

ГУРСКИЙ А. С., канд. техн. наук, доц.,
зав. кафедрой «Техническая эксплуатация автомобилей»
E-mail: ASGURSKI@bntu.by

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 13.06.2023

СИСТЕМА УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА И ДИСТАНЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Внедрение в качестве городского транспорта электробусов и троллейбусов с увеличенным запасом хода требует корректирования приемов по обслуживанию и ремонту подвижного состава, а также переоснащения предприятий, эксплуатирующих данный тип транспортных средств. Самым сложным компонентом с точки зрения надежности, стоимости и технической эксплуатации является высоковольтный накопитель энергии (ВНЭ). Применяемые в электробусах литий-железо-фосфатные аккумуляторы обладают рядом достоинств, однако уступают по скорости и количеству циклов заряда суперконденсаторам. Суперконденсаторы имеют меньший показатель запасенной энергии на единицу массы. Основными параметрами высоковольтных накопителей энергии являются: напряжение ВНЭ (аккумуляторной батареи), емкость аккумуляторов, энергозапас аккумуляторной батареи, запас хода, средний и мгновенный расход электроэнергии, сила тока разряда, уровень заряда аккумуляторных батарей, температурный режим работы аккумуляторов. Наиболее рациональным способом контроля является постоянный дистанционный мониторинг технического состояния и параметров эксплуатации. Поддержание ВНЭ в технически исправном состоянии, с сохранением технических параметров в заданных диапазонах, в том числе и ресурса, имеет огромное значение в уменьшении затратной части эксплуатации ЭАТС. Дистанционное экспресс-диагностирование ВНЭ позволяет экстренно принимать решения по недопущению усугубления неисправностей и предотвращению ремонта с высокой стоимостью. Прогнозирование технического состояния высоковольтных накопителей электроэнергии позволяет принимать меры по замене отдельных элементов, блоков элементов или определять время наработки до полной выработки ресурса и принимать меры по дальнейшему использованию в виде вторичных источников на стационарных предприятиях.

Ключевые слова: электробус, техническое обслуживание, ремонт, накопитель, параметры, характеристики, мониторинг, диагностирование.

Введение

Контроль за работой и состоянием высоковольтных накопителей электроэнергии (ВНЭ) электрических автотранспортных средств (ЭАТС) в режиме реального времени и предупреждение возникновения неисправностей на сегодняшний день являются одними из актуальных задач, решение которых в полной мере выполнит система удаленного мониторинга и дистанционной диагностики. Система позволит повысить качество эксплуатации накопителей высоковольтной энергии (ВНЭ), сохранить заявленные характеристики в течение всего срока эксплуатации и повысить эффек-

тивность использования ЭАТС. Производители накопителей энергии постоянно совершенствуют характеристики элементов, однако на сегодняшний день высокая стоимость ВНЭ сохраняется. Этот факт подтверждает анализ ряда источников, в том числе Национальный центр маркетинга, открытое акционерное общество «Управляющая компания холдинга «Белкоммунмаш». Стоимость ВНЭ составляют до половины стоимости электробуса и до трети стоимости троллейбуса с автономным ходом [1–5].

Отличительные особенности накопителей и их ресурс

Высоковольтные накопители электроэнергии собираются на базе суперконденсатора или литий-ионной аккумуляторной батареи.

В случае применения суперконденсатора для обеспечения автономного хода в 20 км требуется время зарядки 8 мин. при остатке заряда 30 %. При этом емкость накопителя составляет 34 кВт, а срок службы накопителя – 90 000 циклов, масса – 1300 кг. Китайский производитель суперконденсатора предоставил модель Aoweí S585V39-K7-A.

В случае применения литий-ионной батареи для обеспечения автономного хода в 140 км требуется время зарядки 180 мин. при остатке 30 %. При этом емкость накопителя составляет 183 кВт, а срок службы накопителя – 10 000 циклов. Таким образом, для обеспечения такого же пробега при прочих равных условиях необходимо 7 раз чаще проводить зарядку с общим временем заряда 56 мин. Следует при этом учитывать подготовительно заключительные мероприятия, связанные с за-

рядом большой силой тока. Диапазон рабочих температур суперконденсатора небольшой, что требует серьезной температурной стабилизации с использованием кондиционирования и жидкостного теплообмена. Данная система является жизненно важным органом и требует к себе повышенного внимания. Анализируя особенности процесса заряда-разряда следует учитывать свойство аккумуляторов выхода из рабочей области, в которой происходит активная деградация [6].

Фактическая емкость ВНЭ, используемая в процессе заряда-разряда определяется с учетом недопущения блокировки:

$$C_{30\% АКБ} = 0,3 \cdot C_{АКБ}, \text{ кВт} . \quad (1)$$

Требуемая энергия для заряда определяется

$$C_3 = C_{30\% АКБ} / t_3, \text{ кВт} \quad (2)$$

Результаты расчета энергетических параметров приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Энергетические параметры ВНЭ.

	$C_{АКБ}$, кВт	$C_{30\% АКБ}$, кВт	t_3 , ч	E_3 , кВт·ч	U , В	I , А
Суперконденсатор	34	23,8	0,13	183	500	366
Литий–ион. АКБ	183	128,1	3,0	42	500	84

Приоритетной задачей для поддержания ВНЭ в технически исправном состоянии является сохранение технических параметров в заданных диапазонах, что сохранит заявленный ресурс и позволит значительно уменьшить затратную часть эксплуатации ЭАТС; другой важной задачей особенно для троллейбусов с автономным ходом является рациональное планирование распределения маршрутов движения с учетом времени заряда и разряда и соблюдения пограничных значений диапазона заряда – разряда с максимально-полной зарядкой позволит не допускать снижения ресурса ВНЭ по причине сокращения количества циклов заряд-разряд.

Задачами системы удаленного мониторинга и дистанционной диагностики высоковольтных накопителей электроэнергии электрических автотранспортных средств являются:

- экспресс-диагностирование ВНЭ;
- выявление нарушений в работе и корректирование движения ЭАТС;
- прогнозирование технического состояния высоковольтных накопителей электроэнергии;
- автоматизация управления автопарком при выполнении работ по ТО и ТР.

Основная часть

В принципе работы закладывается постоянное отслеживание и анализ пространственных и временных координат ЭАТС. Реализация может осуществляться в двух вариантах: online – с дистанционной передачей координатной информации и кратковременным хранением информации, offline – информация считывается после прибытия на транспортное предприятие или диспетчерский пункт. Второй вариант имеет ряд недостатков в плане дистанционной диагностики и оперативному принятию решений. В offline – варианте необходимость дистанционной передачи данных отсутствует, что позволяет использовать более дешевые мобильные модули и не использовать услуги операторов сотовой связи.

Система представляет собой совокупность технических средств, обеспечивающих получение первичных данных с накопителей высоковольтной электроэнергии, промежуточной обработке и кратковременному хранению с последующей передачей на сервер, для дальнейшей обработки с помощью программного комплекса. Схема системы показана на рисунке 1.

На ЭАТС устанавливается модуль, состоящий из приемника спутниковых сигналов, мо-

дуля считывания исходных параметров высоковольтного накопителя электроэнергии, модуля промежуточного расчета считанных исходных параметров, модуля кратковременного хранения и модуля передачи пакета сформированных данных и координат. Модуль пере-

дачи позволяет передавать данные, используя беспроводные сети операторов мобильной связи. Полученные данные анализируются и выдаются диспетчеру в текстовом виде или с использованием картографической информации.

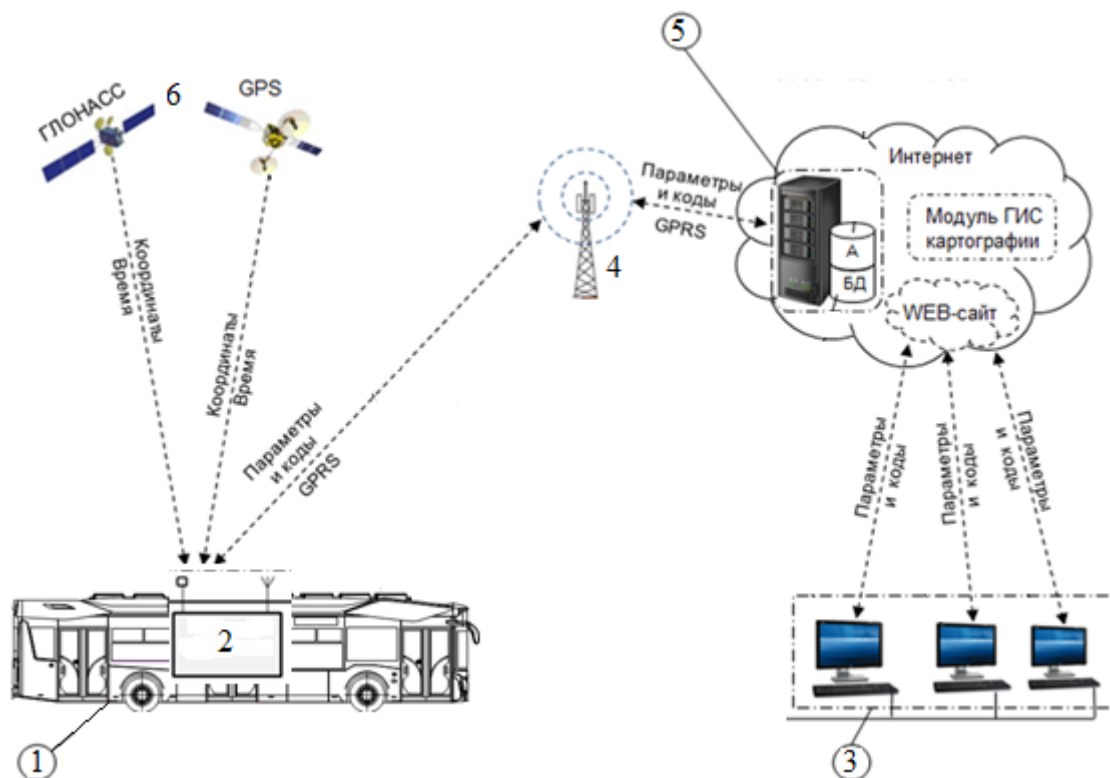


Рисунок 1 – Схема системы удаленного мониторинга и дистанционной диагностики накопителей электроэнергии электрических автотранспортных средств:

1 – контролируемое ЭАТС; 2 – терминал контроля накопителей электроэнергии с модулем промежуточного расчета и кратковременного хранения информации; 3 – программно-аппаратный комплекс обработки информации, получаемой с сервера; 4 – приемопередающая точка связи посредством сети GSM-GPRS; 5 – сервер длительного хранения информации (архив и база данных) с подключенными модулями картографии и с интернет связью; 6 – спутниковые системы GPS/ГЛОНАСС

Приемник спутниковых сигналов. Анализируя приемники спутниковых сигналов, следует отметить то, что модули, работающие в стандартах GPS обладают высокой точностью и скоростью работы. В странах СНГ предлагается использовать системы навигации ГЛОНАСС, которые до недавнего времени имели ряд недостатков: большая погрешность вычисления местоположения, более дорогое оборудование, большие габаритные размеры и худшие параметры энергопотребления. На сегодняшний день указанные недостатки практически устранены.

Китай активно распространяет автомобильную технику с использованием собственной спутниковой навигационной системы Beidou.

Основной задачей приемника спутникового сигнала является вычисление на основании сигналов спутников собственного местоположения, расстояния между точками положения,

скорости и направления движения, а также высоты над уровнем моря. На рисунке 2 приведена блок-схема подключения терминала. Не менее важной задачей стоит считывание комплекса параметров с накопителей высоковольтной энергии с использованием функциональных возможностей системы. Основным параметром является «время», к которому привязываются все исходные считываемые параметры. Данный параметр определяется с помощью встроенных в терминал высокостабильных часов, которые периодически проходят синхронизацию с данными времени со спутников. Перед выполнением считывания комплекса параметров проводится идентификация ЭАТС транспортных средств и ВНЭ. В результате идентификации ВНЭ определяется номинальная емкость. Считывание результатов измерений производится по каждой ячейке ВНЭ,

по каждому блоку ВНЭ и по всему накопителю в целом в процессе заряда и разряда:

- напряжение на ячейке в процессе да/разряда, В;
- напряжение ВНЭ в процессе заряда/разряда, В;
- сила тока заряда/разряда, А;

- температура ячеек в процессе заряда/разряда, градус Цельсия;
- температура окружающей среды, градус Цельсия;
- количество циклов зарядки/разрядки.

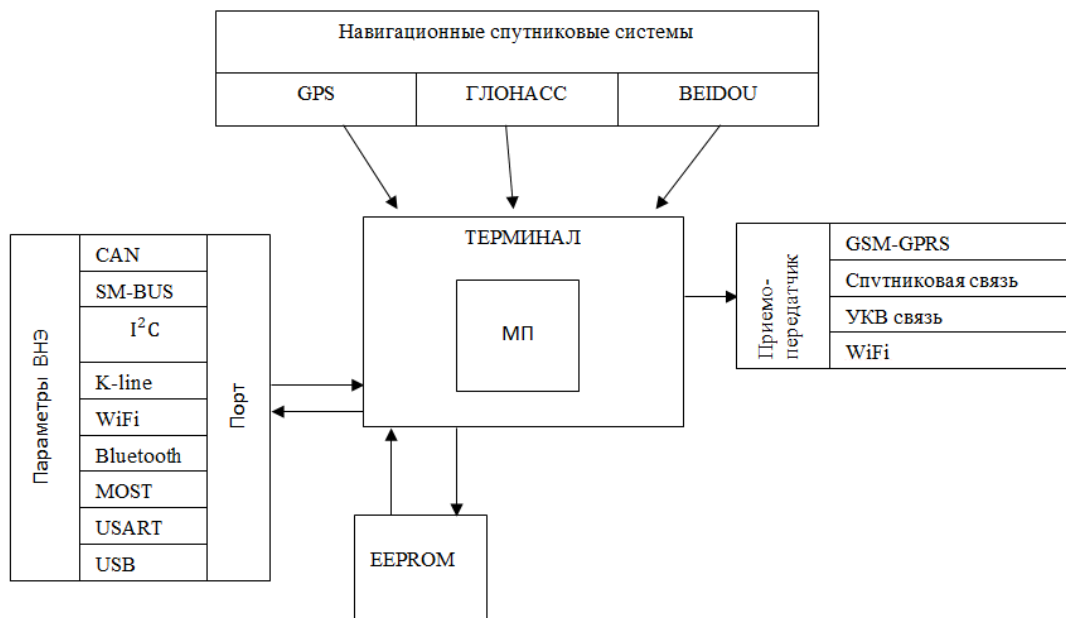


Рисунок 2 – Блок-схема подключения терминала

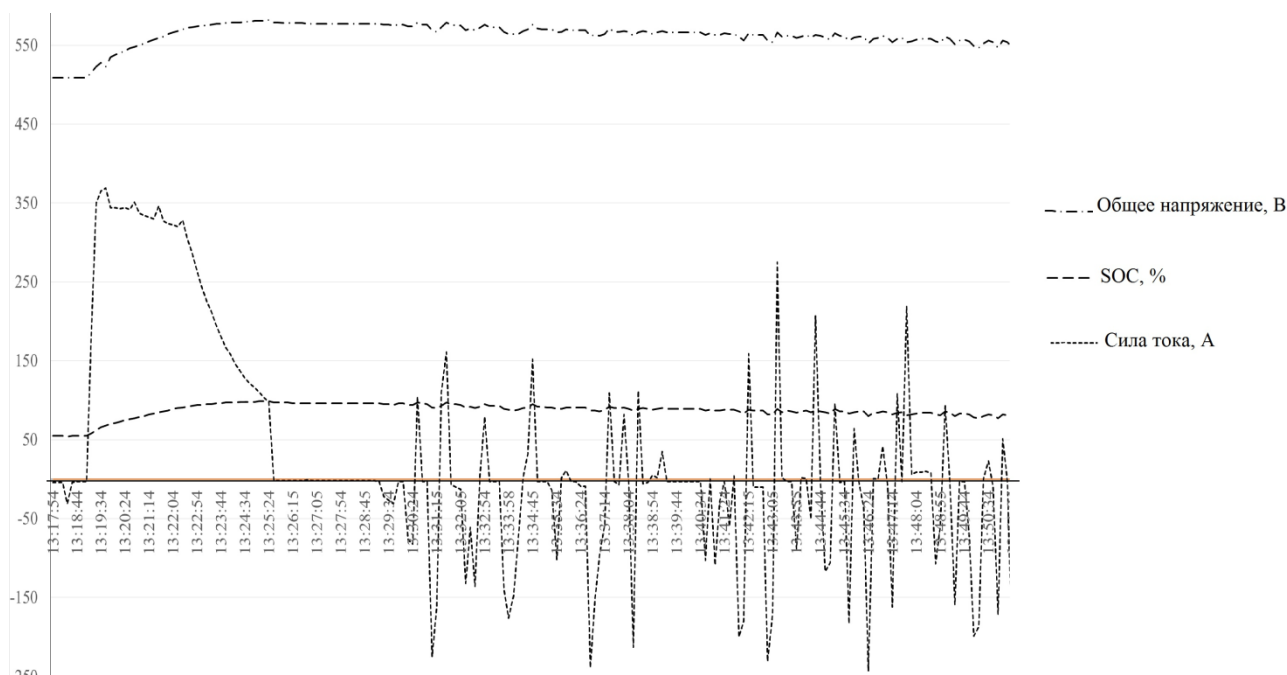


Рисунок 3 – График зависимостей напряжения силы тока и степени заряда во времени

Информация считывается с различных систем передачи информации в соответствии с вышеприведенным рисунком. Чаще используется проводная синхронная или асинхронная последовательная передача данных, но иногда в ВНЭ используют беспроводные технологии.

Это требует применения дополнительных преобразователей во входной цепи терминала.

Полученная информация поступает в соответствующий приемопередатчик и далее в микропроцессор терминала. В микропроцессоре рассчитываются все параметры, связанные с

циклами зарядки/разрядки с привязкой ко времени:

- уровень заряда, %;
- фактическая емкость, А*ч;
- среднее значение силы тока за определенный интервал времени, А;
- приращение напряжения на ячейках и ВНЭ за определенный интервал времени, В;
- среднее значение напряжения за определенный интервал времени, В;
- мгновенная мощность, отдаваемая в процессе разряда ВНЭ, Вт;
- мощность, отдаваемая в процессе разряда, за определенный интервал времени, Вт;
- электроэнергия, отдаваемая в процессе разряда, за определенный интервал времени, Вт·ч;
- мгновенная мощность, получаемая в процессе заряда ВНЭ, Вт;
- мощность, получаемая в процессе заряда, за определенный интервал времени, Вт;
- электроэнергия, получаемая в процессе заряда, за определенный интервал времени, Вт·ч;
- электроэнергия, получаемая в процессе заряда при рекуперации, за определенный интервал времени, Вт·ч;
- отношение электроэнергии, получаемой при рекуперации к общей электроэнергии в процессе заряда, за определенный интервал времени, %;
- наибольшая температура одной из ячеек за период заряда/разряда.

Следующей задачей является формирование процессором в терминале пакета данных для передачи на сервер предприятия или удаленный компьютер. Существует несколько способов формирования пакетов в зависимости от объема информации, скорости передачи и других факторов. В некоторых случаях рекомендуется проводить сжатие данных для сокращения времени их передачи. Однако следует учитывать, что на сжатие и распаковку данных тратится дополнительное время и ресурсы микропроцессора, что зачастую нивелирует выгоду от сокращения времени на передачу сжатых данных. Из всех способов приемопередачи на сегодняшний день использование GSM -модуля остается самым надежным. Однако при значительном удалении от населенных пунктов зачастую необходимо использовать УКВ или спутниковую связь. При работе электротранспорта на небольшом удалении от сервера можно использовать WiFi, Bluetooth и другие радио приемопередающие устройства. Защита информации от потерь производится различными способами.

В случае длительного отсутствия связи сформированные пакеты микропроцессор сохраняет в постоянном запоминающем устройстве терминала в сжатом или не сжатом виде. При возобновлении связи данные передаются с большей частотой передачи. При неустойчивой связи проверяется целостность пакета данных различными способами, например, расчетом и сравнением контрольной суммы. В случае неполноценной передачи данных процесс повторяется до наступления корректной передачи.

Значительное расширение возможностей происходит при реализации с помощью сети GSM-модуля интернет – соединения с различными протоколами. Протокол передачи файлов FTP (File Transfer Protocol) – хорошее решение для обмена данными с сервером. При правильной организации протокол FTP дает возможность передавать данные на несколько серверов или на другие удаленные компьютеры. Учитывая тот факт, что на сегодняшний день подвижной состав большинства предприятий автотранспорта уже используют системы мониторинга следует по возможности использовать имеющиеся ресурсы, что значительно сократит расходы на использование таких систем. Следует провести анализ частотных и накопительных характеристик имеющегося оборудования.

Полученные данные на сервере хранятся в архиве с использованием специализированной базы данных. Достоинством специализированной базы, является простота использования, т. е. подбор параметров производится на этапе проектирования. Программа-обработчик позволяет пользователю осуществлять поиск-выборку по тем значениям и параметрам, которые интересуют его в данный момент времени, создавать различные комплексы параметров и получать сложные функциональные зависимости от комплекса параметров как с выводом на экран, так и с созданием файла отчета в цифровом и графическом виде. Сама же база может обновляться в любой момент [7].

Данные в архиве для получения статистических данных должны в идеале храниться на протяжении всего жизненного цикла ЭАТС. Это позволит определять не только существующие эксплуатационные условия и расчет параметров, но также прогнозировать работоспособность ВНЭ и ЭАТС в целом.

Прогнозирование состояния ВНЭ и ЭАТС – ключ к высочайшему коэффициенту технической готовности всего предприятия, к решению вопросов списания и капитального ремонта, обновления парка подвижного состава,

качеству применяемых эксплуатационных материалов, качеству проведения профилактических мероприятий и технических воздействий, что может дать новый виток в совершенствовании организации технической эксплуатации. Кроме этого структурированная информация может быть выведена по ЭАТС, маршруту, парку за любой период времени. Имеется возможность создавать отчеты за рабочую смену, неделю, месяц, год и т. д.

Важным решением следует отметить автоматический вывод сообщения с сопровождающейся звуковой сигнализацией и визуальной индикацией в главном меню обо всех нарушениях работоспособности ВНЭ и ЭАТС в целом, а также о превышениях допустимых диапазонов, измеряемых параметров ВНЭ в целом. Данная функция позволит быстро координировать действия всех участников транспортного процесса и оперативно принимать решения по результатам оперативной дистанционной диагностики. В случае выхода в критическую зону ВНЭ по одному из критериев, решение принимает не только ЭБУ ЭАТС, водитель, но также специалист технической службы. По любому ЭАТС предприятия выводится отчет с информацией обо всех отклонениях измеряемых параметров от допустимых значений для детального рассмотрения особенностей эксплуатации и поведения ВНЭ. Определяется повторяемость выхода в критическое состояние и решается вопрос о назначении текущего ремонта или корректировки пробега до ТО. При обработке в автоматизированном режиме данные команды может формировать система «Умный парк». Одной из подсистем которой является «Ремонтная зона» [8]. Данная подсистема позволяет автоматизировать все функции, необходимые для ежедневной эксплуатации, технического обслуживания и ремонта электромобилей, троллейбусов, трамваев и электробусов специализированных транспортных предприятий либо предприятий любого профиля, имеющих свой автопарк, а также сервисных центров.

Другой важной подсистемой является «Автоматизированное планирование технического обслуживания». Программное обеспечение подсистемы предназначено для автоматизированного планирования технического обслуживания и отслеживания технического состояния подвижного состава на основании данных по пробегам автотранспорта и выполняемым работам по ремонту и ТО. Позволяет проводить анализ работы различных узлов автомобилей и данных по расходу запчастей, учету хождения и износа шин, а также учет работы ВНЭ. Работает совместно с программой подсистемы

«Ремонтная зона» и программами по учету пробегов из путевых листов.

Третьей подсистемой является «система планирования и оперативного управления движением транспорта». Программное обеспечение, которой предназначено для составления графиков работы водителей и кондукторов на основании расписания движения транспорта, составления сменно-суточной разрядки выпуска транспорта, приема разовых и постоянных заказов на автомобильные перевозки, выписки путевых листов на основании данных сменно-суточной разрядки.

Кроме этих подсистем в систему входят:

- «Автоматизированная обработка путевого листа электробуса»;
- «Ведение табеля учета рабочего времени»;
- «Автоматизация расчета стоимости перевозок»;
- «Планирование выручки пассажирских перевозок»;
- «Рентабельность работы электробусов по маршрутам»;
- «Показатели работы автобусов» и др.

Совмещение системы удаленного мониторинга и дистанционной диагностики высоковольтных накопителей электроэнергии электрических автотранспортных средств с системой «Умный парк» позволит выполнять автоматизацию технического обслуживания ВНЭ и ЭАТС в целом [9].

Следующей важной особенностью применения системы удаленного мониторинга и дистанционной диагностики высоковольтных накопителей электроэнергии электрических автотранспортных средств является прогнозирование эксплуатации ВНЭ и ЭАТС [10]. Построение графиков зависимости параметров ВНЭ с привязкой к текущему времени и местоположению в системе навигации позволит проанализировать загрузку и условия движения, что в свою очередь позволит планировать маршруты каждой единицы подвижного состава с возможностью равномерной выработки ресурсов всех ЭАТС. Сохранение основных данных на протяжении всего жизненного цикла ЭАТС позволит проводить корректировку конструкторской документации на новые виды техники, увеличивать ресурс отдельных компонентов для повышения эксплуатационных показателей как новых, так и эксплуатируемых машин.

Заключение

1. Высокая стоимость и большая уязвимость ВНЭ требует пристального внимания и своевременного реагирования при выходе из рабочего диапазона, а также по тенденции к

выходу из рабочего диапазона. Поддержание ВНЭ в технически исправном состоянии, с сохранением технических параметров в заданных диапазонах, в том числе и ресурса, имеет огромное значение в уменьшении затратной части эксплуатации ЭАТС.

2. Дистанционное экспресс-диагностирование ВНЭ позволяет экстренно принимать решения по недопущению усугубления неисправностей и предотвращению ремонта с высокой стоимостью (вовремя выявленные аномалии отдельных ячеек накопителей энергии позволяют провести активную балансировку либо заменить элемент, не допуская перегрева или разрушения).

3. Выявление нарушений в работе ЭАТС и корректирование движения особенно это справедливо для троллейбусов с автономным ходом: рациональное планирование распределения маршрутов движения с учетом времени заряда и разряда и соблюдения пограничных значений диапазона заряда – разряда позволит не допускать снижения ресурса ВНЭ.

4. Прогнозирование технического состояния высоковольтных накопителей электроэнергии позволяет принимать меры по замене отдельных элементов, блоков элементов или определять время наработки до полной выработки ресурса и принимать меры по дальнейшему использованию в виде вторичных источников на стационарных предприятиях.

5. Использование системы удаленного мониторинга и дистанционной диагностики высоковольтных накопителей электроэнергии электрических автотранспортных средств позволяет автоматизировать управление автопарком при выполнении работ по ТО и ТР.

Литература

1. Пахомчик, Д. А. Анализ работы современных электробусов / Д. А. Пахомчик, А. П. Коротченя // Новые горизонты – 2019: сборник материалов Белорусско-Китайского молодежного инновационного форума, Минск, 12–13 ноября 2019 г. / Белорусский национальный технический университет. – Минск: БНТУ, 2019. – С. 137–138.

2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vb.by/society/auto/vo-skolko-objdutsya-10-novyh-trollejbusov-dlya-bresta.html>. – Дата доступа: 17.03.2023.

3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://romanov-motors.ru/katalog/gorodskie/gorodskoy-elektrobus-e420-vitovt-electro>. – Дата доступа: 27.03.2023.

4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://metroblog.ru/post/2606/>. – Дата доступа: 16.03.2023.

5. Гурский, А. С. Анализ параметров высоковольтных аккумуляторных батарей электробусов с целью создания алгоритмов их общего и поэлементного диагностирования с применением телематических систем/ А. С. Гурский // Транспорт и транспортные системы: конструирование, эксплуатация, технологии : сборник научных статей / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: С. В. Харитончик (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2022. – Вып. 4. – С. 12–20.

6. Гурский, А. С. Использование баз данных для хранения и анализа информации в системах дистанционного диагностирования/ А. С. Гурский // Автомобиле- и тракторостроение : материалы Международной научно-практической конференции / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: отв. ред. Д. В. Капский [и др.]. – Минск: БНТУ, 2019. – Т. 2. – С. 65–69.

7. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://transtex-nt.com/software/transport-and-production/>. – Дата доступа: 10.04.2023.

8. Интеграция технической эксплуатации автомобилей в структуры и процессы ITS / В. П. Волков [и др.]. – Донецк: Изд-во «Ноу-лидж», 2013. – 398 с.

9. Повышение качества технического обслуживания и ремонта автотранспортных средств путем мониторинга технического состояния / А. А. Алешко [и др.]; под ред. Д. Н. Коваля. – Минск: Бел НИИТ «Гранстехника», 2018. – 324 с.

10. Гурский, А. С. Использование транспортной телематики и дистанционной диагностики для совершенствования технического обслуживания и ремонта транспортных средств/ А. С. Гурский, В. С. Ивашко// Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук – 2020. – Т. 65, № 3. – С. 375–383.