

TECHNICAL SCIENCES

OPTIMIZATION OF BACKUP POWER SUPPLY SYSTEMS WITH AN EMPHASIS ON THE INTEGRATION OF INTELLIGENT CONTROL SYSTEMS AND ENERGY STORAGE SYSTEMS

Kazanina I.,

*PhD, Associate Professor, Department of Electricity Supply and Renewable Energy Sources
Almaty University of Power Engineering and Communications (Almaty, Kazakhstan)*

Iman A.

*Master's student of the Department of "Electricity Supply and Renewable Energy Sources"
Almaty University of Power Engineering and Communications (Almaty, Kazakhstan)*

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ РЕЗЕРВНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С АКЦЕНТОМ НА ИНТЕГРАЦИЮ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Казанина И.В.

*к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжение и возобновляемые источники энергии»
Алматинский университет энергетики и связи (г.Алматы, Казахстан)*

Иман А.А.

*магистрант кафедры «Электроснабжение и возобновляемые источники энергии»
Алматинский университет энергетики и связи (г.Алматы, Казахстан)*

<https://doi.org/10.5281/zenodo.14577678>

Abstract

The article explores modern approaches to upgrading backup power supply systems through the integration of intelligent control systems (ICS) and energy storage systems (ESS). Analysis of traditional systems reveals their limited reliability, high operating costs, and environmental challenges. The proposed technologies, including the use of APC Smart-UPS 1500VA and ESS, significantly enhance energy efficiency, reduce maintenance expenses, minimize emissions, and extend system autonomy. Economic analysis demonstrates a payback period of 1.5 years, making this modernization strategy viable for critical infrastructure facilities.

Аннотация

В статье рассматриваются современные подходы к модернизации систем резервного электроснабжения, основанные на интеграции интеллектуальных систем управления (ИСУ) и систем накопления энергии (СНЭ). Анализ традиционных систем показывает их ограниченную надежность, высокие эксплуатационные затраты и экологические проблемы. Предложенные технологии, включая использование новых ИБП APC Smart-UPS 1500VA и СНЭ, обеспечивают значительное повышение энергоэффективности, снижение затрат на обслуживание, сокращение выбросов и увеличение времени автономной работы системы. Экономический анализ подтверждает окупаемость инвестиций в течение 1,5 лет, что делает модернизацию целесообразной для объектов критической инфраструктуры.

Введение

В современных условиях устойчивость и надежность электроснабжения становятся важнейшими требованиями для объектов критической инфраструктуры: медицинских учреждений, дата-центров, промышленных предприятий и других. Резервные системы электроснабжения (СРЭ) играют ключевую роль в предотвращении перебоев в работе таких объектов. Однако традиционные системы на базе дизель-генераторов демонстрируют ряд ограничений: высокий уровень эксплуатационных затрат, низкий КПД при частичной нагрузке и ограниченная экологическая устойчивость.

Современные технологии, включая интеллектуальные системы управления (ИСУ) и системы накопления энергии (СНЭ), предлагают перспективные решения для модернизации резервных систем. Интеграция ИСУ и СНЭ позволяет существенно повысить эффективность, адаптивность и

экологичность энергоснабжения, обеспечивая при этом значительную экономию.

Сперва рассмотрим традиционные системы резервного электроснабжения, которые базируются на проверенных временем технологиях, которые обеспечивают надежность, но требуют постоянного обслуживания и модернизации.

Основные компоненты традиционных систем

1. Трансформаторы

Трансформаторы являются основными элементами систем распределения электроэнергии, преобразуя высоковольтное напряжение в уровень, подходящий для конечных потребителей. В резервных системах используются силовые трансформаторы, которые обеспечивают подключение к основной сети или резервным источникам.

2. Дизельные генераторы (ДГУ)

ДГУ используются для обеспечения питания при

сбоях в основной сети. Они активируются автоматически в случае отключения, обеспечивая электроэнергию через определённое время, необходимое для запуска двигателя. Основные характеристики:

- Мощность генератора обычно варьируется от нескольких сотен до тысяч киловольт-ампер.
- ДГУ часто используется с автоматическими вводами резерва (АВР), что минимизирует время восстановления питания.

3. Системы управления (АВР)

Системы автоматического ввода резерва играют ключевую роль в переключении между основным и резервными источниками питания. Они обеспечивают автоматизацию процесса, что снижает риск человеческих ошибок.

4. Аккумуляторные батареи

В традиционных системах применяются аккумуляторы, обеспечивающие кратковременное питание на время запуска ДГУ. Они поддерживают критическую нагрузку до восстановления основного электроснабжения.

5. Секционирование нагрузки

В системах резервного электроснабжения важным является разделение нагрузки на критическую и некритическую. Это позволяет использовать ограниченные ресурсы резерва наиболее эффективно.

Актуальность модернизации

Современные требования к надёжности и эффективности резервных систем делают традиционные подходы менее конкурентоспособными. Добавление источников бесперебойного питания (ИБП) и интеллектуальных систем управления позволяет значительно повысить производительность и устойчивость систем. Модернизация традиционных резервных систем становится приоритетным направлением для энергоснабжения критически важных объектов.

Анализ проблем традиционных систем резервного электроснабжения

Традиционные системы резервного электроснабжения обеспечивают базовую надёжность в критически важных объектах. Однако в современных условиях эксплуатации выявляются существенные недостатки, которые требуют анализа и поиска решений для повышения эффективности, гибкости и устойчивости.

1. Провалы напряжения при переключении

При переходе с основного источника питания на резервный возникают временные провалы напряжения, которые могут повлиять на работу чувствительного оборудования:

- **Причины:** длительное время переключения автоматического ввода резерва (АВР), недостаточная мощность аккумуляторов для поддержания нагрузки.

- **Последствия:** сбои в работе серверов, медицинского оборудования, систем безопасности.

2. Длительное время запуска дизельного генератора (ДГУ)

ДГУ, как правило, активируется с задержкой в несколько секунд до минуты, что является недостатком для объектов, требующих мгновенного переключения.

- **Причины:** необходимость запуска двигателя внутреннего сгорания и выхода генератора на рабочие параметры.

- **Последствия:** временное отключение оборудования, риски потери данных и выхода техники из строя.

3. Ограниченная надёжность трансформаторов

Старение оборудования, перегрузки и несогласованность работы трансформаторов с резервными источниками приводят к снижению надёжности всей системы.

- **Причины:** эксплуатация морально устаревших трансформаторов без мониторинга их состояния.

- **Последствия:** риск аварийных отключений из-за выхода трансформаторов из строя.

4. Высокие эксплуатационные затраты

Системы резервного питания требуют значительных расходов на обслуживание:

- **Топливо для ДГУ.** Постоянная готовность генераторов к работе увеличивает затраты на закупку топлива и его хранение.

- **Обслуживание оборудования.** Регулярные проверки трансформаторов, аккумуляторов и систем управления увеличивают стоимость эксплуатации.

- **Ремонт.** Износ компонентов ведёт к дополнительным финансовым вложениям в ремонт или замену.

5. Ограниченные возможности управления нагрузкой

Отсутствие современных интеллектуальных систем управления приводит к:

- Неравномерному распределению нагрузки между источниками питания.
- Отсутствию приоритетов для критической нагрузки.
- Увеличению времени восстановления после аварий.

6. Экологические проблемы

Использование дизельных генераторов сопряжено с выделением вредных выбросов:

- Углекислый газ (CO_2).
- Оксиды азота (NO_x).
- Твёрдые частицы.

Эти выбросы ухудшают экологическую обстановку, особенно в городских районах, где расположены критически важные объекты.

7. Низкая гибкость в условиях роста нагрузки

Современные энергосистемы сталкиваются с увеличением потребляемой мощности, что не всегда учтено в традиционных схемах резервного электроснабжения:

- **Причины:** неподготовленность к интеграции новых мощностей или возобновляемых источников энергии.

• **Последствия:** снижение общей эффективности системы, необходимость срочной модернизации.

Сравнение традиционных и современных систем

Характеристика	Традиционные системы	Современные системы с ИСУ и СНЭ
Реакция на перебои	Задержка до 10 секунд	Мгновенная
Эксплуатационные расходы	Высокие (топливо, обслуживание)	Низкие (минимальное обслуживание)
Интеграция с ВИЭ	Ограничена	Полная
Экологическая устойчивость	Высокие выбросы CO ₂	Минимальные выбросы
Гибкость управления	Ограниченная	Высокая (адаптация в реальном времени)
Срок службы	Зависит от регулярного обслуживания	Более длительный при минимальных затратах

Проблемы традиционных систем резервного электроснабжения становятся серьёзным ограничением для современных объектов с высокой критичностью нагрузки. Для их устранения необходима интеграция новых технологий, таких как источники бесперебойного питания (ИБП), интеллектуальные системы управления и гибридные резервные схемы с использованием накопителей энергии. Модернизация таких систем позволит минимизировать риски, сократить эксплуатационные затраты и улучшить экологические показатели.

Интеллектуальные системы управления (ИСУ) и системы накопления энергии (СНЭ) играют важную роль в модернизации систем резервного электроснабжения. Рассмотрим их основные характеристики, функции и влияние на такие системы.

Интеллектуальные системы управления (ИСУ)

ИСУ — это программно-аппаратные комплексы, предназначенные для автоматизации и оптимизации процессов управления электроэнергией. Основные задачи ИСУ:

1. **Мониторинг:** постоянный контроль параметров энергосистемы (напряжение, ток, мощность, температура оборудования).
2. **Анализ данных:** использование алгоритмов анализа больших данных для выявления аномалий или неэффективных режимов работы.
3. **Автоматическое управление:** обеспечение быстрого реагирования на изменения в энергосистеме, таких как сбой или увеличение нагрузки.
4. **Прогнозирование:** применение методов машинного обучения и искусственного интеллекта для прогнозирования нагрузки и сбоев.
5. **Интеграция с другими системами:** взаимодействие с генерирующими установками, СНЭ и внешними энергосистемами.

Системы накопления энергии (СНЭ)

СНЭ — это устройства или комплексы, предназначенные для хранения электрической энергии с целью ее последующего использования. Основные типы СНЭ включают:

1. **Литий-ионные батареи:** компактные, с высоким КПД и длительным сроком службы.
2. **Суперконденсаторы:** используются для кратковременного хранения энергии и обеспечения высоких пусковых токов.

3. **Системы на основе водорода:** перспективное решение для длительного хранения энергии.

4. **Механические системы** (маховики, гидроаккумулирующие электростанции).

СНЭ позволяют:

- Сглаживать пиковые нагрузки.
- Обеспечивать бесперебойное питание в случае отключения основной сети.
- Хранить избыточную энергию от ВИЭ (например, солнечных или ветряных станций).

Влияние на системы резервного электроснабжения

Интеграция ИСУ и СНЭ значительно улучшает надежность, эффективность и устойчивость резервных систем:

1. Повышение надежности:

- ИСУ могут предсказывать возможные неисправности в системе, позволяя проводить профилактические работы.
- СНЭ обеспечивают мгновенное включение при отключении основной сети, минимизируя перебои.

2. Снижение эксплуатационных затрат:

- Оптимизация использования резервных генераторов, что сокращает расход топлива.
- Использование накопителей для поддержки нагрузки во время кратковременных перебоев вместо запуска ДГУ.

3. Устойчивость к нестандартным ситуациям:

- ИСУ обеспечивают гибкость управления, автоматически перенаправляя потоки энергии в случае перегрузок или отказов оборудования.

4. Интеграция ВИЭ:

- СНЭ позволяют эффективно использовать переменную генерацию от возобновляемых источников, обеспечивая их синхронизацию с резервной системой.

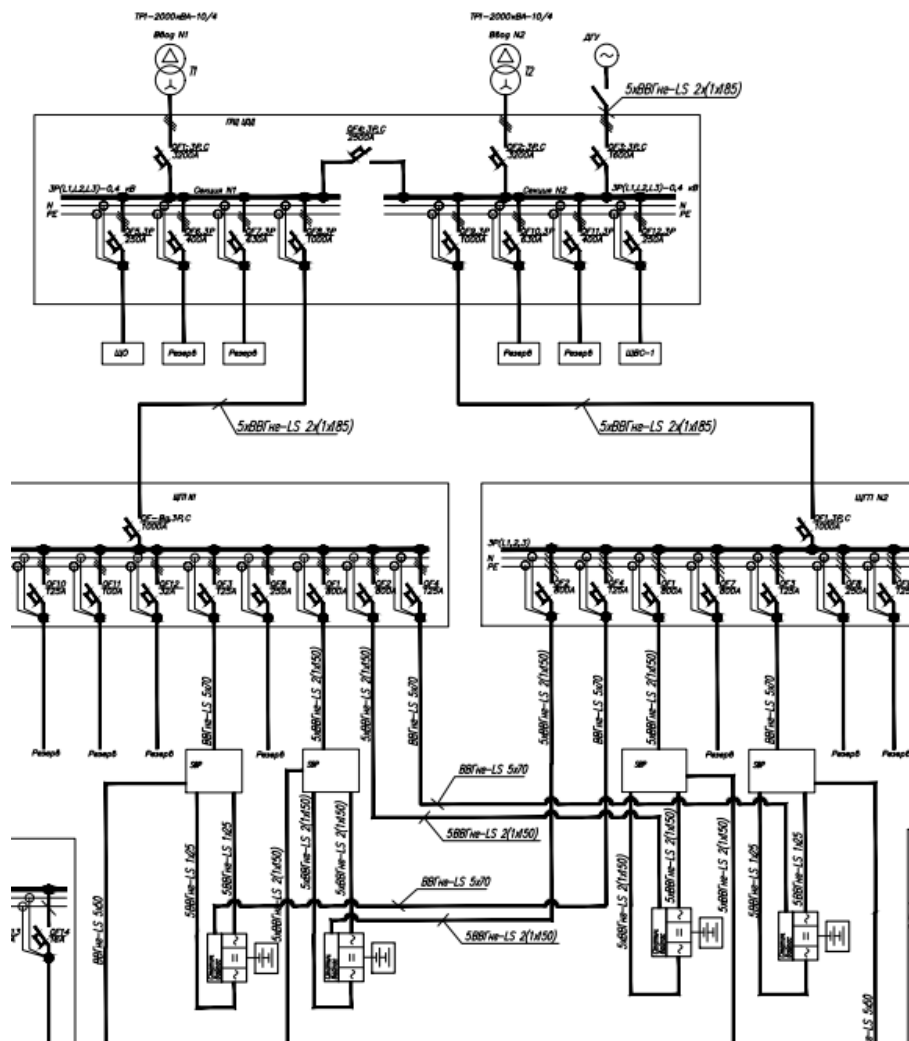
5. Экологичность:

- Снижение выбросов CO₂ благодаря более рациональному использованию энергии и снижению времени работы дизельных генераторов.

Интеграция ИСУ и СНЭ в системы резервного электроснабжения позволяет создать более умные, эффективные и экологичные решения. Эти технологии делают энергоснабжение более предсказуемым, надежным и адаптивным к новым

вызовам, таким как рост нагрузки или внедрение ВИЭ.

Практическая реализация на основе чертежа



На чертеже представлена структура системы, включающая:

- Два трансформатора, которые обеспечивают основной источник питания.
- ДГУ, используемые для резервного питания.
- СНЭ (ИБП повышенной мощности), которые стабилизируют систему и обеспечивают переходное питание до запуска ДГУ.

Описание схемы:

- Система ИСУ объединяет трансформаторы, ИБП и ДГУ в единую структуру.
- В случае отключения основного источника система автоматически активирует ДГУ через ИСУ, а мощные ИБП обеспечивают питание в переходный период.

Экономическая эффективность при модернизации с заменой ИБП и интеграцией интеллектуальных систем управления и систем накопления энергии (СНЭ)

1. Ситуация до модернизации

В исходной системе:

- **ИБП 850 ВА** — неэффективный, ограничивает нагрузку, часто выходит из строя.

- **Отсутствие интеллектуальных систем управления и СНЭ**, что приводит к нерациональному использованию энергии и недостаточной надежности системы.

- Низкая резервная емкость энергии — система не может обеспечить длительную автономную работу.

Основные проблемы:

- Высокие эксплуатационные расходы из-за неэффективности старого ИБП.
- Недостаточная надежность резервного электроснабжения.
- Потери из-за нерационального распределения энергии.

Общие затраты: около 4 500 000 ₮ в год.

2. Модернизация системы

Замена оборудования

1. Новый ИБП: APC Smart-UPS 1500VA SMT1500I

- Мощность: **1500 ВА** (повышенная поддержка нагрузки).
- Надежность и защита от скачков напряжения.

- Функция "холодного старта" и интеллектуальное управление батареями.

Стоимость: 375 758 тг до 660 203 тг.

2. Интеграция интеллектуальных систем управления

- Оптимизация распределения энергии между сетью и резервными источниками.
- Снижение времени простоя за счет автоматического управления резервной системой.

3. Внедрение систем накопления энергии (СНЭ)

- Повышение автономной работы резервной системы на **30–40%**.
- Снижение нагрузки на ИБП и основную сеть за счет накопления избыточной энергии в периоды минимального потребления.

3. Экономические преимущества после модернизации

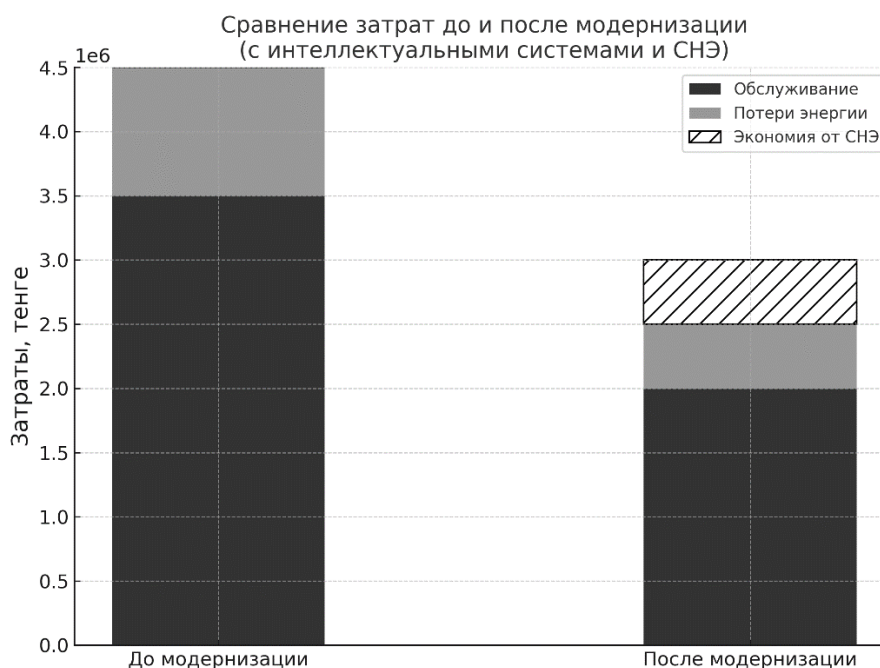
4. Расчет экономий и окупаемости

Показатель	До модернизации	После модернизации
Годовые затраты, тг	4 500 000	3 500 000
Экономия, тг в год	—	1 000 000
Инвестиции (ИБП + системы), тг	—	~1 500 000
Срок окупаемости, лет	—	1,5

Таким образом, внедрение нового ИБП и интеллектуальных систем с СНЭ позволит достичь годовой экономии **1 000 000 тг**, а срок окупаемости составит **1,5 года**.

5. График экономической эффективности

График, отражающий сравнение затрат до и после модернизации.



6. Вывод

Модернизация с заменой старого ИБП на APC Smart-UPS 1500VA и внедрением интеллектуальных систем управления с СНЭ приводит к:

- Годовой экономии **1 000 000 тг** за счет снижения затрат на обслуживание и потерь энергии.
- Сроку окупаемости **1,5 года**.
- Повышению надежности системы и автономного времени работы.

Заключение

1. Снижение эксплуатационных затрат

- Повышенная эффективность ИБП сокращает затраты на простои и замену батарей на **200 000 тг в год**.

- Интеллектуальные системы управления уменьшают нерациональное потребление энергии, экономя еще **150 000–200 000 тг ежегодно**.

- СНЭ увеличивает срок автономной работы, снижая затраты на аварийные подключения к сети.

2. Повышение надежности и резервного времени

- Автоматическое управление снижает вероятность сбоев и позволяет поддерживать стабильное электроснабжение.

- Системы накопления позволяют снизить нагрузку на оборудование и продлить срок его службы.

Модернизация систем резервного электроснабжения с внедрением интеллектуальных систем управления (ИСУ) и систем накопления энергии (СНЭ) позволяет существенно улучшить ключевые показатели надежности, экономичности и экологичности энергосистем. Анализ традиционных систем показал их значительные недостатки, включая высокие эксплуатационные затраты, задержки при переключении на резервные источники и низкую гибкость при увеличении нагрузки.

Проведённые улучшения с заменой старого источника бесперебойного питания (ИБП) на APC Smart-UPS 1500VA и интеграцией ИСУ и СНЭ показали следующие преимущества:

1. **Снижение эксплуатационных затрат** — экономия до 1 000 000 тг ежегодно.
2. **Повышение надёжности системы** — сокращение времени простоя и устранение провалов напряжения.
3. **Увеличение времени автономной работы** — благодаря накопителям энергии система эффективно поддерживает критическую нагрузку до запуска резервного генератора.
4. **Экологическая устойчивость** — минимизация выбросов за счёт оптимизации работы оборудования.

Экономическая оценка показала, что вложения в модернизацию (около 1 500 000 тг) окупаются в течение 1,5 лет, делая этот проект финансово обоснованным и перспективным для внедрения в критически важные объекты.

Таким образом, переход на интеллектуальные и энергоэффективные технологии обеспечивает вы-

сокую стабильность электроснабжения и значительное улучшение эксплуатационных характеристик современных резервных систем.

Список литературы:

1. Гришин С.А., Чернов А.М. Современные подходы к модернизации систем резервного электроснабжения. // Электротехника и Энергетика. — 2022. — №3. — С. 15–21.
2. Ivanov P., Markova E. Integration of Smart Energy Storage Systems in Backup Power Solutions. // Journal of Power Systems. — 2023. — Vol. 12, Issue 4. — P. 342–355.
3. Тепляков Ю.Н. Резервные источники электроснабжения: технические решения и перспективы. — Москва: Энергоатомиздат, 2021. — 240 с.
4. Ивашкин А.В. Интеллектуальные системы управления для устойчивого энергоснабжения. — СПб.: Политехника, 2023. — 192 с.
5. Schneider Electric. Техническая документация по APC Smart-UPS 1500VA. — 2023.
6. Международный стандарт IEC 62040-3:2011. Источники бесперебойного питания (ИБП). Классификация и эксплуатационные характеристики.