареи	Сила зарядного тока при различных температурах, А											
	Iз – 30°C		Iз – 25°C		Iз – 20°C		Iз – 15°C		Iз – 10°C		Iз – 5°C	
Продолжительность заряда, мин	1	10	1	10	1	10	1	10	1	10	1	10
«Тюмень»	2,0	0,5	2,1	0,6	2,5	0,8	3	1,2	3,8	1,6	4,5	2,8
«Westa»	1,6	0,9	1,7	1,0	1,8	1,1	2,5	1,3	4,5	2,5	8,7	5,0
«Varta»	1,6	0,9	1,7	1,0	1,8	1,1	2,5	1,5	4,0	2,5	6,2	4,5
«АКОМ»	0,8	0,2	0,9	0,3	1,0	0,5	1,3	0,7	2,4	1,5	4,5	3,0

Испытания АБ на прием заряда при отрицательных температурах показали резкое снижение силы зарядного тока в интервале температур минус 10...15°C (рис. 3). Сравнение значения силы зарядного тока при различных температурах представлено в табл. 5. За 100% принята сила зарядного тока при 0°C. Согласно [11] сила зарядного

тока в конце 10-й минуты должна быть не менее $0,2C_{20}$ А.

Таким образом, уже при температуре электролита минус 5°C сила зарядного тока для всех АБ не превышает 50% от силы зарядного тока при температуре 0°C, а при температуре минус 15°C не превышает 10% (табл. 4).

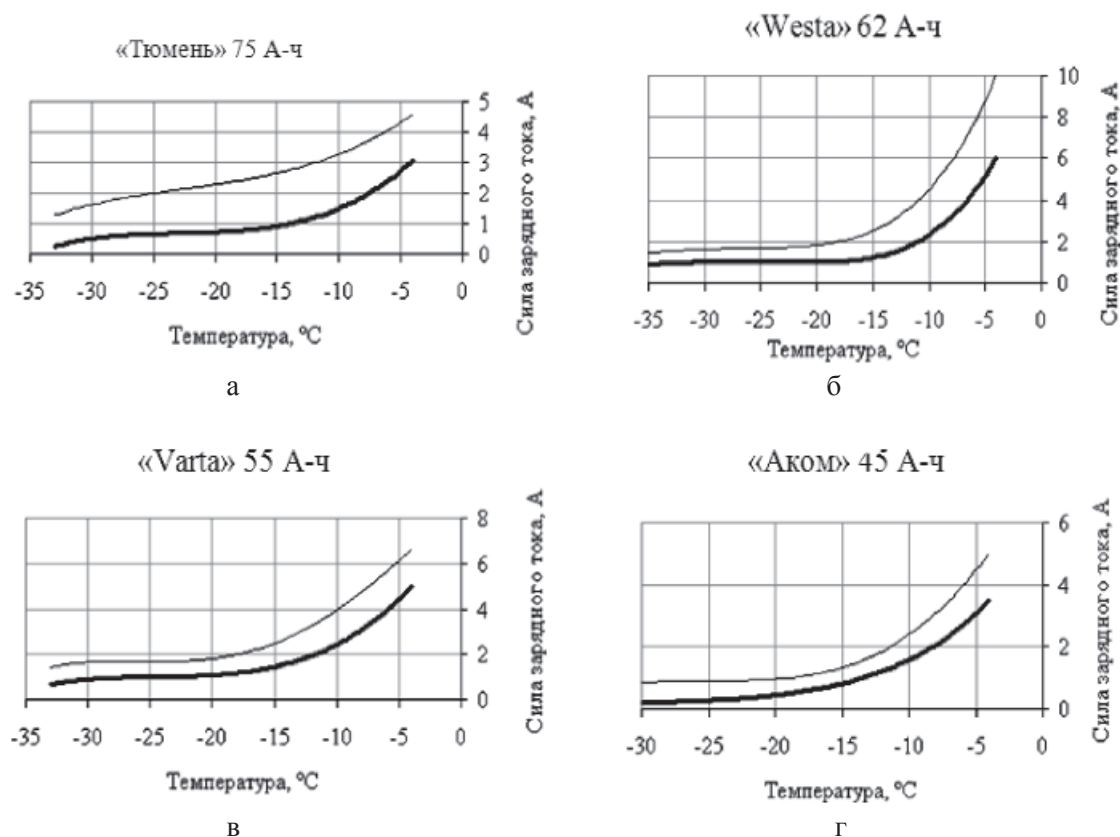


Рис. 3. Зависимость силы зарядного тока от температуры электролита.
Примечание. Батареи разряжены на 25%, напряжение зарядного источника 14,4 В;
верхняя линия на графике – сила зарядного тока в конце 1-й минуты,
нижняя – сила зарядного тока в конце 10-й минуты:
а – «Тюмень»; б – «Westa»; в – «Varta»; г – «Аком»

Таблица 5

Сравнение силы зарядного тока в конце 10-й минуты заряда при различных температурах

Температура, °С Марка батареи	Сила зарядного тока при различных температурах, А (%)						
	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
«Тюмень»	0,5 (4,0)	0,6 (4,8)	0,8 (6,5)	1,2 (9,7)	1,6 (12,9)	2,8 (22,6)	15 (100)
«Westa»	0,9 (6,4)	1,0 (7,1)	1,1 (7,9)	1,3 (9,3)	2,5 (17,9)	5,0 (35,7)	12,4 (100)
«Varta»	0,9 (6,0)	1,0 (6,7)	1,1 (7,3)	1,5 (10,0)	2,5 (16,7)	4,5 (30,0)	11 (100)
«АКОМ»	0,2 (2,2)	0,3 (3,3)	0,5 (5,6)	0,7 (7,8)	1,5 (16,7)	3,0 (33,3)	9,0 (100)

При эксплуатации АБ на борту автомобиля это приведет к ее разряду, как при низкой температуре, так и при поездках на короткие расстояния. В таких условиях эксплуатации для обеспечения работоспособности АБ главным фактором является уменьшение разряда, в том числе и стартерными токами. Следовательно, оптимальными средствами облегчения пуска двигателя в холодный период будут являться те, которые при обеспечении пуска минимизируют энергопотребление. Проведенный обзор средств облегчения пуска двигателей показывает, что при температурах ниже минус 40 °С наиболее эффективным решением является применение СЭП с емкостным накопителем энергии.

Обобщая результаты работы, можно рекомендовать применение СЭП с емкостными накопителями энергии в сочетании с утеплением аккумуляторных батарей и предпусковым подогревом двигателя как оптимальное решение автомобильного лесовозного транспорта, работающего в отрыве от производственной базы. Данное решение актуально для таких регионов, как Республика Коми, Пермский край, Кировская область, где в холодный период наиболее низкие температуры составляют в среднем от 1 до 4 недель и вместе с этим достаточно высокие температуры в теплый период сводят на нет целесообразность применения автотранспорта северного исполнения.

Список литературы

1. Акимов С.В. Электрооборудование автомобилей: учебник для вузов / С.В. Акимов, Ю.П. Чижов. – М.: ЗАО «КЖИ За рулем», 2004 – 384с.: ил.
 2. ГОСТ Р 53165-2008 Батареи аккумуляторные свинцовые стартерные для автотракторной техники. Общие технические условия.

3. Данг Винь Нги Исследование систем электростартерного пуска с емкостными накопителями энергии: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03. – М., 1993. – 22 с.
 4. Двигатели внутреннего сгорания: учебник для вузов: в 3 кн. / под ред. В.Н. Луканина. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк, 2005. – Кн. 2: Динамика и конструирование / В.Н. Луканин [и др.]. – 2005. – 400 с.: ил. – Библиогр.: с. 396.
 5. Жиганшин А.А. Система оптимизации зарядного напряжения аккумуляторной батареи автотранспортного средства на основе учета внешних воздействий и потребителей энергии: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.05 / Казанский гос. технич. ун-т им. А.Н. Туполева. – Казань, 1998. – 20 с.
 6. Корнев А.Н. Систем электростартерного пуска энергетических установок тепловоза с импульсными конденсаторами сверхвысокой емкости: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07. – М., 1995. – 24 с.
 7. Кузнецов Н.И., Петухов М.Ю. Определение группы автомобилей, наиболее критичных с точки зрения образования конденсата в системе выпуска при низких температурах окружающей среды // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: материалы международной научно-технической конференции, г. Пермь, 25–27 апреля 2013 г. / Пермский национальный исследовательский политехнический университет. – Пермь, 2013. – Т. 1. – С. 166–174.
 8. Поляков Н.А. Система электростартерного пуска транспортных средств с применением комбинированного источника электрической энергии: дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03. – М., 2005. – 170 с.
 9. Рейтинг Российских производителей АКБ в 2008 г. [Электронный ресурс]. – URL: http://tdwesta.ru/akbmarket/analytics/analysis_russian_market/ (дата обращения 03.03.2014).
 10. Рейтинг Российских производителей АКБ в 2009 г. [Электронный ресурс]. – URL: http://tdwesta.ru/akbmarket/analytics/analysis_2009/ (дата обращения 03.03.2014).
 11. Рейтинг Российских производителей АКБ в 2012 г. [Электронный ресурс]. – URL: http://tdwesta.ru/akbmarket/analytics/analysis_2012/ (дата обращения 03.03.2014).
 12. СНиП 23-01-99 Система нормативных документов в строительстве Строительные нормы и правила Российской Федерации. Строительная климатология. Дата введения 2000-01-01.
 13. Экономические и экологические аспекты установки автономных жидкостных подогревателей на двигатели автомобилей / И.А. Коновалов [и др.] // Современное состояние и инновации транспортного комплекса: материалы международной научно-технической конференции, г. Пермь, 17–18 апреля 2008 г. / Пермский государственный технический университет; Российская академия транспорта; Международная ассоциация автомобильного и дорожного образования; под ред. Б.С. Юшкова. – Пермь, 2008. – Т. 1. – С. 278–283.

References

1. Akimov S.V. Jelektrooborudovanie avtomobilej: uchebnik dlja vuzov / S.V. Akimov, Ju.P. Chizhov. M.: ZAO «KZhI Za rulem», 2004 384 p.: il.
2. GOST R 53165-2008 Batarei akumuljatornye svincovyje starternye dlja avtotraktornoj tehniki. Obshhie tehničeskie uslovija.
3. Dang Vin Ngi Issledovanie sistem jelektrostarternogo puska s emkostnymi nakopiteljami jenerгии: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk: 05.09.03. M., 1993. 22 p.
4. Dvigateli vnutrennego sgoranija: uchebnik dlja vuzov: v 3 kn. / pod red. V.N. Lukanina. 5-e izd., pererab. i dop. M.: Vyssh. shk, 2005. Kn. 2: Dinamika i konstruirovanie / V.N. Lukanin [i dr.]. 2005. 400 s. : il. Bibliogr.: pp. 396.
5. Zhiganshin A.A. Sistema optimizacii zarjadnogo naprjazhenija akumuljatornoj batarei avtotransportnogo sredstva na osnove ucheta vneshnih vozdejsvij i potrebitelej jenerгии: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk: 05.13.05 / Kazanskij gos. tehnič. un-t im. A.N. Tupoleva. Kazan, 1998. 20 p.
6. Kornev A.N. Sistem jelektrostarternogo puska jenergetičeskih ustanovok teplovoza s impulsnymi kondensatorami sverhvysokej jenergoemkosti: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk: 05.22.07. M., 1995. 24 p.
7. Kuznecov N.I., Petuhov M.Ju. Opredelenie grupy avtomobilej, naibolee kritičnyh s točki zrenija obrazovanija kondensata v sisteme vypuska pri nizkih temperaturah okružhazhhej sredy // Modernizacija i nauchnye issledovanija v transportnom komplekse: materialy mezhdunarodnoj nauchno-tehničeskoj konferencii, g. Perm, 25–27 aprelja 2013 g. / Permskij nacionalnyj issledovatel'skij politehničeskij universitet. Perm, 2013. T. 1. pp. 166–174.
8. Poljakov N.A. Sistema jelektrostarternogo puska transportnyh sredstv s primeneniem kombinirovannogo istočnika jelektričeskoj jenerгии: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.09.03. M., 2005. 170 p.
9. Rejting Rossijskich proizvoditelej AKB v 2008 g. [Jelektronnyj resurs]. URL: http://tdwesta.ru/akbmarket/analytics/analysis_russian_market/ (data obrashhenija 03.03.2014).
10. Rejting Rossijskich proizvoditelej AKB v 2009 g. [Jelektronnyj resurs]. URL: http://tdwesta.ru/akbmarket/analytics/analytics_2009/ (data obrashhenija 03.03.2014).
11. Rejting Rossijskich proizvoditelej AKB v 2012 g. [Jelektronnyj resurs]. URL: http://tdwesta.ru/akbmarket/analytics/analytics_2012/ (data obrashhenija 03.03.2014).
12. SNiP 23-01-99 Sistema normativnyh dokumentov v stroitelstve Stroitelnye normy i pravila Rossijskoj federacii. Stroitel'naja klimatologija. Data vvedenija 2000-01-01.
13. Jekonomičeskie i jekologičeskie aspekty ustanovki avtonomnyh zhidkostnyh podogrevatelej na dvigateli avtomobilej / I.A. Konovalov [i dr.] // Sovremennoe sostojanie i innovacii transportnogo kompleksa: materialy mezhdunarodnoj nauchno-tehničeskoj konferencii, g. Perm, 17–18 aprelja 2008 g. / Permskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet; Rossijskaja akademija transporta; Mezhdunarodnaja asociacija avtomobilnogo i dorozhnogo obrazovanija; pod red. B.S. Jushkova. Perm, 2008. T. 1. pp. 278–283.

Рецензенты:

Сушков С.И., д.т.н., профессор кафедры технологии и машин лесозаготовок, ФГБОУ ВПО «Ухтинский государственный технический университет», г. Ухта;

Павлов А.И., д.т.н., профессор кафедры лесных, деревообрабатывающих машин и материаловедения, ФГБОУ ВПО «Ухтинский государственный технический университет», г. Ухта.

Работа поступила в редакцию 18.03.2015.