

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 8, №3 (2016) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol8-3>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/20TVN316.pdf>

Статья опубликована 30.05.2016.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Квашнина Г.В., Чащин Е.А., Борзов С.Р., Ефремов В.Г. Выбор аккумуляторной батареи для резервирования электропитания привода лифта по одномодульной схеме // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №3 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/20TVN316.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 621.3; 621.8

Квашнина Галина Владимировна

ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет», Россия, Липецк
Ассистент кафедры «Электрооборудования»

E-mail: g.v.kvashnina@ya.ru

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=667627

Чащин Евгений Анатольевич

ФГБОУ ВПО «Ковровская государственная технологическая академия им. В.А. Дегтярева», Россия, Ковров¹
Заведующий кафедрой «Электротехники»

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: kanircha@list.ru

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=42261

Борзов Сергей Рудольфович

ООО «Энергостройэксперт», Россия, Владимир²

Инженер

E-mail: srborzov@mail.ru

Ефремов Вячеслав Геннадьевич

ООО «Энергостройэксперт», Россия, Владимир

Инженер

E-mail: vgefremovv@yandex.ru

Выбор аккумуляторной батареи для резервирования электропитания привода лифта по одномодульной схеме

Аннотация. Использование аккумуляторных батарей в качестве резервного источника питания электропривода лифта дает возможность обеспечить питание лифта в случае возникновения аварийной ситуации в основной системе электроснабжения. При проведении анализа эффективности подобных мероприятий учитывается невозможность аккумуляторной батареи восстанавливать номинальную емкость мгновенно. Показано, что емкость аккумуляторной батареи целесообразно выбирать из условия, что бы максимальный ток не превышал значений тока разряда 2С. Апробация методики проводится путем моделирования резервирования лифта грузоподъемностью 630 кг с электроприводом мощностью 4,5 кВт с учетом времени восстановления емкости аккумуляторных батарей, используемых для резервирования электропитания. Для рассмотренного примера показано, что аккумуляторная

¹ 601910, Владимирская обл., г. Ковров, ул. Маяковского, 19

² Россия, г. Владимир, ул. Студенческая, 5-А, 506

батарея из четырех парциальных аккумуляторов емкостью 55 А·час каждый, при заявленных параметрах лифтового электрооборудования не способна поддерживать его функционирование в течение длительного интервала времени, составляющего согласно ГОСТ Р 51617-2000 до 24 часов, и резервирование электропитания является целесообразным для обеспечения возможности доводки кабины лифта до ближайшего этажа с целью высадки пассажиров. Также на основании анализа времени наработки на отказ, выполненного с учетом отказа хотя бы одного из аккумуляторов, набранных в батарею и соединенных параллельно, показано, что избыточное увеличение емкости аккумуляторных батарей путем их параллельного соединения снижает время совместной надежной работы менее 1,4 мес. А уменьшение суммарной емкости совместно работающих аккумуляторов сопровождается увеличением пускового тока, что резко снижает количество циклов заряда-разряда аккумулятора.

Ключевые слова: лифт; надежность; электроснабжение; резервирование; резервный источник; безотказность; аккумуляторная батарея; параллельное соединение; многократное резервирование; аварийный режим

Известно, что обеспечение безотказности функционирования энергетических установок и комплексов электрооборудования является первостепенной задачей как при создании высокотехнологичного производства, так и при обеспечении жизнедеятельности населения [1]. Отказ оборудования на промышленном предприятии способен повлечь выход из строя элементов промышленной цепи, и, как следствие, высокий экономический ущерб [2]. Однако и гражданские отрасли электроэнергетики требуют внимания в плане обеспечения надежности и бесперебойности питания потребителей, например питание лифтового оборудования высотных домов. Лифты являются потребителями электроэнергии I категории надежности, и в соответствии с требованиями ПУЭ перерыв их электроснабжения от одного из двух предусмотренных источников питания может быть допущен лишь на время автоматического восстановления питания [3]. Однако практика показывает, что данное требование зачастую нарушается, в связи с чем возникают ситуации, когда лифт не работает, в том числе нередки ситуации, когда внутри лифта в момент его отказа находятся пассажиры.

Результаты исследований, выполненных нами ранее [4-6] показали возможность эффективного резервирования электропитания электропривода лифта по одномодульной схеме от резервного источника, в качестве которого принимается аккумуляторная батарея (АБ), с двойным преобразованием напряжения. В этом случае параллельное подключение АБ обеспечивает возможность доводки кабины лифта до ближайшего этажа с целью высадки пассажиров, что до 10% увеличивает вероятности обеспечения требуемого уровня безотказности функционирования электропитания электропривода лифта [6].

В то же время, о вопросе оценки времени резервирования, которое возможно обеспечить путем подключения к электроприводу АБ, необходимо также учитывать, что важное значение имеет время восстановления системы. АБ не восстанавливает заряд мгновенно. Время его восстановления будет зависеть от полноты разряда аккумулятора. С одной стороны, чем больше емкость АБ, тем меньше глубина разряда, следовательно меньше занимает время его восстановления до номинальных параметров. С другой стороны, чем больше емкость аккумулятора, тем больше время его заряда в случае глубокого разряда, и, следовательно, больше время восстановления. Это делает актуальным решение задачи определения рациональной для использования ёмкости АБ. Один из путей решения этой задачи заключается в оценке надежности резервирования электропитания с учетом интервала восстановления АБ до номинальной емкости.

Согласно ГОСТ 28133-89 «Батареи аккумуляторные свинцовые тяговые. Технические требования и методы испытаний» аккумулятор должен выдерживать разряд током короткого режима до конечного напряжения разряда 1,5 В, что для используемых АБ, содержащих 6 аккумуляторов, составляет 9,0 В. Однако, согласно действующего с 2013 г. стандарта качества электроэнергии ГОСТ Р 54149-2010 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» введенного взамен ГОСТ 13109-97, в электрических сетях низкого напряжения при нормальных рабочих условиях одиночные быстрые изменения напряжения не должны превышать 5% от номинального напряжения [7]. Вызваны эти требования тем, что при снижении напряжения ниже указанного уровня, крутящий момент двигателя привода резко падает и двигатель может остановиться, что равносильно работе в аварийном режиме короткого замыкания, и может привести к выходу двигателя из строя. Поэтому, считая, что инвертор, преобразующий постоянное напряжение от АБ в переменное, изменяет напряжение пропорционально напряжению на выводах АБ, и принимая напряжение АБ 12 В, получаем минимальное напряжение, до которого может разрядится АБ, равным 11,4 В. Этот уровень ограничивает возможное время работы АБ в качестве источника питания. Таким образом, при определении времени работы АБ в качестве резервного источника питания силового электропривода можно принять, что время работы АБ в качестве источника питания ограничено временем разряда до конечного значения напряжения разряда на АБ 11,4 В. Типовая зависимость конечного напряжения от времени разряда АБ для различных значений тока разряда приведена на рис. 1.

Примем за время работы электропривода лифта от резервного источника питания на базе АБ интервал продолжительностью до 1 мин. Видно, что в заданный промежуток времени конечное напряжение разряда 11,4 В достигается при разряда АБ во всем заданном диапазоне токов от 0.05С до 3С, где С – номинальная емкость АБ, в А·ч.

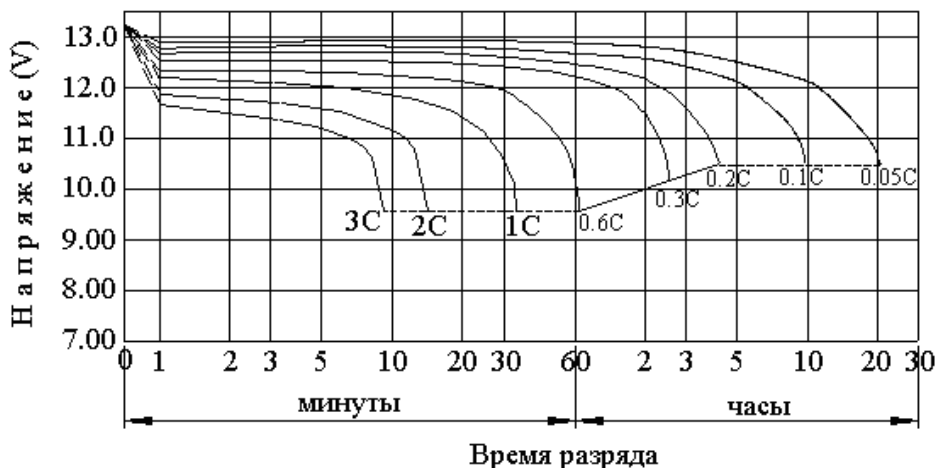


Рисунок 1. Разрядные характеристики аккумуляторных батарей³

Известно [8], что емкость батарей АБ зависит от величины напряжения разряда на аккумулятор, и при разряде до напряжения 11,4 В емкость свинцово-кислых тяговых АБ, применяемых в качестве источников питания электродвигателей, для различных типов производителей не превышает 10-15%, что характерно для режима глубокого разряда АБ. Учитывая, что ёмкость АБ можно восстановить до 80% от номинальной емкости после 2-х или 3-х глубоких разрядов, для решения задачи обеспечения многократного резервирования

³ http://www.solarhome.ru/basics/batteries/ab_params.htm.

электропитания электропривода лифта, представляется целесообразным ограничить снижение емкости АБ не более 60% от зарядной емкости АБ, что обеспечивает наработку батареи не менее 500 циклов (рис. 2).

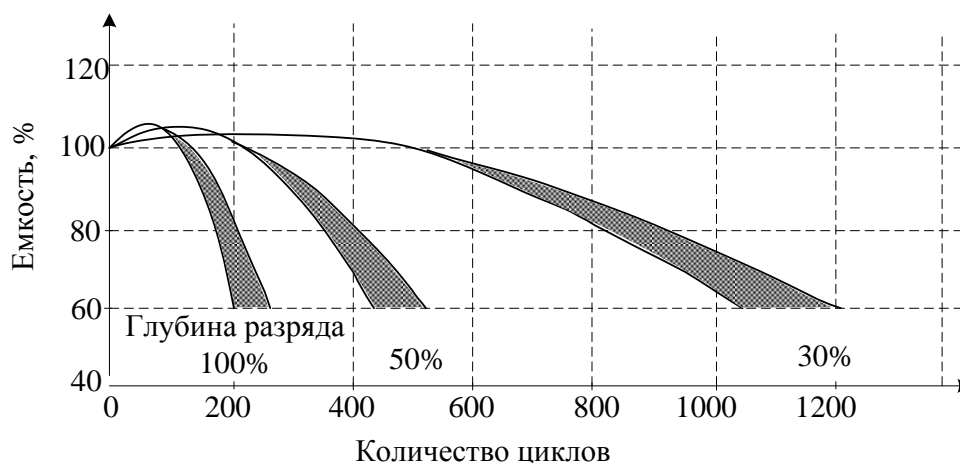


Рисунок 2. Зависимость количества циклов зарядки разрядки от глубины разряда⁴

Таким образом, для обеспечения наработки АБ не менее 500 циклов, в расчетах принимаем допустимым снижение равновесного напряжения разомкнутой цепи на клеммах АБ до 11,9 В, что соответствует току не более 2С (см. рис. 2).

Для определения времени восстановления системы резервирования электропитания, оценим время, затрачиваемое на заряд АБ, в зависимости от глубины разряда. Опытный образец, в качестве которого использован аккумулятор VAIPER, представляющий из себя стартерную батарею 6СТ-55 номинальной емкостью 55 А·ч, пусковой ток 420 А, который разряжался постоянным током 0,1С на омическую нагрузку. Снижение емкости батареи контролировалась измерением равновесного напряжения разомкнутой цепи на клеммах АБ при температуре 20°С: напряжение 12,7 В соответствует значениям 100% номинальной емкости; 12,55 - 75%; 12,20 В - 50%; 11,95 В - 25% номинальной емкости соответственно. Используемые при измерениях приборы и аппаратура для регистрации температуры, напряжения и разрядного тока соответствуют требованиям ГОСТ 28133-89. А именно измерение производилось мультиметрами (производитель MASTECH) типа MY 64, внесенными в Государственный реестр средств измерений, рег. № 31772-06 с точностью измерения: постоянного напряжения $\pm 0,5\%$, постоянного тока $\pm 2\%$; температуры $\pm 1,0\%$. Заряд АБ осуществлялся на постоянном напряжении 14 В с пульсацией зарядного тока не превышающими 2,5% от номинального напряжения, зарядным устройством типа ЗУ-120М-3, предназначенным для зарядки аккумуляторных батарей емкостью от 50 до 120 А·ч. Результаты эксперимента приведены на рис. 3.

⁴ http://amarok2012.blogspot.ru/2012/01/blog-post_29.html

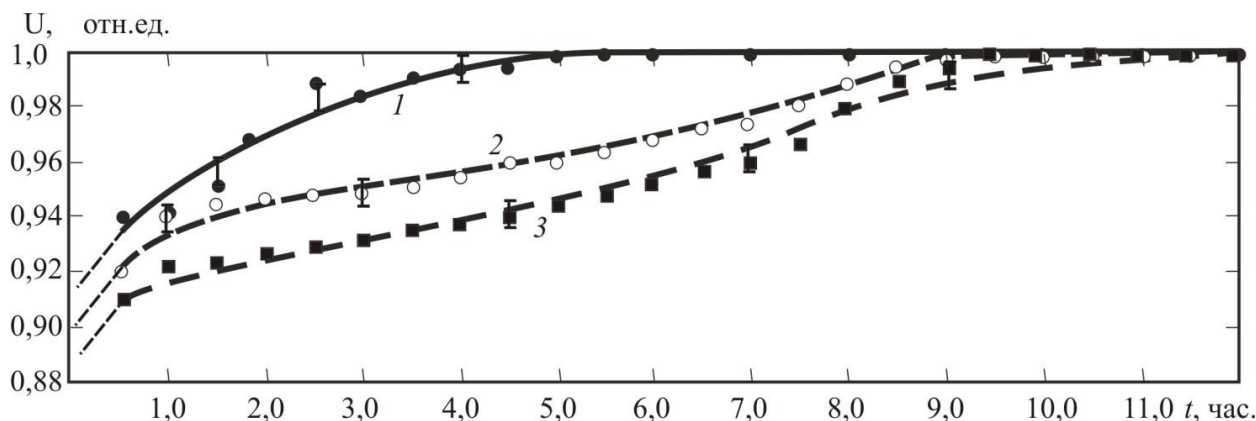


Рисунок 3. Кривые заряда аккумулятора при различной степени разряда: 1 – АБ разряжен до 75% от номинальной емкости; 2 – АБ разряжен до 70% от номинальной емкости; 3 – АБ разряжен до 60% от номинальной емкости

Видно, что с увеличением глубины разряда с 75 до 60%, время восстановления, за которое принимаем продолжительность цикла заряда, возрастает с 5,5 до 12 часов. Принимаем, что функции распределения времени восстановления изменяются по усеченно-нормальному закону распределения, получили график рис. 4, представленный в относительных единицах. При этом вероятность отказа определяется из выражения [9].

$$\bar{p} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{\theta} e^{-\frac{(\theta-\gamma)^2}{2\sigma^2}} d\theta,$$

где: σ – среднее квадратическое отклонение, $\sigma=0,1$; γ – математическое ожидание времени восстановления, $\gamma=0,3$; θ – время восстановления.

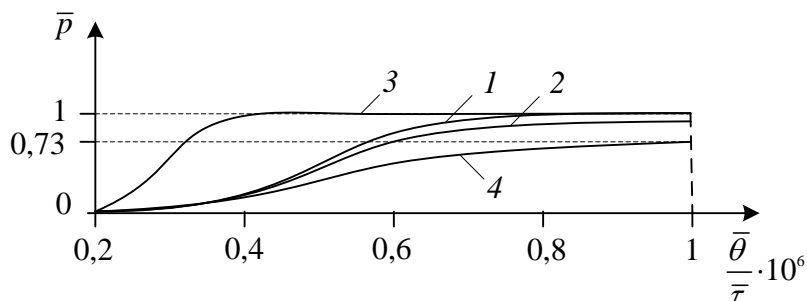


Рисунок 4. Изменение вероятности отказа электроснабжения при усеченно-нормальном распределении времени восстановления ($\sigma = 0,1$; $\gamma = 0,3$): 1 – система без использования резерва; 2 – с использованием АБ; 3 – с использованием суперконденсатора (СК); 4 – совместное использование СК и АБ

Учитывая полученные опытным путем значения времени восстановления АБ для разной степени разряженности, построили зависимость вероятности работы в относительных единицах, выраженных через наработку на отказ и время восстановления АБ (рис. 5).

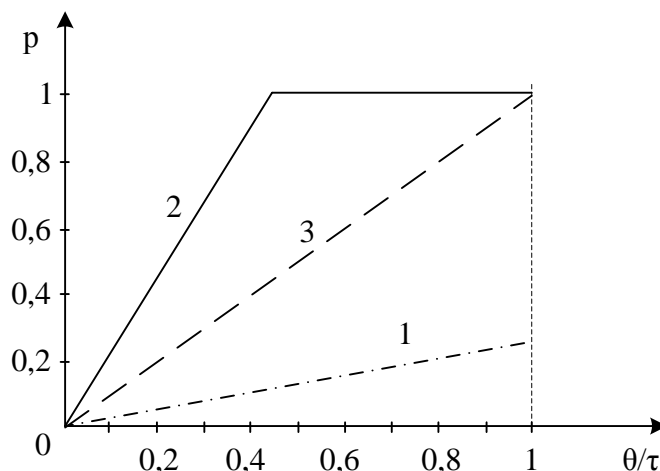


Рисунок 5. Зависимости вероятности работы АБ для усечено-нормального закона распределения величин: 1 – при $\theta=5$ ч., $\tau=0,5$ ч. (75% заряда); 2 – при $\theta=12$ ч., $\tau=1,5$ ч. (70% заряда); 3 – при $\theta=9,5$ ч., $\tau=1$ ч. (63% заряда)

Проведенный анализ показал, что максимальный ток, допустимый для разряда АБ, составляет 2С. Т.е. для привода мощностью 4500 Вт, ток, даже без учета потерь в инверторе составит $4500 \text{ Вт}/12 \text{ В} = 375 \text{ А}$. Видно, что максимальный ток, допустимый для разряда АБ составляет $2С = 375 \text{ А}$, следовательно, АБ должна иметь емкость $C = 187,5 \text{ А}\cdot\text{ч}$. В проведенном расчете принималось, что емкость АБ составит $55 \text{ А}\cdot\text{ч}$, следовательно нужно использовать четыре АБ соединенные параллельно. Оценим, на сколько изменится надежность работы батареи аккумуляторов, состоящей из нескольких параллельно соединенных взаимосвязанных парциальных АБ. Охарактеризуем надежность батареи АБ количеством отказов хотя бы одного АБ [10]:

$$\lambda = n_{AB} \cdot \lambda_{AB} + n_c \cdot \lambda_c$$

где: n_{AB} – число АБ; λ_{AB} – интенсивность отказов АБ; n_c – число соединений; λ_c – интенсивность отказов соединений.

В соответствии с известными рекомендациями [10] принимаем, что $\lambda_{AB} = \lambda_c$, а $n_c = 2,25n_{AB}$. Тогда

$$\lambda = 3,25 \cdot n_{AB} \cdot \lambda_{AB}$$

Нормативные сроки эксплуатации АКБ определены в соответствии с ГОСТ 27.002 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения», утвержденным постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 15.11.1989 № 3375, ГОСТ 27.003 «Надежность в технике. Состав и общие правила. Задания требований по надежности», утвержденным постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 29.12.1990 № 3552. Принимаем, в соответствии с рекомендациями ГОСТа за время наработки на отказ парциального АБ $T_{AB}=18$ мес. Полагая, что $\lambda_{AB}=1/T_{AB}$ и соответственно $\lambda=1/T$ получаем, что время наработки на отказ батареи аккумуляторов, состоящей из нескольких АБ составит:

$$T = T_{AB}/(3,25 \cdot n_{AB})$$

Видно, что с увеличением количества параллельно соединяемых АБ время наработки на отказ, лимитируемое количеством отказов хотя бы одного АБ, линейно снижается, и для 4 элементов уменьшается с 18 мес. до 1,4 мес.

Заключение

Установка АБ в качестве резервного источника питания системы электроснабжения лифтового электрооборудования позволяет обеспечить работоспособность лифта в аварийном режиме. Показано, что емкость АБ целесообразно выбирать из условия, что максимальный ток, допустимый для разряда АБ соответствует току не более $2C$. На примере резервирования электропитания лифта грузоподъемностью 630 кг с электроприводом мощностью 4,5 кВт показано, что оно может осуществляться от батареи из четырех свинцово-кислых АБ емкостью 55 А·час. При уменьшении количества параллельно соединенных АБ вследствие возрастания тока разряда парциального АБ, резко снижается количество циклов заряд-разряд АБ, что делает невозможным многократное применение АБ для резервирования электропитания по однолинейной схеме. А увеличением количества парциальных АБ соединенных параллельно с целью увеличения суммарной емкости батареи конденсаторов сопровождается снижением время наработки на отказ. Лимитируемое количеством отказов хотя бы одного АБ, время наработки на отказ батареи аккумуляторов линейно снижается, и для 4 элементов уменьшается до 1,4 мес., что делает нецелесообразным дальнейшее увеличение емкости батареи АБ увеличением количества параллельно подключаемых парциальных АБ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чашин Е.А. Распределительные устройства и схемы соединений: учебное пособие / Е.А. Чашин, А.А. Митрофанов, Г.В. Квашнина – Ковров: ФГБОУ ВПО «КГТА и В.А. Дегтярева», 2014. - 164 с.
2. Бадалян Н.П., Чашин Е.А. Построение математической модели допустимого установившегося режима электроэнергетической системы // Вестник ИГЭУ №3, 2012. - с. 43-47.
3. Ушаков П.Н., Бродский М.Г. Краны и лифты промышленных предприятий. М. Металлургия, 1974 г. - 352 с.
4. Квашнина Г.В., Чашин Е.А., Борзов С.Р., Ефремов В.Г. Резервирование электропитания лифтового оборудования // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №5 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/216TVN515.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/216TVN515.
5. Квашнина Г.В., Чашин Е.А., Борзов С.Р., Ефремов В.Г. Компенсация реактивной мощности электропривода лифтового оборудования // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №6 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/76TVN615.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/76TVN615.
6. Квашнина Г.В., Чашин Е.А., Борзов С.Р., Ефремов В.Г. Резервирование электропитания и компенсация реактивной мощности силового привода лифтового оборудования // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №1 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/41TVN116.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/41TVN116.
7. Бадалян Н.П., Молокин Ю.В., Чашин Е.А. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на машиностроительном предприятии // Ковров: ФГБОУ ВПО «КГТА им. В.А. Дегтярева», 2014 - 289 с.
8. Потапов С.И., Чашин Е.А. Электрооборудование автомобилей и тракторов: учебное пособие. Ковров: ФГБОУ ВПО «КГТА им. В.А. Дегтярева», 2014. 88 с.
9. Матвеевский В.Р. Надежность технических систем: учебное пособие. М.: Московский государственный институт электроники и математики, 2002. 113 с.
10. Герасимов В.Г. Основы промышленной электроники / В.Г. Герасимов, О.М. Князьков, А.Е. Краснопольский, В.В. Сухоруков. Под ред. В.Г. Герасимова. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа. 1986. 336 с.

Kvashnina Galina Vladimirovna

Lipetsk State Technical University, Russia, Lipetsk
E-mail: g.v.kvashnina@ya.ru

Chashchin Evgeniy Anatol'evich

Kovrov State Technical Academy, Russia, Kovrov
E-mail: kanircha@list.ru

Borzov Sergey Rudol'fovich

«Energostroyekspert» Co., Russia, Vladimir
E-mail: srborzov@mail.ru

Efremov Vyacheslav Gennad'evich

«Energostroyekspert» Co., Russia, Vladimir
E-mail: vgefremovv@yandex.ru

Selecting the storage battery for elevator drive redundancy on single-module power supply circuit

Abstract. Using storage batteries as a back-up source of lift's electric drive makes it possible to provide the elevator power in the event of an emergency in the main power system. When analyzing the effectiveness of these measures is taken into account the possibility of the battery to restore the nominal capacity instantly. It was shown that the capacity of the battery should be choose from a condition that the maximum current does not exceed 2C discharge current. Testing is conducted by simulating the elevator redundant with load-carrying capacity of 630 kg and electric drive of 4.5 kW. The recovery capacity batteries used for back-up power is taken into account. It is shown that the battery of four partial battery capacity 55 amp-hours are not able to maintain its performance for a long period of time at the stated parameters of the elevator apparatus. The time interval up to 24 hours in accordance with GOST R 51617-2000. Back-up power is appropriate to provide the possibility of finishing the elevator to the nearest floor for the purpose of disembarking passengers. It is also shown that excessive increase in capacity of batteries by their parallel connection reduces the reliable cooperation at least 1.4 months. This conclusion is based on the analysis of time to failure performed taking into account the failure of at least one of the batteries connected in parallel. Reduction of the total capacity is accompanied by an increase in the starting current. The number of battery charge-discharge cycles is reduced dramatically.

Keywords: elevator; reliability; electric power supply; redundancy; back-up power source; reliability; storage battery; parallel connection; multiple redundancy; emergency mode

REFERENCES

1. Chashchin E.A. Raspredeletel'nye ustroystva i skhemy soedineniy: uchebnoe posobie / E.A. Chashchin, A.A. Mitrofanov, G.V. Kvashnina – Kovrov: FGBOU VPO «KGTA i V.A. Degtyareva», 2014. - 164 s.
2. Badalyan N.P., Chashchin E.A. Postroenie matematicheskoy modeli dopustimogo ustanovivshegosya rezhima elektroenergeticheskoy sistemy // Vestnik IGEU №3, 2012. - s. 43-47.
3. Ushakov P.N., Brodskiy M.G. Krany i lifty promyshlennykh predpriyatiy. M. Metallurgiya, 1974 g. - 352 s.
4. Kvashnina G.V., Chashchin E.A., Borzov S.R., Efremov V.G. Rezervirovanie elektropitaniya liftovogo oborudovaniya // Internet-zhurnal «NAUKOVEDENIE» Tom 7, №5 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/216TVN515.pdf> (dostup svobodnyy). Zagl. s ekrana. Yaz. rus., angl. DOI: 10.15862/216TVN515.
5. Kvashnina G.V., Chashchin E.A., Borzov S.R., Efremov V.G. Kompensatsiya reaktivnoy moshchnosti elektroprivoda liftovogo oborudovaniya // Internet-zhurnal «NAUKOVEDENIE» Tom 7, №6 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/76TVN615.pdf> (dostup svobodnyy). Zagl. s ekrana. Yaz. rus., angl. DOI: 10.15862/76TVN615.
6. Kvashnina G.V., Chashchin E.A., Borzov S.R., Efremov V.G. Rezervirovanie elektropitaniya i kompensatsiya reaktivnoy moshchnosti silovogo privoda liftovogo oborudovaniya // Internet-zhurnal «NAUKOVEDENIE» Tom 8, №1 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/41TVN116.pdf> (dostup svobodnyy). Zagl. s ekrana. Yaz. rus., angl. DOI: 10.15862/41TVN116.
7. Badalyan N.P., Molokin Yu.V., Chashchin E.A. Energoberezhenie i povyshenie energeticheskoy effektivnosti na mashinostroitel'nom predpriyatii // Kovrov: FGBOU VPO «KGTA im. V.A. Degtyareva», 2014 - 289 s.
8. Potapov S.I., Chashchin E.A. Elektrooborudovanie avtomobiley i traktorov: uchebnoe posobie. Kovrov: FGBOU VPO «KGTA im. V.A. Degtyareva», 2014. 88 s.
9. Matveevskiy V.R. Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem: uchebnoe posobie. M.: Moskovskiy gosudarstvennyy institut elektroniki i matematiki, 2002. 113 s.
10. Gerasimov V.G. Osnovy promyshlennoy elektroniki / V.G. Gerasimov, O.M. Knyaz'kov, A.E. Krasnopol'skiy, V.V. Sukhorukov. Pod red. V.G. Gerasimova. 3-e izd., pererab. i dop. M.: Vysshaya shkola. 1986. 336 s.