

**Булыкин Денис Николаевич**, магистрант, Государственный университет аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург.

**ПРИМЕНЕНИЕ ИБП И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ В УМНЫХ ДОМАХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ  
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЧАСНЫХ ЖИЛЫХ ОБЪЕКТОВ**

**Аннотация.** Проанализированы типы ИБП, их принципы работы и ограничения; представлены сравнительные характеристики свинцово-кислотных (AGM, GEL) и литий-железо-фосфатных аккумуляторных батарей. Показано, как интеграция ИБП в архитектуру «умного дома» с использованием контроллеров и систем энергоменеджмента позволяет оптимизировать потребление электроэнергии. Рассмотрены энергетические эффекты применения локального накопления энергии. Сделаны выводы о роли ИБП и интеллектуальных систем в повышении надёжности и энергоэффективности домашней энергосистемы.

**Abstract.** The paper analyzes various types of uninterruptible power supplies (UPS), their principles of operation, and limitations. Comparative characteristics of lead-acid (AGM, GEL) and lithium iron phosphate ( $\text{LiFePO}_4$ ) batteries are presented. It is shown how the integration of UPS into the smart home architecture using controllers and energy management systems allows for the optimization of electricity consumption. The paper examines the energy effects of local energy storage implementation. Conclusions are drawn about the role of UPS and intelligent systems in improving the reliability and energy efficiency of home power systems.

**Ключевые слова:** Бесперебойное питание; ИБП; умный дом; накопитель энергии; AGM; GEL;  $\text{LiFePO}_4$ ; энергоэффективность; качество электроэнергии; сглаживание пиков; автономное электроснабжение.

**Keywords:** Uninterruptible power supply; UPS; smart home; energy storage; AGM; GEL;  $\text{LiFePO}_4$ ; energy efficiency; power quality; peak shaving; autonomous power supply.

## **Введение**

Современный частный дом всё чаще рассматривается как распределённая энергетическая единица: наряду с потреблением электроэнергии, появляются локальные источники (солнечные батареи, генераторы) и накопители. Жилой сектор потребляет порядка 27 % мировой электроэнергии и становится ключевым в повышении общей энергоэффективности и снижении выбросов. Оснащение домов системами «умного дома» – сочетанием интеллектуальных контроллеров, возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и накопителей – позволяет более эффективно балансировать генерацию и нагрузку [1]. В частности, локальное хранение энергии (аккумуляторные системы) помогает сглаживать суточные пики потребления и компенсировать резкие изменения нагрузки, что важно в условиях неравномерной работы энергосистемы.

Одновременно растёт потребность в надёжности и стабильности электропитания бытовых приборов. Коттеджи и загородные дома часто испытывают колебания напряжения и перебои питания, особенно при плохом состоянии сетей или в отдалённых районах. Для защиты техники и обеспечения комфортных условий необходимы устройства бесперебойного питания, способные мгновенно переключиться на резервный источник и поддерживать параметры сети. Интеграция ИБП с системами управления умным домом обеспечивает автоматическое перераспределение потоков энергии: при отключении основного питания ИБП с аккумулятором и генератором организуют резервное питание без перерыва [2].

В этой работе рассматриваются современные типы ИБП и аккумуляторы, используемые в домовых системах, а также схемы интеграции ИБП и накопителей в умный дом. Особое внимание уделяется влиянию таких систем на энергетические показатели – сглаживание пиков, качество энергии (THD, напряжение,  $\cos \varphi$ ) и выравнивание нагрузки. Рассмотрены перспективы применения ИБП и накопителей в коттеджном строительстве, автономных объектах и при интеграции с ВИЭ.

## Современные ИБП: типы, принципы работы, ограничения

Существует три основных класса ИБП, различающихся схемой преобразования электроэнергии и временем реагирования при пропадании сети: резервные (off-line, Standby), линейно-интерактивные (Line-Interactive) и онлайн (On-Line с двойным преобразованием).

Резервные (Off-line) ИБП при нормальной сети подают питание на нагрузку напрямую, лишь фильтруя помехи. При выходе входного напряжения за допустимые пределы нагрузка автоматически переключается на питание от аккумулятора через инвертор. Преимуществом таких ИБП является низкая стоимость и простота конструкции. Однако у резервных ИБП есть серьёзные ограничения: при переключении возникает задержка (минимум ~5 мс) в подаче питания, выходная «синусоида» от инвертора зачастую аппроксимирована (квази-синусоида), и нет регулирования входного напряжения (перебои малых колебаний вызывают переключение на батарею и быстрый износ АКБ). Из-за этого off-line ИБП в основном применяются для нетребовательной нагрузки в условиях стабильной сети, но не подходят для современной электроники и систем отопления, имеющих чувствительные контроллеры.

Линейно-интерактивные (Line-Interactive) ИБП оснащены автотрансформатором (AVR) между входом и выходом. При умеренных изменениях сетевого напряжения AVR регулирует выход, не включая батарею. Это уменьшает число переключений и сокращает время перехода в автономный режим (переход короче, чем у резервных). В отличие от off-line ИБП, линейно-интерактивные блоки способны «поглощать» небольшие провалы и скачки, поддерживая напряжение, но их ступенчатая регулировка всё же приводит к искажению выходного сигнала (ступенчатое изменение U). При резких перепадах происходит короткая пауза на переключение (хотя и меньше 5 мс). Кроме того, отсутствует активная компенсация частоты и полной формы искажений входной сети.

Онлайн ИБП (двойное преобразование) выполняют непрерывное преобразование: входной переменный ток через выпрямитель превращается в постоянный, а затем через инвертор – снова в синусоидальное переменное. При этом аккумуляторы постоянно подключены между выпрямителем и инвертором, и переключений при аварии не требуется. Онлайновая схема обеспечивает мгновенный переход на батареи без прерывания питания и выдаёт на выходе идеальную синусоиду требуемого напряжения независимо от состояния сети. Такая схема способна нейтрализовать практически любые колебания входного напряжения или помехи, обеспечивая максимальную защиту нагрузки. К недостаткам онлайн ИБП относятся высокая стоимость и (в старых моделях) относительно низкий КПД (около 80–90%). Однако современные алгоритмы управления и улучшенные силовые элементы позволяют довести КПД до ~99% в оптимальных режимах. Онлайн ИБП являются лучшим выбором для критически важных нагрузок, требующих высокой точности питающего напряжения и полной изоляции от внешних помех [3].

Таким образом, выбор типа ИБП для дома зависит от требований к качеству питания и доступного бюджета. Резервные ИБП подходят для небольших систем при стабильной сети, линейно-интерактивные – при умеренных колебаниях, а онлайн-ИБП рекомендуются для защиты дорогостоящей техники или полной автономии дома. Общими ограничениями ИБП можно назвать ёмкость батарей (их автономность ограничена временем), необходимость обслуживания АКБ (а в герметичных моделях – невозможность зарядки при повреждении) и дополнительную тепловую нагрузку (особенно у систем с двойным преобразованием).

### **Типы аккумуляторов для ИБП: AGM, GEL, LiFePO<sub>4</sub> – сравнительный обзор**

Для ИБП в домашних условиях традиционно используют герметичные свинцово-кислотные и современные литий-ионные аккумуляторы. Наиболее распространены AGM и гелеобразные (GEL) свинцово-кислотные батареи, а

также литий-железо-фосфатные аккумуляторы ( $\text{LiFePO}_4$ ). В таблице приведено общее сравнение ключевых характеристик: энергоёмкость, сроки службы и ограничения.

AGM (Absorbent Glass Mat): это герметичные свинцово-кислотные батареи, где жидкий электролит удерживается стекловолокном. AGM-батареи – самый старый, простой и доступный тип, потому и наиболее распространённый для ИБП. Они хорошо работают в режимах редких разрядок (буферный режим), обладают устойчивостью к экстремальным температурам (работают и при низких, и при высоких  $T$ ) и не имеют эффекта памяти. Среди недостатков – чувствительность к качеству зарядки: при перезаряде (например, от дешёвых зарядных схем ИБП) AGM быстро деградируют. Эти батареи необслуживаемы: при утечке электролита или потере жидкости их нельзя восстановить – только заменять всю банку. Также AGM имеют относительно низкую скорость зарядки и значительный вес из-за свинцовых пластин. По сравнению с  $\text{LiFePO}_4$  они обладают невысокой энергоёмкостью и ограниченным числом полных циклов (часто менее 500–800).

GEL (гелевые аккумуляторы): в них электролит загущен до гелеобразного состояния. В отличие от AGM, гелевые батареи обычно предназначены для циклической работы (глубокого разряда и последующего заряда). GEL-батареи герметичны, не выделяют паров, имеют низкий саморазряд, выдерживают глубокие разряды и отличаются сравнительно большим сроком службы. При этом они медленнее реагируют на скачки тока и требуют качественного зарядного алгоритма (чувствительны к перегрузкам по току). Гелевые аккумуляторы хуже переносят сильные морозы и короткие замыкания, но при длительных частых отключениях становятся надёжной опцией.

$\text{LiFePO}_4$  (литий-железо-фосфатные): современная литиевая технология, отличающаяся высокой безопасностью и стабильностью.  $\text{LiFePO}_4$ -аккумуляторы имеют существенно большую энергоёмкость и плотность

заряда на единицу массы по сравнению со свинцово-кислотными, что позволяет добиться большего времени автономии при меньшем весе. Они способны работать при более высоком зарядном токе, быстро заряжаются и поддерживают практически неизменное напряжение в течение разряда. LiFePO<sub>4</sub>-батареи имеют очень длительный ресурс – обычно свыше 2000 циклов заряд/разряд, не боятся разрядов «до нуля» (глубокого разряда) и не страдают эффектом памяти. Важным преимуществом является экологическая безопасность (отсутствие токсичных тяжелых металлов) и вес примерно в 3–5 раз меньше, чем у эквивалентных AGM. Недостатки LiFePO<sub>4</sub> – более высокая цена (как первичная, так и итоговая цена системы) и требование сложной электроники управления (BMS) для контроля заряда/разряда. Кроме того, литиевые батареи плохо переносят заряд при отрицательных температурах: они нормально отдают энергию при морозе, но не заряжаются при температуре ниже 0 °С. Номинальное напряжение одной ячейки LiFePO<sub>4</sub> (~3,2 В) ниже, чем у свинцово-кислотной (2 В на элемент), поэтому для 12–48 В систем требуется большее число ячеек или повышающий преобразователь [4].

Итого: AGM-аккумуляторы дешевы и надёжны при нормальном обслуживании, но тяжелы и имеют ограниченный ресурс; GEL-аккумуляторы устойчивы к глубокому разряду и обычно служат дольше AGM, однако требуют аккуратного заряда и плохи на морозе; LiFePO<sub>4</sub> же предлагают максимальную энергоёмкость, циклостойкость и скорость заряда при меньшем весе, но требуют интеллектуального управления и стоят существенно дороже. При выборе БАТАРЕЙ для ИБП учитываются режим эксплуатации (режим буфер/циклический), климатические условия и бюджет.

### **Интеграция ИБП в систему умного дома: контроллеры, архитектуры, примеры**

Современные решения умного дома реализуют интеллектуальное управление энергосистемой (Energy Management System, EMS), координирующее взаимодействие генераторов (сеть, СЭС, генератор),

инверторов и накопителей. Архитектура типичной системы включает двунаправленный инвертор (Power Conversion System, PCS), связанный с АКБ, а контроллер (EMS) управляет потоками энергии: направляет излишки солнечной генерации на заряд батареи, а при пиках или отключении – разряжает батарею на нагрузку. Такой EMS может быть реализован в виде специализированного контроллера или программного модуля в «умной энергосистеме» дома. EMS собирает данные (уровни зарядов, напряжения, токи, температуру и т. д.) от датчиков и BMS, анализирует их (напр., с помощью предиктивных алгоритмов) и выдает команды – кого заряжать или отключать, когда запустить генератор или отключить лишние нагрузки. В частных домах для управления энергией часто используют протоколы промышленной автоматизации (Modbus/TCP, RS-485, CAN), а также «умные» реле и контроллеры стандартов Wi-Fi, Zigbee, KNX и др. IoT-устройства (умные счётчики, датчики) постоянно мониторят потребление и состояние сети, позволяя центру управления («хаб» или панель управления) оперативно балансировать сеть. Например, при внезапном всплеске потребления EMS может перегрузить генератор или переключить на батареи часть потребителей (нагрузочные реле), продлевая резервный ресурс. Важной составляющей интеграции ИБП является слаженная работа с аварийными генераторами и солнечными станциями. При отключении сети ИБП мгновенно перекрывает пробел в питании, а дальнейшая подзарядка батареи может осуществляться либо от генератора, либо от СЭС в зависимости от условий. Современные системы умного дома способны автоматически запускать дизель-генератор, когда заряд АКБ падает ниже заданного уровня, обеспечивая непрерывность питания. Аналогично EMS может отключить некоторые низкоприоритетные приборы, чтобы продлить питание важных систем. Все эти процессы управляются контроллерами с интерфейсами связи, которые собирают телеметрию от ИБП и аккумуляторов и отдают команды. В качестве примера инженерного решения можно привести гибридные солнечные инверторы (например, серии Huawei LUNA2000, GoodWe, SMA Sunny Island и др.),

которые включают функции ИБП. Они имеют встроенный EMS и BMS, могут питаться от Сети/Солнца и переключать нагрузку на батареи без «мертвого времени». Интеграция таких систем с панелями «умного дома» (через API или драйверы в Home Assistant/KNX) позволяет задействовать расписания и сценарии. При этом система энергоменеджмента (EMS) планирует заряд батареи в период низкого тарифа, отдает энергию на нагрузку в часы пикового потребления, а также выравнивает фазовые искажения. В целом, благодаря EMS локальные накопители энергии превращаются в активный элемент, сглаживающий колебания и повышающий надёжность электроснабжения дома.

### **Энергетические эффекты применения**

Использование ИБП с накопителями в рамках умного дома даёт ряд положительных эффектов для энергосистемы: сглаживание суточных пиков, повышение качества электроэнергии (снижение THD, стабилизация напряжения, коррекция  $\cos \phi$ ) и снижение неравномерности фазной нагрузки.

Сглаживание пиков потребления. Локальные аккумуляторы позволяют накапливать избытки энергии в «долины» спроса и отдавать их в пиковые часы. Таким образом падает амплитуда колебаний нагрузки, снижается максимальный спрос на сеть. Как отмечают эксперты, распределённое хранение энергии у потребителей обеспечивает выравнивание графиков выработки и потребления на уровне микроуровня [5]. При интеграции батарей сгенерированная ночью или в солнечный день энергия может быть сохранена для вечерних нагрузок, уменьшая «пиковую» нагрузку на сетевые трансформаторы. Эффектом является снижение потерь в сетях и экономия на оплате пиковой мощности. По словам производителей, системы накопления «поддерживают параллельную работу с сетью, сглаживая пики потребления».

Повышение качества электроснабжения. Многократно улучшает параметры питания схема с двойным преобразованием ИБП: выход всегда формируется строгой синусоидой с точным значением напряжения, что устраняет искажения и помехи от нестабильной сети. Это снижает общий

коэффициент гармоник (THD) на нагрузке и предотвращает дребезг датчиков и ложное срабатывание регуляторов бытовой техники. Кроме того, активные ИБП (особенно онлайн) не позволяют проходить в нагрузку импульсным выбросам и частотным перепадам. Непрерывная работа выпрямителя/инвертора при любых условиях делает выходное питание независимым от внешних помех и обеспечивает «максимальную защиту нагрузки». Важную роль играет и компенсация реактивной составляющей тока. Современные системы хранения/ИБП способны «поглощать» реактивную мощность индуктивных приборов и возвращать её обратно в сеть, повышая коэффициент мощности  $\cos \varphi$ . Как указано на сайте производителя, ESS позволяют не только сглаживать пики, но и «компенсировать реактивную мощность и улучшать качество электроэнергии». В результате снижается величина реактивного тока в проводах, уменьшаются потери, а домовладелец может избежать штрафных санкций от энергосбытовых компаний за низкий  $\cos \varphi$ .

Снижение неравномерности фазной нагрузки. В большинстве частных домов трёхфазная сеть используется неравномерно: большинство нагрузок приходится на одну-две фазы, вызывая перекос. Интеллектуальная система с аккумулятором может перераспределять однофазные нагрузки между фазами. Например, новейшие домашние накопительные системы способны работать с несимметричными нагрузками: они рассчитаны на пропуск больших токов между отдельными фазами (до 24 А между фазами L1 и L2 в примере устройства Enphase). Это обеспечивает питание нагрузок 120 В по двум фазам и уменьшает дисбаланс. Таким образом, одновременное использование ИБП и энергоэффективных контроллеров позволяет выравнять фазовые токи и снижать нагрев нулевого провода.

Итого, комплексное применение ИБП с накопителем и умных алгоритмов управления энергосистемой дома обеспечивает более стабильное, сбалансированное и «чистое» электроснабжение. Пиковые нагрузки разгружаются на аккумуляторы, резкие провалы напряжения не доходят до

бытовой техники, а реактивная и гармоническая компоненты компенсируются на месте. Всё это способствует экономии энергии (меньше потерь, оптимальная работа приборов) и повышению надёжности электроснабжения.

### **Заключение**

В обзоре рассмотрены ключевые аспекты применения ИБП и интеллектуальных систем в домашней энергетике. Показано, что использование современных ИБП (в частности on-line) в сочетании с накопителями энергии и EMS позволяет значительно повысить надёжность и эффективность электроснабжения частных домов. ИБП гарантируют мгновенный резерв и чистоту питания, а батареи – сглаживают пики нагрузки и обеспечивают автономность. Сравнительный анализ аккумуляторов показал, что выбор между AGM, GEL и LiFePO<sub>4</sub> зависит от требований: AGM и GEL хорошо известны и дешевы, но имеют ограниченный ресурс, тогда как LiFePO<sub>4</sub> дают лучшую ёмкость и ресурс при сложной электронике. Интеграция ИБП в архитектуру умного дома (через контроллеры, связь и EMS) создаёт единую систему, способную автоматически перераспределять энергию от солнечных панелей, аккумуляторов, сети и генератора. В результате проявляются положительные энергетические эффекты: выравнивание суточного профиля нагрузки, улучшение параметров питания (THD, U, cos φ) и снижение фазовых перекосов. Это не только продлевает срок службы бытовой техники, но и позволяет экономить электроэнергию и резервы сети.

### **Список литературы**

1. Vaxevanidis P., Stamoulis K., Botsaris P., Pournaras E. Optimizing home energy flows and battery management with supervised and unsupervised learning in renewable systems // *Electronics*. — 2023. — Т. 14, № 6. — С. 1166.
2. Васильев А. Накопители энергии для эффективной работы энергосистемы // *ЭлектроЭнергетика [электронный ресурс]*. — 2020. — URL:

[https://www.elec.ru/publications/peredacha-raspredelenie-i-nakoplenie-  
elektroenergi/5399/](https://www.elec.ru/publications/peredacha-raspredelenie-i-nakoplenie-<br/>elektroenergi/5399/) (дата обращения: 2025).

3. ИБП-блог «Доминтеллект». Автономное электроснабжение в умном доме [электронный ресурс]. — URL: <https://domintellect.ru/articles/independent-power-supply-of-the-smart-home-stabilization-of-power-supply-and-generators/> (дата обращения: 2025).

4. Типы ИБП: резервные, линейно-интерактивные, онлайн. Статья сайта «ШТИЛЬ» [электронный ресурс]. — URL: <https://www.shtyl.ru/support/articles/typy-istochnikov-besperebojnogo-pitaniya/> (дата обращения: 2025).

5. Triniti-SB. Как выбрать аккумулятор для ИБП: AGM, GEL, LiFePO4 [электронный ресурс]. — URL: <https://triniti-sb.com.ua/ru/blog/akumuliatorni-batarei-agm-gel-lifepo4-iak-obraty-potribnu/> (дата обращения: 2025).

### **List of literature**

1. Baxevanidis P., Stamoulis K., Botsaris P., Pournaras E. Optimizing home energy flows and battery management with supervised and unsupervised learning in renewable systems // Electronics. — 2023. — Vol. 14, No. 6. — p. 1166.

2. Vasiliev A. Energy storage for efficient operation of the energy system // Electric power industry [electronic resource]. — 2020. — URL: [https://www.elec.ru/publications/peredacha-raspredelenie-i-nakoplenie-  
elektroenergi/5399 /](https://www.elec.ru/publications/peredacha-raspredelenie-i-nakoplenie-<br/>elektroenergi/5399/) (accessed: 2025).

3. UPS-blog "Domintellect". Autonomous power supply in a smart home [electronic resource]. — URL: [https://domintellect.ru/articles/independent-power-supply-of-the-smart-home-stabilization-of-power-supply-and-generators /](https://domintellect.ru/articles/independent-power-supply-of-the-smart-home-stabilization-of-power-supply-and-generators/) (date of issue: 2025).

4. UPS types: standby, line-interactive, online. Article of the website "Calm" [electronic resource]. — URL: [https://www.shtyl.ru/support/articles/typy-istochnikov-besperebojnogo-pitaniya /](https://www.shtyl.ru/support/articles/typy-istochnikov-besperebojnogo-pitaniya/) (accessed: 2025).

5. Triniti-SB. How to choose a battery for UPS: AGM, GEL, LiFePO4 [electronic resource]. — URL: <https://triniti-sb.com.ua/ru/blog/akumulatorni-batarei-agm-gel-lifepo4-iak-obraty-potribnu/> (accessed: 2025).