

УДК 629.359

DOI: 10.22213/2410-9304-2017-3-73-81

Н. М. Филькин, доктор технических наук, профессор
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова
С. Н. Зыков, кандидат технических наук, доцент, профессор
УдГУ
А. И. Коршунов, доктор технических наук, профессор
Воткинский филиал ИжГТУ имени М. Т. Калашникова
Институт механики УрО РАН

ФОРМИРОВАНИЕ МНОГОУРОВНЕВОЙ КРИТЕРИАЛЬНОЙ БАЗЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КОРОБА АККУМУЛЯТОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ УНИВЕРСАЛЬНОЙ МАШИНЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

В статье рассматриваются некоторые вопросы предпроектного анализа в отношении электрических колесных машин, выполненного при подготовке проекта унифицированной машины технологического электротранспорта нового поколения. В частности, авторы достаточно подробно исследуют вопрос аналитического структурирования исходных ограничений (критериев) проектирования и их влияние на конструкцию в контексте такого обязательного компоновочного элемента современной колесной электрической техники, как защитный короб, позиционирующий аккумуляторные батареи. Приведенная в статье многоуровневая структура критериальной базы проектирования в отношении короба аккумуляторных батарей позволяет на этапе предпроектной проработки конкретизировать не только искомые геометрические и весовые характеристики изделия, но и определиться с типом аккумуляторных батарей, размещаемых в нем. Проведенные предварительные исследования позволили значительно сократить сроки и объем работ в ходе выполнения соответствующего этапа проекта. Исследования проведены при подготовке проекта «Разработка и создание высокотехнологичного производства унифицированной машины технологического электротранспорта» при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

Ключевые слова: критериальный анализ, многоуровневая структура, универсальная машина технологического электротранспорта, короб аккумуляторных батарей.

Одной из основных задач, стоящих перед конструкторами при проектировании транспортных средств, в особенности это касается электрического транспорта, является поиск связанного компоновочного решения по размещению двигательной установки и источников ее питания. Проблематика, как правило, состоит в нахождении конструкторско-технологического компромисса, обусловленного необходимостью удовлетворения комплекса общих и специальных проектных критериев (требований) к разрабатываемому транспортному средству. В частности, специальные критерии, требующие учета при проектиро-

вании, имеются у транспортных средств с электродвигательной установкой, что вызвано наличием у таковых структурной компоновочной связки «аккумуляторные батареи – электрический двигатель». Изучение специфики формирования и обоснования критериев для данного типа машин и процедуры выбора проектного решения на их основе, несомненно, представляется актуальной проблематикой, поскольку номенклатура проектируемой колесной техники, оборудованной электрическими двигателями, постоянно расширяется. И эта тенденция будет достаточно устойчивой в перспективе. По-

этому исследования в данной области ведутся давно и достаточно широко освещаются в публикациях как в отношении машин с электродвигателем, так и с комбинированной энергосиловой установкой [1–3]. Рассмотрим проектные критерии и некоторые инженерные решения, выработанные на их основе, применительно к электрическим колесным машинам на примере унифицированной машины технологического электро-транспорта (далее УМТЭТ) [4].

Существующая проектная практика говорит, что для работы над сложным многокомпонентным и многофункциональным изделием, каким является машина с электрическим двигателем, необходим комплексный системный многокритериальный подход [5–11].

Одним из основных требований заказчика унифицированной машины технологического электро-транспорта (УМТЭТ) являлось наличие электромеханической трансмиссии. На основе базового варианта УМТЭТ предполагалась возможность в дальнейшем разработки линейки узкоспециализированных модификаций для нужд коммунального хозяйства, оборудованных специализированным навесным электрическим оборудованием. На макроуровне проектирования это определило, с одной стороны, необходимость формирования структурной компоновочной связи

«аккумуляторные батареи – двигатель – электрическое навесное оборудование», с другой стороны, один из базовых проектных критериев для машины – наличие независимого источника электрической энергии, обеспечивающего работу как основного двигателя, так и навесного оборудования. Указанный базовый проектный критерий предполагает наличие определенного подчиненного многоуровневого набора локальных проектных требований (критериев), который варьируется выбором того или иного частного конструкторского решения. Локальным критерием для конструкции УМТЭТ является наличие короба (защитно-позиционирующего элемента для размещения накопителя электрической энергии), который должен: позволять компактно собирать, компоновать и размещать независимый источник электрической энергии под грузовой платформой УМТЭТ; обеспечивать вариативность применения аккумуляторных батарей различного типа и мощности; защищать аккумуляторы от механических воздействий, влаги и грязи; обеспечивать удобство монтажа/демонтажа аккумуляторного блока для обслуживания. С учетом вышеизложенного и по результатам предварительного инженерного анализа был сформирован набор частных проектных требований для УМТЭТ, имеющий защитный аккумуляторный короб (табл. 1).

Таблица 1. Конструкторско-технологические ограничения

№	Наименование	Группы ограничений
1	Обеспечение установки на УМТЭТ коробов с тяговыми АКБ	Специальные электротехнические
2	Электропитание разрабатываемой УМТЭТ должно осуществляться от бортового накопителя электрической энергии (АКБ) (тип аккумуляторной батареи – кислотный/ щелочной/ гелевый/ литий-ионный/ литий-полимерный и суперконденсаторы; базовая АКБ: емкость аккумуляторов – не менее 350/210 Ач; напряжение питания, 48/80 В; тип – кислотный)	
3	Применение свинцово-кислотных аккумуляторов, производимых по технологии EPzS, напряжением 48 В и энергоемкостью не менее 16 кВт · ч	
4	Ширина грузовой платформы УМТЭТ – не более 1300 мм	Геометрические
5	Высота грузовой платформы УМТЭТ – не более 800 мм	

Окончание табл. 1

№	Наименование	Группы ограничений
6	Клиренс (дорожный просвет) УМТЭТ – не менее 140 мм	
7	Колесная база УМТЭТ – не менее 1150 мм	
8	Габаритные размеры отсеков АКБ – не более 1000×690×460 мм	
9	Масса УМТЭТ без блока аккумуляторных батарей (АКБ) – не более 900 кг	Весовые
10	Общий вес УМТЭТ (модель 1) – не более 1500 кг	
11	Обслуживание АКБ должно происходить путем легкого доступа и извлечения из внутреннего пространства платформы, без демонтажа встроенных узлов, а также навесного оборудования, установленного на грузовой платформе	Сервисные
12	Возможность установки и извлечения АКБ при помощи вилочного погрузчика	

Из ограничений, указанных в табл. 1, последовательно формируются производные технические ограничения, представленные в табл. 2. Данная таблица также

дополнена техническими предложениями завода-изготовителя УМТЭТ, повлиявшими на выбор конкретного конструктивного решения.

Таблица 2. Производные конструкторско-технологические ограничения

№	Формирование
1	Согласно п. 9 и 10 (табл. 1), суммарный вес аккумуляторных батарей должен составлять не более 600 кг (общий вес УМТЭТ за вычетом массы УМТЭТ без аккумуляторов). Следовательно, при энергоёмкости 16,8 кВт · ч (п. 3, табл. 1) значение плотности энергии аккумуляторов – 28 Вт · ч/кг
2	Геометрическая ёмкость батарей исходя из линейных характеристик 1000×690×460 мм (п. 8, табл. 1) не должна превышать 317,4 дм ³ . В этом случае при обеспечении энергоёмкости в 16,8 кВт · ч соответствующая удельная характеристика аккумуляторного блока должна составлять 52,93 Вт · ч/дм ³
3	Учитывая ёмкость аккумулятора в 350 Ач (п. 2, табл. 1) при питающем напряжении 48 В (п. 3, табл. 1) и полный вес аккумуляторного блока (600 кг), определяем следующие его характеристики: комплект из 24 аккумуляторных батарей весом по 25 кг каждая при суммарной энергоёмкости 16,8 кВт · ч
4	В соответствии с техническими требованиями высота грузовой платформы не должна превышать 800 мм (п. 5, табл. 1), а дорожный просвет – быть не менее 140 мм (п. 6, табл. 1). С учетом того что весь основной каркас грузовой платформы по технологическим требованиям завода-изготовителя должен производиться из металлического профиля с габаритной толщиной 50 мм и с учетом толщины грузовой платформы 50 мм, а также необходимости обеспечить зазор 50 мм между аккумуляторной батареей и платформой, получаем проектную высотную характеристику короба блока аккумуляторных батарей: 800 мм – 140 мм – 50 мм – 50 мм = 560 мм
5	Колесная база может колебаться в диапазоне 1430–1600 мм, по согласованию с предполагаемым заводом-изготовителем, и соответствует п. 7 (табл. 1)
6	Диаметр используемой шины, влияющий на высотные показатели УМТЭТ, согласован с предполагаемым заводом-изготовителем. Выбрана шина производителя VOLTYRE диаметром 609 мм
7	Предполагаемый завод-изготовитель УМТЭТ не возражал против оправданного увеличения веса и габаритов одного аккумуляторного элемента пропорционально увеличению его ёмкости без снижения удельной энергоёмкости и увеличения общего веса УМТЭТ с комплектом батарей
8	Предполагаемый завод-изготовитель УМТЭТ предлагал рассмотреть возможность применения отечественных аккумуляторных батарей Тюменского аккумуляторного завода

Рассмотрим процедуры инженерного анализа и выработки конструкторских решений, учитывающих указанные выше ограничения.

В соответствии с п. 3 (табл. 1) необходимо обеспечить питающее напряжение 48 В. Для достижения этого показателя при одновременном выполнении п. 1 и 2 (табл. 1)

необходимо сформировать накопитель энергии из 24 элементов кислотного типа. Для сравнительного анализа рассмотрим два варианта объемной организации аккумуляторного короба, предполагающего наличие одного или двух рабочих отсеков.

Технические особенности размещения накопителя энергии в двух рабочих секциях УМТЭТ

Основываясь на представленных выше пунктах, приведем сформированную таблицу значений вариативных характеристик

аккумуляторного блока (из 12 и 24 элементов) с приемлемыми к требованиям весовыми характеристиками (табл. 3), в состав которого входят элементы, производящиеся на Тюменском аккумуляторном заводе. Здесь нужно отметить, что одновременное строгое выполнение всех проектных требований является маловероятным, потому что характеристики отдельных аккумуляторов, указанных в таблице типов, по абсолютным величинам хотя и близки (для отдельных типов), но не соответствуют проектным требованиям. Необходимо искать компромиссное техническое решение.

Таблица 3. Параметры аккумуляторных элементов

Тип элемента	Высота элементов (в)	Ширина элементов (ш)	Длина элементов (д)	Энергия батареи		Вес элемента	Вес элементов батареи		Приемлемый вес короба с элементами увеличенной мощности	
				12 элем.	24 элем.		12 элем.	24 элем.	12 элем.	24 элем.
	мм	мм	мм	Вт · ч	Вт · ч	кг	кг	кг	кг	кг
7PzS385	367	137,5	198	9240	18480	28,5	342	684	330	660
6PzS420	432	119,5	198	10080	20160	26	312	624	360	720
5PzS350	432	101,5	198	8400	16800	22,2	266,4	532,8	300	600
5PzS400	477	101,5	198	9600	19200	25,4	304,8	609,6	342,857	685,714
4PzS400	567	83,5	198	9600	19200	26,5	318	636	342,857	685,714
3PzS360	687	65,5	198	8640	17280	26	312	624	308,571	617,143

Сравнительный анализ типов элементов из табл. 3 по критерию высотного ограничения (п. 4, табл. 2) дал следующие результаты:

- элементы 4PzS400 и 3PzS360 находятся вне рамок проектных требований (567 и 687 мм соответственно);
- наиболее конструкционно-адаптивным по высотному критерию является элемент 7PzS385 (367 мм).

Все типы элементов, представленных в табл. 3, имеют одинаковую длину (198 мм), но различную ширину, поэтому при их размещении в двух аккумуляторных секциях (по 12 элементов в секции) возможны разные компоновочные варианты (рис. 1).

При двухсекционном расположении аккумуляторного блока формируется дополнительное *производное конструкторско-технологическое ограничение*, обусловленное тем, что в конструкции УМТЭТ необходимо предусмотреть два короба, по одному вдоль каждого борта между шинами передней и задней осей с зазором по 50 мм, при колесной базе согласно п. 5 (табл. 2) – 1430 мм. Учитывая то, что диаметр шины (п. 6, табл. 2) составляет 609 мм, длина каждого короба не может превышать 721 мм: величина колесной базы (1430 мм) за вычетом диаметра шины (609 мм) и двукратного зазора (100 мм).

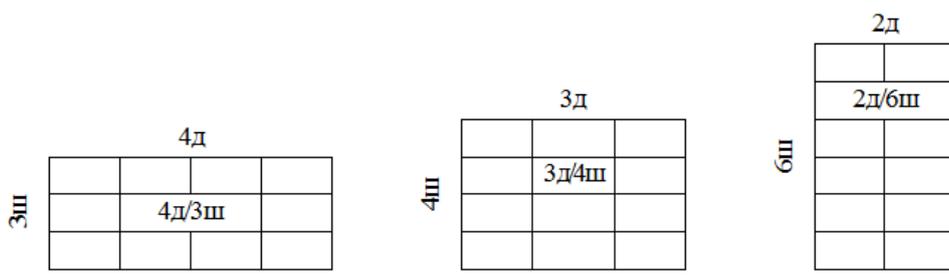


Рис. 1. Варианты компоновки аккумуляторных элементов в коробе

При конструкторско-технологическом анализе двухсекционного размещения блока аккумуляторных элементов были приняты следующие допущения и фиксированные величины:

- материал короба – сталь толщиной 3 мм;
- зазоры между элементами – 3 мм;
- зазоры между элементами и стенкой короба – 5 мм;
- высота короба более высоты элемента на 35 мм.

Принимая во внимание указанные допущения и фиксированные величины, в таблице (табл. 4) показаны весогабаритные параметры коробов аккумуляторных секций исходя из особенностей компоновок, приведенных на рис. 1, а в следующей таблице (табл. 5) продемонстрированы вариативные весовые и энергетические характеристики элементов в коробе применительно к разным типам применяемых аккумуляторных батарей.

Таблица 4. Весогабаритные параметры рассматриваемых коробов при различных компоновках

Тип банки	Высота коробки	4д/3ш				3д/4ш				2д/6ш			
		Ширина короба	Длина короба	Вес короба	Объем короба	Ширина короба	Длина короба	Вес короба	Объем короба	Ширина короба	Длина короба	Вес короба	Объем короба
		мм	мм	кг	дм ³	мм	мм	кг	дм ³	мм	мм	кг	дм ³
7PzS385	402,00	437,50	817,00	31,97	143,69	578,00	616,00	30,78	143,13	415,00	856,00	32,22	142,81
6PzS420	467,00	383,50	817,00	33,57	146,32	506,00	616,00	31,82	145,56	415,00	748,00	32,68	144,97
5PzS350	467,00	329,50	817,00	31,36	125,72	434,00	616,00	29,20	124,85	415,00	640,00	29,27	124,04
5PzS400	512,00	329,50	817,00	33,77	137,83	434,00	616,00	31,42	136,88	415,00	640,00	31,49	135,99

Таблица 5. Полный вес короба с элементами и удельные характеристики

Тип банки	Вес элементов, кг	Полный вес короба, кг			Удельная энергия					
					Вт · ч/дм ³			Вт · ч/кг		
		4д/3ш	3д/4ш	2д/6ш	4д/3ш	3д/4ш	2д/6ш	4д/3ш	3д/4ш	2д/6ш
7PzS385	342	373,97	372,79	374,22	64,31	64,56	64,70	24,71	24,79	24,69
6PzS420	342	345,57	343,82	344,68	68,89	69,25	69,53	29,17	29,32	29,24
5PzS350	266,4	297,76	295,60	295,67	66,82	67,28	67,72	28,21	28,42	28,41
5PzS400	304,8	338,57	336,22	336,29	69,65	70,13	70,59	28,35	28,55	28,55

Результаты сравнительного анализа компоновочных решений (рис. 1) с различными типами аккумуляторов (табл. 3) показали следующее:

- вариант компоновки 4д/3ш для всех выбранных элементов и вариант компоновки 2д/6ш для элементов 7PzS385 и 6PzS420 не могут быть приняты, т. к. длина короба превышает расстояние между шинами передней и задней осей;
- элементы 7PzS385 не могут быть размещены в коробах по 12 шт., т. к. значительно превышает приемлемый вес;
- элементы 7PzS385 и 6PzS420 не могут быть размещены в коробах по 12 шт. при варианте 3д/4ш, т. к. это приводит к недостаточной ширине хребтовой части рамы;

- к дальнейшей проработке были рекомендованы только элементы 5PzS350 и 5PzS400 в вариантах компоновки 3д/4ш и 2д/6ш при размещении в коробах по 12 шт.

Технические особенности размещения накопителя энергии в одной рабочей секции УМТЭТ

При выборе оптимального компоновочного решения размещения аккумуляторных элементов в одной рабочей секции УМТЭТ к рассмотрению были приняты такие же типы элементов Тюменского аккумуляторного завода (табл. 3). На рис. 2 приведено схематическое изображение возможных вариантов для одного короба по 24 элемента.

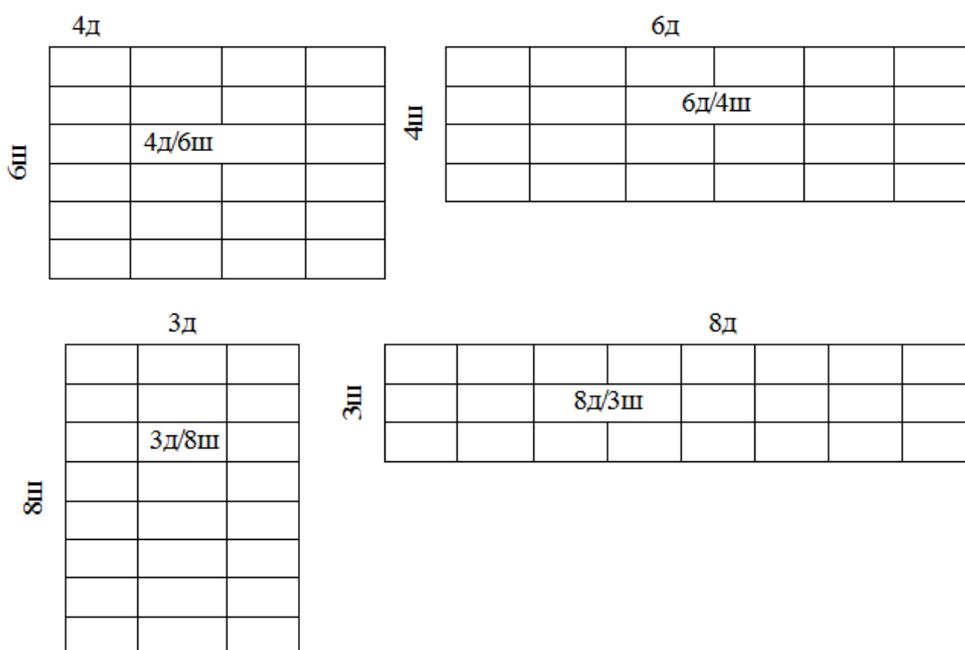


Рис. 2. Схема расположения аккумуляторных элементов в одном коробе

Сравнительный анализ компоновок был проведен для элементов 7PzS385, 6PzS420, 5PzS350 и 5PzS400. При этом из рассмотрения были исключены варианты компоновочных решений 6д/4ш и 8д/3ш, поскольку длина короба (более 1200 мм) в этих вариантах не позволяет поместить ее под грузовой плат-

формой и обеспечить необходимую защиту от внешних механических воздействий.

В табл. 6 приведены весогабаритные параметры рассматриваемых батарей в одном коробе при различных компоновках. При этом приняты те же условия, что при сравнительном анализе двухсекционного вари-

анта. Далее в табл. 7 приведены вариативные весовые и энергетические характеристики элементов в коробе применительно к разным типам аккумуляторных батарей.

Результаты сравнительного анализа компоновочных решений (рис. 2) с различными типами аккумуляторов показали следующее:

- вариант компоновки 4д/6ш для элементов 7PzS385 и 6PzS420 не может быть принят, т. к. длина и ширина короба превышают расстояние между шинами передней и задней оси;

- вариант компоновки 3д/8ш для всех выбранных элементов и вариант компоновки 4д/6ш для элементов 5PzS350 и 5PzS400 могут быть приняты к дальнейшей проработке;

- удельные характеристики батарей всех вариантов компоновки на элементах 7PzS385 значительно ниже соответствующих характеристик батарей на других типах элементов, что снижает характеристики УМТЭТ, но они могут быть применены в случае получения других выгод, например для обеспечения удобства обслуживания.

Таблица 6. Весогабаритные параметры рассматриваемых коробов при различных компоновках

Тип банки	Высота коробки, мм	4д/6ш				3д/8ш			
		Ширина короба, мм	Длина короба, мм	Вес короба, кг	Объем короба, дм ³	Ширина короба, мм	Длина короба, мм	Вес короба, кг	Объем короба, дм ³
7PzS385	402,00	817,00	856,00	47,84	281,14	616,00	1137,00	49,37	281,56
6PzS420	467,00	817,00	748,00	48,50	285,39	616,00	993,00	49,48	285,66
5PzS350	467,00	817,00	640,00	44,08	244,18	616,00	849,00	44,26	244,23
5PzS400	512,00	817,00	640,00	47,15	267,71	616,00	849,00	47,34	267,77

Таблица 7. Полный вес короба с элементами и удельные характеристики

Тип банки	Вес элементов, кг	Полный вес короба, кг		Удельная энергия			
		4д/6ш	3д/8ш	Вт · ч/ дм ³		Вт · ч/кг	
				4д/6ш	3д/8ш	4д/6ш	3д/8ш
7PzS385	684	731,84	733,37	65,73	65,63	25,25	25,20
6PzS420	824	672,50	673,48	70,64	70,57	29,98	29,93
5PzS350	532,8	676,88	577,06	68,80	68,79	29,12	29,11
5PzS400	609,6	656,75	656,94	71,72	71,70	29,23	29,23

Численные геометрические параметры коробов аккумуляторных батарей двух вариантов исполнения с использованием ак-

кумуляторных батарей различных типов приведены ниже в таблице (табл. 8).

Таблица 8. Варианты комплектации элементов батарей для проведения компоновочных работ

Тип банки	Высота ящика, мм	Батарея расположена в 2 секциях			Батарея расположена в 1 секции	
		4д/3ш	3д/4ш	2д/6ш	4д/6ш	3д/8ш
7PzS385	402,00	–	–	–	–	616 × 1137
6PzS420	467,00	–	–	–	–	616 × 993
5PzS350	467,00	–	434 × 616	415 × 640	640 × 817	616 × 849
5PzS400	512,00	–	434 × 616	415 × 640	640 × 817	616 × 849

В заключение необходимо отметить, что формирование на этапе предпроектной проработки многоуровневой структуры критериальной базы проектирования в отношении аккумуляторного короба позволило конкретизировать не только искомые геометрические и весовые характеристики изделия, но и определить тип аккумуляторных батарей, которые могут быть в нем размещены.

Статья профинансирована из средств субсидии из федерального бюджета с целью реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства «Разработка и создание высокотехнологичного производства унифицированной машины технологического электротранспорта», реализуемого в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских образовательных организаций высшего образования, государственных научных учреждений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства», в рамках подпрограммы «Институциональное развитие научно-исследовательского сектора» государственной программы Российской Федерации «Развитие науки и технологий на 2013–2020 годы», АО «Сарапульский электрогенераторный завод» и ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова», договор от 1 декабря 2015 г. № 02.G25.31.0132.

Библиографические ссылки

1. Подход к структурной оптимизации конструкции гибридного автомобиля / Н. М. Филькин, Т. Ю. Голуб, В. К. Мазец // Интеллектуальные системы в производстве. – 2007. – № 2 (22) – С. 74–75.

2. Алгоритм создания легкового автомобиля, оборудованного гибридной энергосиловой установкой / В. К. Мазец, Н. М. Филькин // Интеллектуальные системы в производстве. – 2014. – № 1 (23). – С. 64–66.

3. Анализ структурных схем конструкций комбинированных энергосиловых установок легковых автомобилей / В. К. Мазец, Н. М. Филькин, Р. С. Музафаров // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 6. – С. 125.

4. Системные подходы в конструировании и дизайн-проектировании унифицированной машины технологического электротранспорта (УМТЭТ) / А. И. Коршунов, Р. С. Музафаров, М. А. Плетьнев, Д. В. Скуба, Н. М. Филькин // Интеллектуальные системы в производстве. – 2016. – № 2. – С. 40–47.

5. Математическое моделирование кузова автомобиля как полиматериальной многокомпонентной структуры / А. В. Вахрушев, С. Н. Зыков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2010. – № 2-1 – С. 208–216.

6. Петленко Б. И. Математическое моделирование и комплексная оценка эффективности электроавтомобиля с комбинированной энергоустановкой // Электрическое и электронное оборудование автомобилей, тракторов и их роботизированное производство. – М. : МАМИ, 1992.

7. Козловский А. Б., Яковлев А. И. Метод теоретической оценки технико-эксплуатационных параметров электроавтомобилей // Автомобильная промышленность. – 1979. – № 1.

8. Оценка технико-эксплуатационных параметров электроавтомобиля / Д. И. Гурьянов, С. В. Докучаев, Б. Д. Шахов, А. Б. Петленко // Электротехнические системы автотранспортных средств и их роботизированных производств : сборник научных трудов – М. : МАМИ, 1997.

9. Комплексная оценка привода электроавтомобилей / Б. И. Петленко, В. Н. Логачев, В. Г. Усков и др. // Повышение эффективности систем электрооборудования подвижного состава автомобильного транспорта : сборник научных трудов. – М. : МАДИ, 1986. – С. 88–95.

10. Эйдинов А. А., Дижур М. М. Расчетные исследования возможностей тяговых источников тока для электромобилей // Труды НАМИ. 1996.

11. Лисаченко К. Я., Париков Ю. В., Федоренко Е. Н. Системный подход при исследовании энергоустановок городских электромобилей – М. : Издательство МГОУ, 2000.

N. M. Filkin, DSc in Engineering, Prof., Kalashnikov ISTU

S. N. Zykov, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU

A. I. Korshunov, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU, Institute of Mechanics of Ural Branch of RAS

Development of Multilevel Criterion Base During Design of Battery Box for Multipurpose Process Electric Transport Vehicles

In the paper some questions of the pre-project analysis are considered with regard to electric wheeled vehicles made in the preparation of the project of a unified machine for technological electric transport of the new generation. In particular, the authors examine in detail the question of the analytical structuring of the initial design constraints (criteria) and their effect on the design in the context of an obligatory assembly element of modern wheeled electrical engineering, such as a protective box positioning the batteries. The multilevel structure of the criterial design base with respect to the battery box in the paper allows us to specify not only the geometrical and weight characteristics of the product at the pre-design stage, but also to determine the type of storage batteries placed in it. Preliminary studies have made it possible to significantly reduce the time and scope of work during the implementation of the relevant phase of the project. The research was carried out in the preparation of the project "Development and creation of high-tech production of a unified machine for technological electric transport" with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation.

Keywords: criterion analysis, multilevel structure, multipurpose process electric transport vehicle, battery box.

Получено: 25.07.2017