

УДК 629.331

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ АВТОМОБИЛЕЙ С КОМБИНИРОВАННОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКОЙ И ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Д. В. Ендачёв / А. А. Шорин, к. т. н. / К. Е. Карпучин, к. т. н., доц.
ФГУП «НАМИ»

ВВЕДЕНИЕ

По прогнозам Европейской комиссии по транспорту, к 2020 году в Европе 7 % пассажирского и лёгкого коммерческого транспорта будет с электрическим приводом, а к 2030 году эта цифра увеличится до 31 %. Данная мера является вынужденной в связи с резким ухудшением ситуации на планете, связанной с загрязнением воздуха и глобальным потеплением.

Решение указанных проблем — это создание гибридных и электрических транспортных средств, широкое производство которых налаживается в ведущих странах мира. Эффективность транспортных средств с комбинированной энергоустановкой (КЭУ) обусловлена её системой управления, в первую очередь алгоритмами управления [7–10]. Актуальность разработки гибридных или электрических транспортных средств определяется достижением более высоких показателей энергосбережения и повышением экологической безопасности, что в свою очередь позволит значительно повысить энергоэффективность и энергосбережение соответствующих отраслей и секторов экономики [11–16].

Технический регламент Таможенного союза «О безопасности колёсных транспортных средств» (ТР ТС 018/2011) [2] осуществляет техническое регулирование в отношении колёсных транспортных средств в целях обеспечения социально приемлемого уровня их безопасности. Данный технический регламент в целях защиты жизни и здоровья человека, имущества, охраны окружающей среды и предупреждения действий, вводящих в заблуждение потребителей, устанавливает требования к колёсным транспортным средствам, независимо от места их изготовления, при их выпуске в обращение и нахождении в эксплуатации на единой таможенной территории Таможенного союза.

К объектам технического регулирования, на которые распространяется действие ТР ТС 018/2011, относятся: колёсные транспортные средства категорий L, M, N и O, предназначенные для эксплуатации на автомобильных дорогах общего пользования (далее — транспортные средства), а также шасси; компоненты транспортных средств, оказывающие влияние на безопасность транспортных средств.

К компетенции ТР ТС 018/2011 также относится электробезопасность транспортных средств рассматриваемых категорий, имеющих в своём составе электрический привод — электрическую цепь, которая включает тяговый электродвигатель (тяговые электродвигатели) и может включать перезаряжаемую энергоаккумулирующую систему, систему преобразования электроэнергии, электронные преобразователи, соответствующие жгуты проводов и соединители, а также соединительную систему для зарядки.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Требования по электробезопасности ТР ТС 018/2011 [2] базируются на требованиях Правил ЕЭК ООН № 100–00 «Единые предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении особых требований к электрическому приводу» и применяются на основе стандартов, содержащих правила и методы исследований (испытаний) и измерений.

В разделе 5 «Технические требования и испытания» данных правил рассматривается защита от электрического удара. Пункт 5.1.1.1 гласит: «Для защиты частей под напряжением, находящихся внутри пассажирского салона или грузового отделения, должна быть обеспечена степень защиты IPXXD», пункт 5.1.1.2: «Для защиты частей под напряжением, находящихся вне пассажирского салона и грузового отделения, должна быть обеспечена степень защиты IPXXB». Таким образом, требования Правил ЕЭК ООН № 100–00 и, соответственно, ТР ТС 018/2011 допускают негерметичное исполнение высоковольтных элементов в составе транспортных средств с КЭУ и электромобилей.

Рассмотрим случай, когда транспортное средство указанного типа оказывается частично или полностью погружено в воду, что, как отмечает статистика, представляет собой вполне реальную ситуацию. Вода, не содержащая примесей, является диэлектриком. Но поскольку вода — хороший растворитель, в ней практически всегда растворены те или иные соли, то есть в воде присутствуют положительные и от-

рицательные ионы. Благодаря этому вода проводит электричество. Вода имеет относительно высокую электропроводность, зависящую от её минерализации [3]. Минерализация природных вод, определяющая их удельную электропроводность, изменяется в широких пределах. Электрическая проводимость природной воды зависит в основном от концентрации растворённых минеральных солей и температуры. Природные воды представляют собой в основном растворы смесей сильных электролитов. Удельная электрическая проводимость воды зависит от температуры, характера ионов и их концентрации. Обычно удельная электрическая проводимость воды приводится для 25 °С, так что она зависит только от концентрации и характера растворённых компонентов.

Большинство рек имеют минерализацию от нескольких десятков миллиграммов в литре до нескольких сотен. Удельное сопротивление различных вод представлено в табл. 1.

Из приведённых данных видно, что удельное сопротивление воды в природе относительно мало.

Проведённый в информационных источниках поиск не дал ответа на вопрос, какова величина разности электрических потенциалов, опасных для жизни человека, погружённого в воду. Известно, что электрическое сопротивление человека, находящегося в воде, уменьшается в 20–30 раз. Исходя из этого, опасный потенциал, оцениваемый в нормальных условиях > 60 В для постоянного тока и > 30 В для переменного, должен быть уменьшен на величину уменьшения электрического сопротивления, то есть до 2 и 1 В соответственно. При этом остаётся открытым вопрос о взаимодействии биотоков и протекающих во всём объёме человеческого тела аварийных токов.

Вторым аспектом рассматриваемой ситуации является выделение водорода в процессе электролиза, возникающего в результате проникновения воды в батарейную систему. Конструкция аккумуляторных сборок в батарейной системе благоприятствует процессу электролиза. В свою очередь выделение водорода может привести к возгоранию или взрыву.

Таблица 1. Удельное сопротивление различных вод (усреднённые значения)

№	Вид	Удельное сопротивление (Ом·м)
1	Морская вода	0,2–1,0
2	Днепр	12
3	Вода в торфяной земле	15–20
4	Сена	16
5	Волга	20
6	Ключевая вода	40
7	Вода в прудах	50
8	Грунтовая вода	20–70

Исходя из вышеизложенного, предлагается следующий проект поправок к нормативной правовой базе в Российской Федерации (разработка проектов поправок к Техническому регламенту Таможенного союза «О безопасности колёсных транспортных средств» и межгосударственных стандартов), направленных на повышение безопасности транспортных средств с КЭУ и электромобилей как для пассажиров, так и для окружающей среды.

ТР ТС 018/2011 [2].

Технический регламент Таможенного союза «О безопасности колёсных транспортных средств»

Предлагается внесение следующих дополнений.

В перечень определений включить термин «высоковольтная шина» — электрическая цепь, включающая соединительную систему для зарядки ПЭАС, которая функционирует под высоким напряжением.

Приложение № 4 к Техническому регламенту Таможенного союза «О безопасности колёсных транспортных средств» (ТР ТС 018/2011). Требования к выпускаемым в обращение единичным транспортным средствам.

В раздел «Электрооборудование и электропроводка» включить пункт:

«1.4.2.2. Электрооборудование и электропроводка высоковольтной шины должны иметь исполнение IP68X».

В раздел «Аккумуляторные батареи» включить пункты:

«1.4.3.4. Аккумуляторная батарея, входящая в состав высоковольтной шины, должна состоять из герметичных, не выделяющих газ аккумуляторов.

1.4.3.5. Аккумуляторная батарея, входящая в состав высоковольтной шины, должна иметь исполнение IP68X».

Раздел 11. Требования к комплектности транспортных средств.

Пункт 11.4 дополнить фразой: «При наличии в транспортном средстве высоковольтной шины огнетушители, наличие которых обязательно, должны быть типа ОП».

Правила ЕЭК ООН № 100 [1]

«Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении особых требований к электрическому приводу»

Раздел 5. Технические требования и испытания.

Пункт 5.1.1.1 заменить на следующую редакцию: «Для защиты частей, находящихся под высоковольтным напряжением и расположенных внутри пассажирского салона или грузового отделения, должна быть обеспечена степень защиты IP68X».

Пункт 5.1.1.2 заменить на следующую редакцию: «Для защиты частей, находящихся под высоковольтным напряжением и расположенных вне пассажирского салона и грузового отделения, должна быть обеспечена степень защиты IP68X».

Пункт 5.1.1.4 «Служебный разъединитель» заменить на следующую редакцию: «Для служебного разъединителя в случае высоковольтного использования, который можно открыть, разобрать или снять без соответствующих инструментов, в условиях, когда он открыт, разобран или снят без соответствующих инструментов, необходима степень защиты IP68X».

В пункт 5.1.3 «Сопrotивление изоляции» добавить пункт 5.1.3.5: «Высоковольтная шина должна быть снабжена устройством непрерывного измерения сопротивления изоляции».

Пункт 5.2.2 «Скопления газа» заменить на следующую редакцию: «В случае высоковольтного исполнения тяговых батарей использование аккумуляторов, выделяющих газообразный водород, не допускается».

Приложение 3. Защита от прямого контакта с частями под напряжением.

Это приложение актуально при наличии в транспортном средстве высоковольтной шины. В этом случае необходимо обеспечить исполнение IP68X для всех элементов высоковольтной шины, тогда данное приложение неактуально и его требуется исключить.

Приложение 4. Метод измерения сопротивления изоляции.

Пункт 1. Общие положения изложить в следующей редакции: «Сопротивление изоляции для каждой высоковольтной шины транспортного средства должно измеряться автоматически, а при проверке определяться посредством расчёта с использованием измеренных значений по каждой части или составному элементу высоковольтной шины (далее — раздельное измерение)».

Пункт 2. «Методы измерения» заменить на «методы проверочного измерения».

Приложение 7. «Определение уровня выбросов водорода в процессе зарядки тяговой батареи» удалить.

ГОСТ Р ИСО 12405–1–2013 [4]

«Транспорт дорожный на электрической тяге.
Технические требования к испытаниям модулей
и систем тяговых литий-ионных батарей.
Часть 1. Высокомощные применения»

Пункт 5.4 «Батарейный модуль — типовая конфигурация» изложить в следующей редакции: «Батарейный модуль представляет собой устройство накопления энергии, которое включает в себя аккумуляторы или аккумуляторные сборки, электронное

оборудование аккумулятора, электрический контур класса напряжения В, устройство защиты от перегрузки по току, включая электрические соединители, интерфейс для системы охлаждения класса напряжения В, вспомогательный контур класса напряжения А и коммуникации. Электрический контур класса напряжения В батарейного модуля может включать в себя контакторы. Батарейные модули с напряжением постоянного тока 60 В и выше могут включать в себя устройства ручного отключения (сервисное отключение). Все компоненты, как правило, помещены в герметичный ударопрочный корпус для нормальных условий эксплуатации».

Пункт 5.5.2 «Батарейная система с интегрированным блоком контроля батареи» изложить в следующей редакции: «Батарейная система представляет собой устройство накопления энергии, которое включает в себя аккумуляторы или аккумуляторные сборки, электронное оборудование аккумулятора, блок контроля батареи, электрический контур класса напряжения В с контакторами и устройством защиты по току, включая электрические соединители, интерфейс для системы охлаждения класса напряжения В и вспомогательный контур класса напряжения А с коммуникациями. Батарейные системы с напряжением постоянного тока 60 В и выше могут включать в себя устройство ручного отключения (сервисное отключение). Все компоненты, как правило, помещены в герметичный ударопрочный корпус для нормальных условий эксплуатации. В данном примере блок контроля батареи встроен внутрь герметичного ударопрочного корпуса для нормальных условий эксплуатации и его контрольные функции связаны с батарейным модулем».

Пункт 5.5.3 «Батарейная система с внешним расположением блока контроля батареи» изложить в следующей редакции: «Все компоненты, как правило, помещены в ударопрочный корпус для нормальных условий эксплуатации. В данном примере блок контроля батареи расположен снаружи герметичного ударопрочного корпуса для нормальных условий эксплуатации и его контрольные функции связаны с батарейным модулем».

В стандарт ГОСТ Р ИСО 12405–2–2014 [5] «Транспорт дорожный на электрической тяге. Технические требования к испытаниям модулей и систем тяговых литий-ионных батарей. Часть 2. Высокоэнергетическое применение» предлагается внести изменения, аналогичные изменениям, предложенным для внесения в стандарт ГОСТ Р ИСО 12405–1–2013.

ГОСТ Р ИСО 12405–3–2014 [6]

«Транспорт дорожный на электрической тяге.
Технические требования к испытаниям модулей
и систем тяговых литий-ионных батарей»

Часть 3. Требования безопасности»

Пункт 8.3. Погружение в воду.

Это испытание имитирует погружение в воду, которое может возникнуть при затоплении транспортного средства. Батарейные модули и батарейная система в целом должны выполняться герметичными и иметь степень защиты IP68.

Проверка на соответствие выполняется согласно требованиям ГОСТ 14254–96 (МЭК 529–89) «Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (код IP)».

Испытания для второй характеристической цифры 8: длительное погружение на глубину 1,0–1,5 м. Испытание проводят путём полного погружения оболочки в воду в рабочем положении, как указано изготовителем, таким образом, чтобы были выполнены следующие условия:

- а) нижняя точка оболочки высотой менее 850 мм должна находиться на глубине 1 000 мм от уровня воды;
- б) верхняя точка оболочки (высотой более 850 мм или равная 850 мм) должна находиться на глубине 150 мм от уровня воды;
- в) длительность испытания — 60 минут;
- г) температура воды не должна отличаться от температуры оборудования более чем на 5 °С.

После испытаний на соответствие требованиям аккумуляторные модули и системы должны быть проверены на проникновение внутрь них воды.

В общем случае, если определённое количество воды проникает внутрь оболочки, не должно быть:

- нарушения нормальной работы оборудования или его безопасности;
- накопления воды на электроизоляционных частях, где вода может вызвать трекинг (образование токопроводящих следов) на путях утечки;
- попадания воды на части, находящиеся под напряжением, или на обмотки, не рассчитанные на работу в увлажнённом состоянии;
- накопления воды вблизи кабельных вводов либо проникновения внутрь кабелей.

Следует убедиться путём осмотра, что проникающая вода не накапливается.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внесение предлагаемых в настоящей статье изменений в нормативные документы потребует серьёзной экспертной работы в соответствующих рабочих группах и комитетах, в деятельности которых участвуют представители Российской Федерации, однако внедрение предложенных изменений повысит безопасность эксплуатации электрических транспортных средств, в том числе транспортных средств с комбинированными энергоустановками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Правила ЕЭК ООН № 100. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении особых требований к электрическому приводу.
2. О безопасности колёсных транспортных средств: технический регламент Таможенного союза.
3. Воробьёва А. Б. Электропроводность образцов питьевой воды разной степени чистоты // Интерэкспо Гео-Сибирь. — 2012. — № 5. — Т. 1.
4. ГОСТ Р ИСО 12405–1–2013. Транспорт дорожный на электрической тяге. Технические требования к испытаниям модулей и систем тяговых литий-ионных батарей. — М.: Стандартинформ, 2014. — Ч. 1. Высокомощные применения.
5. ГОСТ Р ИСО 12405–2–2014. Транспорт дорожный на электрической тяге. Технические требования к испытаниям модулей и систем тяговых литий-ионных батарей. — М.: Стандартинформ, 2016. — Ч. 2. Высокоэнергетическое применение.
6. ГОСТ Р ИСО 12405–3–2014. Транспорт дорожный на электрической тяге. Технические требования к испытаниям модулей и систем тяговых литий-ионных батарей. — М.: Стандартинформ, 2015. — Ч. 3. Требования безопасности.
7. Artemov V. G. Electrical properties of water: a new insight / V. G. Artemov, A. V. Pronin, A. A. Volkov // Biophysics. — 2014. — Vol. 59, № 4.
8. Encyclopedia of automotive engineering. — John Wiley & Sons, Ltd., 2014. — P. 2696.
9. Теренченко А. С. Энергоэффективность как способ улучшения экологической безопасности транспортных средств / А. С. Теренченко, К. Е. Карпукhin // Труды Нижегородского государственного технического университета им. П. Е. Алексеева. — 2014. — № 4 (106). — С. 299–305.
10. Нагайцев М. В. АТС с комбинированными энергоустановками (КЭУ) / М. В. Нагайцев, А. А. Эйдинов. — М.: ООО «ТПП», 2014.
11. Нагайцев М. В. Электромобили / М. В. Нагайцев, А. А. Эйдинов. — М.: Типография НАМИ, 2014.
12. Optimizing the losses in a tractional induction motor within a hybrid system / A. S. Terenchenko, K. E. Karpukhin, A. A. Shorin et al. // Russian Engineering Research. — 2015. — Vol. 35, № 3. — P. 171–173.
13. Terenchenko A. S. Features of operation of electromobile transport in the conditions of Russia / A. S. Terenchenko, K. E. Karpukhin, R. H. Kurmaev // Paper of EVS 28 International electric vehicle symposium and exhibition. — Korea, 2015.
14. Comprehensive life cycle analysis of different types of energy storage for electric or hybrid vehicle / K. E. Karpukhin, A. V. Kozlov, A. S. Terenchenko et al. // ICAT 2015 Proceeding the international conference on automobile technology for Vietnam. — 2015. — P. 7–14.
15. Maintaining the required temperature of high-voltage batteries in electric cars and hybrid vehicles / R. H. Kurmaev, A. S. Terenchenko, K. E. Karpukhin et al. // Russian Engineering Research. — 2015. — Vol. 35, № 9. — P. 666–669.
16. Hybrid and electric vehicles. The electric drive delivers. — International Energy Agency, 2015.