

УДК 621.3

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СТАРТЕРНЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ В СИСТЕМАХ ПУСКА ДВИГАТЕЛЕЙ ТЕПЛОВЗОВ

Макаров С.В., Щуров Н.И., Бахвалова А.В.

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»,
Новосибирск, e-mail: s.makarov@corp.nstu.ru

Проведен анализ используемых в настоящее время на железнодорожном транспорте аккумуляторных батарей. Установлено, что электростартерные системы получили наибольшее распространение для пуска дизельных двигателей тепловозов. Определено, что запуск дизельного двигателя протекает по схеме прямого пуска. В связи с этим возникают различные отрицательные явления, связанные с длительным электромагнитным переходным процессом. Вследствие чего сокращается срок службы бортовых стартерных аккумуляторных батарей. В статье рассматриваются вопросы, связанные с расчетом минимальной пусковой частоты коленчатого вала, необходимого для пуска дизельного двигателя. Представлены кривые тока, напряжения и мощности, снятые при пуске дизельного двигателя тепловоза. Проведен анализ существующих способов снижения пускового тока в начальный период пуска дизельного двигателя.

Ключевые слова: тепловоз, аккумуляторная батарея, электростартерная система

RESEARCH MODES OF OPERATION STARTER BATTERIES IN SYSTEMS STARTING DIESEL ENGINES

Makarov S.V., Schurov N.I., Bakhvalova A.V.

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, e-mail: s.makarov@corp.nstu.ru

In this article an analysis currently used in railway transport batteries. It was found that the engine electric system most widely for starting diesel locomotives. It was determined that the launch of the diesel engine flows through the circuit direct starter. In this regard, there are various adverse effects associated with long electromagnetic transients. The result is that shortens the life of starter batteries onboard. This article discusses issues related to the calculation of the minimum starting frequency of the crankshaft required to start the diesel engine. Shows the curves of current, voltage and power, taken at the start of the diesel engine locomotive. The analysis of existing methods to reduce the inrush current during the initial start-up period of the diesel engine.

Keywords: diesel, battery, electric starting motor

На железнодорожном транспорте в качестве основного и резервного источника энергии, а также для запуска дизельного двигателя используются аккумуляторы трех классов: быстрого, среднего и длительного разряда. Аккумуляторы быстрого разряда применяются как стартерные, т.е. служат для запуска дизельных двигателей [8]. Аккумуляторы среднего класса широко используются в качестве основного источника энергии. Аккумуляторы длительного разряда применяются как резервный источник в агрегатах бесперебойного питания. Основными типами выпускаемых аккумуляторов для подвижного состава являются свинцово-кислотные и щелочные. По своему функциональному назначению аккумуляторные батареи подразделяются на тяговые (для питания тяговых двигателей) и стартерные (для питания устройств при запуске дизельных двигателей). В качестве стартерных эффективнее используются мощные кислотные аккумуляторы, в качестве тяговых – щелочные, особенно никель-кадмиевые аккумуляторы [2]. Преиму-

щество щелочных заключается в большом сроке службы по сравнению с кислотными. Широко применяемые щелочные аккумуляторы имеют неоспоримое преимущество перед кислотными аккумуляторами, однако содержат в своем составе сильно ядовитые вещества, каким является кадмий. При эксплуатации аккумуляторов образуется аэрозоль гидроксида кадмия, которая осажается на поверхности аккумуляторных батарей, аккумуляторных ящиков и загрязняет окружающую среду. Однако кислотные аккумуляторные батареи имеют преимущества, в числе которых массогабаритные и стоимостные показатели [4].

На ЖД транспорте для запуска дизельных двигателей наибольшее распространение получили электростартерные системы [3, 5, 7]. Среди преимуществ подобных систем перед прочими важно выделить высокое быстродействие, управляемость, небольшие массогабаритные показатели и время пускового процесса. Результирующий КПД электростартерных систем заметно выше чем пневматических

и газо-гидравлических. Однако аккумуляторные накопители лишены очень ценного свойства, присущего газо-гидравлическим и пневматическим накопителям – способность стабильно отдавать запасенную энергию при любых температурах окружающей среды.

Аккумуляторные батареи для тепловозов при запуске дизельного двигателя используются для питания тягового генератора (ТГ) или стартер генераторного устройства (СГ), а также для освещения тепловоза и низковольтного питания цепей управления при неработающем дизельном двигателе. На отечественных тепловозах различных серий существуют две системы электростартерного пуска. На тепловозах при передаче мощности на постоянно-переменном токе, запуск дизельного двигателя осуществляется от отдельного СГ. В этом случае СГ – электрическая машина постоянного тока, работающая в режиме двигателя с последовательным возбуждением. После запуска дизельного двигателя СГ функционирует в режиме генератора с независимым возбуждением, обеспечивая работу вспомогательного оборудования, а также заряд аккумуляторной батареи. В этом случае коленчатый вал дизельного двигателя сопрягается с валом СГ при помощи передаточного устройства. На тепловозах постоянного тока запуск дизельного двигателя осуществляется ТГ. Для этого ТГ (машина постоянного тока независимого возбуждения) снабжается дополнительной пусковой обмоткой, которая размещается на главных полюсах и содержит небольшое число витков (3–4), что вызвано необходимостью создания значительного динамического момента на валу при запуске. Коленчатый вал дизельного двигателя в этом случае сопрягается с валом генератора жестко, через глухую поперечно-свертную муфту.

Запуск дизельного двигателя протекает по схеме прямого включения, поэтому для тепловозных систем электростартерного пуска существуют различные отрицательные явления, связанные с длительным электромагнитным переходным процессом. Правилами эксплуатации тепловозов продиктовано, что надежный электростартерный пуск должен быть осуществлен не более чем за 3 попытки, при продолжительности каждой не более 15–20 с. Причем во всех случаях степень заряженности аккумуляторной батареи должна составлять не менее 75% от номинальной величины.

Срок службы бортовой стартерной аккумуляторной батареи лежит в широких пределах – от 1 года до 5 лет [9]. Температурный интервал эксплуатации аккумуляторов батарей: от –45 до +55°C окру-

жающей среды. В связи с этим батареи конструктивно выполнены негерметично. Таким образом, невозможно обеспечить стабильный температурный режим заряда батареи. При нормальной эксплуатации срок службы батареи ограничивается выпадением или размыванием активной массы и повреждением решеток пластин. Согласно проведенным исследованиям число запусков дизельного двигателя достигает 20–30 в сутки. Кроме того, при запуске аккумуляторная батарея сначала работает на гидравлические насосы, обеспечивая необходимое давление в системе. В холодное время года осуществляет также подогрев масла в гидросистеме. Время предпусковой подготовки занимает порядка 50–60 с. Более того, частые пуски дизельных двигателей в холодное время года сочетаются с низкотемпературными условиями эксплуатации всей системы пуска, что неизбежно приводит к глубокому разряду аккумуляторных батарей.

В холодное время года затруднения запуска возникают из-за сложностей создания минимальной пусковой частоты вращения коленчатого вала, ухудшения условий смесеобразования и воспламенения. Для получения минимальной пусковой частоты вращения пусковое устройство должно развивать суммарный момент [1]:

$$M_c = M_t + M_k + M_j,$$

где M_t – момент сопротивления, возникающий от сил трения кривошипно-шатунного механизма; M_k – момент, необходимый для преодоления сопротивления компрессии; M_j – момент сопротивления, затрачиваемый на преодоление кинетической энергии всех движущихся частей двигателя при его разгоне.

Характерно, что M_k и M_j практически не изменяются при изменении температуры. Момент M_t при изменении температуры наружного воздуха от –45 до +55°C может измениться в 3,5 раза. Общая же картина изменения основной составляющей прокручивания коленчатого вала M_c следующая: момент на преодоление сил трения кривошипно-шатунного механизма составляет 30–80%, момент на преодоления сопротивления компрессии M_k составляет 15–40%, момент сопротивления M_j на преодоление кинетической энергии всех движущихся частей двигателя при его разгоне составляет 1–3% затрат пускового устройства.

При понижении температуры наружного воздуха в аккумуляторной батарее происходит увеличение внутреннего сопротивления. Определяющим фактором увеличения внутреннего сопротивления является сопротивление электролита, сопротивление пластин и перемычек практически

не зависят от температуры. Одновременно с падением напряжения на зажимах батареи понижается и емкость батареи. В среднем при понижении температуры на 1°C емкость батареи снижается на 1–1,5%. При температурах электролита ниже -30°C аккумуляторная батарея практически полностью прекращает принимать заряд и фактически эксплуатируется разряженной до 50–60% номинальной емкости [8]. На рис. 1 показана зависимость напряжения на аккумуляторной батарее (полностью заряженной) в стартерном режиме от температуры электролита.

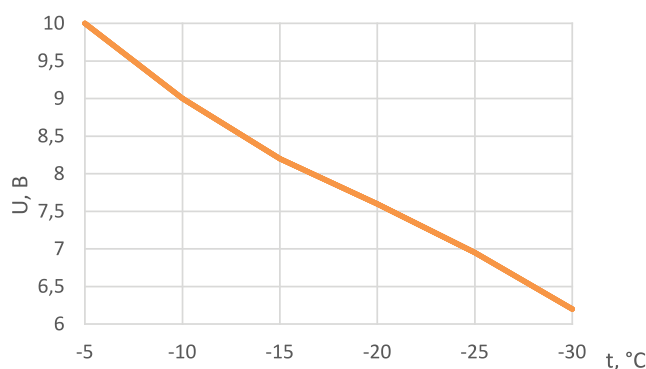


Рис. 1. Зависимость напряжения на аккумуляторной батарее в стартерном режиме от температуры электролита

Отличительный недостаток, присущий аккумуляторным батареям в электро-стартерных системах запуска, при эксплуатации на ЖД транспорте, заключается именно в непосредственном подключении батареи к стартерному устройству, что приводит к резкому нарастанию пускового тока. При пуске дизельного двигателя величина пускового тока может достигать 2000–2300 А, что кроме отрицательного воздействия на двигатель, приводит к значительному разряду аккумуляторной батареи при нескольких повторных пусках. После запуска дизельного двигателя аккумуляторная батарея заряжается постоянным напряжением. Для полного восстановления своей первоначальной емкости необходимо минимум два – три часа. В случае если батарея разряжена на 15%, то свою емкость она восстановит через три – четыре часа.

На рис. 2 представлены кривые тока, напряжения и мощности, снятые при запуске дизельного двигателя тепловоза ТЭМ-2.

Анализ кривых показывает, что запуск дизельного двигателя произошел через

5,5 с. Максимальный пусковой ток достигает значения 1550 А. В ходе прокрутки вала двигателя произошло падение напряжения на зажимах аккумуляторной батареи на 17 В в начальный момент времени. Для надежного запуска двигателя необходимо иметь батарею, способную выдавать мощность порядка 120–140 кВт в пике. Учитывая особенности работы тепловозов в зимнее время года при пониженных температурах, остановка дизельного двигателя с последующим гарантированным запуском представляется технически невозможной.

В настоящее время на ЖД решением проблемы больших пусковых токов, а как следствие, и проблем повторных гарантированных запусков, является параллельная работа двух секций батарей на одно пусковое устройство (пуск по схеме двух секций). Эффект от такого решения лимитированная тока разряда положен в основы систем пуска маневровых тепловозов. В этом случае общая электрическая емкость батареи возрастает в два раза, а ток разряда каждой секции сокращается. Однако проведенные исследования показали, что разгрузка автономного источника по максимальному значению динамического тока разряда в период пуска за счет секционирования экономически малоэффективна. В этом случае решается лишь одна-единственная проблема, связанная разгрузкой источника по максимальному значению динамического тока разряда в начальный момент времени. Однако в целом это приводит к уменьшению срока службы одной из двух аккумуляторных батарей, т.к. не удастся достичь равных значений напряжения на каждой из 2 батарей.

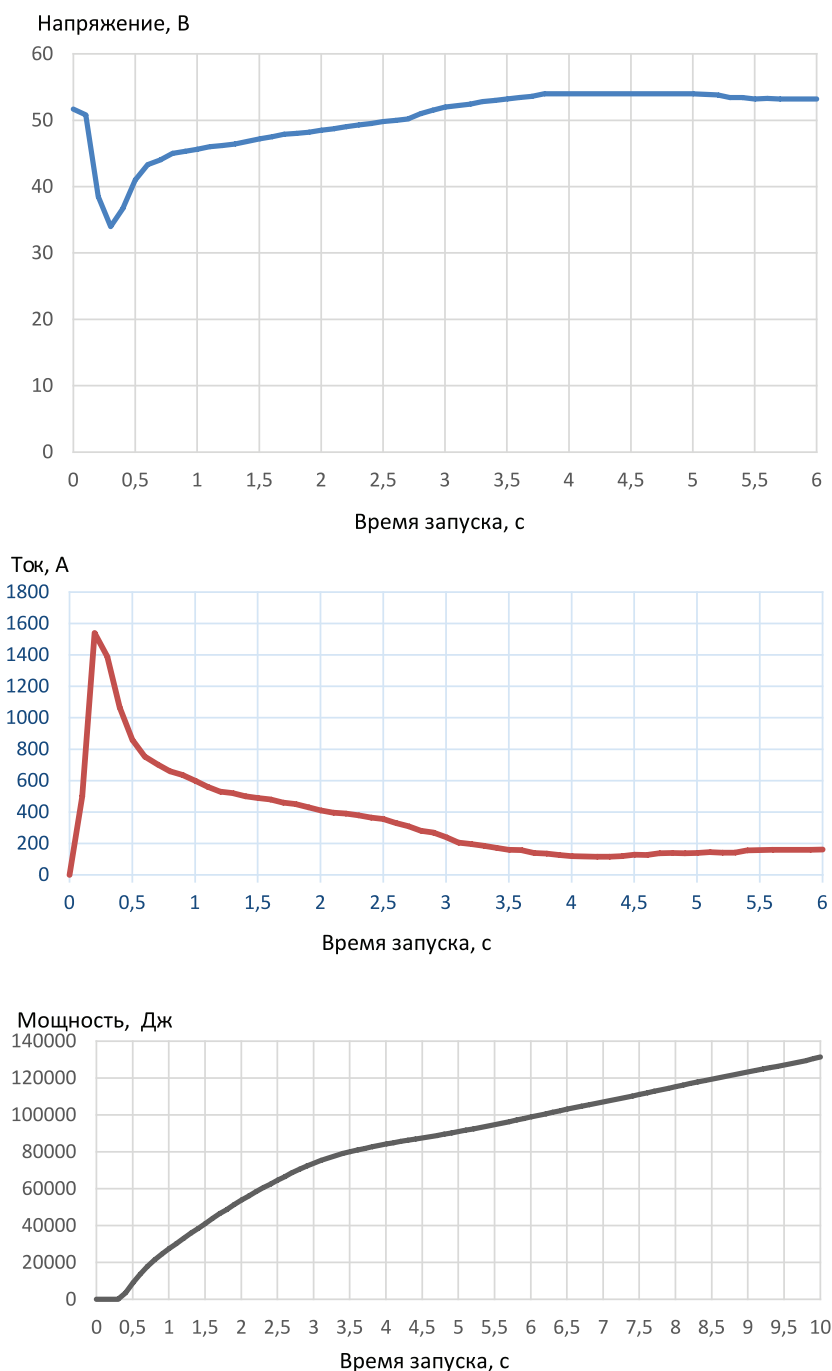


Рис. 2. Кривые тока, напряжения и мощности, снятые при запуске дизельного двигателя тепловоза ТЭМ-2

Список литературы

1. Анализ режимов работы силовых установок маневровых тепловозов / Н.И. Щуров, Е.Г. Гурова, С.В. Макаров, Д.М. Стрельникова // Современные проблемы науки и образования – 2014. – № 3. – С. 104.
2. Информация по применению щелочных никель-кадмиевых аккумуляторов и батарей производства ОАО «Завод АИТ» // РУСБАТ: Национальная ассоциация производителей источников тока «РУСБАТ» [Электронный ресурс] / Компания «РУСБАТ». – Электрон. дан. – [Сара-

тов]. – URL: http://www.rusbat.com/mem_ait.html (дата обращения: 10.07.2013).

3. Маневровые локомотивы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.myswitcher.ru/books/nazarov/manloc_01.html

4. Макаров С.В., Гурова Е.Г., Мятёж А.В., Яковлева К.Е., Бахвалова А.В., Барина Е.А., Стрельникова Д.М., Батрутдинов С.Ф., Дымов И.С. Модернизация системы пуска двигателя внутреннего сгорания маневрового тепловоза // В мире научных открытий. – 2013. – № 6.1 (42). – С. 272–288.

5. Никель-кадмиевые аккумуляторы [Электронный ресурс]: Аккумуляторы и батареи для маневровых и магистральных тепловозов, дизель поездов // ЗАИТ: Завод автономных источников тока / Завод АИТ. – [Саратов]. – URL: http://www.zait.ru/sfery_primeneniya/nikel_kadmijevyje_akkumuljatory_kh150p_kh220p_i_akkumuljatornyje_batarei_50kn150r_72kn150r_75kn150r_75krn150r_40kn220rk_iii_50kn220rk_72kn220r/ (дата обращения: 12.07.13).

6. Никитина Е.А. Тепловозные дизели типа Д49. – М.: Из-во: Транспорт, 1982.

7. Тепловоз ТЭМ-2: Руководство по эксплуатации и обслуживанию ПО «Брянский машиностроительный завод». – М.: Транспорт. – 1983. – 239 с.

8. Макаров С.В., Гурова Е.Г., Гуров М.Г. Энергоэффективная комбинированная система пуска дизельного двигателя // Инновационные технологии и экономика в машиностроении: сб. тр. 5 междунар. науч.-практ. конф., Юрга, 22-23 мая 2014 г. – Томск: Из-во ТПУ, 2014. – Т. 2. – С. 349–351.

9. Makarov S.V., Gurov M.G., Smirnov M.A. Efficiency upgrading techniques of diesel engine start-up process analysis // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 698. – P. 144.

References

1. Analiz rezhimov raboty silovyh ustanovok manevrovyyh teplovozzov / N.I. Shhurov, E.G. Gurova, S.V. Makarov, D.M. Strelnikova // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya 2014. no. 3. pp. 104.

2. Informacija po primeneniju shhelochnyh nikel-kadmievyyh akkumuljatorov i batarei proizvodstva OAO «Zavod AIT» // RUSBAT: Nacionalnaja asociacija proizvoditelej istochnikov toka «RUSBAT» [Jelektronnyj resurs] / Kompanija «RUSBAT». Jelektron. dan. [Saratov]. URL: http://www.rusbat.com/mem_ait.html (data obrashhenija: 10.07.2013).

3. Manevroye lokomotivy [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://www.myswitcher.ru/books/nazarov/manloc_01.html.

4. Makarov S.V., Gurova E.G., Mjatezh A.V., Jakovleva K.E., Bahvalova A.V., Barinova E.A., Strelnikova D.M.,

Batrutdinov S.F., Dymov I.S. Modernizacija sistemy puska dvigatelja vnutrennego sgoraniya manevrovogo teplovoza // V mire nauchnyh otkrytij. 2013. no. 6.1 (42). pp. 272–288.

5. Nikel-kadmievye akkumuljatory [Jelektronnyj resurs]: Akkumuljatory i batarei dlja manevrovyyh i magistralnyh teplovozzov, dizel poezdov // ЗАИТ: Завод автономных источников тока / Завод АИТ. [Saratov]. URL: http://www.zait.ru/sfery_primeneniya/nikel_kadmijevyje_akkumuljatory_kh150p_kh220p_i_akkumuljatornyje_batarei_50kn150r_72kn150r_75kn150r_75krn150r_40kn220rk_iii_50kn220rk_72kn220r/ (data obrashhenija: 12.07.13).

6. Nikitina E.A. Teplovozznye dizeli tipa D49. M.: Iz-vo: Transport, 1982.

7. Teplovozz TJeM-2: Rukovodstvo po jekspluatácii i obsluzhivaniju PO «Brjanskij mashinostroitelnyj zavod». M.: Transport. 1983. 239 p.

8. Makarov S.V., Gurova E.G., Gurov M.G. Jenergojefektivnaja kombinirovannaja sistema puska dizelnogo dvigatelja // Innovacionnyje tehnologii i jekonomika v mashinostroenii: sb. tr. 5 mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Jurga, 22-23 maja 2014 g. Tomsk: Iz-vo TPU, 2014. T. 2. pp. 349–351.

9. Makarov S.V., Gurov M.G., Smirnov M.A. Efficiency upgrading techniques of diesel engine start-up process analysis // Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 698. pp. 144.

Рецензенты:

Симаков Г.М., д.т.н., профессор кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок, Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск;

Алиферов А.И., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой автоматизированных электротехнологических установок, Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск.