

Влияние реактивной мощности на потребителей и предприятия энергетической отрасли

Синяков Д.Д., Кириченко О.С.

Реактивная мощность возникает в электросетях в результате работы индуктивных и емкостных нагрузок, что оказывает значительное влияние на эффективность работы энергосистем. Данная статья посвящена исследованию природы реактивной мощности, её роли в энергетических системах и влиянию на потребителей и энергопредприятия, а также подходов к её компенсации. Основная цель исследования заключается в выявлении путей повышения эффективности энергосистем и снижения затрат предприятий энергетической отрасли. Особое внимание уделено техническим и экономическим последствиям для потребителей, а также способам компенсации реактивной мощности, которые обеспечивают снижение затрат и повышение эффективности энергосистем. Выводы статьи могут служить основой для разработки рекомендаций по улучшению работы энергосетей и снижению затрат энергопредприятий. Рекомендации для энергопредприятий заключаются в необходимости комплексного подхода к управлению реактивной мощностью. Это включает регулярный анализ структуры нагрузок, применение современных технологий компенсации и повышение энергоэффективности через автоматизацию процессов управления.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

ГОСТ 7.1–2003

Синяков Д.Д., Кириченко О.С. Влияние реактивной мощности на потребителей и предприятия энергетической отрасли // Дискуссия. — 2025. — Вып. 135. — С. 227–232.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Реактивная мощность, электросети, энергосистемы, компенсация мощности, экономическая эффективность, технические последствия, энергопредприятия, энергоэффективность.

Impact of reactive power on consumers and enterprises in the energy sector

Semenov S.S.

Reactive power occurs in power grids as a result of inductive and capacitive loads, which has a significant impact on the efficiency of power systems. This article is devoted to the study of the nature of reactive power, its role in power systems and the impact on consumers and energy companies, as well as approaches to its compensation. The main objective of the study is to identify ways to improve the efficiency of power systems and reduce the costs of energy industry enterprises. Particular attention is paid to the technical and economic consequences for consumers, as well as methods of reactive power compensation that ensure cost reduction and increased efficiency of power systems. The findings of the article can serve as a basis for developing recommendations for improving the operation of power grids and reducing the costs of energy companies. Recommendations for energy companies include the need for an integrated approach to reactive power management. This includes regular analysis of the load structure, the use of modern compensation technologies and increasing energy efficiency through automation of control processes.

FOR CITATION

Semenov S.S. Impact of reactive power on consumers and enterprises in the energy sector. *Diskussiya [Discussion]*, 135, 227–232.

APA

KEYWORDS

Reactive power, electrical networks, power systems, power compensation, economic efficiency, technical consequences, energy enterprises, energy efficiency.

ВВЕДЕНИЕ

Надёжное функционирование энергосистем является основой стабильности экономики и улучшения качества жизни населения. В условиях увеличения объёмов энергопотребления управление ключевыми параметрами электрических сетей становится критически важной задачей. Одним из основных факторов, оказывающих влияние на надёжность и экономическую эффективность энергосистем, остаётся реактивная мощность.

Реактивная мощность, возникающая при работе индуктивных и ёмкостных нагрузок, приводит к увеличению потерь энергии, снижению эффективности работы оборудования и необходи-

мости дополнительных затрат на её компенсацию. Особенно остро эти проблемы воспринимаются предприятиями энергетической отрасли, которые стремятся к минимизации издержек и повышению конкурентоспособности.

Исследования показывают, что внедрение эффективных методов управления реактивной мощностью способствует значительному сокращению эксплуатационных издержек, повышению энергетической эффективности и укреплению устойчивости энергосистем к внешним факторам. Тем не менее, существует потребность в углублённом анализе технических и экономических аспектов, а также в разработке практических

рекомендаций по компенсации реактивной мощности.

Настоящая статья предлагает детальное исследование природы реактивной мощности, её воздействия на потребителей и предприятия энергетической отрасли, а также подходов к её компенсации. Основная цель исследования заключается в выявлении путей повышения эффективности энергосистем и снижения затрат предприятий энергетической отрасли.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В данном исследовании использован теоретический подход, включающий аналитический обзор современных научных публикаций, нормативных документов и технической литературы, посвящённых проблемам реактивной мощности в энергосистемах. Проведён сравнительный анализ существующих методов компенсации реактивной мощности, их преимуществ и ограничений с точки зрения технической эффективности и экономической целесообразности. Исследование основано на рассмотрении фундаментальных принципов работы электрических сетей, характеристик индуктивных и ёмкостных нагрузок, а также влияния реактивной мощности на качество электроэнергии и эксплуатационные показатели энергосистем. В работе использованы математические модели и эмпирические зависимости, представленные в научных источниках, для обоснования последствий избытка или недостатка реактивной мощности. На основе систематизированного обзора и анализа предложены теоретические рекомендации по оптимизации управления реактивной мощностью с целью повышения надёжности и эффективности работы энергосистем.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Природа реактивной мощности и её роль в энергосистемах

Реактивная мощность представляет собой составляющую электрической энергии, которая не трансформируется в полезную работу, но играет важнейшую роль в создании и поддержании электромагнитных полей в компонентах сети с индуктивными и ёмкостными характеристиками. Её возникновение связано с фазовым сдвигом между током и напряжением, обусловленным их несоответствием по фазе. В отличие от активной мощности, которая выполняет функцию непосредственного обеспечения работы оборудования, реактивная мощность участвует в регулярном обмене энергией между источником питания и элементами сети, обеспечивая устойчивость работы электрической инфраструктуры.

Процессы в энергосистемах, связанные с реактивной мощностью, способствуют поддержанию стабильного функционирования таких устройств, как трансформаторы, электродвигатели и конденсаторные установки. При этом избыточное количество реактивной мощности увеличивает энергетические потери в линиях передачи, снижает общий коэффициент полезного действия системы и вызывает перегрузку оборудования. Это сокращает срок службы элементов сети и увеличивает вероятность их отказов. С другой стороны, нехватка реактивной мощности может привести к падению уровня напряжения, что вызывает сбой в работе чувствительных приборов и снижает общую стабильность системы.

Кроме того, без адекватного уровня реактивной мощности повышается риск перегрева сетей, ухудшается качество электроэнергии, включая частотные колебания и снижение долговечности оборудования. Сбалансированное управление этим параметром позволяет минимизировать потери, повышать надёжность системы и снижать эксплуатационные расходы.

Реактивная мощность также оказывает значительное влияние на параметры качества электроэнергии, такие как коэффициент мощности и частота, что критически важно для потребителей. Например, высокие отклонения в этих параметрах могут вызывать значительные финансовые потери у промышленных предприятий и бытовых потребителей. Следовательно, управление реактивной мощностью – это не только техническая задача, но и экономически целесообразное мероприятие.

В итоге реактивная мощность играет двойственную роль: с одной стороны, она является важнейшим элементом для функционирования энергетического оборудования, с другой – при её некорректном управлении возникает множество проблем. Это подчёркивает необходимость дальнейшего изучения и совершенствования методов компенсации, чтобы повысить надёжность и эффективность работы энергосистем.

Влияние на потребителей и предприятия (техническое и экономическое)

Влияние реактивной мощности на потребителей и предприятия энергетической отрасли охватывает как технические, так и экономические аспекты, которые тесно взаимосвязаны и оказывают значительное воздействие на функциональность энергосистем. Технические аспекты включают параметры стабильности и качества электроэнергии, а экономические связаны с за-

тратами на компенсацию, модернизацию и эксплуатацию оборудования. Подробный анализ этих факторов позволяет выявить существующие проблемы и предложить пути повышения общей эффективности энергосистем.

С технической стороны, избыток или недостаток реактивной мощности имеет прямое влияние на работу энергосистем и качество электроэнергии. Низкий коэффициент мощности ведет к увеличению потерь энергии в линиях передачи и трансформаторных подстанциях, что, в свою очередь, снижает пропускную способность электрических сетей. Это вызывает трудности в поддержании стабильного напряжения, что особенно критично для промышленных потребителей, использующих энергоёмкое и высокоточное оборудование. Ухудшение качества электроэнергии проявляется в виде нестабильности напряжения, резонансных явлений и превышении допустимых температурных режимов работы оборудования, что сокращает его срок службы и увеличивает риск аварийных ситуаций.

Проблемы качества электроэнергии становятся частой причиной нарушений в производственных процессах, приводя к простоям, выходу из строя чувствительных систем и значительным финансовым убыткам. Избыток реактивной мощности перегружает линии передачи, увеличивая нагрузку на оборудование и вызывая его преждевременный износ. Это, в свою очередь, требует значительных затрат на техническое обслуживание и замену компонентов, что увеличивает стоимость владения инфраструктурой.

С экономической точки зрения реактивная мощность приводит к росту эксплуатационных и капитальных затрат, связанных с поддержанием и модернизацией энергосистем. Предприятия вынуждены выделять ресурсы на установку и обслуживание компенсирующего оборудования, такого как конденсаторные батареи, устройства управления и активные фильтры. Эти меры направлены на улучшение качества электроэнергии и снижение потерь в линиях передачи, что становится критически важным в условиях растущих нагрузок на сети.

Кроме того, снижение коэффициента мощности может вызвать рост тарифов на электроэнергию для конечных потребителей, поскольку энергокомпании закладывают дополнительные издержки в структуру тарификации. Промышленные предприятия сталкиваются с необходимостью пересмотра своих расходов, что включает оплату электроэнергии и затраты на техническое об-

служивание. В некоторых случаях это также требует реконструкции существующей инфраструктуры для обеспечения стабильной работы энергосистемы.

Долгосрочные последствия включают снижение конкурентоспособности предприятий из-за увеличения затрат на энергоресурсы. Для энергоёмких отраслей, где расходы на электроэнергию составляют значительную часть себестоимости продукции, эти проблемы особенно остро ощущаются. Грамотное управление реактивной мощностью позволяет не только снизить эксплуатационные затраты, но и формирует устойчивую экономическую модель работы предприятий, обеспечивая стабильность и конкурентоспособность на рынке.

Таким образом, реактивная мощность играет двойственную роль. Она необходима для стабильного функционирования энергосистем, но при её избытке или недостатке возникают дополнительные затраты и риски. Эффективное управление этим параметром остаётся ключевым инструментом для повышения энергоэффективности и экономической устойчивости как потребителей, так и энергетических компаний.

Методы компенсации реактивной мощности

Компенсация реактивной мощности представляет собой комплекс мероприятий, направленных на повышение эффективности работы энергосистем за счёт минимизации потерь и обеспечения их стабильной работы. Современные подходы к компенсации опираются на использование передовых технологий и оборудования, обеспечивающих адаптацию к динамически меняющимся условиям энергоснабжения.

1. **Конденсаторные установки.** Конденсаторные батареи являются наиболее распространённым решением для компенсации реактивной мощности. Эти устройства состоят из группы конденсаторов, подключаемых непосредственно к электрической сети. Они обеспечивают снижение реактивной нагрузки, уменьшают потери в линиях электропередачи, предотвращают перегрев оборудования и поддерживают стабильность напряжения. Конденсаторные установки отличаются низкой стоимостью, простотой эксплуатации и долговечностью, что делает их популярными для локальной компенсации, особенно на уровне потребителей и малых предприятий. Однако их эффективность может быть ограничена при высокой динамике изменения нагрузки.

2. Синхронные компенсаторы. Это устройства, представляющие собой синхронные двигатели, которые работают в режиме холостого хода для генерации или поглощения реактивной мощности. Их применение обеспечивает точную настройку коэффициента мощности, устойчивость сети к изменениям нагрузки и стабилизацию параметров электроснабжения. Синхронные компенсаторы находят широкое применение на крупных промышленных объектах и энергетических подстанциях, где важны высокая гибкость и надёжность системы. К их недостаткам относятся более высокие затраты на установку и обслуживание по сравнению с конденсаторными батареями.

3. Тиристорные компенсаторы. Эти устройства используют современные тиристорные технологии, позволяющие динамически управлять реактивной мощностью в режиме реального времени. Тиристорные компенсаторы способны мгновенно реагировать на изменения нагрузки, обеспечивая оптимальный баланс между генерацией и потреблением реактивной мощности. Это особенно важно для предприятий с быстро изменяющимися нагрузками, например, сталелитейных заводов или современных автоматизированных производств. Основным преимуществом тиристорных компенсаторов является их высокая скорость реакции и интеграция с интеллектуальными системами управления. Однако их внедрение требует значительных первоначальных инвестиций.

4. Фильтрокомпенсирующие устройства. Эти устройства сочетают в себе функции компенсации реактивной мощности и фильтрации высших гармоник, возникающих из-за работы нелинейных нагрузок, таких как преобразователи частоты или импульсные источники питания. Фильтрокомпенсирующие устройства улучшают качество электроэнергии, защищают оборудование от перегрузок и снижают потери в сети. Они особенно актуальны для высокотехнологичных и наукоёмких предприятий, предъявляющих высокие требования к стабильности и качеству электроэнергии.

Выбор подходящего метода компенсации реактивной мощности зависит от специфики объ-

екта эксплуатации, требований к качеству электроэнергии, характера нагрузки и экономической целесообразности. Например, для небольших объектов с постоянной нагрузкой оптимальны конденсаторные батареи, в то время как для крупных промышленных объектов с переменными нагрузками предпочтительнее тиристорные компенсаторы. Комплексный подход, включающий предварительный анализ структуры нагрузки, прогнозы изменений потребления и оценку затрат, позволяет разработать эффективные решения для повышения энергоэффективности и стабильности энергосистем.

ВЫВОДЫ

На основании проведённого анализа можно сделать несколько ключевых выводов. Во-первых, реактивная мощность является неотъемлемым компонентом функционирования энергосистем, оказывая значительное влияние как на технические, так и на экономические аспекты их работы. Неэффективное управление этим параметром способствует росту потерь энергии, ухудшению качества электроснабжения и увеличению эксплуатационных затрат.

Во-вторых, методы компенсации реактивной мощности зарекомендовали себя как эффективные инструменты для минимизации негативных последствий её дисбаланса. Решения, такие как конденсаторные установки, синхронные и тиристорные компенсаторы, а также фильтрокомпенсирующие устройства, обеспечивают стабилизацию работы энергосистем, снижение эксплуатационных издержек и повышение общей надёжности энергоснабжения.

Рекомендации для энергопредприятий заключаются в необходимости комплексного подхода к управлению реактивной мощностью. Это включает регулярный анализ структуры нагрузок, применение современных технологий компенсации и повышение энергоэффективности через автоматизацию процессов управления. Такой подход позволит повысить устойчивость энергосистем и снизить затраты на энергоснабжение, что имеет решающее значение в условиях растущих требований к качеству и надёжности электроэнергии.

Список литературы

1. Афанасьев, А. А., Иванов, И. И. Влияние реактивной мощности на надёжность энергосистем // Энергетика: проблемы и перспективы. – 2020. – № 4. – С. 45-52.
2. Беляев, С. Н. Оптимизация энергопотребления: технические и экономические аспекты. – М.: Энергоиздат, 2019. – 328 с.
3. Григорьев, С. В. Энергоэффективность и управление реактивной мощностью в современных сетях. – СПб.: Энергия, 2021. – 290 с.
4. Жуков В. А. Комплексный подход к компенсации реактивной мощности в энергетике // Техническая электрика. – 2021. – № 6. – С. 25-32.

5. Иванов, П. В., Сидоров, А. Г. Фильтрокомпенсирующие устройства: конструкция и применение // Электротехнический журнал. – 2022. – № 3. – С. 12-18.
6. Козлов, Е. А., Смирнов, Д. Д. Модернизация энергосистем на основе современных технологий компенсации. – Екатеринбург: УГЭУ, 2020. – 200 с.
7. Лебедев С. И. Энергосистемы и сети: практическое руководство. – М.: Высшая школа, 2019. – 450 с.
8. Николаев, И. И. Управление реактивной мощностью на предприятиях: опыт и перспективы // Вестник энергетики. – 2021. – № 8. – С. 40-48.
9. Романов, В. В., Белова, А. А. Применение тиристорных компенсаторов в промышленности // Научные исследования в энергетике. – 2020. – Т. 8, №2. – С. 78-85.
10. Соколов, Д. Д., Петров, И. А. Методы регулирования коэффициента мощности в энергосистемах. – СПб.: Энерготех, 2022. – 300 с.
11. Ушаков, А. А., Кузнецов, Н. Н. Теория компенсации реактивной мощности. – СПб.: Энергия, 2018. – 310 с.
12. Лебедева, С. И. Электроэнергетические системы и сети. – М.: Высшая школа, 2019. – 400 с.
13. Яковлев, А. С. Анализ влияния реактивной мощности на производственные процессы // Энергетика России. – 2020. – № 10. – С. 60-68.
14. Шевченко, М. В. Энергетические потери в сетях и методы их снижения. – Новосибирск: НГТУ, 2021. – 350 с.

References

1. Afanasyev, A. A., Ivanov, I. I. The effect of reactive power on the reliability of power systems // Energy: problems and prospects. – 2020. – № 4. – Pp. 45-52.
2. Belyaev, S. N. Optimization of energy consumption: technical and economic aspects. – Moscow: Energoizdat, 2019. – 328 p.
3. Grigoriev, S. V. Energy efficiency and reactive power management in modern networks. – St. Petersburg: Energiya Publ., 2021. – 290 p.
4. Zhukov, V. A. An integrated approach to reactive power compensation in the energy sector // Technical Electrics. – 2021. – № 6. – Pp. 25-32.
5. Ivanov, P. V., Sidorov, A. G. Filter compensating devices: design and application // Electrotechnical Journal. – 2022. – № 3. – Pp. 12-18.
6. Kozlov, E. A., Smirnov, D. D. Modernization of power systems based on modern compensation technologies. – Yekaterinburg: UGEU, 2020. – 200 p.
7. Lebedev S. I. Power systems and networks: a practical guide. – Moscow: Vysshaya shkola Publ., 2019. – 450 p.
8. Nikolaev, I. I. Management of reactive power in enterprises: experience and prospects // Bulletin of Energy. – 2021. – № 8. – Pp. 40-48.
9. Romanov, V. V., Belova, A. A. Application of thyristor compensators in industry // Scientific research in power engineering. – 2020. – Vol. 8, № 2. – Pp. 78-85.
10. Sokolov, D. D., Petrov, I. A. Methods of power factor regulation in power systems. – St. Petersburg: Energotekh Publ., 2022. – 300 p.
11. Ushakov, A. A., Kuznetsov, N. N. Theory of reactive power compensation. – St. Petersburg: Energiya Publ., 2018. – 310 p.
12. Lebedeva, S. I. Electric power systems and networks. – Moscow: Vysshaya Shkola Publ., 2019. – 400 p.
13. Yakovlev, A. S. Analysis of the impact of reactive power on production processes // Russian Energy industry. – 2020. – № 10. – Pp. 60-68.
14. Shevchenko, M. V. Energy losses in networks and methods of their reduction. – Novosibirsk: NSTU, 2021. – 350 p.

Информация об авторах

Синяков Д.Д., магистрант Финансового университета при Правительстве Российской Федерации (г. Москва, Российская Федерация).

Кириченко О.С., кандидат экономических наук, доцент кафедры отраслевых рынков факультета экономики и бизнеса Финансового университета при Правительстве РФ (г. Москва, Российская Федерация).

© Синяков Д.Д., Кириченко О.С., 2025.

Information about the authors

Sinyakov D.D., master student at the Financial University under the Government of the Russian Federation (Moscow, Russian Federation).

Kirichenko O.S., PhD in Economics, Associate Professor of the Department of Industrial Markets, Faculty of Economics and Business, Financial University under the Government of the Russian Federation (Moscow, Russian Federation).

© Sinyakov D.D., Kirichenko O.S., 2025.