

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Еренгалиев Рахат Ерланович

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Магистерская диссертация

Название работы: Исследование эффективности применения аккумулярующих устройств в ЖКХ

Научный руководитель: Ерлан Сарсенбаев

Коэффициент Подобия 1: 2.1

Коэффициент Подобия 2: 0.6

Микропробелы: 38

Знаки из других алфавитов: 8

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- ☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- ☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- ☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- ☐ Обоснование:

Дата 23.06.2025г

Заведующий кафедрой Энергетики

Сарсенбаев С.А.



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Еренгалиев Рахат Ерланович

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Магистерская диссертация

Название работы: Исследование эффективности применения аккумулярующих устройств в ЖКХ

Научный руководитель: Ерлан Сарсенбаев

Коэффициент Подобия 1: 2.1

Коэффициент Подобия 2: 0.6

Микропробелы: 38

Знаки из других алфавитов: 8

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

Дата 23.06 2025г

проверяющий эксперт



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Некоммерческое акционерное общество «Казакский национальный исследовательский
технический университет имени К. И. Сатпаева»

**ОТЗЫВ
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

на магистерскую диссертацию

Еренгалиев Рахат Ерланович

7M07113 – Электротехника и энергетика

Тема: Исследование эффективности применения аккумуляторных устройств в
ЖКХ

Диссертационная работа посвящена актуальной и практически значимой задаче — исследованию возможности повышения энергоэффективности инфраструктуры общеобразовательной школы путём внедрения аккумуляторных устройств, в частности литий-ионных аккумуляторных систем. Работа отличается комплексным подходом к решению поставленной цели, объединяя теоретические и прикладные аспекты.

Еренгалиев Р.Е. продемонстрировал высокий уровень самостоятельной исследовательской деятельности. В теоретической части дана классификация аккумуляторных устройств, охарактеризована их роль в современных энергетических системах, рассмотрен отечественный и зарубежный опыт внедрения подобных решений в сфере ЖКХ и социально значимых объектов.

В практической части были выполнены расчёты суточной нагрузки школы, определены критически важные потребители первой категории, рассчитаны параметры аккумуляторного резерва и солнечных панелей, построены графики нагрузок до и после внедрения системы. Особое внимание уделено технико-экономической оценке проекта с учётом возможного повышения тарифов, что позволяет реалистично оценить эффективность внедрения. Также были затронуты важные экологические аспекты, связанные с утилизацией аккумуляторов.

Работа логично структурирована, снабжена графическим материалом и выполнена в соответствии с требованиями. Язык изложения грамотный, стиль соответствует научному формату.

Недостатком в ходе выполнения диссертационной работы можно считать, что при расчётах эффективности аккумуляторных систем в проекте использовались примерные условия эксплуатации оборудования. В реальной практике показатели могут в небольшой степени отличаться от рассчитанных.

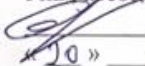
Тем не менее, данный недостаток не уменьшает значимости и практической ценности работы и может быть устранён в рамках дальнейших исследований.

В процессе написания магистерской диссертации он проявил себя как квалифицированный и ответственный специалист, способный самостоятельно находить и анализировать необходимую литературу для решения поставленных задач. Проявил умение эффективно использовать справочные источники и современные компьютерные технологии в научно-исследовательской работе.

Считаю, что магистерская диссертация Еренгалиева Рахата Ерлановича заслуживает оценку «отлично» (95%), и присвоения степени «магистра техники и технологии».

Научный руководитель

PhD, асоц. профессор

 Е. А. Сарсенбаев

« 20 » 06 2025 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К. И. Сатпаева»

РЕЦЕНЗИЯ

на магистерскую диссертацию

Еренгалиев Рахат Ерланович

7M07113 – Электротехника и энергетика

На тему: Исследование эффективности применения аккумулирующих устройств в ЖКХ

Выполнено:

а) графическая часть на 11 слайдах

б) пояснительная записка на 69 страницах

Диссертационная работа посвящена актуальной теме — повышению энергоэффективности образовательных учреждений путём внедрения аккумулирующих устройств, в частности литий-ионных аккумуляторов. Работа имеет чёткую структуру, включает теоретическое обоснование и практическую реализацию на примере конкретной школы.

Автором проведён анализ суточной нагрузки и выделены потребители первой категории. Разработана схема сглаживания пиков потребления, выполнен технико-экономический расчёт с учётом роста тарифов, а также рассмотрены экологические аспекты, включая утилизацию аккумуляторов.

Материалы представлены с использованием графиков и таблиц. Изложение — грамотное и научное, что подчёркивает высокий уровень выполненной работы.

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

В качестве замечания можно отметить необходимость более подробного рассмотрения альтернативных типов аккумуляторных систем, а также использование других источников энергии, помимо солнечных панелей, что сделало бы работу ещё более содержательной.

Оценка работы

Магистерская диссертация заслуживает оценки «отлично» (95%), а Еренгалиев Р.Е. заслуживает присуждения степени «магистра техники и технологии» по ОП 7M07113 – «Электротехника и энергетика».

Рецензент

PhD, ассистент профессор кафедры «Энергетика»

АЛТУ им. М. Тынышпаева

Ж. Ж. Калиев

« 20 » 06 2025 г.



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К. И. Сатпаева»

Институт энергетики и машиностроения им. А. Буркитбаева

Кафедра «Энергетика»

Еренгалиев Рахат Ерланович

Исследование эффективности применения аккумулирующих устройств в ЖКХ

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

7M07113 – Электротехника и энергетика

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К. И. Сатпаева»

Институт энергетики и машиностроения им. А. Буркитбаева

УДК 621.354

На правах рукописи

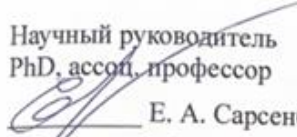
Еренгалиев Рахат Ерланович

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание академической степени магистра

Название диссертации	Исследование эффективности применения
Направление подготовки	аккумулирующих устройств в ЖКХ 7М07113 – Электротехника и энергетика

Научный руководитель
PhD, ассот. профессор

 Е. А. Сарсенбаев
« 26 » 06 2025 г.

Рецензент

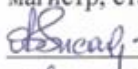
PhD, профессор

АЛТ Университет им. М. Тынышпаева

 Ж. Ж. Калиев
« 20 » 06 2025 г.

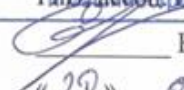
Нормоконтроль

магистр, старший преподаватель

 А. О. Бердибеков
« 19 » 06 2025 г.



ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
ДОНУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
PhD, ассот. профессор

 Е. А. Сарсенбаев
« 20 » 06 2025 г.

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К. И. Сатпаева»

Институт энергетики и машиностроения им. А. Буркитбаева

Кафедра «Энергетика»

7M07113 – Электротехника и энергетика

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой «Энергетика»
PhD, ассент. профессор

 Е. А. Сарсенбаев

« 05 » 12 2023 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение магистерской диссертации

Магистранту: Еренгалиеву Рахату Ерлановичу

Тема: «Исследование эффективности применения аккумулярующих устройств в ЖКХ»

Утверждена приказом Ректора № 548-П/0 от « 12 » 04 2025 г.

Сроки сдачи законченной диссертации «16» июня 2025 г.

Исходные данные к магистерской диссертации:

1. Список помещений для первого, второго, третьего этажа школы и их площадь;
2. Примерное количество оборудования первой категории, которое будет использоваться в школе.

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

- а) Анализ теоретических основ и существующего опыта применения аккумуляторных систем в ЖКХ;
- б) Расчёт суточной нагрузки школы и определение приоритетных потребителей;
- в) Создание графиков нагрузки с применением систем накопления энергии;
- г) Технико-экономическая оценка проекта при действующих и прогнозируемых тарифах на электроэнергию.

Перечень графического материала: 14 таблиц, 17 рисунков.

Рекомендуемая основная литература:

1 Королёва Т. И., Василевич Д. А., Гапеев И. В. Оптимизация энергосбережения в учреждениях образования. – В сборнике: Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации. – Новополюк: Полоцкий государственный университет, 2020. – С. 492–498.

2 Кириллова Е. Д., Казанцева И. О. Технологии, способствующие повышению энергоэффективности объектов строительства: аккумулярование теплоты // Молодой ученый. — 2016. — № 28 (132). — С. 95–98.

3 Иванов С. П. Технологии накопления энергии в электроэнергетике // Вестник МЭИ. – 2019. – № 5. – С. 78–85.

ГРАФИК
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Анализ теоретических основ и существующего опыта применения аккумуляторных систем в ЖКХ	22.02.2024	Нет
Расчёт суточной нагрузки школы и определение приоритетных потребителей	15.10.2024	Нет
Создание графиков нагрузки с применением систем накопления энергии	30.04.2025	Нет
Технико-экономическая оценка проекта при действующих и прогнозируемых тарифах на электроэнергию	20.05.2025	Нет

Подписи
консультантов и норм контролера на законченную магистерскую диссертацию с указанием относящихся к ним разделов диссертации

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Анализ теоретических основ и существующего опыта применения аккумуляторных систем в ЖКХ	Е. А. Сарсенбаев PhD, ассоц. профессор	22.02.2024	
Расчёт суточной нагрузки школы и определение приоритетных потребителей	Е. А. Сарсенбаев PhD, ассоц. профессор	15.10.2024	
Создание графиков нагрузки с применением систем накопления энергии	Е. А. Сарсенбаев PhD, ассоц. профессор	30.04.2025	
Технико-экономическая оценка проекта при действующих и прогнозируемых тарифах на электроэнергию	Е. А. Сарсенбаев PhD, ассоц. профессор	20.05.2025	
Нормоконтролер	А. О. Бердибеков магистр, старший преподаватель	19.06.2025	

Научный руководитель



Е. А. Сарсенбаев

Задание принял к исполнению обучающийся



Р. Е. Еренгалиев

Даты

«05» 12 2025 г.

АНДАТПА

Бұл диссертация жалпы білім беретін мектептің электрмен жабдықтау жүйесіне жинақтаушы құрылғыларды енгізу тиімділігін бағалауға арналған. Теориялық бөлімде аккумуляторлық жүйелердің жіктелуі, олардың энергия үнемдеудегі рөлі, отандық және шетелдік тәжірибені талдау қарастырылады. Практикалық бөлім зерттеу нысанын таңдауды, бірінші санаттағы тұтынушыларды анықтауды және резервтік қуат үшін батареялардың қажетті санын есептеуді қамтиды. Шыңдарды тегістеу жүйесін енгізгенге дейін және одан кейін жүктеме графиктері салынған. Оларды зарядтауға қажетті күн панельдерінің саны да есептелген. Соңында электр энергиясына тарифтердің ықтимал өсуі кезінде өтелу мерзімінің қысқарғанын көрсеткен техникалық-экономикалық талдау жүргізілді.

АННОТАЦИЯ

Данная диссертационная работа посвящена оценке эффективности внедрения аккумулирующих устройств в систему электроснабжения общеобразовательной школы. В теоретической части рассмотрены классификация аккумуляторных систем, их роль в энергосбережении, анализ отечественного и зарубежного опыта. Практическая часть включает выбор объекта исследования, определение потребителей первой категории и расчёт необходимого количества аккумуляторов для резервного питания. Построены графики нагрузки до и после внедрения системы сглаживания пиков. Также рассчитано количество солнечных панелей, необходимых для их зарядки. В завершение проведён технико-экономический анализ, показавший сокращение срока окупаемости при возможном росте тарифов на электроэнергию.

ANNOTATION

This dissertation is devoted to evaluating the effectiveness of implementing energy storage systems in the power supply of a general education school. The theoretical part examines the classification of battery systems, their role in energy conservation, and analyzes both domestic and international experience. The practical part includes the selection of the research object, identification of first-category consumers, and calculation of the required number of batteries for backup power. Load graphs were developed before and after the implementation of a peak-shaving system. The required number of solar panels for battery charging was also calculated. Finally, a techno-economic analysis was conducted, demonstrating a reduction in the payback period in the event of a potential increase in electricity tariffs.

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	7
1	Теоретические основы	10
1.1	Понятие и классификация аккумулирующих устройств	10
1.2	Классификация по масштабу и области применения	14
1.3	Роль аккумулирующих устройств в повышении энергоэффективности	15
1.4	Мировой и отечественный опыт применения аккумуляторных батарей в системах ЖКХ	16
2	Методология исследования эффективности аккумулирующих устройств	18
2.1	Выбор школы как объекта исследования	18
2.2	Анализ системы электроснабжения и проблемы пиковых нагрузок и перебоев школ	20
2.3	Преимущества и недостатки использования аккумуляторных батарей	21
3	Расчетная часть исследование эффективности применения аккумулирующих устройств	25
3.1	Подсчет потребителей школы и расчет необходимого количества аккумуляторов для резервирования	25
3.2	Построение графика суточной нагрузки для исследования эффективности снижения пика нагрузки	50
3.3	Расчет необходимого количества солнечных панелей для заряда аккумуляторных блоков	52
3.4	Построение графика суточной нагрузки с данными сглаживания пиков	55
4	Технико – экономический расчет	57
	Заключение	60
	Сокращения и обозначения	61
	Список использованной литературы	62

ВВЕДЕНИЕ

Современные тенденции в сфере энергоснабжения всё более активно направлены на повышение энергоэффективности, надёжности и устойчивости энергетических систем. Учитывая рост потребления электроэнергии, повышение требований к качеству и непрерывности электроснабжения, особенно в условиях урбанизации и климатических изменений, перед энергосистемами ставятся всё более жёсткие задачи. Одним из ключевых направлений в этом контексте становится интеграция аккумулирующих устройств (систем накопления энергии), которые позволяют не только обеспечивать резервное питание критически важных потребителей, но и выполнять функцию выравнивания графика потребления за счёт сглаживания суточных пиков нагрузки.

Аккумулирующие системы энергии (в частности, литий-ионные аккумуляторы) находят широкое применение как в промышленности, так и в жилом и общественном секторах. Благодаря своей технологической зрелости, высокой плотности энергии, надёжности и способности к многократным циклам зарядки-разрядки, такие устройства становятся неотъемлемой частью концепции «умного» энергоснабжения. Особенно важна их роль в переходный период, когда внедрение возобновляемых источников энергии (в первую очередь, солнечных и ветровых электростанций) требует буферных мощностей для компенсации нестабильности генерации.

Особую актуальность аккумулирующие технологии приобретают при внедрении в социально значимые объекты, к числу которых относятся общеобразовательные учреждения. Школы, как объекты с высокой плотностью пребывания людей, требуют не только надёжного энергоснабжения, но и защиты от сбоев, особенно в системах вентиляции, пожарной безопасности, аварийного освещения и информационно-коммуникационных сетей. Бесперебойная работа этих систем обеспечивает базовые условия комфорта и безопасности обучающихся и персонала. Кроме того, грамотное применение систем накопления энергии позволяет снижать расходы на электроэнергию.

На фоне текущих экономических и энергетических вызовов в Республике Казахстан, включая запланированное повышение тарифов на электроэнергию, вопрос оптимизации затрат на энергоснабжение становится особенно актуальным. Объекты социальной инфраструктуры, такие как школы, финансируемые из государственного бюджета, находятся под давлением необходимости сохранять высокое качество услуг при ограниченных ресурсах. Именно поэтому разработка и внедрение энергоэффективных решений, включая системы аккумулирования энергии, является приоритетным направлением.

Актуальность настоящей работы определяется необходимостью поиска технологических решений, позволяющих повысить энергетическую независимость и устойчивость школ, снизить зависимость от сетевого

электроснабжения и минимизировать риски, связанные с перебоями. В частности, в данной диссертации рассматриваются технические, организационные и экономические аспекты внедрения аккумуляторных систем на примере общеобразовательной школы, строящейся в микрорайоне Акбулак Алатауского района города Алматы в рамках государственной программы «Комфортная школа».

Цель работы: исследование эффективности применения аккумуляторных устройств для оптимизации электроснабжения школы с учётом потребностей первой категории и анализа потенциальной экономии.

Задачи исследования:

- Анализ теоретических основ и существующего опыта применения аккумуляторных систем в ЖКХ и образовательной инфраструктуре;
- Расчёт суточной нагрузки школы и определение приоритетных потребителей;
- Выбор аккумуляторных батарей и инверторного оборудования;
- Создание графиков нагрузки с применением систем накопления энергии;
- Расчёт необходимого количества солнечных панелей;
- Техничко-экономическая оценка проекта при действующих и прогнозируемых тарифах на электроэнергию.

Объект исследования: система электроснабжения общеобразовательной школы — как совокупность технических решений, обеспечивающих подачу электроэнергии различным категориям потребителей. Объект обладает типичной нагрузкой и значительным числом критически важных потребителей, что делает его показательным для оценки эффективности внедрения аккумуляторных устройств.

Предмет исследования: применение аккумуляторных систем в электроснабжении школы. Выбор оборудования, расчёт резервной ёмкости, интеграция с графиком нагрузки и оценка экономической целесообразности. Внимание уделяется обеспечению бесперебойной работы потребителей первой категории и снижению затрат путём сглаживания пиков энергопотребления.

Научная новизна работы:

- Разработка и обоснование метода расчёта необходимого количества аккумуляторных батарей на основе анализа суточной нагрузки и выделения потребителей первой категории;
- Применение подхода к сглаживанию пиков нагрузки с помощью аккумуляторных устройств и построение графиков до и после внедрения системы;
- Учёт возможного роста тарифов на электроэнергию в экономической оценке, что позволило более реалистично оценить сроки окупаемости проекта;
- Привязка исследования к конкретному образовательному объекту в Республике Казахстан, что позволяет учитывать региональные особенности ценообразования и проектирования систем энергоснабжения.

Апробация работ. По теме диссертационной работы опубликованы 3 научные статьи.

1) Р.Е. Еренгалиев, Е.А. Сарсенбаев «Перспективы и недостатки использования аккумуляторных батарей в жилых комплексах» Satbayev International Conference 2024.

2) Р.Е. Еренгалиев, Е.А. Сарсенбаев «Перспективы и недостатки использования аккумуляторных устройств в социальных объектах ЖКХ» Satbayev International Conference 2025.

3) Р.Е. Еренгалиев, Е.А. Сарсенбаев «Перспективы и недостатки использования аккумуляторных батарей в социальных объектах ЖКХ» Texnika Yulduzlari 2025, 2 – son, 176 – 183.

1 Теоретические основы

1.1 Понятие и классификация аккумулирующих устройств

Аккумулирующие устройства представляют собой комплексные технические системы, предназначенные для преобразования, накопления и временного хранения различных видов энергии с последующим её высвобождением в контролируемом режиме. Данные устройства характеризуются способностью осуществлять обратимые энергетические процессы с минимальными потерями и обеспечивать стабильность энергоснабжения в условиях переменного спроса и предложения.

Физико-химические основы функционирования аккумулирующих устройств базируются на фундаментальных законах термодинамики и электрохимии. Процесс аккумулирования включает последовательные стадии: энергетическое преобразование входного потока, стабилизацию накопленной энергии в устойчивом состоянии и контролируемое высвобождение с обратным преобразованием в требуемую форму.

Основными техническими параметрами аккумулирующих устройств являются:

- удельная энергоёмкость ($\text{Вт} \cdot \text{ч/кг}$) — отношение накопленной энергии к массе устройства;
- удельная мощность (Вт/кг) — способность к быстрому энергообмену;
- коэффициент полезного действия цикла заряд-разряд;
- количество рабочих циклов до деградации характеристик;
- коэффициент саморазряда (процент/месяц);
- рабочий температурный диапазон;
- календарный срок службы.

Электрохимические аккумуляторы основаны на обратимых окислительно-восстановительных реакциях с участием активных материалов электродов и электролита (Рисунок 1). Накопление энергии происходит путём преобразования электрической энергии в химическую с последующим обратным процессом.

Свинцово-кислотные аккумуляторы характеризуются использованием диоксида свинца (PbO_2) в качестве положительного электрода, губчатого свинца в качестве отрицательного электрода и серной кислоты в качестве электролита. Электрохимическая реакция описывается уравнением: $\text{PbO}_2 + \text{Pb} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons 2\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$

Данные устройства обеспечивают номинальное напряжение 2,0 В на элемент, удельную энергоёмкость 30–50 $\text{Вт} \cdot \text{ч/кг}$ и количество циклов 200–2000 в зависимости от режима эксплуатации.

Литий-ионные аккумуляторы представляют наиболее перспективную группу с точки зрения энергетических характеристик. Принцип действия основан на интеркаляции ионов лития в кристаллическую структуру электродных материалов. Современные системы обеспечивают удельную

энергоёмкость 150–300 Вт·ч/кг, количество циклов 1000–5000 и рабочее напряжение 3,6–3,8 В на элемент.

Натрий-ионные аккумуляторы разрабатываются как альтернатива литиевым системам для крупномасштабного энергоаккумулирования. Использование натрия обеспечивает снижение стоимости и повышение доступности сырьевых материалов при сохранении приемлемых энергетических характеристик.

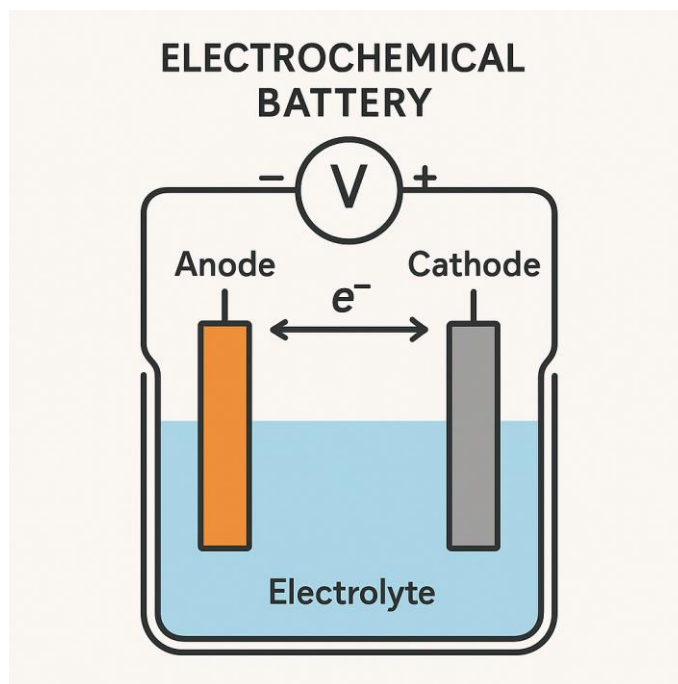


Рисунок 1 – Электрохимический аккумулятор

Механические аккумуляторы преобразуют энергию в механическую форму (Рисунок 2). Гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС) основаны на преобразовании электрической энергии в потенциальную энергию гравитационного поля. Система включает верхний и нижний резервуары, соединённые напорным трубопроводом с обратимой гидроэлектрической установкой. Коэффициент полезного действия современных ГАЭС составляет 70–85%, а мощность может достигать нескольких гигаватт.

Пневматические аккумулирующие системы (CAES — Compressed Air Energy Storage) используют сжатый воздух в качестве энергоносителя. В процессе зарядки электроэнергия расходуется на сжатие воздуха до давления 40–80 атм с последующим хранением в подземных полостях или наземных резервуарах. При разрядке сжатый воздух расширяется в турбине, приводящей в действие электрогенератор.

Маховичные накопители энергии (FES — Flywheel Energy Storage) основаны на аккумулировании кинетической энергии вращающегося ротора. Современные системы используют композитные материалы для изготовления маховиков, магнитные подшипники для минимизации потерь на трение и

вакуумную среду для исключения аэродинамических потерь. Скорость вращения может достигать 100 000 об/мин при удельной энергоёмкости до 100 Вт·ч/кг.

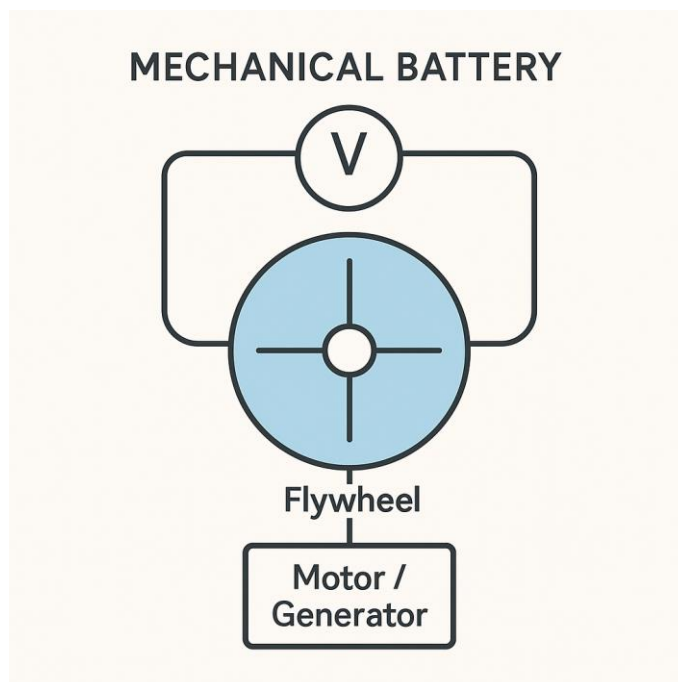


Рисунок 2 – Механический аккумулятор

Тепловые аккумуляторы сохраняют энергию в виде тепла (Рисунок 3). Аккумуляторы явного тепла используют теплоёмкость материала для накопления тепловой энергии. Количество накопленной энергии определяется соотношением $Q = mc\Delta T$, где m — масса теплоаккумулирующего материала, c — удельная теплоёмкость, ΔT — изменение температуры.

Аккумуляторы скрытого тепла основаны на использовании теплоты фазовых переходов. Наиболее эффективными являются системы с материалами, изменяющими фазовое состояние (PCM — Phase Change Materials) в рабочем температурном диапазоне. Парафины обеспечивают температуру плавления 20–70°C с удельной теплотой плавления 150–250 кДж/кг.

Термохимические аккумуляторы используют обратимые химические реакции с высоким тепловым эффектом. Например, система на основе гидратации/дегидратации сульфата магния обеспечивает удельную энергоёмкость до 2,8 ГДж/м³.

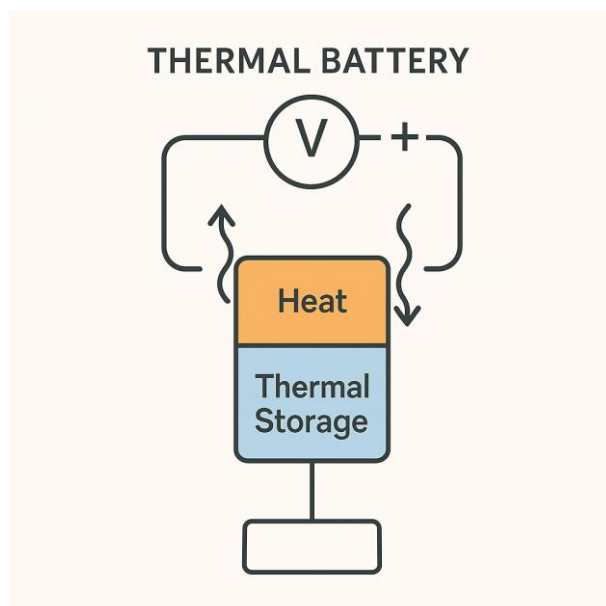


Рисунок 3 – Тепловой аккумулятор

Электромагнитные накопители (Рисунок 4) включают суперконденсаторы (ультраконденсаторы), которые накапливают энергию в электрическом поле двойного электрического слоя на границе электрод-электролит. Удельная мощность достигает 10 кВт/кг при энергоёмкости 5–15 Вт·ч/кг и количестве циклов свыше 1 000 000.

Сверхпроводящие магнитные накопители энергии (SMES) основаны на накоплении энергии в магнитном поле сверхпроводящей катушки. Энергия определяется соотношением $E = \frac{1}{2}LI^2$, где L — индуктивность катушки, I — ток. Системы характеризуются практически мгновенным откликом и коэффициентом полезного действия свыше 95 процентов.

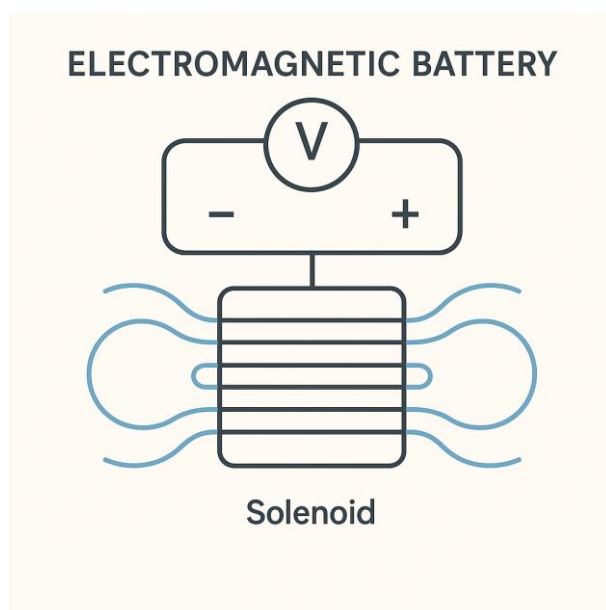


Рисунок 4 – Электромагнитный аккумулятор

1.2 Классификация по масштабу и области применения

Портативные системы характеризуются энергоёмкостью от единиц до сотен ватт-часов и предназначены для автономного питания мобильных устройств. Основными требованиями являются высокая удельная энергоёмкость, компактность и безопасность эксплуатации.

Тяговые аккумуляторы для электрического транспорта должны обеспечивать высокую удельную мощность (свыше 1 кВт/кг), широкий температурный диапазон эксплуатации ($-30...+60^{\circ}\text{C}$) и высокую циклическую стойкость. Современные литий-ионные батареи для электромобилей обеспечивают запас хода свыше 500 км при времени зарядки менее 30 минут.

Промышленные системы мощностью от единиц до сотен мегаватт предназначены для управления пиковыми нагрузками, обеспечения качества электроэнергии и резервирования. Требования включают высокую надёжность, продолжительный срок службы (15–25 лет) и низкие эксплуатационные расходы.

Крупномасштабные сетевые накопители мощностью свыше 100 МВт интегрируются в энергосистемы для стабилизации частоты и напряжения, сглаживания колебаний генерации возобновляемых источников энергии и обеспечения системных услуг. Время отклика составляет миллисекунды для регулирования частоты и минуты-часы для управления балансом мощности.

Циклические системы предназначены для регулярного чередования процессов заряда и разряда с глубиной разряда 80–100 процентов. Конструкция оптимизирована для максимального количества циклов при сохранении энергетических характеристик.

Буферные (резервные) системы большую часть времени находятся в заряженном состоянии и активируются при отключении основного источника питания. Глубина разряда обычно не превышает 30–50 процентов номинальной ёмкости.

Гибридные системы объединяют несколько типов накопителей для оптимизации технико-экономических характеристик. Например, комбинация литий-ионных аккумуляторов с суперконденсаторами обеспечивает высокую энергоёмкость и способность к быстрой отдаче мощности.

Современные исследования направлены на разработку твердотельных электролитов для повышения безопасности и энергоёмкости, создание новых электродных материалов на основе кремния и серы, а также внедрение искусственного интеллекта для оптимизации режимов работы аккумулирующих систем.

Квантовые батареи, основанные на принципах квантовой механики, представляют футуристическое направление с потенциально революционными характеристиками по скорости зарядки и энергетической плотности.

Интеграция аккумулирующих устройств с системами «умных сетей» (Smart Grid) обеспечивает возможность распределённого управления энергетическими потоками и оптимизации работы энергосистемы в целом.

1.3 Роль аккумулирующих устройств в повышении энергоэффективности

Энергоэффективность в жилищно-коммунальном хозяйстве представляет собой комплексный показатель рационального использования топливно-энергетических ресурсов, характеризующийся отношением полезного эффекта от использования энергии к затратам энергетических ресурсов. Количественно энергоэффективность определяется удельными показателями энергопотребления на единицу площади ($\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2\cdot\text{год}$), объёма услуг или численности обслуживаемого населения.

Интегральная энергоэффективность системы ЖКХ включает:

- Эффективность преобразования первичных энергоресурсов;
- Эффективность транспортировки и распределения энергоносителей;
- Эффективность конечного потребления в зданиях и сооружениях;
- Эффективность утилизации вторичных энергоресурсов.

Анализ структуры энергопотребления в ЖКХ показывает следующее распределение:

Теплоснабжение: 65–70 процентов от общего энергопотребления.

- Отопление зданий: 45–50 процентов;
- Горячее водоснабжение: 15–20 процентов;
- Технологические нужды: 5–10 процентов.

Электроснабжение: 25–30 процентов от общего энергопотребления.

- Освещение общих помещений: 8–12 процентов;
- Лифтовое хозяйство: 6–8 процентов;
- Вентиляция и кондиционирование: 4–6 процентов;
- Водоснабжение и водоотведение: 6–8 процентов.

Водоснабжение: 5–10 процентов от общего энергопотребления.

- Подъём и транспортировка воды: 3–5 процентов;
- Водоподготовка: 2–5 процентов.

Аккумулирующие устройства обеспечивают перенос энергопотребления из периодов пикового спроса в периоды минимальной нагрузки. Данный механизм базируется на различии в стоимости энергии в зависимости от времени суток и позволяет снизить платежи.

Интеллектуальные системы управления накопителями анализируют прогнозные графики потребления и метеорологические условия для оптимизации режимов заряда-разряда. Алгоритмы машинного обучения позволяют повысить точность прогнозирования.

Крупномасштабные тепловые аккумуляторы объёмом 5000–50000 м³ интегрируются в схемы централизованного теплоснабжения для оптимизации работы источников тепла. Основные эффекты:

- Работа котлов в оптимальных режимах с КПД 88–94 процентов вместо переменных режимов с КПД 75–85 процентов;
- Снижение количества пусков-остановов оборудования;
- Уменьшение расхода топлива на 8–15 процентов;
- Оптимизация температурных графиков теплоносителя;
- Сокращение времени работы сетей в пиковых режимах;
- Уменьшение потерь на 5–12 процентов.

Современные лифтовые установки с частотно-регулируемыми приводами генерируют энергию при спуске с нагрузкой. Суперконденсаторные накопители ёмкостью 50–200 Вт·ч на лифт обеспечивают:

- Рекуперацию 15–30 процентов потребляемой лифтом энергии;
- Компенсацию кратковременных провалов напряжения;
- Аварийное питание для эвакуации людей при отключении электроэнергии.

Тепловые аккумуляторы с материалами фазового перехода (PCM) в системах вентиляции обеспечивают:

- Накопление тепла вытяжного воздуха в дневное время;
- Предварительный подогрев приточного воздуха в ночные часы;
- Эффективность утилизации тепла 60–80 процентов;
- Снижение нагрузки на системы отопления на 10–20 процентов.

Солнечные электростанции на кровлях многоквартирных домов в сочетании с литий-ионными накопителями обеспечивают:

- Коэффициент само потребления солнечной энергии 70–90 процентов против 30–50 процентов без накопителей;
- Снижение потребления сетевой электроэнергии;
- Резервирование критических нагрузок при отключениях электросети.

1.4 Мировой и отечественный опыт применения аккумуляторных батарей в системах ЖКХ

Мировой опыт демонстрирует успешное внедрение аккумуляторных батарей в школах и общественных зданиях:

- США: Программа California Energy Storage Initiative (2018–2023) поддержала установку литий-ионных батарей в 200 школах. Например, средняя школа в Сан-Диего с батареей ёмкостью 60 кВт·ч сократила пиковые нагрузки на 25 кВт, сэкономя 15 тыс. долларов в год (18 процентов затрат на электроэнергию). Батареи интегрированы с солнечными панелями (20–50 кВт), обеспечивая до 30 процентов автономности. Программа субсидировала 50 процентов стоимости оборудования.

- Германия: В Баварии школы используют батареи (50–100 кВт·ч) для сглаживания пиков и резервирования. Проект в Мюнхене (2022) показал снижение пиковой мощности на 20 кВт, что эквивалентно экономии 10 тыс. евро в год. Батареи работают в связке с ветровыми установками, обеспечивая до 40 процентов потребности в энергии.

- Япония: В Токио школы оснащаются батареями (20–50 кВт·ч) для резервирования в условиях сейсмической активности. Например, школа в районе Синдзюку обеспечивает 4 часа автономной работы систем безопасности и освещения. Программа METI Energy Efficiency (2020–2025) покрывает до 50 процентов стоимости батарей, снижая барьеры для внедрения.

- Австралия: Школы в Сиднее используют батареи Tesla Powerwall (13,5 кВт·ч) для сглаживания пиков, что сократило расходы на электроэнергию на 12–15 процентов (данные 2023 года).

- Великобритания: Школа Turners Hill установила батареи Sonnen Eco 8 (12 кВт·ч), но окупаемость превышает срок службы.

Отечественный опыт ограничен, но включает пилотные проекты:

- Москва: в рамках программы «Энергоэффективный город» (2020–2022) школа № 1234 оснащена батареей емкостью 20 кВт·ч, что сократило время простоя при отключениях с 2 часов до 10 минут. Батарея обеспечивает питание систем безопасности и освещения.

- Новосибирск: Школа № 112 использует батарею (30 кВт·ч) для сглаживания пиков, что снизило пиковую мощность на 15 процентов и сэкономило 100 тыс. рублей в год (данные 2023 года).

- Красноярск: Пилотный проект в школе № 45 показал, что батарея емкостью 15 кВт·ч обеспечивает резервирование освещения на 3 часа, но высокая стоимость (1,2 млн рублей) ограничивает масштабирование.

- Жамбылская область: Проект Masdar (1 ГВт ветровой энергии, 600 МВт·ч батареи)

2 Методология исследования эффективности аккумулирующих устройств

2.1 Выбор школы как объекта исследования

Выбор общеобразовательного учреждения — школы — в качестве объекта исследования обусловлен рядом объективных факторов, отражающих как технические, так и социально-экономические аспекты использования аккумулирующих устройств в системе ЖКХ.

Энергетическая специфика школ:

- Школы относятся к зданиям с выраженным графиком нагрузки — пиковое потребление приходится на утренние и дневные часы, в то время как в вечернее и ночное время здание почти не потребляет электроэнергию.

- Такая неравномерность нагрузки делает школы перспективными объектами для использования накопителей энергии, позволяющих сгладить пики и использовать дешёвую ночную энергию.

Стандартность инженерной инфраструктуры:

- Большинство школ построены по типовым проектам, что упрощает моделирование энергопотребления и позволяет использовать полученные результаты для масштабирования на аналогичные объекты.

- Школы, как правило, подключены к централизованным системам электроснабжения и имеют доступ к данным учета, что облегчает анализ и верификацию модели.

Социальная и экономическая значимость:

- Объекты социальной инфраструктуры, такие как школы, являются приоритетными для обеспечения надёжного энергоснабжения, особенно в условиях перебоев или роста тарифов.

- Повышение энергоэффективности в образовательных учреждениях оказывает прямой социальный эффект — высвобожденные средства могут быть направлены на образовательные нужды, ремонт, закупку оборудования и пр.

Безопасность и нормативные аспекты:

- Школы подчиняются строгим требованиям по электробезопасности, пожарной безопасности и эксплуатации оборудования, что делает их хорошим полигоном для апробации безопасных решений с литий-ионными АКБ.

- Возможность проработки типовых решений, соответствующих санитарным и противопожарным нормам, представляет научную и практическую ценность.

Доступность данных и сотрудничество:

- Образовательные учреждения часто открыты к участию в пилотных проектах, в том числе по линии энергоаудита, цифровизации и модернизации инженерных систем.

- Существуют возможности получения достоверных исходных данных по энергопотреблению и климатическим условиям, а также проведения реальных измерений.

Масштабируемость решений:

- Решения, разработанные на базе одного учебного заведения, могут быть легко адаптированы и применены к другим объектам ЖКХ — детским садам, учреждениям здравоохранения, административным зданиям.

Таким образом, в качестве объекта исследования выбрана общеобразовательная школа, строящаяся в микрорайоне Акбулак Алатауского района города Алматы. Учебное заведение рассчитано на 1500 учащихся и возводится в рамках государственной программы «Комфортная школа».

На рисунке 5 приведено изображение школы.



Рисунок 5 – Изображение школы

Выбор данного объекта обусловлен его современной архитектурой, новыми инженерными системами и высокой проектной нагрузкой, что делает его репрезентативным примером для оценки эффективности внедрения литий-ионных аккумулирующих устройств. Кроме того, участие школы в государственной программе предполагает повышенные требования к энергоэффективности, безопасности и качеству образовательной среды, что создает благоприятные условия для внедрения инновационных энергетических решений и оценки их практической применимости в социально значимых объектах.

2.2 Анализ системы электроснабжения и проблемы пиковых нагрузок и перебоев школ

Структура системы электроснабжения школ:

- Основные компоненты: вводные линии, трансформаторы, распределительные щиты, потребители (освещение, оборудование, системы вентиляции);
- Типы энергопотребления: постоянное (освещение, компьютеры), переменное (обогреватели, кухонное оборудование);
- Особенности школ: сезонность (учебный год), дневные пики потребления (утренние и дневные часы).

Пиковые нагрузки в школах:

- Анализ профиля энергопотребления: типичный суточный график, пики в начале учебного дня и во время мероприятий;
- Причины пиковых нагрузок: одновременное включение освещения, компьютеров, электрооборудования;
- Последствия пиков: перегрузка сети, увеличение затрат по тарифам с учетом пиковой мощности.

Потребность в резервировании:

- Причины перебоев в электроснабжении: аварии, плановые отключения, перегрузки сети;
- Требования к бесперебойному питанию в школах: обеспечение работы критических систем (освещение, системы безопасности, компьютеры);
- Текущие решения: дизель-генераторы, их недостатки (шум, выбросы, затраты на топливо).

Энергетические проблемы:

- Высокое потребление электроэнергии в часы пик, приводящее к увеличению затрат;
- Нестабильность электроснабжения в регионах с устаревшей инфраструктурой;
- Ограниченная способность школ реагировать на сбои без резервных источников.

Экономические проблемы:

- Высокие тарифы за пиковую мощность в системах электроснабжения;
- Затраты на обслуживание и топливо для традиционных резервных систем (дизель-генераторы).

Экологические проблемы:

- Выбросы CO₂ от дизельных генераторов, используемых для резервирования;
- Низкий уровень внедрения экологических решений в школах.

Социальные аспекты:

- Влияние перебоев в электроснабжении на учебный процесс (отмена занятий, снижение комфорта);

- Необходимость повышения энергоэффективности для оптимизации бюджетов школ.

2.3 Преимущества и недостатки использования аккумуляторных батарей

Аккумуляторные батареи, особенно литий-ионного типа, находят всё более широкое применение в системах энергоснабжения зданий различного назначения, включая объекты жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) и социальной инфраструктуры. Их использование сопряжено с рядом существенных преимуществ, но также имеет и определённые ограничения, которые необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации.

Одним из главных достоинств применения аккумуляторных батарей является повышение общей энергоэффективности здания. За счёт возможности накапливать избыточную электроэнергию (Рисунок 6) в периоды низкой нагрузки и использовать её в часы пикового потребления, удаётся значительно сократить пики нагрузки на сеть. Это способствует снижению потерь в кабельных линиях и трансформаторах, а также обеспечивает более равномерную и устойчивую работу энергетической системы объекта.



Рисунок 6 – Процесс накопление избыточной электроэнергии

Снижение затрат на электроэнергию является ещё одним весомым аргументом в пользу использования аккумуляторов. В условиях многотарифного учета электроэнергии возможно заряжать батареи в ночное время, когда стоимость электроэнергии минимальна, и использовать накопленную энергию в течение дня, когда тариф максимален. Кроме того, аккумуляторы позволяют снизить величину оплачиваемой максимальной

мощности, что особенно актуально для объектов с переменным или сезонным потреблением.

Повышение надёжности электроснабжения представляет собой важный аспект для таких объектов, как школы, больницы и административные здания. При отключении внешнего питания аккумуляторы обеспечивают бесперебойную работу критически важного оборудования (Рисунок 7). Они также защищают электронику и серверные системы от микроперебоев и скачков напряжения, повышая общую стабильность электроснабжения.

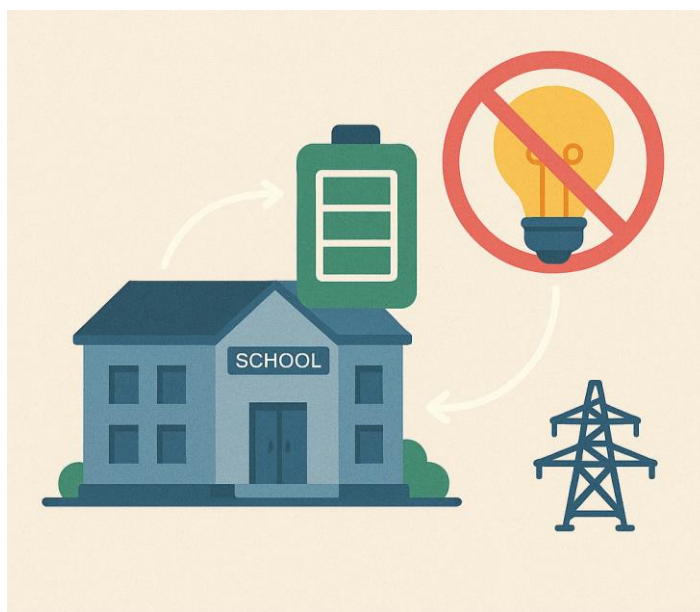


Рисунок 7 – Использование аккумуляторов при отключении энергоснабжения

С экологической точки зрения использование аккумуляторов способствует снижению углеродного следа объекта. Это достигается за счёт уменьшения потребления электроэнергии, вырабатываемой на традиционных источниках, таких как угольные и газовые ТЭЦ. Особенно эффективно сочетание аккумуляторных батарей с возобновляемыми источниками энергии (например, солнечными панелями), что позволяет использовать и сохранять «чистую» энергию для дальнейшего использования.

Гибкость и масштабируемость аккумуляторных систем позволяет адаптировать их под конкретные условия эксплуатации. Существуют как малые системы для частных домов, так и промышленные решения, рассчитанные на сотни киловатт-часов. Это делает возможным использование накопителей энергии на объектах любой площади и мощности.

Несмотря на перечисленные преимущества, аккумуляторные батареи имеют и ряд недостатков, среди которых на первом месте — высокая первоначальная стоимость (Рисунок 8). Закупка оборудования, его установка, настройка и интеграция в существующую инженерную инфраструктуру требует значительных капиталовложений. Кроме того, в проект необходимо

закладывать затраты на системы безопасности, вентиляции и мониторинга, что увеличивает общую стоимость.



Рисунок 8 – Высокая первоначальная стоимость

Ограниченный срок службы аккумуляторов является ещё одним важным фактором (Рисунок 9). Даже самые современные литий-ионные батареи подвержены деградации, что выражается в снижении их ёмкости и эффективности. Средний срок службы составляет от 5 до 10 лет в зависимости от качества батарей и условий эксплуатации. Через определённое количество циклов заряд-разряд батареи подлежат частичной или полной замене, что требует дополнительных расходов.



Рисунок 9 – Ограниченный срок службы аккумуляторов

С экологической точки зрения утилизация отработанных аккумуляторов также представляет проблему (Рисунок 10). Они содержат токсичные и редкоземельные элементы (литий, кобальт, никель), требующие специальной переработки. Недостаточное развитие инфраструктуры по утилизации во многих странах приводит к риску загрязнения окружающей среды и росту затрат на утилизацию.



Рисунок 10 – Проблема утилизации аккумуляторов

Наконец, техническая сложность внедрения аккумуляторных батарей может стать барьером для их широкого распространения, особенно в зданиях с устаревшими системами электроснабжения. Необходимы грамотное проектирование, адаптация под конкретные условия, обучение персонала, а также регулярное техническое обслуживание, что требует привлечения квалифицированных специалистов.

3 Расчетная часть исследование эффективности применения аккумуляторных устройств

3.1 Подсчет потребителей школы и расчет необходимого количества аккумуляторов для резервирования

Эффективное проектирование системы резервного электроснабжения на базе аккумуляторных батарей требует точного анализа потребителей электроэнергии объекта. В контексте данной работы объектом исследования выступает общеобразовательная школа, строительство которой осуществляется в микрорайоне Акбулак Алатауского района города Алматы в рамках государственной программы «Комфортная школа».

Особенности функционирования образовательных учреждений предполагают наличие широкого спектра потребителей: от базовых систем освещения и отопления до компьютерных классов, лабораторного оборудования, вентиляции, противопожарной сигнализации и систем безопасности. Часть этих нагрузок критична и требует бесперебойного питания даже при аварийном отключении централизованного электроснабжения.

В данном разделе проводится анализ электропотребления здания школы, классификация потребителей по степени важности и продолжительности работы в аварийном режиме, а также производится расчет суммарной мощности и энергетической емкости, необходимой для обеспечения автономной работы при помощи литий-ионных аккумуляторных батарей. Расчёты выполняются с учетом профиля нагрузки и резервируемого времени.

Целью данного этапа является обоснование количества и типа аккумуляторных батарей, способных обеспечить надёжное резервное питание школы в условиях возможных отключений электроэнергии.

Потребители и помещения представлены в таблицах 1, 2, 3.

Таблица 1 – Потребители находящиеся на первом этаже

Помещения	S, м ²	Оборудование	P, Вт
Тамбур	2,26	1 – светильник	20
Мастерская по разделу "Культура дома"	60,75	6 – светильников 3 – электродрели	40 500
Инструментальная	12,02	2 – светильника	40
Мастерская по разделу "Культура питания"	63,22	6 – светильников 1 – холодильник	40 150
С/у для мальчиков	25,75	3 – светильников 1 – сушилка для рук	30 1500
С/у для девочек	28,7	3 – светильника 1 – сушилка для рук	30 1500
Коридор	6,43	1 – светильник	30

Продолжение таблицы 1

Помещения	S, м ²	Оборудование	P, Вт
Тамбур	2,26	1 – светильник	20
Комната личной гигиены для девочек	2,41	1 – светильник	20
Комната личной гигиены для девочек	2,41	1 – светильник	20
Комната личной гигиены для девочек	2,41	1 – светильник	20
ПУИ	4,32	1 – светильник 1 – компьютер	30 150
С/у для малообъёмных групп населения	4,74	1 – светильник	30
С/у для учителей	3,16	1 – светильник	30
С/у для учителей	2,56	1 – светильник	20
Комната личной гигиены для женщин	2,41	1 – светильник	20
Коридор	85,27	8 – светильников	30
STEM-лаборатория	70,91	6 – светильников 4 – компьютера 1 – интерактивная доска 1 – кондиционер	30 150 150 1000
Тренерская	19,94	2 – светильника	30
Лестничная клетка – 2	19,48	2 – светильника	30
Тамбур	2,54	1 – светильник	20
Раздевалка для девочек	18,38	3 – светильника	30
Душевая	3,95	1 – светильник	25
Душевая	3,76	1 – светильник	25
С/у для девочек	2,34	1 – светильник	20
С/у для мальчиков	2,34	1 – светильник	20
Раздевалка для мальчиков	19,25	3 – светильника	30
ПУИ	6,58	1 – светильник	30
Снарядная	21,06	2 – светильника	30
Лаборантская химии	19	2 – светильника 1 – компьютер 1 – холодильник 1 – кондиционер	30 150 150 1000
Коридор	34,19	3 – светильника	40

Продолжение таблицы 1

Помещения	S, м ²	Оборудование	P, Вт
Тамбур	2,26	1 – светильник	20
Кабинет химии	92,62	8 – светильников 1 – компьютер 1 – проектор 1 – кондиционер	30 150 200 1000
Кабинет химии	90	8 – светильников 1 – компьютер 1 – проектор 1 – кондиционер	30 150 200 1000
Лаборантская химии	19,42	2 – светильника 1 – компьютер 1 – холодильник 1 – кондиционер	30 150 150 1000
Коридор	111	10 – светильников	30
Тамбур	3,52	1 – светильник	20
Лаборантская НВП	20,85	3 – светильника	30
Кабинет НВП	76,71	6 – светильников 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
Мастерская по разделу "Дизайн технологии"	63,40	6 – светильников	30
Лестничная клетка – 1	25,30	2 – светильника	30
Тамбур	2,49	1 – светильник	20
Коридор	76,18	6 – светильников	30
Тамбур	4,95	1 – светильник	20
Узел связи	4,66	1 – светильник 1 – Wi-Fi роутер	20 30
Электрощитовая	5,11	1 – светильник	20
Лестничная клетка – 3	18,83	2 – светильника	30
Тамбур	2,28	1 – светильник	20
Кабинет географии	64,93	6 – светильников 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
Кабинет географии	64,2	6 – светильников 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
Электрощитовая	8,20	1 – светильник	25
Тамбур	13,75	2 – светильника	20
Комната охраны/радиоузел	15,67	2 – светильника 2 – компьютер	25 150

Продолжение таблицы 1

Помещения	S, м ²	Оборудование	P, Вт
Тамбур	2,26	1 – светильник	20
Тамбур	13,75	2 – светильника	20
Процедурный кабинет	15,71	2 – светильника	25
Кабинет врача	18,56	2 – светильника	25
Коридор	16,34	2 – светильника	25
Изолятор	9,94	2 – светильника	25
С/у	4,83	1 – светильник	20
С/у	4,83	1 – светильник	20
Помещение хранения отходов и приготовления дез. средств.	2,28	1 – светильник	20
Кабинет инклюзивного оборудования	35,02	3 – светильника	40
Кабинет психолога	13,96	2 – светильника 1 – компьютер 1 – кондиционер	25 150 1000
Сенсорная комната	21,34	3 – светильника 1 – свет терапевтическое оборудование	25 300
С/у	21,85	2 – светильника 1 – сушилка для рук	30 1500
Лестничная клетка – 4	21,91	2 – светильника	30
Тамбур	6,34	1 – светильник	20
С/у	20,48	2 – светильника 1 – сушилка для рук	30 1500
Коридор	40,97	4 – светильника	40
Тамбур	6,05	1 – светильник	20
Гардероб для преподавателей	40,73	4 – светильника	40
ПУИ	6,16	1 – светильник	25
Умывальная	25,14	2 – светильника	30
Обеденный зал на 375 мест	335,28	20 – светильников 2 – холодильника 2 – кондиционер	30 150 4000
Тех – помещение	2,5	1 – светильник	20
Лифтовый холл	9,04	2 – светильника	20
Серверная	10,76	2 – светильника 1 – сервер 1 – Wi-Fi роутер	20 500 30
Коридор	45,38	4 – светильника	40

Продолжение таблицы 1

Помещения	S, м ²	Оборудование	P, Вт
Тамбур	2,26	1 – светильник	20
Лестничная клетка – 5	21,91	2 – светильника	30
Тамбур	6,34	1 – светильник	20
Помещение техперсонала	23,38	3 – светильника	30
Бухгалтерия	17,78	2 – светильника 2 – компьютер 1 – кондиционер	30 150 1000
Кабинет спец. отдела кадров	15,39	2 – светильника 2 – компьютер	30 150
Кабинет юриста профориентатора	15,20	2 – светильника 1 – компьютер	30 150
Кабинет зам. директора по АХЧ	15,20	2 – светильника 1 – компьютер	30 150
Кабинет зам. руководителя	29,80	4 – светильника 1 – компьютер	30 150
Приемная	20,80	3 – светильника 1 – компьютер	20 150
Кабинет директора	35,30	4 – светильника 1 – компьютер 1 – кондиционер	30 150 1000
Место ожидания родителей	48,68	4 – светильников	30
Вестибюль	479,39	30 – светильников	40
Коридор	90,41	8 – светильников	30
Тамбур	4,76	1 – светильник	20
Кабинет цифровой грамотности, информатики и робототехники на 13 уч.	48,81	4 – светильников 13 – компьютеры 1 – проектор 1 – интерактивная доска 1 – Wi-Fi роутер 1 – кондиционер	30 150 200 150 30 1000
Лестничная клетка – 6	18,75	2 – светильника	30
Тамбур	2,47	1 – светильник	20
Узел связи	5,40	1 – светильник 1 – Wi-Fi роутер	20 30
Лаборантская	18,30	3 – светильника	30
Электрощитовая	5,18	1 – светильник	20
Тамбур	13,81	2 – светильника	20

Продолжение таблицы 1

Помещения	S, м ²	Оборудование	P, Вт
Тамбур	2,26	1 – светильник	20
Начальный класс (1кл)	65,38	6 – светильников 1 – интерактивная доска 1 – кондиционер	30 150 1000
Коридор	35,78	4 – светильника	25
С/у для девочек	6,9	1 – светильник	20
С/у для мальчиков	6,46	1 – светильник	20
Снарядная	48,60	4 – светильника	30
Лестничная клетка – 8	19,78	2 – светильника	30
Тамбур	2,54	1 – светильник	20
Тренерская	22,16	2 – светильника	30
Вестибюль	164,87	15 – светильников 1 – телевизор	30 150
С/у для учителей	3,84	1 – светильник	20
С/у для учителей	3,86	1 – светильник	20
С/у для мальчиков	8,44	2 – светильника	20
С/у для маломобильных групп населения	4,51	1 – светильник	20
Коридор	52,78	4 – светильника	30
Тамбур	7,15	1 – светильник	30
Игровая комната предшкольных классов	60,49	4 – светильника 1 – кондиционер	40 1000
Предшкольный класс	63,57	6 – светильников 1 – интерактивная доска	30 150
Лестничная клетка – 7	25,47	2 – светильника	30
Тамбур	2,48	1 – светильник	20
Предшкольный класс	62,44	6 – светильников 1 – интерактивная доска	30 150
Предшкольный класс	62,95	6 – светильников 1 – интерактивная доска	30 150
Коридор	98,67	8 – светильников	30
Предшкольный класс	62,67	6 – светильников 1 – интерактивная доска	30 150
С/у для мальчиков	11,29	1 – светильник	20
С/у для девочек	10,84	1 – светильник	20
Коридор	50,14	4 – светильника	30
Предшкольный класс	63,23	6 – светильников 1 – интерактивная доска	30 150

Продолжение таблицы 1

Помещения	S, м ²	Оборудование	P, Вт
Тамбур	2,26	1 – светильник	20
Спортзал	653,41	40 – светильников 2 – осветительные панели 3 – кондиционер	40 400 4000
Тамбур	4,21	1 – светильник	20
Тамбур	4,21	1 – светильник	20
Цех кулинарных и булочных изделий	12,24	2 – светильника	20
Помещение обработки яиц	6,8	1 – светильник	20
Цех первичной обработки овощей	13,76	2 – светильника	20
Тамбур	6,62	1 – светильник	20
Загрузочная	15,52	2 – светильника	20
Кладовая овощей	16,11	2 – светильника	20
Помещение хранения и мойки тары	9,38	1 – светильник	20
Зона охлаждаемых камер	53,64	6 – светильников 3 – холодильника	25 250
Комната персонала	14,84	2 – светильника 1 – микроволновка	20 1500
С/у	3,9	1 – светильник	20
Душевая	1,84	1 – светильник	20
Душевая	1,84	1 – светильник	20
Гардероб персонала	16,46	2 – светильника	20
Тамбур	5,4	1 – светильник	20
Тамбур	5,4	1 – светильник	20
Подсобное помещение	7,27	1 – светильник	20
Помещение сбора посуды	11,44	2 – светильника	20
Тех помещение	3,43	1 – светильник	20
С/у	2,85	1 – светильник	20
Помещение отходов	9,16	1 – светильник	20
Моечная столовой посуды	30,93	3 – светильника 2 – посудомоечные машины	20 2000
Помещение резки хлеба	11,45	2 – светильника	20
Кладовая сухих продуктов	15,27	2 – светильника	20
Коридор	93,06	8 – светильников	30
Инвентарная	10,33	2 – светильника	20

Продолжение таблицы 1

Помещения	S, м ²	Оборудование	P, Вт
Тамбур	2,26	1 – светильник	20
Моечная кухонной посуды	14,5	2 – светильника 2 – посудомоечные машины	20 2000
Спортзал для нач.кл	154,36	15 – светильников 1 – осветительные панели 1 – кондиционер	40 400 4000
Спортзал для нач.кл	154,36	15 – светильников 1 – осветительные панели 1 – кондиционер	40 400 4000
С/у для девочек	4,5	1 – светильник	20
С/у для мальчиков	5	1 – светильник	20
Начальный класс (1кл)	65,38	6 – светильников 1 – интерактивная доска	30 150
Тамбур	4,21	1 – светильник	20
Коридор	69,48	6 – светильников	30
Раздевалка для девочек	16,09	2 – светильника	20
Раздевалка для девочек	16,21	2 – светильника	20
Душевая	2,49	1 – светильник	20
Душевая	2,49	1 – светильник	20
Душевая	2,49	1 – светильник	20
Душевая	2,49	1 – светильник	20
Горячий цех	88,03	8 – светильников 2 – электроплиты 2 – электрические духовые шкафы 2 – фритюрницы 2 – электрические котлы 2 – холодильник 2 – микроволновки	30 3000 2500 1500 3000 150 1500
Холодный цех	16,23	2 – светильника 2 – мясорубки 2 – овощерезки 2 – холодильник 2 – весы 1 – стол с холодильной витриной	20 1200 1000 150 100 400

Таблица 2 – Потребители находящиеся на втором этаже

Помещения	S, м ²	Оборудование	P, Вт
Кабинет англ. языка на 13 уч	45,15	4 – светильника 1 – компьютер 1 – проектор 1 – кондиционер	30 150 200 1000
Кабинет информатики на 13 уч	46,60	4 – светильника 14 – компьютер 1 – проектор 1 – интерактивная доска 1 – кондиционер	30 150 200 150 1000
Лестничная клетка – 2	23,23	2 – светильника	30
Кабинет информатики на 13 уч	50,41	4 – светильника 14 – компьютер 1 – проектор 1 – интерактивная доска 1 – кондиционер	30 150 200 150 1000
Лаборантская информатики	17,62	2 – светильника	20
Кабинет информатики на 13 уч	50,41	4 – светильника 14 – компьютер 1 – проектор 1 – интерактивная доска 1 – кондиционер	30 150 200 150 1000
Лаборантская биологии	22,54	2 – светильника	30
Кабинет биологии	90,71	8 – светильников 1 – компьютер 1 – проектор 1 – кондиционер	30 150 200 1000
Лаборантская биологии	20,61	2 – светильника	30
Кабинет биологии	92,30	8 – светильников 1 – компьютер 1 – проектор 1 – кондиционер	30 150 200 1000
Кабинет математики	69,89	6 – светильников 1 – компьютер	30 150
Кабинет математики	63,65	6 – светильников 1 – компьютер	30 150
Лестничная клетка – 1	29,26	2 – светильника	30
Кабинет математики	63,58	6 – светильников 1 – компьютер	30 150

Продолжение таблицы 2

Помещения	S, м ²	Оборудование	P, Вт
Кабинет англ. языка на 13 уч	45,15	4 – светильника 1 – компьютер 1 – проектор 1 – кондиционер	30 150 200 1000
Метод пособия математического направления	14,03	2 – светильника	20
Кабинет математики	62,83	6 – светильников 1 – компьютер	30 150
С/у для мальчиков	24,33	2 – светильника 1 – сушилка для рук	30 1500
С/у для девочек	27,75	2 – светильника 1 – сушилка для рук	30 1500
С/у для маломобильной группы населения	4,74	1 – светильник	20
С/у для учителей	3,16	1 – светильник	20
С/у для учителей	3,01	1 – светильник	20
С/у комната личной гигиены для женщин	3,01	1 – светильник	20
С/у комната личной гигиены для женщин	3,01	1 – светильник	20
С/у комната личной гигиены для женщин	3,36	1 – светильник	20
Коридор	6,43	1 – светильник	20
Коридор	126,24	12 – светильников	30
Коридор	135,66	12 – светильников	30
Коридор	78,59	8 – светильников	30
Узел связи	4,59	1 – светильник 1 – Wi-Fi роутер	20 30
Электрощитовая	5,18	1 – светильник	20
Лестничная клетка – 3	21,89	2 – светильника	30
Кабинет истории	64,2	6 – светильников 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
Кабинет истории	64,99	6 – светильников 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
Электрощитовая	8	1 – светильник	20
Лестничная клетка – 4	28,78	2 – светильника	30
Методический кабинет	30,05	2 – светильника	40

Продолжение таблицы 2

Помещения	S, м ²	Оборудование	P, Вт
Кабинет англ. языка на 13 уч	45,15	4 – светильника 1 – компьютер 1 – проектор 1 – кондиционер	30 150 200 1000
Кабинет истории	63,1	6 – светильников 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
Кабинет русского языка и литературы на 13 уч	46,53	4 – светильника 1 – компьютер	30 150
Кабинет русского языка и литературы на 13 уч	47,92	4 – светильника 1 – компьютер	30 150
Кабинет русского языка и литературы на 13 уч	46,53	4 – светильника 1 – компьютер	30 150
Кабинет истории	63,1	6 – светильников 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
Методический кабинет	31,41	2 – светильника	40
Лестничная клетка – 5	28,78	2 – светильника	30
Актальный зал на 324 места	326,17	30 – светильников 4 – осветительные панели 1 – проектор 8 – прожекторов 2 – аудиосистемы 2 – компьютера 2 – кондиционер	40 400 500 100 500 150 4000
Коридор	163,72	16 – светильников	30
Коридор	7,12	1 – светильник	20
Гридерная	9,63	1 – светильник	20
Методический кабинет	28,68	2 – светильника	40
Кабинет хореографии	126,58	12 – светильников 1 – компьютер 1 – аудиосистема 1 – кондиционер	30 150 300 1000
Раздевалка для девочек	15,58	2 – светильника	30
Раздевалка для мальчиков	15,91	2 – светильника	30
Снарядная	25	3 – светильника	20
Зона безопасности МГН	14,48	2 – светильника	20
Тех помещение	3,89	1 – светильник	20
Коридор	12,76	2 – светильника	20

Продолжение таблицы 2

Помещения	S, м ²	Оборудование	P, Вт
Кабинет англ. языка на 13 уч	45,15	4 – светильника 1 – компьютер 1 – проектор 1 – кондиционер	30 150 200 1000
Спортивный зал	173,15	16 – светильников 2 – осветительные панели 1 – кондиционер	30 400 4000
Раздевалка для девочек	16,19	2 – светильника	20
С/у для девочек	2,52	1 – светильник	20
С/у для мальчиков	2,52	1 – светильник	20
Душевая	3,86	1 – светильник	20
Душевая	3,86	1 – светильник	20
Раздевалка для мальчиков	16,05	2 – светильника	20
Гардероб	9,99	1 – светильник	20
Гардероб	9,94	1 – светильник	20
Гримерная	9,78	1 – светильник	25
Кладовая декораций	11,89	2 – светильника	20
Коридор	155,24	16 – светильников	30
Лифтовый холл	8,51	1 – светильник	20
Кабинет англ. языка на 13 уч	50,32	4 – светильника 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
Начальный класс (4кл)	64,67	6 – светильников 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
Лестничная клетка - 6	22,03	2 – светильника	30
Узел связи	3,7	1 – светильник 1 – Wi-Fi роутер	20 30
Коридор	16,95	2 – светильника	20
Коридор	226,97	24 – светильника	30
Электрощитовая	5,16	1 – светильник	20
С/у для мальчиков	16,03	2 – светильника	20
С/у для учителей	2,92	1 – светильник	20
С/у для маломобильной группы населения	6,05	1 – светильник	20
С/у для девочек	9,89	1 – светильник	20
С/у для мальчиков	22,14	2 – светильника 1 – сушилка для рук	20 1500
С/у для учителей	2,92	1 – светильник	20

Продолжение таблицы 2

Помещения	S, м ²	Оборудование	P, Вт
Кабинет англ. языка на 13 уч	45,15	4 – светильника 1 – компьютер 1 – проектор 1 – кондиционер	30 150 200 1000
С/у для девочек	21,21	2 – светильника 1 – сушилка для рук	20 1500
Начальный класс (2кл)	63,3	6 – светильников 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
Начальный класс (2кл)	63,65	6 – светильников 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
Лестничная клетка - 7	29,26	2 – светильника	30
Начальный класс (2кл)	63,65	6 – светильников 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
Начальный класс (2кл)	62,92	6 – светильников 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
Начальный класс (2кл)	65,06	6 – светильников 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
Начальный класс (1кл)	63,87	6 – светильников 1 – компьютер	30 150
Начальный класс (1кл)	67,61	6 – светильников 1 – компьютер	30 150
Начальный класс (1кл)	68,74	6 – светильников 1 – компьютер	30 150
Кабинет раздельного обучения лингвистического направления	42,79	4 – светильника 1 – компьютер	30 150
Коридор	42,77	4 – светильника	30
Кабинет раздельного обучения лингвистического направления	49,65	4 – светильника 1 – компьютер	30 150
Лестничная клетка - 8	23,26	2 – светильника	30
Кабинет логопеда	11,88	2 – светильника	20
Коридор	126,7	12 – светильников	30

Таблица 3 – Потребители находящиеся на третьем этаже

Помещения	S, м ²	Оборудование	P, Вт
Кабинет англ. языка на 13 уч	45,15	4 – светильника 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
Кабинет англ. языка на 13 уч	46,36	4 – светильника 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
Лестничная клетка - 2	23,23	2 – светильника	30
Кабинет англ. языка на 13 уч	49,95	4 – светильника 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
Кабинет англ. языка на 13 уч	49,96	4 – светильника 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
Лаборантская физики	21,74	2 – светильника	30
Кабинет физики	90,71	8 – светильников 1 – компьютер 1 – проектор 1 – кондиционер	30 150 200 1000
Лаборантская физики	19,22	2 – светильника	30
Кабинет физики	92,68	8 – светильников 1 – компьютер 1 – проектор 1 – кондиционер	30 150 200 1000
Кабинет каз.яз. и литературы	69,89	6 – светильников 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
Кабинет каз.яз. и литературы	63,65	6 – светильников 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
Лестничная клетка - 1	29,05	2 – светильника	30
Кабинет каз.яз. и литературы	63,65	6 – светильников 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
Помещение хранения методических пособий	11,92	1 – светильник	30
Кабинет каз.яз. и литературы	62,22	6 – светильников 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
Коридор	120,75	12 – светильников	30

Продолжение таблицы 3

Помещения	S, м ²	Оборудование	P, Вт
Кабинет англ. языка на 13 уч	45,15	4 – светильника 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
С/у для мальчиков	24,33	2 – светильника 1 – сушилка для рук	30 1500
С/у для девочек	28,7	2 – светильника 1 – сушилка для рук	30 1500
С/у для маломобильных групп населения	4,74	1 – светильник	20
С/у для учителей	3,16	1 – светильник	20
С/у для учителей	2,56	1 – светильник	20
С/у комната личной гигиены для женщин	2,41	1 – светильник	20
С/у комната личной гигиены для женщин	2,41	1 – светильник	20
С/у комната личной гигиены для женщин	2,41	1 – светильник	20
С/у комната личной гигиены для женщин	2,41	1 – светильник	20
Коридор	6,43	1 – светильник	20
Узел связи	4,25	1 – светильник 1 – Wi-Fi роутер	20 30
Электрощитовая	4,71	1 – светильник	20
Коридор	144,43	14 – светильников	30
Лестничная клетка - 3	21,89	2 – светильника	30
Коридор	71,77	8 – светильников	30
Кабинет каз.яз. и литературы	64,95	6 – светильников 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
Кабинет математики	64,99	6 – светильников 1 – компьютер	30 150
Электрощитовая	7,4	1 – светильник	20
Лестничная клетка - 4	28,78	2 – светильника	30
Кабинет соц. педагога	10,8	2 – светильника	20
Кабинет робототехники	87,31	8 – светильников 1 – компьютер 1 – проектор 1 – Wi-Fi роутер 1 – кондиционер	30 150 200 30 1000
Коридор	44,89	4 – светильника	30

Продолжение таблицы 3

Помещения	S, м ²	Оборудование	P, Вт
Кабинет англ. языка на 13 уч	45,15	4 – светильника 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
Кабинет русского языка литературы на 13уч	44,89	4 – светильника 1 – компьютер	30 150
Кабинет русского языка литературы на 13уч	47,29	4 – светильника 1 – компьютер	30 150
Кабинет русского языка литературы на 13уч	44,03	4 – светильника 1 – компьютер	30 150
Кабинет визуального искусства, графики и проектирования	62,67	6 – светильников 1 – компьютер 1 – проектор 1 – интерактивная доска	30 150 200 150
Методический кабинет	31,81	2 – светильника	30
Лестничная клетка - 5	28,78	2 – светильника	30
Коридор	169,81	16 – светильников	30
Зона безопасности для маломобильных групп населения	7,2	1 – светильник	20
Коридор	93,75	8 – светильников	30
Библиотека	227,41	20 – светильников 15 – компьютер 1 – Wi-Fi роутер 2 – кондиционер	30 150 30 4000
Лифтовый холл	7,76	1 – светильник	20
Узел связи	5,97	1 – светильник 1 – Wi-Fi роутер	20 30
Кабинет музыки	63,49	6 – светильников 1 – компьютер 1 – аудиосистема	30 150 300
Коридор	16,38	2 – светильника	30
Кабинет англ. языка на 13 уч	51,6	6 – светильников 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
Начальный класс (4 кл)	63,39	6 – светильников 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
Коридор	43,7	4 – светильника	30
Лестничная клетка - 6	22,11	2 – светильника	30
Коридор	163,29	16 – светильников	30

Продолжение таблицы 3

Помещения	S, м ²	Оборудование	P, Вт
Кабинет англ. языка на 13 уч	45,15	4 – светильника 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
Узел связи	3,37	1 – светильник 1 – Wi-Fi роутер	20 30
Электрощитовая	4,9	1 – светильник	20
Коридор	149,82	14 – светильников	30
С/у для девочек	20,61	2 – светильника 1 – сушилка для рук	30 1500
С/у для мальчиков	21,78	2 – светильника 1 – сушилка для рук	30 1500
Начальный класс (3 кл)	63,65	6 – светильников 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
Начальный класс (3 кл)	63,65	6 – светильников 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
Лестничная клетка - 7	29,05	2 – светильника	30
Начальный класс (3 кл)	62,22	6 – светильников 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
Начальный класс (3 кл)	62,92	6 – светильников 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
Начальный класс (3 кл)	64,30	6 – светильников 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
Начальный класс (4 кл)	64,63	6 – светильников 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
Начальный класс (4 кл)	67,61	6 – светильников 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
Начальный класс (4 кл)	68,74	6 – светильников 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
Лестничная клетка - 8	23,23	2 – светильника	30
С/у для девочек	10,05	1 – светильник	20
С/у для учителей	2,76	1 – светильник	20
С/у для учителей	2,78	1 – светильник	20

Продолжение таблицы 3

Помещения	S, м ²	Оборудование	P, Вт
Кабинет англ. языка на 13 уч	45,15	4 – светильника 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
Кабинет раздельного обучения лингвистического направления для начальной школы	49,09	4 – светильника 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
Коридор	39,98	4 – светильника	30
Кабинет раздельного обучения лингвистического направления для начальной школы	49,38	4 – светильника 1 – компьютер 1 – проектор	30 150 200
С/у для маломобильных групп населения	6,05	1 – светильник	20
С/у для мальчиков	15,01	2 – светильника	20

Потребитель первой категории представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Потребители первой категории

Потребитель	Оборудование	P, Вт	P _{ус} , Вт
Вентиляция	3 – вытяжных вентилятора 3 – тепловой завесы 3 – приточной установки 2 – вентилятора осевых	2000 2500 3000 180	22 860
Система пожарной безопасности	1 – приточный вентилятор дымоудаления 1 – прибор пожарной сигнализации	2500 300	2800
Аварийное освещение	3 – щита аварийного освещения	1000	3000

Определяем требуемую энергию в день

$$P_T = P \cdot n \cdot t. \quad (1)$$

где, P – мощность потребителя, Вт;

n – количество, шт;

t – время работы, ч.

$$P_T = 20 \cdot 179 \cdot 8 = 28\,640 \text{ Вт} \cdot \text{ч/день}.$$

Остальные данные описаны в таблице 5.

Таблица 5 – Требуемая энергия для потребителей

Оборудование	P, Вт	Количество, шт	Использование, час	P _T , Вт·ч/день
Светильник	20	179	8	28 640
Светильник	25	30	4	3 000
Светильник	30	923	3	83 070
Светильник	40	172	4	27 520
Компьютер	150	153	6	137 700
Проектор	200	49	4	39 200
Wi-Fi роутер	30	11	24	7 920
Сушилка для рук	1500	12	1	18 000
Интерактивная доска	150	13	3	5 850
Осветительная панель	400	10	2	8 000
Прожектор	100	8	2	1 600
Холодильник	150	9	24	32 400
Холодильник	250	3	24	18 000
Аудиосистема	500	2	1,5	1 500
Аудиосистема	300	2	1	600
Электродрель	500	3	1,5	2 250
Посудомоечная машина	2000	4	2	16 000
Сервер	500	1	24	12 000
Микроволновка	1500	3	2	9 000
Кондиционер	1000	21	3	63 000
Кондиционер	4000	12	2	96 000
Телевизор	150	1	3	450
Свет терапевтическое оборудование	300	1	1	300
Электроплита	3000	2	2,5	15 000
Фритюрница	1500	2	2,5	7 500
Электрический котел	3000	2	1	6 000
Электрический духовой шкаф	2500	2	2	10 000

Продолжение таблицы 5

Оборудование	P, Вт	Количество, шт	Использование, час	P _т , Вт·ч/день
Светильник	20	179	8	28 640
Мясорубка	1200	2	1,5	3 600
Овощерезка	1000	2	1,5	3 000
Весы	100	2	1	200
Стол с холодильной витриной	400	1	8	3 200
Итого				452 250

Определяем рабочую мощность потребителей первой категории

$$P_p = P_{yc} \cdot K_{сп} \quad (2)$$

где, $K_{сп}$ – коэффициент спроса;

P_{yc} – установочная мощность системы, Вт.

$$P_{рв} = 22\,860 \cdot 0,7 = 16\,002 \text{ Вт},$$

$$P_{рспб} = 2800 \cdot 1 = 2800 \text{ Вт},$$

$$P_{рас} = 3000 \cdot 0,9 = 2700 \text{ Вт}.$$

Значения коэффициента спроса описаны в таблице 6.

Таблица 6 – Значения коэффициента спроса

K _{сп} при количестве потребителей									
2	3	5	8	10	15	20	30	50	100
1	0,9	0,8	0,75	0,7	0,65	0,65	0,6	0,55	0,5

Резервное электроснабжение предусмотрено исключительно для потребителей первой категории надёжности, к которым относятся система вентиляции, система пожарной безопасности и аварийное освещение.

Продолжительность работы в автономном режиме установлена на полный рабочий день — с 8:00 до 18:00, то есть 10 часов. Согласно расчётам, суммарное потребление указанных систем в течение этого периода составляет 215 020 Вт·ч (или 215,02 кВт·ч), что является значительным значением с точки зрения необходимой аккумуляторной ёмкости.

В связи с этим принято решение использовать три отдельных аккумуляторных блока — по одному на каждую из указанных систем. Для

каждого блока будет подобран инвертор соответствующей номинальной мощности, обеспечивающий стабильную и надёжную работу в условиях резервного электроснабжения.

Для первого аккумуляторного блока был выбран инвертор Huawei SUN2000 – 185KTL – H1 (Рисунок 11). Параметры инвертора описаны в таблице 7.

SUN2000-185KTL-H1
Smart String Inverter



Рисунок 11 – Инвертор SUN2000 – 185KTL – H1

Таблица 7 – Параметры инвертора SUN2000 – 185KTL – H1 [28]

Производитель	Huawei
КПД, %	95 %
Номинальная мощность, Вт	185 000 Вт
Номинальное входное напряжение, В	1 080 В
Номинальная частота, Гц	50 Гц
Номинальный выходной ток, А	135 А
Размеры (Ш x В x Г), мм	1 035 x 700 x 365 мм
Вес, кг	84 кг
Стоимость, тг	3 870 000 тг

Определяем потребление с инвертором

$$P_{\text{ти}} = P_{\text{в}} \cdot k. \quad (3)$$

где, k – коэффициент КПД.

$$P_{\text{ти}} = 160\,020 \cdot 1,05 = 168\,021 \text{ Вт} \cdot \text{ч.}$$

Определяем токовое потребление

$$I_{\text{п}} = \frac{P_{\text{ти}}}{U_{\text{п}}}. \quad (4)$$

где, $U_{\text{п}}$ – постоянное напряжение, В.

$$I_{\text{п}} = \frac{168\,021}{48} = 3\,500,4 \text{ А} \cdot \text{ч.}$$

Исходя из соотношения цены и качества, была выбрана аккумуляторная батарея LiFePO₄ – 25,6 – 120 (Рисунок 12). Параметры аккумулятора описаны в таблице 8.



Рисунок 12 – Аккумуляторная батарея LiFePO₄ – 25,6 – 120

Таблица 8 – Параметры аккумулятора LiFePO₄ – 25,6 – 120 [29]

Производитель	Greenmotors
Номинальное напряжение, В	25,6 В
Номинальная емкость, А·ч	120 А·ч
Глубина разряда, %	80 %
Размеры (Д x В x Ш), мм	520 x 220 x 215 мм
Вес, кг	23 кг
Стоимость, тг	285 000 тг

Определяем токовое потребление с учетом глубины разряда

$$I_{\text{пг}} = \frac{I_{\text{п}}}{k_{\text{г}}}. \quad (5)$$

где, k_r – коэффициент глубины разряда.

$$I_{\text{пг}} = \frac{3\,500,4}{0,8} = 4\,375,5 \text{ А} \cdot \text{ч.}$$

Определяем число цепочек аккумуляторных батарей которые будут соединены параллельно

$$n_{\text{пар}} = \frac{I_{\text{пг}}}{C}. \quad (6)$$

где, C – емкость аккумулятора, А·ч.

$$n_{\text{пар}} = \frac{4\,375,5}{120} = 37 \text{ шт.}$$

Определяем число аккумуляторных батарей которые будут соединены последовательно

$$n_{\text{пос}} = \frac{U_{\text{п}}}{U_{\text{б}}}. \quad (7)$$

где, $U_{\text{б}}$ – напряжение аккумулятора, В.

$$n_{\text{пос}} = \frac{48}{24} = 2 \text{ шт.}$$

Определяем общее количество аккумуляторных батарей

$$n_{\text{общ}} = n_{\text{пар}} \cdot n_{\text{пос}}. \quad (8)$$
$$n_{\text{общ}} = 37 \cdot 2 = 74 \text{ шт.}$$

Определяем энергоёмкость первого блока аккумуляторных батарей

$$C_{\text{б1}} = C \cdot n_{\text{пар}}, \quad (9)$$

$$P_{\text{б1}} = C_{\text{б1}} \cdot U_{\text{п}} \cdot k_r. \quad (10)$$

$$C_{\text{б1}} = 120 \cdot 37 = 4\,440 \text{ А} \cdot \text{ч},$$

$$P_{\text{б1}} = 4\,440 \cdot 48 \cdot 0,8 = 170\,496 \text{ Вт} \cdot \text{ч.}$$

Для второго и третьего аккумуляторного блока был выбран инвертор Growatt MID 30KTL – X2 (Рисунок 13). Параметры инвертора описаны в таблице 9.



Рисунок 13 – Инвертор Growatt MID 30KTL3 – X2

Таблица 9 – Параметры инвертора Growatt MID 30KTL3 – X2 [30]

Производитель	Growatt
КПД, %	97 %
Номинальная мощность, Вт	30 000 Вт
Номинальное входное напряжение, В	220 – 380 В
Номинальная частота, Гц	50 Гц
Размеры (Ш x В x Д), мм	580 x 435 x 230 мм
Вес, кг	29,5 кг
Стоимость, тг	1 840 350 тг

Расчет второго аккумуляторного блока

$$P_{\text{ти}} = 28\,000 \cdot 1,03 = 28\,840 \text{ Вт} \cdot \text{ч},$$

$$I_{\text{п}} = \frac{28\,840}{48} = 600,8 \text{ А} \cdot \text{ч},$$

$$I_{\text{пр}} = \frac{600,8}{0,8} = 751 \text{ А} \cdot \text{ч},$$

$$n_{\text{пар}} = \frac{751}{120} = 7 \text{ шт},$$

$$n_{\text{пос}} = \frac{48}{24} = 2 \text{ шт},$$

$$n_{\text{общ}} = 7 \cdot 2 = 14 \text{ шт}.$$

Определяем энергоёмкость второго блока аккумуляторных батарей

$$C_{62} = 120 \cdot 7 = 840 \text{ А} \cdot \text{ч},$$

$$P_{62} = 840 \cdot 48 \cdot 0,8 = 32\,256 \text{ Вт} \cdot \text{ч}.$$

Расчет третьего аккумуляторного блока

$$P_{\text{ти}} = 27\,000 \cdot 1,03 = 27\,810 \text{ Вт} \cdot \text{ч},$$

$$I_{\text{п}} = \frac{27\,810}{48} = 579,4 \text{ А} \cdot \text{ч},$$

$$I_{\text{пг}} = \frac{579,4}{0,8} = 724,25 \text{ А} \cdot \text{ч},$$

$$n_{\text{пар}} = \frac{724,25}{120} = 6 \text{ шт},$$

$$n_{\text{пос}} = \frac{48}{24} = 2 \text{ шт},$$

$$n_{\text{общ}} = 6 \cdot 2 = 12 \text{ шт}.$$

Определяем энергоёмкость третьего блока аккумуляторных батарей

$$C_{63} = 120 \cdot 6 = 720 \text{ А} \cdot \text{ч},$$

$$P_{63} = 720 \cdot 48 \cdot 0,8 = 27\,848 \text{ Вт} \cdot \text{ч}.$$

Энергоёмкость каждого аккумуляторного блока описана в таблице 10.

Таблица 10 – Энергоёмкость резерва

Первый блок	170 496 Вт·ч
Второй блок	32 256 Вт·ч
Третий блок	27 848 Вт·ч
Суммарная емкость	230 600 Вт·ч

3.2 Построение графика суточной нагрузки для исследования эффективности снижения пика нагрузки

Одной из ключевых задач при проектировании систем с аккумуляторными источниками энергии является обеспечение эффективного распределения электрической нагрузки в течение суток. В образовательных учреждениях, таких как школы, характер потребления электроэнергии подвержен выраженным суточным колебаниям с ярко выраженными пиковыми интервалами, приходящимися, как правило, на утренние и дневные часы.

Для объективной оценки потенциала аккумуляторных батарей в сглаживании пиков нагрузки и повышения энергоэффективности необходимо провести построение графика суточного электропотребления школы (Рисунок 14). Этот график позволит визуализировать динамику изменения нагрузки в течение дня и определить моменты максимального энергопотребления.

Так как объект находится еще в строительстве, будет сформирован условный график суточной нагрузки школы, построенный на основе анализа работы школьного оборудования, освещения, систем безопасности и продолжительности учебного дня.

Условные данные нагрузок от потребителей представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Условные данные нагрузок

Время	Нагрузки	P, кВт·ч
00:00 – 07:00	Сервер, Wi-Fi роутер, Холодильник.	6,51
07:00 – 08:00	Освещение, Вентиляция, Сервер, Wi-Fi роутер, Холодильник.	24,043
08:00 – 12:00	Компьютер, Проектор, Интерактивная доска, Микроволновка, Электроплита, Фритюрница, Электрический котел, Электрический духовой шкаф, Мясорубка, Овощерезка, Весы, Стол с холодильной витриной, Освещение, Вентиляция, Сервер, Wi-Fi роутер, Холодильник.	208,571
12:00 – 13:00	Компьютер, Аудиосистема, Проектор, Осветительная панель, Сушилка для рук, Стол с холодильной витриной, Освещение, Вентиляция, Сервер, Wi-Fi роутер, Холодильник.	61,763
13:00 – 16:00	Компьютер, Проектор, Интерактивная доска, Кондиционер, Свет терапевтическое оборудование, Телевизор, Посудомоечная машина, Электродрель, Стол с холодильной витриной, Освещение, Вентиляция, Сервер, Wi-Fi роутер, Холодильник.	233,162

Продолжение таблицы 11

Время	Нагрузки	P, кВт·ч
00:00 – 07:00	Сервер, Wi-Fi роутер, Холодильник.	6,51
16:00 – 18:00	Компьютер, Аудиосистема, Осветительная панель, Проектор, Освещение, Вентиляция, Сервер, Wi-Fi роутер, Холодильник.	95,626
18:00 – 20:00	Компьютер, Освещение, Сервер, Wi-Fi роутер, Холодильник.	44,302
20:00 – 00:00	Сервер, Wi-Fi роутер, Холодильник, Освещение.	17,943

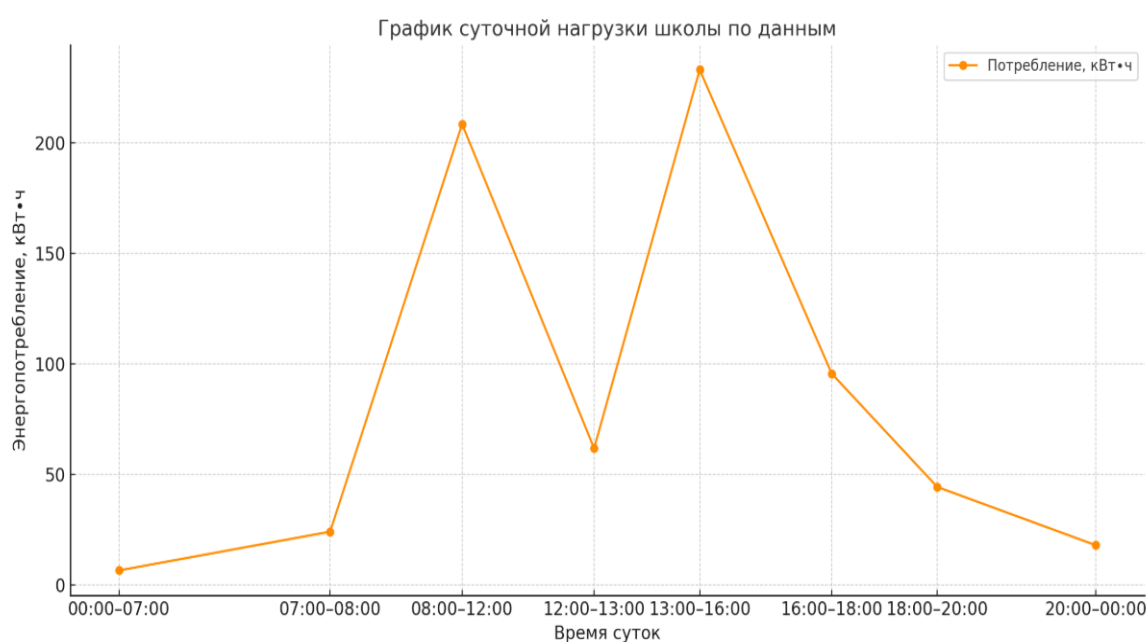


Рисунок 14 – График суточной нагрузки

График отражает динамику потребления электроэнергии школой в течение суток на основе разбивки по временным интервалам и учету работы различных потребителей в здании. Единицей измерения является кВт·ч (энергопотребление за каждый временной интервал).

00:00 – 07:00 (Ночная зона):

- Потребление: 6,51 кВт·ч;

- В это время работают только непрерывные нагрузки: сервер, Wi-Fi роутер и холодильник. Это минимальная нагрузка за сутки, характерная для фазы базового потребления, когда здание не используется.

07:00 – 08:00 (Раннее утро / запуск систем):

- Потребление: 24,043 кВт·ч;

- Начинается подготовка здания к учебному дню: включается освещение, система вентиляции, но активность еще низкая. Нагрузка увеличивается почти в 4 раза по сравнению с ночью.

08:00 – 12:00 (Активная фаза работы школы):

- Потребление: 208,571 кВт·ч;

- Один из наиболее энергозатратных периодов. Активно используются учебное оборудование (компьютеры, проекторы, интерактивные доски), а также пищеблок (электроплиты, микроволновки, мясорубки и пр.). Значительно возрастает нагрузка на систему электроснабжения.

12:00 – 13:00 (Обеденный перерыв):

- Потребление: 61,763 кВт·ч;

- Снижение нагрузки: часть оборудования отключается, но продолжает работать столовая, холодильное и кухонное оборудование. Это переходный этап перед вторым пиком.

13:00 – 16:00 (Вторая половина дня / второй пик):

- Потребление: 233,162 кВт·ч;

- Наивысший пик нагрузки за сутки. Одновременно работают учебные кабинеты и оборудование пищеблока, продолжается активная эксплуатация всех систем. Пик связан также с тем, что к обеду помещения максимально загружены и требуется усиленное кондиционирование и освещение.

16:00 – 18:00 (Начало снижения нагрузки):

- Потребление: 95,626 кВт·ч;

- Заканчиваются занятия, но продолжается работа аудиосистем, проекторов, вентиляции и освещения. Нагрузка постепенно снижается, но ещё достаточно высокая.

18:00 – 20:00 (Вечернее затухание активности):

- Потребление: 44,302 кВт·ч;

- Закрытие здания: остаются только фоновое освещение, сервера и холодильное оборудование. Значительное снижение по сравнению с дневными пиками.

20:00 – 00:00 (Ночная зона):

- Потребление: 17,943 кВт·ч;

- Повторяется режим раннего утра. Работают лишь жизненно важные системы: серверы, роутеры, холодильники и часть освещения.

3.3 Расчет необходимого количества солнечных панелей для заряда аккумуляторных блоков

В целях повышения энергетической автономности и устойчивости работы систем здания школы, особенно в периоды повышенной нагрузки и возможных перебоев в электроснабжении, актуальным становится использование солнечных фотоэлектрических панелей в связке с аккумуляторными батареями.

Установка солнечных панелей позволяет обеспечить частичную или полную подзарядку аккумуляторных блоков за счёт возобновляемого источника энергии, снизить расходы на электроэнергию из внешней сети и сократить углеродный след учреждения.

В данном разделе будет произведён расчет требуемой установленной мощности солнечной электростанции, исходя из:

- общего энергопотребления аккумуляторных блоков;
- среднего уровня солнечных часов в г. Алматы;
- КПД панелей и инверторного оборудования.

Определяем общее токовое потребление всего резерва

$$I_{\text{по}} = I_{\text{п1}} + I_{\text{п2}} + I_{\text{п3}}. \quad (11)$$

$$I_{\text{по}} = 3\,500,4 + 600,8 + 579,4 = 4\,680,6 \text{ А} \cdot \text{ч}.$$

Переводим А·ч в Вт·ч

$$P_{\text{по}} = I_{\text{по}} \cdot U_{\text{п}}. \quad (12)$$

$$P_{\text{по}} = 4\,680,6 \cdot 48 = 224\,668,8 \text{ Вт} \cdot \text{ч}.$$

Определяем общее потребление с учетом потерь на заряд разряд

$$P_{\text{поз}} = P_{\text{по}} \cdot k_{\text{п}}. \quad (13)$$

где, $k_{\text{п}}$ – коэффициент потерь.

$$P_{\text{поз}} = 224\,668,8 \cdot 1,03 = 231\,408,9 \text{ Вт} \cdot \text{ч}.$$

Определяем требуемую мощность всего блока солнечных панелей

$$P_{\text{с}} = \frac{P_{\text{поз}}}{t_{\text{с}}}. \quad (14)$$

где, $t_{\text{с}}$ – количество солнечных часов, ч.

$$P_{\text{с}} = \frac{231\,408,9}{10} = 23\,140,9 \text{ Вт} \cdot \text{ч}.$$

Исходя из соотношения цены и качества, была выбрана солнечная панель Longi LR7 – 72HGD – 605M (Рисунок 15). Параметры солнечной панели описаны в таблице 12.



Рисунок 15 – Солнечная панель Longi LR7 – 72HGD – 605M [31]

Таблица 12 – Параметры солнечной панели Longi LR7 – 72HGD – 605M

Производитель	Longi
Номинальная мощность, Вт	605 Вт
Напряжение, В	48 В
КПД, %	22 %
Размеры (Ш x Д x Т), мм	2382 x 1134 x 35 мм
Вес, кг	33,5 кг
Стоимость, тг	80 000 тг

Определяем количество модулей

$$n_{\text{сп}} = \frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{ном}}}. \quad (15)$$

где, $P_{\text{ном}}$ – номинальная мощность панели, Вт.

$$n_{\text{сп}} = \frac{23\,140,9}{605} = 39 \text{ шт.}$$

Определяем количество панелей которые будут соединены последовательно

$$n_{\text{сппос}} = \frac{U_{\text{п}}}{U_{\text{ном}}}. \quad (16)$$

где, $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение панели, В.

$$n_{\text{сппос}} = \frac{48}{48} = 1 \text{ шт.}$$

3.4 Построение графика суточной нагрузки с данными сглаживания пиков

Согласно данным из таблицы 10, суммарная энергоёмкость аккумуляторного резерва составляет 230 600 Вт·ч (или 230,6 кВт·ч). Для повышения эффективности использования данной энергии предлагается распределить её поровну между двумя основными пиками нагрузки в течение дня:

- первую половину (115,3 кВт·ч) — использовать в период утреннего пика с 08:00 до 12:00;
- вторую половину (115,3 кВт·ч) — в дневной пик с 13:00 до 16:00.

Такой подход позволяет наиболее эффективно компенсировать пиковые значения потребления и сгладить график суточной нагрузки, приближая его к равномерному (Рисунок 16).

Кроме того, выбранные инверторы поддерживают функцию подмешивания энергии (parallel power feed), что даёт возможность одновременно:

- заряжать аккумуляторные блоки от сети или солнечных панелей;
- передавать энергию на покрытие текущей нагрузки в периоды пиков.

Это делает процесс сглаживания полностью автоматизированным и удобным в эксплуатации, не требующим ручного вмешательства и не накладывающим ограничений на режимы зарядки аккумуляторов.

График представляет сравнение исходной суточной нагрузки школы и нагрузки после внедрения аккумуляторного резерва, предназначенного для сглаживания двух основных пиков энергопотребления в течение дня.

Для снижения нагрузки на сеть в наиболее напряжённые часы применяются аккумуляторные блоки с суммарной ёмкостью 230,6 кВт·ч, распределённые следующим образом:

- 115,3 кВт·ч — в утренний пик (08:00–12:00);
- 115,3 кВт·ч — в дневной пик (13:00–16:00).

Это видно по пунктирной линии графика, которая демонстрирует значительное снижение нагрузки в обоих пиковых интервалах:

- 08:00–12:00: с 208,6 кВт·ч до 93,3 кВт·ч;
- 13:00–16:00: с 233,2 кВт·ч до 117,9 кВт·ч.

Общие выводы и преимущества применения аккумуляторов:

- 1) Снижение пиковых нагрузок на сеть:
 - Уменьшается риск перегрузок;
 - Снижается необходимость увеличения присоединённой мощности;
 - Сбалансированное энергопотребление.
- 2) Повышение энергоэффективности:
 - Плавный график потребления позволяет оптимально использовать оборудование;
 - Возможность закупки электроэнергии в ночной период (если будут созданы дифференцированные тарифы).
- 3) Интеграция с ВИЭ:
 - Аккумуляторы могут заряжаться от солнечных панелей, формируя энергоавтономный контур;
 - Позволяет обеспечить резервное питание даже в случае отключения внешней сети.
- 4) Экономический эффект:
 - Уменьшение платы за электроэнергию;
 - Позволяет создать возможность, создание программ энергосервиса или возврата инвестиций через энергосбережение.



Рисунок 16 – График суточной нагрузки со сглаживанием пиков нагрузки

4 Технико – экономический расчет

Оценка эффективности использования системы аккумулирующих устройств в инфраструктуре общеобразовательной школы проводится с учётом действующих тарифов, установленных ТОО «Алматы Энергосбыт». Согласно классификации, школьные учреждения относятся к категории юридических лиц, финансируемых за счёт государственного бюджета. Для данной группы установлен единый тариф на электрическую энергию, который на текущий момент составляет 34,13 тенге за кВт·ч с учётом НДС [38].

На основе этого тарифа осуществляется анализ экономической целесообразности внедрения системы накопления энергии, включая потенциальную экономию и срок окупаемости инвестиций.

Стоимость всего используемого оборудования описана в таблице 13.

Таблица 13 – Стоимость и количество используемого оборудования

Оборудования	Инвертор		Аккумуляторная Батарея	Солнечная панель
Наименования	MID 30KTL3 X2	SUN2000 – 185KTL – H1	LiFePO4 – 25,6 – 120	LR7 – 72HGD – 605M
Количество	2 шт	1 шт	100 шт	39 шт
Стоимость	1 840 350 тг	3 870 000 тг	285 000 тг	80 000 тг
Общая стоимость	7 550 770 тг		28 500 000 тг	3 120 000 тг
Итоговая стоимость	39 170 770 тг			

Определяем экономию в день

$$\mathcal{E}_d = T \cdot P_p. \quad (17)$$

где, T – тариф для юридических лиц, тг;
 P_p – энергоемкость резерва, кВт·ч.

$$\mathcal{E}_d = 34,13 \cdot 230,6 = 7\,870 \text{ тг.}$$

Определяем экономию в год

$$\mathcal{E}_g = \mathcal{E}_d \cdot D_g. \quad (18)$$

где, D_g – количество дней в году.

$$\mathcal{E}_r = 7\,870 \cdot 365 = 2\,872\,550 \text{ тг.}$$

Определяем срок окупаемости

$$O = \frac{C_{\text{и}}}{\mathcal{E}_r}. \quad (19)$$

где, $C_{\text{и}}$ – итоговая стоимость всего оборудования, тг.

$$O = \frac{39\,170\,770}{2\,872\,550} = 14 \text{ лет.}$$

Согласно новостным данным (Рисунок 17), опубликованным 21 мая 2025 года на сайте «Tengri News», с 1 июня текущего года в Алматы и Алматинской области ожидается повышение тарифов на электроэнергию для всех категорий потребителей. В том числе изменения коснутся и учреждений, финансируемых за счёт государственного бюджета [39].

Какими могут быть новые цены?



Предельная цена на электроэнергию с 1 июня, согласно проекту, составит 38,66 тенге за киловатт-час без НДС.

Кроме того, предусмотрено дифференцирование тарифов:

По объемам потребления:

- 1 уровень – 26,80 тенге за киловатт-час,
- 2 уровень – 35,42 тенге за киловатт-час,
- 3 уровень – 44,28 тенге за киловатт-час.

По категориям потребителей:

- бытовые потребители для своих нужд (не использующие тарифы, дифференцированные в зависимости от объемов потребления) – 29,52 тенге за киловатт-час,
- потребители, использующие электроэнергию не для бытовых нужд – 38,66 тенге за киловатт-час,
- юрлица, финансируемые из госбюджета – 111,72 тенге за киловатт-час (без НДС).

Отмечается, что представленный тариф является не окончательным. Окончательное решение будет принято после экспертизы проекта со стороны департамента комитета по регулированию естественных монополий по Алматы и Алматинской области.

Рисунок 17 – Данные с новостного сайта «TENGRI NEWS» об изменениях цен на тарифы

Для данной категории — юридических лиц, финансируемых государством, стоимость электроэнергии возрастет с текущих 34,13 тенге до

111,72 тенге за кВт·ч (без учёта НДС). В связи с этим представляется необходимым рассчитать новые технико-экономические показатели с учётом возможного будущего тарифа, что позволит более точно оценить эффективность и окупаемость внедрения системы аккумулирующих устройств.

Расчет с учетом возможных цен тарифов

$$\mathcal{E}_d = 111,72 \cdot 230,6 = 25\,763 \text{ тг},$$

$$\mathcal{E}_r = 25\,763 \cdot 365 = 9\,403\,495 \text{ тг},$$

$$O = \frac{39\,170\,770}{9\,403\,495} = 4 \text{ года}.$$

Таблица 14 – Сравнения срока окупаемости

Тариф	34,13 тг (С учетом НДС)	111,72 тг (Без учета НДС)
Экономия в день	7 870 тг	25 763 тг
Экономия в год	2 872 550 тг	9 403 495 тг
Затраты	39 170 770 тг	
Срок окупаемости	14 лет	4 года

В таблице 14 представлено сравнение экономической эффективности внедрения системы аккумулирующих устройств при двух вариантах тарифов на электроэнергию:

- текущий тариф — 34,13 тенге за кВт·ч (с учётом НДС);
- будущий тариф — 111,72 тенге за кВт·ч (без учёта НДС), согласно прогнозируемому росту с 1 июня 2025 года.

Экономия в день:

- при текущем тарифе ежедневная экономия от использования аккумуляторной системы составляет 7 870 тенге;
- при повышенном тарифе — экономия увеличивается более чем в три раза, достигнув 25 763 тенге в день.

Экономия в год:

- годовая экономия при старом тарифе составляет 2 872 550 тенге;
- при новом тарифе — она возрастает до 9 403 495 тенге, что подчёркивает значительный рост финансовой выгоды.

При действующем тарифе срок окупаемости системы составляет 14 лет, что делает проект на текущий момент менее привлекательным с точки зрения возврата вложений. Однако при повышении тарифа срок окупаемости сокращается до 4 лет, что делает проект высокоэффективным и целесообразным для внедрения в ближайшее время.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведённого исследования была изучена эффективность применения аккумулирующих устройств, в частности литий-ионных аккумуляторных систем, в инфраструктуре общеобразовательной школы. В качестве объекта исследования была выбрана новая школа, строящаяся в микрорайоне Акбулак Алатауского района города Алматы в рамках государственной программы «Комфортная школа».

Анализ потребителей первой категории (вентиляция, системы пожарной безопасности, аварийное освещение) позволил определить необходимые параметры резервного электроснабжения. Были выполнены расчёты суточной нагрузки, разработаны графики энергопотребления и предложена стратегия сглаживания пиков нагрузки путём поэтапного использования аккумуляторного резерва.

Проведённая технико-экономическая оценка показала, что при текущем тарифе на электроэнергию в 34,13 тенге за кВт·ч срок окупаемости проекта составляет 14 лет, что делает его умеренно эффективным. Однако с учётом ожидаемого роста тарифов до 111,72 тенге за кВт·ч срок окупаемости сокращается до 4 лет, что делает применение системы аккумулирующих устройств экономически целесообразным и высокоэффективным.

Таким образом, внедрение литий-ионных аккумуляторных систем позволяет не только обеспечить надёжное электроснабжение критически важных систем в школе, но и существенно снизить расходы на электроэнергию за счёт сглаживания пиков нагрузки и оптимизации потребления. Тем не менее, одной из важных сопутствующих проблем остаётся вопрос утилизации аккумуляторов по окончании их срока службы. Литий-ионные батареи содержат токсичные и редкоземельные элементы (литий, кобальт, никель), требующие специальной переработки. Неправильное обращение с отработанными батареями может представлять серьёзную угрозу для окружающей среды и здоровья человека. Эти экологические риски требуют своевременного планирования утилизационной инфраструктуры и нормативного сопровождения подобных проектов.

В целом, представленный подход может быть масштабирован и применён в других образовательных и общественных учреждениях, особенно в условиях растущих тарифов и необходимости повышения энергетической устойчивости объектов. Однако его реализация должна сопровождаться ответственным управлением полным жизненным циклом аккумуляторных систем — от внедрения до экологически безопасной утилизации.

Сокращения и обозначения

ЖКХ – Жилищно – коммунальное хозяйство;
АКБ – Аккумуляторная батарея;
ГАЭС – Гидроаккумулирующая электростанция;
CAES – Compressed Air Energy Storage;
FES – Flywheel Energy Storage;
PCM – Phase Change Materials;
КПД – Коэффициент полезного действия;
ТЭЦ – Теплоэлектроцентраль;
СП – Солнечная панель;
ВИЭ – Возобновляемые источники энергии;
НДС – Налог на добавленную стоимость.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Королёва Т. И., Василевич Д. А., Гапеев И. В. Оптимизация энергосбережения в учреждениях образования. – В сборнике: Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации. – Новополюк: Полоцкий государственный университет, 2020. – С. 492–498.
- 2 Кириллова Е. Д., Казанцева И. О. Технологии, способствующие повышению энергоэффективности объектов строительства: аккумулярование теплоты // Молодой ученый. — 2016. — № 28 (132). — С. 95–98.
- 3 Chakraborty M.R., Dawn S., Saha P.K., Basu J.B., Ustun T.S. A Comparative Review on Energy Storage Systems and Their Application in Deregulated Systems // Batteries. – 2022. – Т. 8, № 9. – 124 p.
- 4 Andújar Márquez J.M., Segura Manzano F., Rey Luengo J. Energy Storage Systems: Fundamentals, Classification and a Technical Comparative. – Cham: Springer, 2023. – Pp. 135 – 197.
- 5 Иванов С. П. Технологии накопления энергии в электроэнергетике // Вестник МЭИ. – 2019. – № 5. – С. 78–85.
- 6 Liu J., Hu C., Kimber A., Wang Z. Uses, Cost-Benefit Analysis, and Markets of Energy Storage Systems for Electric Grid Applications // J. Energy Storage. – 2020. – Т. 32. – 248 p.
- 7 Chen H., Cong T.N., Yang W. Compressed air energy storage for renewable energy systems // Energy Convers. Manag. – 2020. – Т. 208. – 152 p.
- 8 Wang Z., Li X. Flywheel energy storage systems for grid applications // J. Power Sources. – 2021. – Т. 489. – 229 p.
- 9 Smith J., Brown T. Supercapacitors in renewable energy systems: A review // Energy Storage. – 2023. – Т. 5, № 2. – 123 p.
- 10 Соловьев Д. А. Энергохранение и его роль в устойчивой энергетике // Энергия: экономика, техника, экология. – 2022. – № 6. – С. 22–29.
- 11 Петров А. В., Смирнов К. С. Применение литий-ионных аккумуляторов в ВИЭ // Научно-технический вестник СПбГУ. – 2021. – Т. 27, № 3. – С. 56–63.
- 12 Овулягулыев А. О., Шамыев Д. Г., Ейебердыева Т. К. Применение аккумулярующих устройств в электрических системах, использующих возобновляемые источники энергии // Эффективность инженерных систем и энергосбережение. — Брест: БрГТУ, 2023. — С. 83–87.
- 13 Колесников А. И., Федоров М. Н., Варфоломеев Ю. М. Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях. — Москва: ИНФРА-М, 2005. — 124 с.
- 14 Сибикин Ю. Д., Сибикин М. Ю. Технология энергосбережения. — Москва: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2006. — 352 с.
- 15 Андрижиевский А. А., Володин В. И. Энергосбережение и энергетический менеджмент. — Мн.: Выш. шк., 2005. — 294 с.
- 16 Клеоновская М. В., Третьяков А. П. О программе энергосбережения и повышения энергоэффективности в образовательных учреждениях //

Актуальные вопросы модернизации экономики и профессионального образования. — Екатеринбург: РГППУ, 2013. — С. 26–29.

17 Li J., Wang H. Economic analysis of battery storage systems in renewable energy integration // *Renew. Energy*. – 2022. – Т. 185. – Pp. 123–134.

18 Кузнецов И. В. Гибридные системы хранения энергии для ВИЭ // *Электротехника*. – 2020. – № 8. – С. 34–41.

19 Zhang Y., Xu Y., Zhou X. Optimization of energy storage systems in microgrids with renewables // *Appl. Energy*. – 2021. – Т. 283. – Pp. 116–228.

20 Taner T. Energy storage systems for renewable energy sources: A review // *Int. J. Energy Res.* – 2020. – Т. 44, № 14. – Pp. 245–260.

21 Сидоров А. А., Иванов И. И. Энергохранение в системах с возобновляемыми источниками энергии // *Электроэнергетика*. – 2020. – Т. 12, № 2. – С. 45–52.

22 Алхасов А.Б. Возобновляемая энергетика: монография. – Москва: Физматлит, 2010. – 256 с.

23 Agyekum E.B., Kumar N.M., Mehmood U., Panjwani M.K., Alhelou H.H., Adebayo T.S., Al-Hinai A. Decarbonize Russia — A Best–Worst Method approach for assessing the renewable energy potentials, opportunities and challenges // *Energy Reports*. – 2021. – Т. 7. – Pp. 498–515.

24 Huggins R. *Energy Storage: Fundamentals, Materials and Applications*. – Cham: Springer, 2016. – 509 p.

25 Kularatna N., Gunawardane K. *Energy Storage Devices for Renewable Energy-Based Systems*. – London: Academic Press, 2021. – 421 p.

26 Бутузов В.А. Солнечная энергетика: состояние и перспективы // *Энергосбережение*. – 2018. – № 4. – С. 32–37.

27 Tan K.M., Babu T.S., Ramachandaramurthy V.K., Kasinathan P., Solanki S.G., Raveendran S.K. Empowering smart grid: A comprehensive review of energy storage technology and application with renewable energy integration // *J. Energy Storage*. – 2021. – Т. 39. – 291 p.

28 SUN2000 – 185KTL – H1 Smart String Inverter. Available at: <https://solar.huawei.com/-/media/Solar/attachment/pdf/la/datasheet/SUN2000-185KTL-H1.pdf> (accessed 16 April 2025).

29 Аккумуляторная батарея LifePo4 25,6 – 120. Available at: <https://greenmotors.kz/product/akkumulyatornaya-batareya-lifepo4-256-v-120-ach/> (accessed 17 April 2025).

30 Growatt MID 30KTL3-X2 Inverter. Available at: <https://en.growatt.com/products/mid-15-30ktl3-x-x2> (accessed 18 April 2025).

31 Longi LR7 – 72HGD – 605M Solar Panel. Available at: <https://e-katalog.kz/LONGI-LR7-72HGD-605M.htm> (accessed 20 April 2025).

32 Ibrahim H., Ilinca A., Perron J. Energy storage systems—Characteristics and comparisons // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. — 2008. — Т. 12. — Pp. 221–250.

33 Koochi-Kamali S., Tyagi V.V., Rahim N.A., Panwar N.L., Mokhlis H. Emergence of energy storage technologies as the solution for reliable operation of

smart power systems: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. — 2013. — Т. 25. — Pp. 135-165.

34 Patel M.R. Wind and Solar Power Systems: Design, Analysis, and Operation. — 3rd ed. — Boca Raton: CRC Press, 2020. — 386 p.

35 Zakeri B., Syri S. Electrical energy storage systems: A comparative life cycle cost analysis // Renewable and Sustainable Energy Reviews. — 2015. — Т. 42. — Pp. 569-596.

36 Luo X., Wang J., Dooner M., Clarke J. Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation // Applied Energy. — 2015. — Т. 137. — Pp. 511-536.

37 Hall P.J., Bain E.J. Energy-storage technologies and electricity generation // Energy Policy. — 2008. — Т. 36. — Pp. 212-255.

38 Официальные цены на тарифы ТОО «АлматыЭнергоСбыт». Available at: <https://esalmaty.kz/ru/business-tariffs> (accessed 1 May 2025).

39 В Алматы и Алматинской области могут вырасти тарифы. Available at: https://tengrinews.kz/kazakhstan_news/skolko-budem-platit-svet-iyunya-almaty-i-almatinskoy-oblasti-570724/ (accessed 2 May 2025).

40 СТ КазННТУ – 09 – 2023. Работы учебные. Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию текстового и графического материала. – КазННТУ, 2023.