

## АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Гавриш Екатерина Михайловна, [Katya.gavrish.2001@mail.ru](mailto:Katya.gavrish.2001@mail.ru)  
Белицын Игорь Владимирович, [b\\_i\\_w@mail.ru](mailto:b_i_w@mail.ru)  
Сташко Василий Иванович, [diael@mail.ru](mailto:diael@mail.ru)

### **Аннотация:**

В статье приводится анализ основных способов повышения эффективности транспортировки электрической энергии. Рассмотрены такие способы повышения пропускной способности линий электропередачи как расщепление проводов на несколько фаз, выделены основные направления и оптимальный набор инновационных технологий интеллектуализации магистральных сетей.

**Ключевые слова:** Пропускная способность, воздушная линия, магистральные электрические сети, энергоэффективность, интеллектуальные сети.

Современные электроэнергетические системы развиваются различными путями, от концентрации мощной генерации до систем распределённой энергетики с использованием альтернативных источников. Кроме того, совершенствуются технологии управления сетями, внедряются системы интеллектуальной энергетики, и всё чаще применяются элементы искусственного интеллекта.

Развитие энергосистемы сопряжено с решением множества технических проблем, главной из которых является проблема надёжности. Но, с другой стороны, например, снижение потерь энергии и мощности и повышение их динамической и статической устойчивости, требует повышение пропускной способности в линиях электропередач (ЛЭП). А это при традиционном способе решения, когда строится новая ЛЭП, требует, решения проблем другого порядка, например, выделение полосы отчуждения земель под строительство, что так или иначе будет связано уже с экологическими проблемами.

В этой связи, повышение эффективности транспорта электроэнергии в настоящее время является актуальной задачей, требующей незамедлительного решения.

Изучение текущего состояния основных электрических сетей позволило выявить ключевые факторы, требующие существенных изменений для повышения надёжности и энергоэффективности.

Есть множество решений для повышения транспорта электрической энергии. Одним из них является расщепление провода на несколько фаз.

Пропускная способность линии электропередачи зависит от трех основных величин: напряжения, силы тока, и реактивного сопротивления линии [1].

Известно что наибольшая передаваемая мощность зависит от трех параметров ЛЭП [1]:  $U_1$  – напряжение в начале линии,  $U_2$  – напряжение в конце линии, и  $Z_c$  – волновое сопротивление линии.

Регулируя и изменяя каждый из этих параметров линии можно добиться передачи по линии максимальной мощности.

Одной из основных технических мер по увеличению пропускной способности линий электропередачи является разделение фаз на несколько проводов, что приводит к снижению индуктивного и волнового сопротивлений, увеличению емкости и естественной мощности линий электропередачи.

Проблемы энергоэффективности и надежности функционирования крупных объектов энергетики помимо традиционного подхода можно решить инновационным путем с помощью интеллектуализации.

В России определена проблема пересмотра предстоящего развития Единой энергетической системы страны. С использованием новейших энергоаппаратных систем и систем управления можно значительно повысить пропускную способность электрических сетей, регулировать режимы энергопотребления и при значительно меньших затратах обеспечивать высокую надежность электроснабжения потребителей.

В качестве стратегии интеллектуализации магистральных электрических сетей выбрана стратегия их перевода на высокоинтегрированные электрические сети нового поколения в составе Единой энергетической системы России. Можно выделить основные направления интеллектуализации магистральных сетей [2]:

1. Повышение управляемости и обеспечение гарантированной надежности и функционирования.
2. Разработка новых критериев и методов мониторинга и прогнозирования режимов управления с целью обеспечения эффективного координированного управления для всех участников оптового рынка.
3. Разработка высокоинтегрированного информационно-управляющего комплекса оперативно-диспетчерского управления в режиме реального времени с экспертно-расчетными методами принятия решений, используемого для формирования централизованных пунктов диспетчерского и технологического наблюдения и управления различных уровней иерархии в автоматизированных системах диспетчерского управления. Он является мощной системой создания, хранения, обработки, отображения и документирования информации.
4. Образование устойчивых магистральных каналов связи между всевозможными точками диспетчерского управления и дублированными цифровых путей обмена данными между объектами и органами контроля.
5. Разработка и повсеместное введение сконцентрированных систем противоаварийного контроля.

Единая энергетическая система России будет развиваться как путем присоединения к ней ныне изолированных энергосистем и энергообъединений, так и путем развития межсистемных и внутрисистемных электрических сетей различных классов напряжений, в том числе для отпуска электроэнергии.

В таблице 1 представлены основные инновационные технологии и их эффективность, применение которых для интеллектуализации магистральных электрических сетей является наиболее оптимальным решением.

Таблица 1- Оптимальный набор инновационных технологий для интеллектуализации магистральных электрических сетей [2].

Инновационные технологии	Эффективность технологий
Зарубежные технологии Smart Grid	Бесперебойное электроснабжение с максимальной экономической эффективностью, повышение надежности энергоснабжения, информация для потребителей в реальном времени, сбалансированное перераспределение энергопотоков и снижение пиковых нагрузок, сокращение потерь при передаче электроэнергии
Гибкие системы передачи переменного тока - FACTS	Изменение характеристики передачи или преобразования электрической энергии с целью оптимизации режимов сети сразу по нескольким критериям: пропускной способности, уровню технологических потерь, устойчивости, перераспределению потоков мощности, качеству электрической энергии и реализующее функции само-
Криогенные сверхпроводниковые индукционные накопители электрической энергии	Обеспечение надежности энергоснабжения потребителей
Совершенствование распределенной генерации	Создание механизмов для виртуальной диспетчеризации с помощью средств коммуникации
Сложные проводники, основанные на применении современных многокомпонентных материалах	Увеличение пропускной способности, снижение затрат на строительство линий электропередачи, снижение потерь в сетях, увеличение продолжительности срока эксплуатации, повышение сопротивления коррозии, уменьшение провисания проводов
Инновационные технологии	Эффективность технологий
Противоаварийная автоматика, построенная на новой математической и цифровой платформе;	Предотвращение нарушения устойчивости параллельной работы, ликвидацию асинхронного режима, ограничение снижения частоты, ограничение повышения частоты, ограничение снижения напряжения, разгрузку оборудования
Построение структуры магистральных сетей на принципах, обеспечивающих резкое сокращение потерь электроэнергии	Сокращение установленной трансформаторной мощности и упрощение схем подстанций. Сокращение потерь электроэнергии. Пожаробезопасность оборудования. Передача значительно большей мощности при меньших массогабаритных характеристиках
Токоограничивающие устройства	Экономия ресурса и удешевление коммутационного оборудования электрических станций и подстанций. Снижение потерь электроэнергии в электрических сетях. Повышение устойчивости работы электрической сети
Оптические измерительные трансформаторы	Повышение безопасности вследствие отсутствия масла и элегаза, отсутствие феррорезонанса, безопасность при размыкании вторичных цепей тока, высокая вандалостойкость и стойкость к загрязненности полимерного изолятора, легкая утилизация, малые габариты
Мониторинг состояния МЭС	Прогнозирование объемов и сроков ремонтов, срока службы оборудования, повышение надежности и безаварийности энергоснабжения потребителей
Интеллектуальный учет	Управление данными, собранными от всех автоматических измерительных устройств, которые находятся в зоне действия системы
Цифровые подстанции	Обмен цифровыми сообщениями, обеспечивающими возможность распределенной реализации функций системы автоматизации подстанции и полную функциональную совместимость интеллектуальных электронных устройств различных производителей

Мировая энергетика на протяжении длительного времени развивалась на основе использования невозобновляемых энергоресурсов. Поэтому предполагалось, что через определённое время запасы этих ресурсов будут уменьшаться, и в конце концов будут полностью исчерпаны. Именно это предположение положено в основу существующей энергетической парадигмы.

Согласно исследованиям американского профессора Мариона Хабберта, пик добычи нефти прогнозировался на 1970 год (рисунок 1), после чего ожидается спад по причине исчерпания этого главного к тому времени ресурса [3].

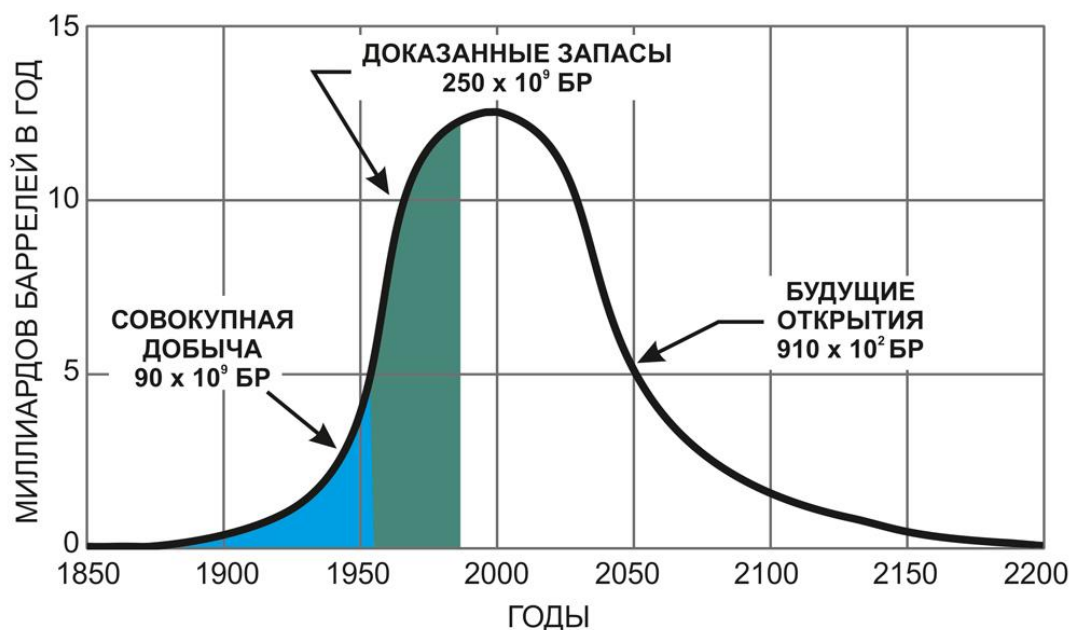


Рисунок 1 - Конечная мировая добыча сырой нефти, основанная на первоначальных запасах в 1250 миллиардов баррелей

В настоящее время распространены две точки зрения на проблему исчерпаемости запасов полезных ископаемых. Одна из них основывается на фундаментальном представлении о том, что ресурсы ограничены и конечны. Эта концепция обоснована на пиковых моделях Хабберта, изначально использовалась для оценки динамики добычи нефти, а в дальнейшем для прогнозирования темпов истощения запасов других энергетических ресурсов [3].

Другая точка зрения сводится к тому, что не все запасы ещё разведаны, а их часть, не извлекаемая в настоящий период, с течением времени может оказаться пригодной к использованию. По сути утверждается, что проблема истощения энергоресурсов в том, что их доступность, зависит от развития технологий добычи [3].

В настоящее время отношение к «кривой Хабберта» неоднозначное, что связано главным образом с бурным развитием новых технологий которые применяются в энергетике.

Так, если рассматривать развитие отечественной энергетики, то необходимо отметить тот факт, что углеводороды, интересовавшие изначально лишь химиков и биологов, сегодня оказалась дефицитным ресурсом, причем не только

с точки зрения использования в энергетике. Но, рост добычи ископаемых энергоресурсов превратил их из дефицитных в изобильный и стал базисом энергетики с сохранением транспортного и энергетического значения, проявившегося на предыдущем этапе [4].

Таким образом сегодня уже можно без сомнения отметить тот факт, что пик «кривой Хабберта» постоянно сдвигается вправо вверх, в результате чего ресурсное ограничение благодаря научно-техническому прогрессу не предвидится. Более того, наблюдается повсеместный отрыв энергопотребления от экономического роста и изменение самих путей обеспечения роста экономики в развитых и развивающихся государствах [5].

Из всего вышеизложенного можно сделать вывод о том, что несмотря на доминирование углеводородного топлива в производстве электроэнергии, действующая энергетическая парадигма постепенно сменяется новой (таблица 2).

Таблица 2 - Сравнение традиционной и новой энергетических парадигм [6]

Действующая (доминирующая) энергетическая парадигма	Наступающая энергетическая парадигма
Доминирование источников электроэнергии на основе углеводородного топлива	«Чистая энергия» возобновляемых источников энергии. Глубокая децентрализация производства энергии. Рост роли электроэнергии в структуре потребления топливно-энергетических ресурсов
Крупные вертикально интегрированные энергетические компании с мощными энергоблоками, крупными месторождениями, большими перерабатывающими установками	Децентрализованные рынки, частные инвестиции
Централизованные электрические сети	Интеллектуализация базовой инфраструктуры, развитие технологий «умных» сетей (Smart Grids)
Однонаправленность потоков электроэнергии – от генератора к потребителю	Переход потребителей к активным моделям поведения (активный потребитель в центре энергосистемы)
Одновременность процессов производства и потребления электроэнергии	Технологии накопления энергии – энергия как «складируемый» товар. Рост эффективности использования энергии
Широкое использование органических топлив в промышленности и транспорте	Углубление электрификации промышленности и транспорта

Единая энергетическая система (ЕЭС) – это основа электроэнергетики России, которая обеспечивает функционирование не только экономики, но и жизнеобеспечения. Составной частью ЕЭС являются электрические сети, обеспечивающие транспорт электроэнергии от поставщиков к потребителям. Поэтому все глобальные процессы в энергетике, так или иначе будут связаны с обеспечением надёжности и повышением эффективности электрических сетей в целом, и ЛЭП в частности.

Таким образом, повышение эффективности транспорта электрической энергии необходимо осуществлять не только с использованием известных технических решений и способов, но и с применением современных технологий и внедрением инноваций. Если использовать оба этих варианта, то можно достичь значимого результата в решении проблемы повышения эффективности транспорта электроэнергии, и выйти на совершенно новый уровень развития энергетики.

### Список используемой литературы

1. Карыбекова, Б. К. Повышение пропускной способности линии электропередачи путем расщепления фазы / Б. К. Карыбекова, М. С. Элчиева, Н. А. у. Атакулов // Известия Ошского технологического университета. – 2021. – № 1. – С. 49-54. – [EDN NDXTBE](#).
2. Савина, Н. В. Интеллектуализация магистральных электрических сетей как средство обеспечения их надежности и энергоэффективности / Н. В. Савина, М. И. Косицына // Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов : Сборник трудов IX Международной научно-технической конференции, Благовещенск, 11–12 марта 2019 года. – Благовещенск: Амурский государственный университет, 2019. – С. 137-142. – [EDN ONIDCF](#).
3. Мацко, Н. А. Цифровизация горной промышленности и состояние минерально-сырьевой базы / Н. А. Мацко, М. Ю. Харитонова // Известия Дальневосточного федерального университета. Экономика и управление. – 2022. – № 3(103). – С. 37-47. – DOI 10.24866/2311-2271/2022-3/37-47. – EDN ZUAFES.
4. Воронина, К. А. Эволюция нефтяной отрасли России (1900-2022 Г.Г.) / К. А. Воронина, А. А. Порошин // Экономика устойчивого развития. – 2023. – № 4(56). – С. 51-55. – EDN PJHJT.
5. Конопляник, А. Футуризм и коридоры возможностей для российского ТЭК в условиях создания единого евроазиатского энергетического пространства / А. Конопляник // Энергетическая политика. – 2023. – № 2(180). – С. 54-69. – DOI 10.46920/2409-5516\_2023\_2180\_54. – EDN PDAPSM.
6. Ховалова, Т. В. Эффекты внедрения интеллектуальных электроэнергетических сетей / Т. В. Ховалова, С. С. Жолнерчик // Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2018. – № 2(105). – С. 92-101. – [EDN UTCGAM](#).

### Информация об авторах

Гавриш Е. М. – студент группы 8Э-31, Сташко В. И. – к.т.н., доцент, Белицын И. В. – к.п.н., доцент, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», РФ, Алтайский край, г. Барнаул.

### Ссылка для цитирования

Гавриш, Е. М. Анализ способов повышения эффективности транспорта электрической энергии / Е. М. Гавриш, В. И. Сташко, И. В. Белицын // Энерджинет. 2023. № 1. URL: <http://nopak.ru/231-050> (дата обращения: 23.02.2024).

