

УДК 621.311

ОБЗОР И СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ДЛЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК ПЕРЕМЕННОЙ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ

Хватов Олег Станиславович¹, доктор технических наук, профессор

e-mail: khvatov_oleg@mail.ru

Литов Дмитрий Вадимович², кандидат технических наук, инженер-инспектор

e-mail: litov.dv@rs-class.org

Марков Дмитрий Константинович¹, аспирант

e-mail: markov0priz@gmail.com

Кузнецов Павел Вадимович¹, аспирант

e-mail: redourblue@yandex.ru

¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

² ФАУ «Российский морской регистр судоходства», Нижний Новгород, Россия

Аннотация. Представлен обзор и сравнительный анализ аккумуляторных батарей (АБ), используемых в дизель-генераторных установках переменной частоты вращения (ДГУ ПЧВ). Рассмотрены основные требования к АБ для ДГУ ПЧВ, включая высокую цикличность, скорость заряда-разряда, широкий диапазон рабочих температур, долговечность, надежность, безопасность и экономическую эффективность. Проведен сравнительный анализ различных типов АБ, таких как свинцово-кислотные, литий-ионные и никель-металл-гидридные, с акцентом на их преимуществах и недостатках применительно к требованиям ДГУ ПЧВ. Представленная информация поможет инженерам и специалистам сделать обоснованный выбор типа АБ для обеспечения надежной и эффективной работы ДГУ ПЧВ в различных условиях эксплуатации.

Ключевые слова: дизель-генераторная установка, переменная частота вращения, аккумуляторная батарея, свинцово-кислотный аккумулятор, литий-ионный аккумулятор, цикличность, плотность энергии, система управления батареей, буферный накопитель энергии.

REVIEW AND COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF BATTERIES FOR VARIABLE SPEED DIESEL GENERATOR SETS

Oleg S. Khvatov¹, Doctor of Technical Sciences, Professor

e-mail: khvatov_oleg@mail.ru

Dmitry V. Litov², Candidate of Technical Sciences, Engineer inspector

e-mail: litov.dv@rs-class.org

Dmitriy K. Markov¹, Doctoral Student

e-mail: markov0priz@gmail.com

Pavel V. Kuznetsov¹, Doctoral Student

e-mail: redourblue@yandex.ru

¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

² Federal Autonomous Institution «Russian Maritime Register of Shipping», Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. This paper presents a review and comparative analysis of batteries used in variable speed diesel generator sets (VSDG). It examines the key requirements for batteries in VSDG applications, including high cycle life, charge-discharge rate, wide operating temperature range, durability, reliability, safety, and economic efficiency. A comparative analysis of various battery types, such as lead-acid, lithium-ion, and nickel-metal hydride, is conducted, focusing on their advantages and disadvantages in relation to the requirements of VSDG. The information provided will assist engineers and specialists in making an informed choice of battery type to ensure reliable and efficient operation of VSDG in various operating conditions.

Keywords: diesel generator set, variable speed, battery, lead-acid battery, lithium-ion battery, cycle life, energy density, battery management system, energy buffer.

Введение

Дизель-генераторные установки переменной частоты вращения (ДГУ ПЧВ) становятся все более популярными благодаря их повышенной эффективности, снижению уровню шума и выбросов по сравнению с традиционными ДГУ с постоянной скоростью вращения. Однако, для обеспечения стабильного электроснабжения и компенсации колебаний мощности при изменении нагрузки и частоты вращения двигателя, необходимо использовать буферный накопитель энергии. Аккумуляторные батареи (АБ) играют ключевую роль в этой системе, обеспечивая мгновенную подачу энергии при пиковых нагрузках и поглощая избыточную энергию во время снижения нагрузки [1].

В данной статье мы рассмотрим различные типы АБ, применяемых в качестве буферного накопителя энергии в ДГУ ПЧВ, сфокусируемся на их сравнительных характеристиках и определим их пригодность для конкретных применений.

Основные требования к АБ в ДГУ ПЧВ

К основным требованиям к АБ в ДГУ ПЧВ можно отнести:

- 1) Высокая цикличность: ДГУ ПЧВ часто работают в режиме частых циклов заряда-разряда, поэтому батареи должны быть способны выдерживать большое количество циклов без значительной деградации емкости.
- 2) Высокая скорость заряда-разряда: быстрое изменение нагрузки требует от батареи способности быстро отдавать и принимать энергию.
- 3) Широкий диапазон рабочих температур: ДГУ часто эксплуатируются в различных климатических условиях, требующих устойчивой работы батарей в широком диапазоне температур.
- 4) Долговечность и надежность: батарея должна иметь длительный срок службы и надежную работу, чтобы минимизировать затраты на замену и обслуживание.
- 5) Безопасность: батарея должна быть безопасной в эксплуатации и соответствовать необходимым стандартам безопасности.
- 6) Экономическая эффективность: стоимость батареи, включая затраты на приобретение, установку и эксплуатацию, должна быть экономически оправданной [2].

Обзор и сравнительные характеристики АБ

1. Свинцово-кислотные аккумуляторы (SLA).

Существует несколько технологий свинцово-кислотных аккумуляторов:



1) Затопленные (Flooded): традиционные свинцово-кислотные батареи с жидким электролитом.

2) AGM (Absorbent Glass Mat): электролит абсорбирован в стекловолоконном сепараторе, что снижает риск утечки и позволяет устанавливать батарею в разных положениях.

3) GEL: электролит загущен гелем, что еще больше снижает риск утечки и повышает устойчивость к глубоким разрядам.

Основными преимуществами свинцово-кислотных АБ являются: относительно низкая стоимость; хорошо изученная технология изготовления; широкая доступность.

Основными недостатками свинцово-кислотных АБ являются: низкая цикличность; регулярное обслуживание; высокая чувствительность к глубоким разрядам; относительно большой вес и объем; содержание токсичных материалов [3].

2. Литий-ионные аккумуляторы (Li-ion).

Существует несколько технологий свинцово-кислотных аккумуляторов:

1) Литий-железо-фосфатные (LiFePO₄): наиболее распространенный тип для стационарных применений.

2) Литий-никель-марганец-кобальтовые (NMC): высокая плотность энергии, но менее стабильные.

3) Литий-титанатные (LTO): очень высокая цикличность и широкий диапазон рабочих температур.

Основными преимуществами литий-ионных АБ являются: высокая плотность энергии и мощности; высокая цикличность; быстрый заряд и разряд; низкий саморазряд; отсутствие обслуживания.

Основными недостатками литий-ионных АБ являются: высокая стоимость; сложная система управления батареей (BMS) для обеспечения безопасности и оптимальной работы.

3. Никель-металл-гидридные аккумуляторы (NiMH).

Существует несколько технологий никель-металл-гидридных аккумуляторов:

1) Стандартные NiMH: предназначены для устройств с умеренным энергопотреблением. Имеют более высокий саморазряд, чем LSD NiMH.

2) Высокомощные NiMH: оптимизированы для устройств с высоким потреблением тока, имеют более низкое внутреннее сопротивление для обеспечения высокой скорости разряда.

3) Низкосаморазрядные NiMH (LSD NiMH): разработаны для минимизации саморазряда при хранении, могут сохранять до 70-85% заряда после года хранения.

Основными преимуществами никель-металл-гидридных АБ являются: высокая плотность энергии; высокая цикличность.

Основными недостатками никель-металл-гидридных АБ являются: высокая стоимость; эффект памяти (снижение емкости при неполном разряде); высокий саморазряд [4].

Основные сравнительные характеристики различных типов АБ представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительные характеристики АБ

Характеристика	Свинцово-кислотные АБ	Литий-ионные АБ	Никель-металлгидридные АБ
Цикличность	Низкая (до 300)	Высокая (до 2000)	Средняя (до 500)
Энергоемкость	Низкая (до 50 Вт·ч/кг)	Высокая (до 120 Вт·ч/кг)	Высокая (до 120 Вт·ч/кг)
Саморазряд	Низкий (до 10%)	Низкий (до 10%)	Высокий (до 30%)
Пиковый ток нагрузки	Низкий (до 5С)	Высокий (до 30С)	Низкий (до 5С)



Обслуживание	Требуется	Не требуется	Не требуется
Стоимость	Низкая	Высокая	Средняя
Экологичность	Низкая	Средняя	Средняя

Выбор АБ для использования в ДГУ ПЧВ

Выбор оптимального типа АБ для ДГУ ПЧВ зависит от конкретных требований применения, бюджета и приоритетов:

1) Для экономичных решений и применений с низкой цикличностью: свинцово-кислотные аккумуляторы (особенно AGM или GEL) могут быть подходящим вариантом.

2) Для применений с высокой цикличностью, требованиями к высокой производительности: литий-ионные аккумуляторы (особенно LiFePO₄) являются оптимальным выбором.

Никель-металл-гидридные аккумуляторы занимают нишу между свинцово-кислотными и литий-ионными АБ, предлагая компромисс между характеристиками и стоимостью, но они менее распространены для таких применений.

Среди рассматриваемых технологий литий-ионные аккумуляторные батареи выделяются как наиболее перспективные, демонстрируя высокую надежность в роли буферных накопителей [5].

Разрядные характеристики литий-ионных аккумуляторов при различных токах и температурах работы представлены на рис. 1 и рис. 2.

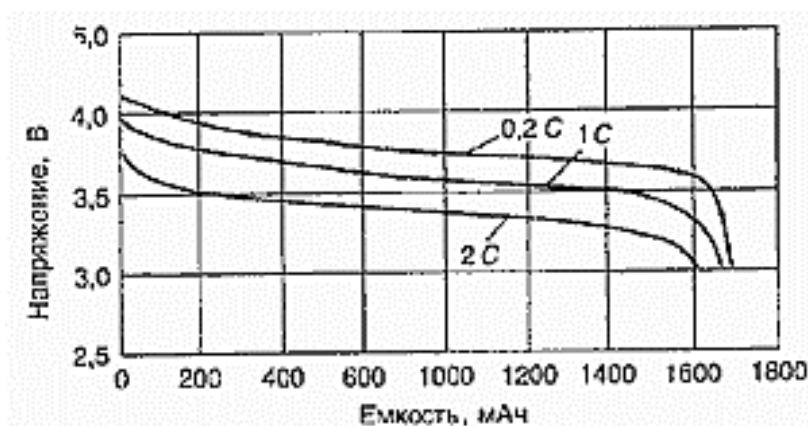


Рисунок 1 – Разрядные характеристики литий-ионного аккумулятора при различных токах

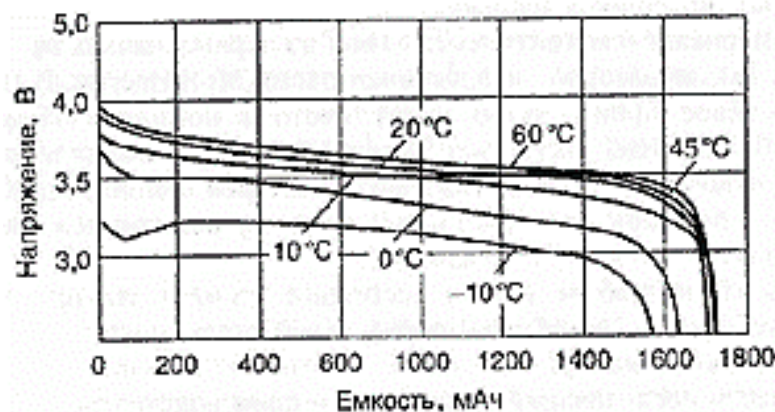


Рисунок 2 – Разрядные характеристики литий-ионного аккумулятора при различных температурах

Заключение

Аккумуляторные батареи играют важную роль в обеспечении стабильной и эффективной работы ДГУ ПЧВ. Правильный выбор типа батареи, основанный на тщательном анализе требований применения и сравнении характеристик различных типов, позволит максимально оптимизировать производительность и надежность системы, а также снизить общие затраты на эксплуатацию. В будущем, с развитием технологий и снижением стоимости, литий-ионные аккумуляторы, вероятно, станут доминирующим типом для буферного накопителя энергии в ДГУ ПЧВ.

Список литературы:

1. Хватов О.С., Кобяков Д.С. Асинхронные дизель-генераторные электростанции переменной частоты вращения // Интеллектуальная электротехника. 2022. № 3 (19). С. 19-31. DOI: 10.46960/2658-6754_2022_3_19
2. Хватов О.С., Дарьенков А.Б., Самоявчев И.С., Поляков И.С. Автономные генераторные установки на основе двигателей внутреннего сгорания переменной частоты вращения. Н. Новгород: НГТУ, 2016. – 172 с.
3. Химические источники тока: Справочник / Под ред. Н. В. Коровина и А. М. Скундина. – М.: Издательство МЭИ, 2003. 740 с., ил.
4. Хрусталева Д. А. Аккумуляторы. – Москва: Изумруд, 2003.
5. Романов, В.В. Химические источники тока [Текст] / В.В. Романов, М.Ю. Хашев. Москва: Химиздат, 1968. – 307 с.

