**Интеллектуальные энергосистемы: переход к умным сетям (Smart Grids)**

***Степанов Егор Игоревич,Тен Евгений Енгунович***

*Студент, Дальневосточного государственного университета путей сообщения, Хабаровский край, г. Хабаровск.*

*Egor-stepanov-2000@mail.ru*

**Аннотация:**

В статье рассматривается актуальность и преимущества внедрения интеллектуальных энергосистем (Smart Grid) в контексте растущих потребностей энергетической отрасли, обусловленных увеличением потребления энергии, износом традиционных энергосетей и требованиями к экологической устойчивости. Обсуждаются основные проблемы, стоящие перед существующими энергосистемами, такие как высокие потери энергии, низкая надёжность и сложности в интеграции возобновляемых источников. В статье также освещается специфика внедрения Smart Grid в России, подчеркивается необходимость поэтапного подхода к модернизации устаревшей инфраструктуры и адаптации технологий к региональным условиям. Поднимаются вопросы о социальном и экономическом воздействии на потребителей, а также о рисках, связанных с кибербезопасностью и организационным аспектом.

**Ключевые слова:** традиционные энергосети, Smart Grid, эффективность энергоснабжения, возобновляемые источники энергии, распределённая генерация, кибербезопасность, модернизация инфраструктуры, устойчивость энергосетей.

**The transition to Smart Grids**

***Full name of the author of the article***

*Academic degree, academic title, position, name of the university, country, city*

*E-mail*

**Abstract:**

The article discusses the relevance and benefits of implementing Smart Grid in the context of the growing needs of the energy industry due to increasing energy consumption, deterioration of traditional power grids and environmental sustainability requirements. The main challenges facing existing power grids, such as high energy losses, low reliability and difficulties in integrating renewable sources, are discussed. The article also highlights the specifics of Smart Grid implementation in Russia, emphasizing the need for a phased approach to modernizing outdated infrastructure and adapting technologies to regional conditions. Questions are raised about the social and economic impact on consumers, as well as the risks associated with cybersecurity and organizational aspects.

**Keywords:** traditional power grids, Smart Grid, energy supply efficiency, renewable energy, distributed generation, cyber security, infrastructure modernization, grid resilience.

В последние годы значительный рост потребления энергии, износ традиционных энергосетей и возрастающее внимание к экологическим проблемам делают развитие интеллектуальных энергосистем одной из ключевых задач для энергетической отрасли. Стремление повысить эффективность распределения энергии и сократить затраты на её производство ставит вопрос о модернизации устаревших сетевых структур и внедрении технологий Smart Grid. Интеллектуальные энергосети открывают новые возможности для эффективного управления потреблением и передачей энергии, внедрения возобновляемых источников и повышения устойчивости энергосистем.

Актуальность перехода к концепции Smart Grid подтверждается необходимостью решения множества накопившихся в отрасли проблем. Традиционные энергосети, построенные ещё на технологиях прошлого века, сталкиваются с серьёзными техническими и эксплуатационными вызовами. Например, износ оборудования и сети ведёт к высоким уровням потерь энергии, особенно в крупных системах. Кроме того, снижают надёжность и устойчивость системы высокий износ оборудования, трудности с оперативным реагированием на аварии и изолированное функционирование традиционных сетей без интеграции цифровых технологий. Переход к интеллектуальным энергосетям позволяет преодолеть эти проблемы, поскольку обеспечивает контроль над состоянием сети, минимизирует потери и повышает эффективность за счёт автоматизации управления и применения передовых технологий.

Целью данной статьи является детальное рассмотрение преимуществ, которые предлагает Smart Grid для современных энергетических систем. Кроме того, будут исследованы особенности её внедрения и использования в российских условиях, где процесс модернизации усложняет значительный износ инфраструктуры и централизованная система.

Традиционная энергетическая система, структура которой сформировалась ещё в начале прошлого века, строится на централизованных принципах генерации и распределения энергии. В её основе лежит ряд крупных электростанций, таких как атомные, гидро- и тепловые станции, которые обеспечивают основные объёмы выработки электроэнергии и передают её потребителям по сети. В России эта система представлена централизованной сетью, где ключевую роль играют единичные крупные станции, от которых энергия поступает в распределительные сети и, в конечном итоге, к конечному потребителю [5, c. 110]. Поскольку такая структура сосредоточена вокруг малочисленных крупных генераторов, удаётся поддерживать баланс между выработкой и потреблением энергии, что облегчает контроль над общей нагрузкой сети.

Однако такая модель построения энергетической системы обладает рядом существенных недостатков. Высокая степень износа оборудования приводит к серьёзным техническим проблемам, в том числе к значительным потерям энергии. В России, по данным исследований, уровень изношенности оборудования и сетей достигает 80%, что негативно сказывается на качестве энергоснабжения и устойчивости системы в целом. Потери энергии в российских электросетях составляют до 20-30%, что значительно выше показателей в развитых странах, где они редко превышают 6-8% [5, c. 111]. Эти потери вызваны как физическим состоянием сетей, так и несовершенством системы управления, что делает их снижение практически невозможным в рамках традиционной энергетической структуры.

Кроме того, традиционные сети характеризуются слабой адаптацией к современным нагрузкам и возрастающему спросу на электроэнергию. Системы, построенные на базе устаревших технологий, не способны оперативно реагировать на изменяющиеся условия и перераспределять ресурсы с учётом потребностей, что делает их крайне уязвимыми в случае пиковых нагрузок. Особенно остро эта проблема проявляется в аварийных ситуациях, когда перегруженные линии не выдерживают скачков нагрузки, что приводит к сбоям и отключениям. На фоне быстрого роста потребления и использования новых технологий, таких как электромобили и интеллектуальные устройства, нагрузка на сеть возрастает, что усугубляет риск перебоев в поставках и снижает общую надёжность энергосистемы.

Существующая структура энергосетей сталкивается с новыми вызовами, которые делают модернизацию не просто необходимостью, а неотложной задачей. Увеличение числа конечных потребителей, рост пиковых нагрузок и растущий интерес к возобновляемым источникам энергии требуют от энергосистем гибкости и способности к быстрому масштабированию. Традиционные энергосети, однако, не обладают механизмами для интеграции распределённых источников энергии, таких как солнечные панели и ветряные установки, что ограничивает их возможности по снижению выбросов углекислого газа и достижению экологических стандартов. Этот комплекс проблем вынуждает рассматривать переход к интеллектуальным энергосетям, которые позволят решить задачи по обеспечению стабильности, надёжности и экологичности энергоснабжения.

Концепция интеллектуальных энергосистем, известных как Smart Grid, представляет собой современную модель энергетической инфраструктуры, разработанную для удовлетворения растущих требований по надёжности, безопасности и эффективности энергоснабжения. В отличие от традиционной централизованной энергосистемы, Smart Grid опирается на распределённую сеть генераторов и интеллектуальные устройства, интегрированные в единую структуру, что позволяет ей гибко реагировать на изменение спроса и оптимизировать процессы выработки, распределения и потребления энергии. В основе работы Smart Grid лежат принципы автоматизированного мониторинга и управления, позволяющие в режиме реального времени получать данные о состоянии сети, выявлять неисправности и оптимизировать нагрузку на сеть [2, c. 3]. Архитектура такой системы включает не только крупные источники генерации, но и распределённые, локальные генераторы, такие как солнечные и ветряные установки, что значительно повышает устойчивость и автономность сети.

Одним из ключевых элементов Smart Grid являются цифровые технологии и датчики, которые играют центральную роль в сборе, анализе и передаче данных о потреблении и состоянии сети. Основу для их функционирования составляет автоматизированная система управления SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), которая контролирует оборудование, измерительные приборы и регулирующие устройства. SCADA позволяет не только собирать и обрабатывать данные, но и управлять системами на расстоянии, предотвращая аварии и снижая нагрузку на сети в пиковые часы [5, c. 111]. В системе Smart Grid также широко используются многотарифные счётчики, которые позволяют потребителям выбирать оптимальные тарифные планы в зависимости от времени суток и собственной потребности. Это способствует как равномерному распределению нагрузки в течение дня, так и снижению общих затрат для потребителей. Многотарифные счётчики представляют собой часть более обширной сети интеллектуальных устройств, которые позволяют собирать и анализировать данные о потреблении энергии на индивидуальном уровне, обеспечивая прозрачность и гибкость управления энергопотреблением.

Еще одна важная составляющая интеллектуальных энергосистем — распределённая генерация, которая позволяет максимально приблизить источники генерации к потребителям. В отличие от традиционных сетей, где генерация сосредоточена на крупных электростанциях, распределённая модель предполагает использование множества локальных генераторов, включая установки на возобновляемых источниках энергии. Это не только снижает нагрузку на линии электропередач, но и повышает общую устойчивость системы за счёт диверсификации источников энергии. Smart Grid интегрирует такие технологии, как газопоршневые и ветряные установки, солнечные панели, что позволяет обеспечивать бесперебойное снабжение энергии даже в случае неисправностей на отдельных участках сети. Подключение распределённых источников осуществляется через интеллектуальные устройства и датчики, которые анализируют текущее состояние сети и позволяют системе динамически изменять режимы работы в зависимости от текущего уровня потребления и генерации. Датчики обеспечивают контроль за параметрами, такими как частота и напряжение, и позволяют оперативно реагировать на изменения в сети, автоматически перераспределяя нагрузки и предотвращая сбои. Интеллектуальные аналитические системы анализируют все поступающие данные, что позволяет прогнозировать аварийные ситуации и устранять их до того, как они повлияют на стабильность работы сети [3, c. 14]. Такой подход к управлению способствует значительному повышению надёжности электроснабжения и минимизирует риск возникновения аварийных ситуаций.

Архитектура интеллектуальной энергосети основывается на сочетании централизованного и распределённого производства энергии, что даёт возможность гибко адаптировать систему под потребности различных регионов и эффективно использовать местные ресурсы. Так как традиционные энергосистемы зависят от централизованных крупных генерирующих мощностей, это часто усложняет их работу и управление на больших расстояниях, а также приводит к значительным потерям энергии при транспортировке. В Smart Grid происходит внедрение распределённой генерации, при которой возобновляемые и локальные источники энергии, такие как солнечные и ветряные установки, а также небольшие гидроэлектростанции, подключаются непосредственно к местным узлам сети, снижая зависимость от централизованных объектов. Такая структура позволяет более эффективно контролировать нагрузку, распределять энергию в зависимости от текущих потребностей и минимизировать потери, что особенно важно для удалённых регионов и территорий с ограниченной энергетической инфраструктурой [1, c. 119]. Основной механизм взаимодействия потребителей и поставщиков энергии в Smart Grid реализуется через интеллектуальные счетчики и устройства контроля, которые обеспечивают возможность двухстороннего обмена данными. Интеллектуальные счётчики позволяют как поставщикам, так и потребителям отслеживать и регулировать энергопотребление в реальном времени, тем самым повышая общую прозрачность и контроль за затратами. Поставщики, используя данные со счётчиков и систем автоматического контроля, могут управлять пиковыми нагрузками и корректировать поставки в зависимости от уровня потребления, предотвращая перегрузки и снижая износ оборудования. Потребители, в свою очередь, получают возможность оптимизировать своё энергопотребление за счёт многотарифных расчётов и выбирать время наибольшей экономии при использовании электричества, что способствует снижению общих затрат. Эти возможности делают Smart Grid более интерактивной системой, способной быстро реагировать на изменения спроса и предложений на энергию, повышая её эффективность и надёжность.

Современные интеллектуальные сети оснащаются системой стабилизации напряжения, которая предотвращает перегрузки за счёт автоматической балансировки параметров сети и управления распределением энергии в случае появления неисправностей или повышения нагрузки. Эти системы, как правило, интегрируют данные от множества датчиков и устройств, установленных по всей сети, что позволяет предвидеть и устранять проблемы до того, как они вызовут серьёзные сбои. Кроме того, такие механизмы стабилизации напряжения поддерживают работу возобновляемых источников энергии, которые имеют нестабильный характер выработки, например, из-за погодных условий, что повышает гибкость сети и позволяет улучшить её экологические показатели без ущерба для надёжности.

Использование Smart Grid позволяет снизить выбросы CO₂ за счёт улучшения энергетической эффективности и возможности интеграции возобновляемых источников энергии [3, c. 15]. В традиционных энергосистемах, основанных на сжигании топлива, коэффициент энергетической эффективности значительно ниже единицы, что ведёт к значительным выбросам и низкому КПД. В Smart Grid возобновляемые источники могут быть легко подключены к сети и использоваться наравне с традиционными генераторами, обеспечивая экологически чистое производство электроэнергии. Снижение выбросов CO₂ и сокращение затрат на топливо помогают сделать энергосистему более экологичной и устойчивой к изменениям на рынке топлива и повышению цен на него.

Внедрение Smart Grid в России сталкивается с определёнными проблемами и задачами, обусловленными как состоянием существующей инфраструктуры, так и географическими и экономическими особенностями страны. Высокий износ оборудования и слабое финансирование модернизации сетей ведут к необходимости продуманных и постепенных решений. Поэтому в условиях России это может быть решено посредством поэтапного перехода к Smart Grid, без необходимости полной замены сети. Специфика перехода состоит в подключении интеллектуальных устройств и систем автоматического контроля к узлам существующей сети, а также интеграции распределённой генерации на основе локальных возобновляемых ресурсов. Переход к Smart Grid в России должен начинаться с модернизации самых уязвимых и изношенных участков сети и заканчиваться полной интеграцией всех элементов. Необходимо постепенное подключение интеллектуальных счётчиков, а также установка автоматизированных систем управления и поддержка распределённых источников энергии. Внедрение этой концепции позволит избежать значительных капитальных вложений и одновременно повысит надёжность сети. Учитывая уникальные условия и энергетический потенциал страны, переход к Smart Grid можно организовать по сценариям, адаптированным под особенности российских регионов, что обеспечит эффективное использование ресурсов и повышение общей энергоэффективности.

Стоит сказать, что внедрение интеллектуальных энергосетей оказывает значительное влияние на экономику и стоимость электроэнергии для потребителей, создавая условия для более гибкого и прозрачного управления ресурсами. Smart Grid снижает эксплуатационные расходы и улучшает экономические показатели энергокомпаний, а также приводит к снижению себестоимости электроэнергии и, следовательно, создаёт предпосылки для уменьшения затрат потребителей на оплату услуг [1, c. 119]. Умные счётчики и тарифные системы дают потребителям больше возможностей для управления своим энергопотреблением: например, они могут выбирать время для использования электроэнергии в периоды, когда тарифы ниже, что дополнительно способствует экономии средств и оптимизации энергопотребления. В условиях массового перехода на Smart Grid становится возможным более чёткое соотношение спроса и предложения, что даёт потребителям прямой экономический выигрыш и усиливает общий позитивный эффект для экономики в целом. Кроме того, внедрение Smart Grid поддерживает процессы децентрализации, позволяя пользователям стать не только потребителями, но и производителями энергии, в случае использования таких систем, как солнечные панели или ветроустановки, что позволяет получить дополнительную экономическую выгоду и стимулирует развитие локальной энергетической инфраструктуры.

Однако процесс внедрения Smart Grid сталкивается с рядом рисков. Прежде всего, это касается вопросов безопасности, как физической, так и кибербезопасности. Интеграция цифровых технологий делает систему более уязвимой к кибератакам, что требует усиления мер безопасности и разработки надежных протоколов защиты данных и инфраструктуры [4, с. 57]. Важной задачей остается и физическая защита объектов сети, особенно с учётом наличия большого числа распределённых компонентов и устройств. Организационные проблемы связаны с необходимостью координации работы множества участников и обеспечения соответствия всех компонентов сети высоким стандартам безопасности и эффективности.

Необходимо учитывать, что переход к Smart Grid может привести к социальному неравенству, так как не все потребители смогут позволить себе модернизацию оборудования и переход к умным счетчикам.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Абд Али, Лаит Мохаммед, Хайдер Абдулсахиб Исса. Разработка элементов Smart Grid для оптимизации режимов районных сетей // Молодой ученый. – 2014. – № 8. – С. 117-120.

2. Армашова-Тельник Г.С., Соколова О.Л. Цифровая трансформация энергетического сектора посредством реализации технологических решений smart grid в России и за рубежом // Российский экономический интернет-журнал. – 2022. – № 3. – С. 1-21.

3. Бубенчиков А.А., Горлинский Н.А., Щербинов В.В. Умные сети, Smartgrid. Автоматизация производства преобразования и распределения энергии // Молодой ученый. – 2016. – № 28.2. – С. 14-18.

4. Гаврилович Е.В., Данилов Д.И., Шевченко Д.Ю. «Умные сети» Smart Grid – перспективное будущее энергетической отрасли России // Молодой ученый. – 2016. – № 28.2 – С. 55-59.

5. Гришин Д.С., Пащенко Д.В., Синев М.П., Трокоз Д.А., Яровая М.В. Особенности внедрения интеллектуальных энергосетей Smart Grid // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 1. – С. 109–116.