

УДК 620.9.001.5

## ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ НЕФТЯНОЙ ОТРАСЛИ С АКТИВНО-АДАПТИВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

*Ю.П. Кубарьков, Я.В. Макаров, К.А. Голубева*

Самарский государственный технический университет  
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

*Электроснабжение потребителей нефтяной отрасли осуществляется от существующих электрических сетей или от собственных источников электроэнергии. В связи с этим актуальной задачей является разработка мер по поддержанию качества электроэнергии на шинах конечного потребителя. Предприятия используют значительное число асинхронных двигателей (АД), что приводит к увеличению потребления реактивной мощности. Оптимальным решением, позволяющим уменьшить эту проблему, является использование батарей статических конденсаторов (БСК). Дополнительным источником активной мощности может являться альтернативная генерация.*

**Ключевые слова:** *система распределения, планирование ресурсов, предельная нагрузочная способность, потери мощности, стабильность напряжения.*

Электроснабжение потребителей нефтяной отрасли осуществляется от существующих электрических сетей или от собственных источников электроэнергии. При питании от электрических сетей каждая площадка оборудуется подстанциями глубокого ввода 110/6 кВ. Это обусловлено необходимостью обеспечения надежности электроснабжения двигательной нагрузки нефтяного хозяйства, а также тем, что большинство электроприемников имеют 1-ю и 2-ю категории. При такой схеме электроснабжения основная доля потерь электроэнергии приходится на сети 6 и 0,4 кВ. Кроме того, имеются конкретные характеристики качества электроэнергии, прописанные в ГОСТ 32144.

Для двигательной нагрузки наиболее значимыми показателями являются отклонения напряжения от номинального и отклонение частоты. Отмеченные показатели могут находиться в допустимых пределах на шинах ГПП, но выходить за эти пределы на шинах конечных потребителей, что недопустимо. В связи с этим актуальной задачей является разработка мер по поддержанию качества электроэнергии на шинах конечного потребителя.

В настоящее время в электрические сети очень активно внедряются новые технологии, такие как распределенная генерация [1], статические управляемые конденсаторы, сверхпроводниковые кабельные линии и др.

### **Распределенная генерация (РГ)**

РГ представляет собой расположение дополнительных источников электроэнергии очень близко от потребителей. Их мощность выбирается исходя из предполагаемой мощности конечного потребителя с учетом имеющихся ограничений (экологических, технологических, правовых и т. д.) и может находиться

---

*Юрий Петрович Кубарьков (д.т.н.), профессор кафедры «Электрические станции».  
Ярослав Викторович Макаров, аспирант.  
Кристина Анатольевна Голубева, аспирант.*

в широком диапазоне (от двух до нескольких сотен киловатт). При всем этом потребитель остается включенным в общую электросеть.

Дополнительными источниками электроэнергии могут являться как альтернативные средства (солнечные батареи, ветровые генераторы, топливные элементы), так и традиционные когенерационные установки (КГУ) малой и средней мощности [2].

Основные факторы, которые стимулируют все большее внедрение распределенной генерации, следующие:

- приспособляемость потребителей к неопределенностям рынка развития электроэнергетики и к ценовой политике при выработке и распределении электрической энергии; это поможет снизить риски недостатка мощности и увеличить энергетическую безопасность;

- увеличение адаптационных возможностей ЭЭС к нестабильности рыночных условий развития экономических факторов и уменьшение, таким образом, ожидаемых рисков;

- существование очень эффективных электроэнергетических технологий (газотурбинные установки и паротурбинные установки);

- ужесточение требований по экологии, которые стимулируют применение возобновляемых источников энергии, таких как энергия солнца, ветра, воды (гидроэнергия), энергия биомассы и т. д.

Наиболее развивающиеся сегодня инновационные решения в сетях с распределенной генерацией по сравнению с традиционной генерацией в большинстве случаев предполагают для РГ достаточно большие капитальные затраты (долл/кВт) и текущие издержки (долл/кВт.ч). Но некоторые преимущества в виде когенерации, увеличения надежности, исключения сетевых издержек уже на данный момент обеспечивают хорошую выгоду для распределенной генерации во многих применениях.

Когда разрабатываются нефтяные месторождения, появляется необходимость сжигать значительный объем попутного газа – в районах добычи обычно нет возможностей ни транспортировать его, ни перерабатывать; при разработке полезных ископаемых необходимо решать задачу использования шахтных газов. Применение оборудования в виде микротурбин может позволить не только извлечь выгоду в плане экономики, но и уберечь экологию. В местах отсутствия централизованных электросетей электрическая энергия и тепло могут вырабатываться непосредственно на самих местах добычи.

### **Батареи статических конденсаторов (БСК)**

Когда предприятие использует значительное число асинхронных двигателей (АД), что присуще нефтедобывающей отрасли, это приводит к увеличению потребления реактивной мощности. Естественно, для того чтобы уменьшить эту проблему, можно внедрить синхронные двигатели (СД), но в ряде случаев использование батарей статических конденсаторов является оптимальным решением [3, 4], так как при этом меньше стоимость оборудования и проще реализация.

Батареи статических конденсаторов поддерживают параметры качества электрической энергии посредством снижения потерь в электросетях и увеличения напряжения на шинах.

Основными преимуществами при использовании батарей статических конденсаторов являются: несложность в использовании, упрощенность монтажа,

небольшая цена, надежность (один вышедший из строя конденсатор не повлияет на работу группы статических конденсаторов), снижение перенапряжений (использование плавного, ступенчатого регулирования мощности БСК может предотвратить опасные повышения напряжения).

### Сверхпроводящие кабельные линии

С внедрением на рынки высокотемпературных сверхпроводящих (ВТСП) материалов с высокими токонесущими характеристиками обеспечиваются новые возможности для практического использования этого явления. Главными преимуществами силовых ВТСП кабелей являются: большая токовая нагрузка, небольшие потери в сверхпроводнике, экологическая чистота (отсутствие масел, минимальное электромагнитное и тепловое воздействие на окружающую среду), высокий уровень пожарной безопасности.

Работа по внедрению и распространению силовых ВТСП кабельных линий признана глобально важной во всем мире, так как она решает изначальные проблемы передачи значительных потоков электроэнергии и энергосбережения.

Сверхпроводящие кабельные линии имеют малое активное сопротивление, что обеспечивает уменьшение потерь электроэнергии.

### Исследования и расчеты

В данной работе проведен анализ использования указанных мероприятий в радиальной распределительной сети 6 кВ. На рис. 1 представлена схема исследуемого участка электрической сети, состоящая из 7 подстанций и 13 линий электропередач (W1-W13). Марка и длина каждой линии электропередач указаны на рисунке. Нагрузки подстанций приведены в таблице.

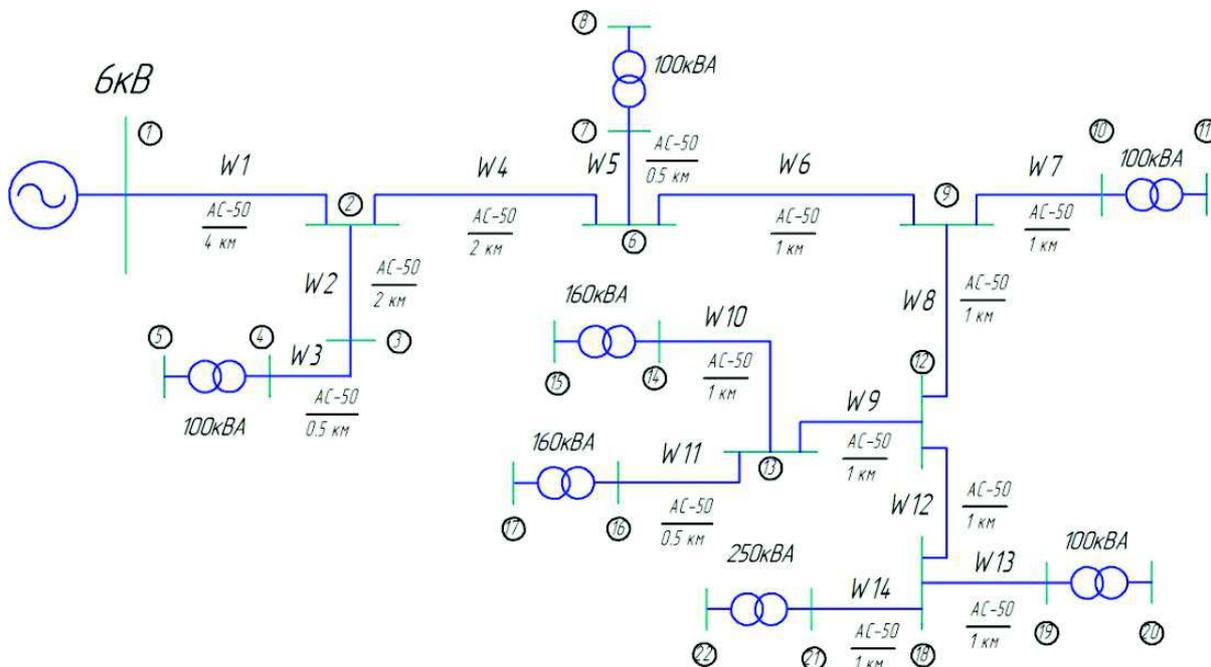


Рис. 1. Фрагмент схемы электрической сети

### Нагрузки потребителей

№ узла	5	8	11	15	17	20	22
P, кВт	60	60	60	100	100	60	160
Q, квар	27	27	27	45	45	27	72

Анализ нормального режима работы показал, что напряжение на шинах наиболее удаленного потребителя остается в границах предельно допустимых отклонений ( $\pm 10\% U_{ном}$ ), а наибольшее падение напряжения наблюдается на линиях W1 и W4 (участки 1–2 и 2–6 соответственно). В качестве основного способа стабилизации напряжения, как уже отмечалось ранее, в настоящее время используются БСК. Для данной схемы был смоделирован режим практически полной компенсации реактивной мощности в местах подключения потребителей. В качестве альтернативного варианта рассмотрен режим, при котором источник распределенной генерации мощностью 200 кВт подключался к 12-му узлу схемы. При дальнейшем развитии технологий кабельного оборудования был рассмотрен вариант замены линий W1 и W4 на сверхпроводящие линии электропередачи.

Результаты моделирования представлены в виде профилей уровня напряжения в узлах сети на рис. 2.

На рис. 3 представлен график потерь активной мощности для нормального режима, для режима с распределенной генерацией, для режима с установкой БСК и режима с прокладкой сверхпроводниковых КЛ.

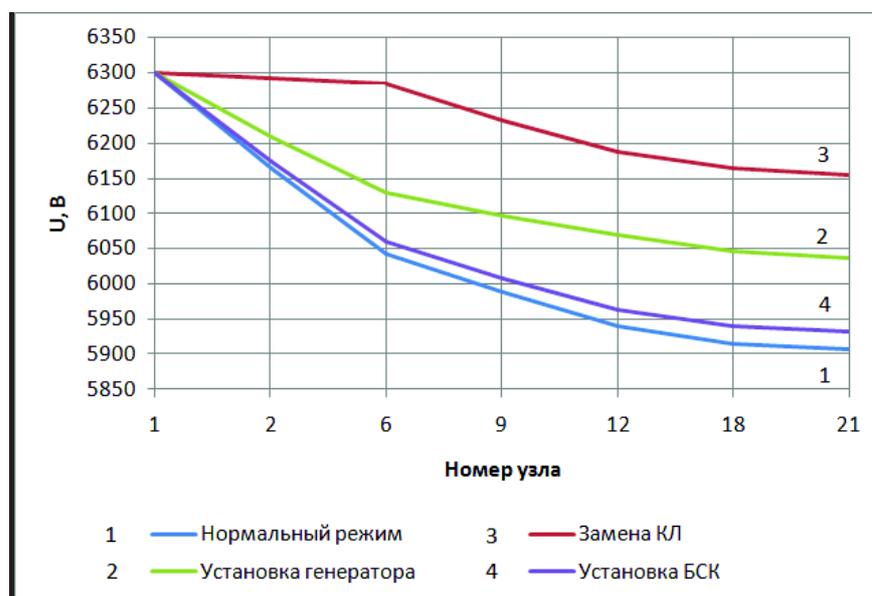


Рис. 2. Профили изменения напряжений в узлах для различных режимов

На рис. 4 представлен график потерь реактивной мощности для тех же рассмотренных режимов.

Анализ графиков потерь активной и реактивной мощностей показывает, что в представленной электрической сети основными являются потери активной мощности на линиях W1 и W4. Сокращение потерь на этих участках дает наилучший результат и по показателям уровней напряжения на всех шинах потребителей.

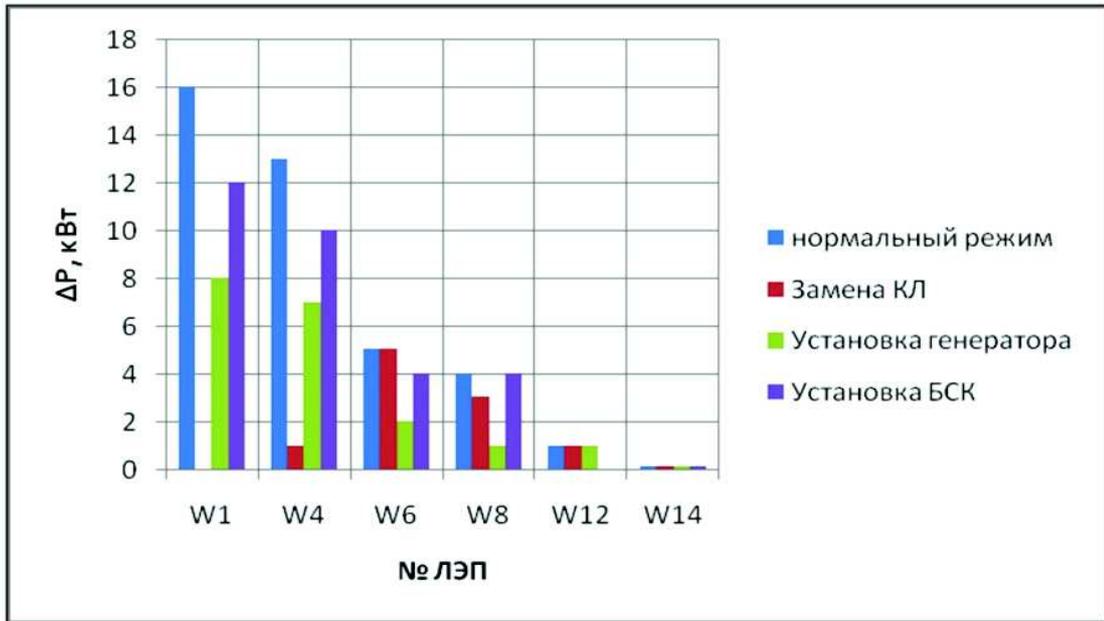


Рис. 3. Потери активной мощности в ключевых линиях сети

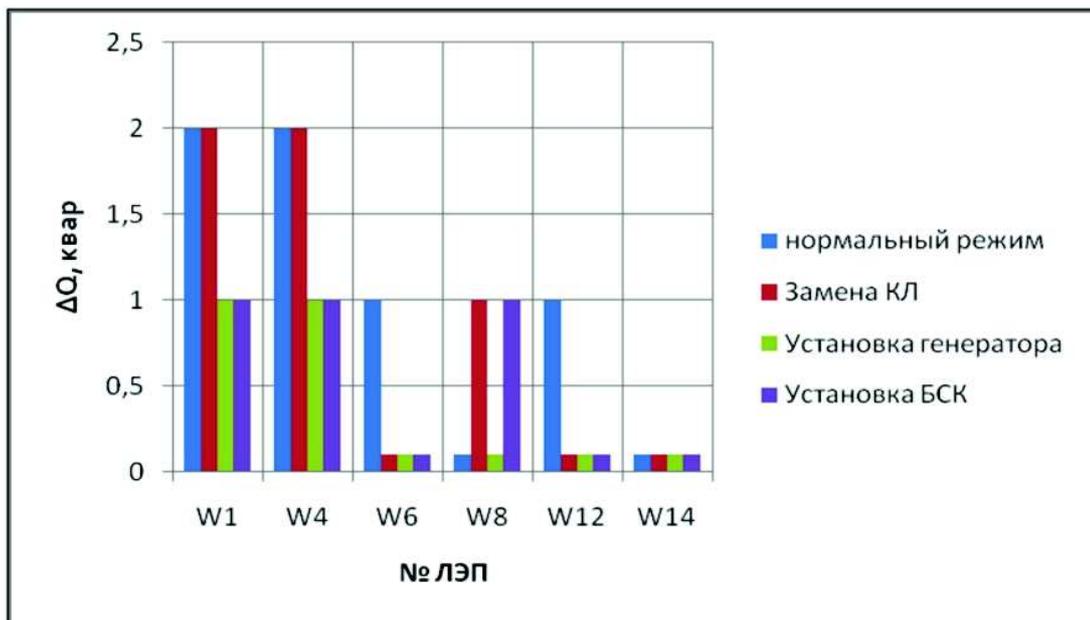


Рис. 4. Потери реактивной мощности в ключевых линиях сети

### Выводы

Внедрение новых технологий в существующие электрические сети, такие как распределенная генерация, БСК и сверхпроводниковые кабельные линии, позволяет сократить потери электроэнергии, повысить уровни напряжения и разгрузить линии электропередач.

Наилучший эффект наблюдается при внедрении сверхпроводящих линий электропередач; кроме того, использование данного компонента дает еще несколько преимуществ: нет необходимости в регулировании величины активной или реактивной мощности, нет обратных перетоков мощности или перекомпенсации реактивной мощности, что требует не замены устройств релейной защиты, а лишь ее перенастройки.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Abdolreza Sadighmanesh, Kazem Zare, Mehran Sabahi.* Distributed Generation unit and Capacitor Placement for Loss Voltage profile and ATC Optimization. International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). 2012; 2(6): 774-780.
2. *Jahani R., Shafighi Malekshah A., Chahkandi Nejad H.* Applying a new advanced intelligent algorithm for optimal distributed generation location and sizing in radial distribution systems. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 2011; 5(5): 642-649.
3. *Borges CLT, Falcao DM.* Impact of Distributed Generation Allocation and Sizing on Reliability, Losses, and Voltage Profile. IEEE Bologna Power Tech Conference Proceedings. Bologna. 2003.
4. *Кубарьков Ю.П., Голубева К.А.* Управление уровнем напряжения и потерь в электрических сетях с активно-адаптивными элементами // Электроэнергетика глазами молодежи: Труды VI Международной научно-технической конференции, 9-13 ноября 2015, Иваново. – В 2 т.

*Статья поступила в редакцию 20 марта 2016 г.*

## OPERATION OPTIMIZATION MODE OF DISTRIBUTION NETWORKS OF OIL INDUSTRY WITH ACTIVE-ADAPTIVE ELEMENTS

***Y.P. Kubarkov, Y.V. Makarov, K.A. Golubeva***

Samara State Technical University  
244, Molodogvardeiskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

*Electric power supply of consumers of the oil industry is carried out from the existing electrical network or from own sources of electricity. In this regard, an actual problem is the development of measures to maintain power quality busbar end user. Enterprises use a significant number of induction motors (BP), which leads to the increased consumption of reactive power. , The best solution is to use the static capacitor batteries (BSK) to reduce this problem. Additional active power source is the alternative generation.*

***Keywords:*** *distribution system, resource planning, the limit load capacity, power loss, voltage stability.*

---

*Yury P. Kubarkov (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.  
Yaroslav V. Makarov, Postgraduate Student.  
Kristina A. Golubeva, Postgraduate Student.*