

**Системный подход к регулированию напряжения
высоковольтной сети управляемыми устройствами
индуктивно-ёмкостного типа (средствами компенсации
реактивной мощности).**

д. т. н., профессор Брянцев А.М.

Актуальность разработки новых подходов к регулированию напряжения высоковольтной сети

1. Значительная часть подстанций высоковольтной сети 6÷500 кВ имеют разброс текущих значений напряжений в нормальных режимах, достигающий $\pm 15\% U_n$. По данным, взятым из «Концепции системы регулирования напряжения», утвержденной приказом ФСК ЕЭС № 62 от 14.03.2008 г., превышение отклонений напряжения против нормативных требований имеет место на более чем 40% всех подстанций 110÷220 кВ, что вызывает соответствующие нарушения требований ГОСТа 13109-97 на шинах потребителя ($\pm 5\% U_n$).
2. Исследования, ООО «ЭСКО», проведенные более чем на 400 подстанциях 110÷500 кВ электрических сетей РФ и СНГ, показали, что зачастую разброс напряжений в $\pm 15\%$ имеет место в пределах одного класса напряжения в одно и тоже время.
3. Причем за более чем пятилетний период проводимых исследований выявлена устойчивая тенденция к ухудшению ситуации.
4. Подобная нестабильность напряжения сети – это не только ограничение пропускной способности, повышения потери электроэнергии, ускоренный износ коммутационного оборудования. **Это прямая и явная угроза развития системных аварий и «блэк-аутов» из-за частных аварийных случаев.**
5. Таким образом, следует признать, что **существующая концепция регулирования напряжения высоковольтной сети себя исчерпала и не отвечает современным условиям**, как в РФ, так и за рубежом. Необходимо либо менять ГОСТ, либо совершенствовать концепцию.
6. **Одним из возможных путей выхода из сложившейся ситуации является изменение приоритетов существующих средств и методов регулирования напряжения с кардинальным усилением роли средств компенсации реактивной мощности (управляемых индуктивно-ёмкостных устройств или устройств FACTS).**

Средства компенсации реактивной мощности (управляемые устройства индуктивно-емкостного типа или устройства FACTS)

1. В мире налажено производство следующих типов устройств управления индуктивно-ёмкостными параметрами сети (устройства FACTS):

- нерегулируемые индуктивные (реакторы) и ёмкостные (батареи статических конденсаторов);
- дискретно регулируемые индуктивно-ёмкостные (группы реакторов и (или) батарей конденсаторов);
- плавно регулируемые индуктивно-ёмкостные (электромашинные, полупроводниковые, магнитно-полупроводниковые и прочее).

2. Устройства FACTS позволяют решить проблему стабильности напряжения любой современной сети 6-500 кВ:

- ликвидируют предпосылку развития системных аварий;
- повышают пропускную способность сети (до 1,5 раз);
- практически исключают (в десятки раз уменьшают число срабатываний) работу коммутационного оборудования при регулировании напряжения узлов нагрузки;
- до 30% снижают удельные потери электроэнергии.

3. ООО «ЭСКО» участвует в разработке системных подходов по оснащению сетей 6-500 кВ управляемыми индуктивно-емкостными устройствами для регулирования и стабилизации напряжения (в том числе по приказам ОАО «РАО ЕЭС России» № 18 от 19.01.2007 г., № 75 от 13.02.2007 г.). Примеры договоров:

3.1. 2007 г. ОАО «Тюменьэнерго»
Разработка мероприятий по стабилизации напряжения и компенсации реактивной мощности в электрических сетях ОАО «Тюменьэнерго», питающих предприятия нефтегазового комплекса.

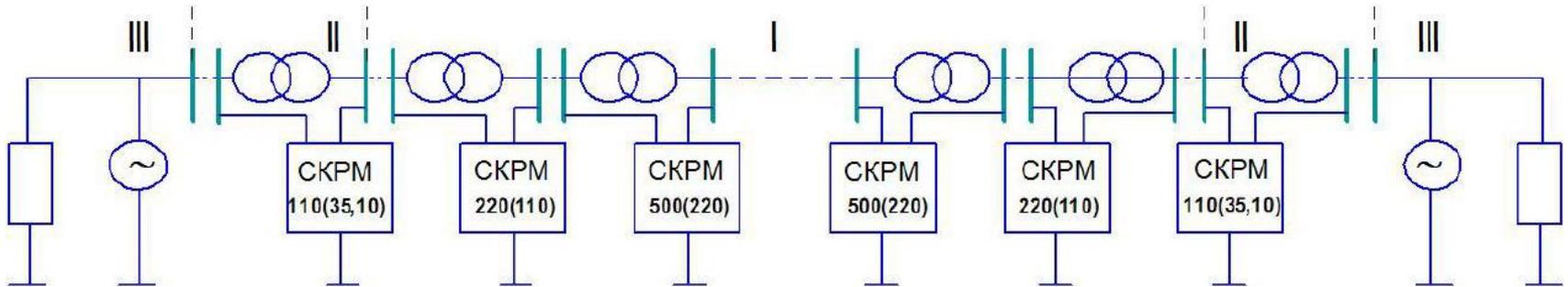
3.2. 2008 г. АО «KEGOC» (Казахстан)
Технико-экономическое исследование по компенсации реактивной мощности в сети 220-500 кВ ЕЭС Казахстана с целью стабилизации напряжения, повышения пропускной способности и снижения потерь.

3.3. 2009 г. ОАО «СО ЕЭС»
Разработка технических требований и схемно технических решений устройств управления индуктивно емкостными параметрами сети и обоснование их установки в опорных энергоузлах ЕНЭС.

3.4. 2011 г. ОАО «Сетевая компания» (Татарстан)
Обследование состояния дел с потоками реактивной мощности и разработка мероприятий по компенсации реактивной мощности в электрических сетях ОАО «Сетевая компания».

4. Объем поставок управляемых устройств индуктивно емкостного типа по рекомендациям ООО «ЭСКО» за последние 5 лет превысил более 200 млн. долл. США.

1. Принципы (концепция) оснащения электрической сети 6-500 кВ средствами компенсации реактивной мощности.



- 1.1. Рассредоточенность (локализация) – по классам напряжения и узлам нагрузки(чем чаще, тем лучше эффект).
- 1.2. Секционирование («эшелонированность») - законченность технологического процесса управления режимами напряжения в рамках отдельно хозяйствующего объекта.
- 1.3. Достаточность (в пределах каждого «эшелона») - для обеспечения управляемости сети в нормальных, ремонтных и аварийных режимах.

2. Достигаемые результаты (по итогам исследований режимов сетей МРСК «Тюменьэнерго», Дальневосточный МРСК, ОАО «СО ЕЭС», ОАО «КЕГОС» и др.)

- 2.1. Автоматическая стабилизация напряжения сети 6-500 кВ по заданной уставке в нормальных, ремонтных и послеаварийных режимах.
- 2.2. Исключение коммутационного оборудования из процессов регулирования напряжения в нормальных режимах.
- 2.3. Повышение пропускной способности существующей сети до 1,5 раз.
- 2.4. Снижение потерь до 20-30%.

3. Общая потребность в установленной мощности СКРМ составляет 80 - 100 % от значения максимума потребления мощности сети 6-500кВ.

Общая потребность в СКРМ в распределительной сети 110 кВ НГК Тюменского региона.

1. По заданию ОАО «Тюменьэнерго» проведен анализ режимов электропотребления зимнего максимума 2006 г. и летнего минимума 2007 г. 286-ти подстанций, 11-ти электрических сетей, 6-ти потребителей.

2. Разработаны критерии и определен общий объем средств компенсации реактивной мощности (генерация / потребление).

3. Разработаны технические требования на высоковольтные управляемые источники реактивной мощности ИРМ-110/50/25 и ИРМ-110/25/25. Приведены примеры технических спецификаций.

4. Разработана концепция оснащения сети 110/35/6 кВ ОАО «Тюменьэнерго» устройствами компенсации реактивной мощности, обеспечивающая максимальный системный эффект.

Показано, что:

•при загрузке сети 110 кВ в пределах 50÷70% от проектной, **значительная часть подстанций имеет заниженные рабочие напряжения (вплоть до предельно допустимых)**, что обусловлено повышенным уровнем реактивной мощности ($\text{tg}\varphi$ от 0,4 и выше) и «слабой» сетью (более 30 % подстанций 110 кВ имеют токи к.з. ≤ 5 кА);

•дооснащение сети плавно управляемыми устройствами компенсации реактивной мощности, в первую очередь подстанций 110 кВ с токами к.з. ≤ 5 кА позволяет **автоматизировать процесс стабилизации напряжения в узлах нагрузки по заданной уставке в нормальных ремонтных и послеаварийных режимах(технология FACTS)**;

•реализация мероприятий по стабилизации напряжений и компенсации реактивной мощности сети в объеме п.п. 1÷5 **(около 5 Гвар) позволит не менее чем в 1,3 раза (дополнительно 2,5 ГВт) повысить пропускную способность сети при одновременном снижении удельных потерь на 20÷30 %.**

Изменение параметров сети до и после ввода в работу ИРМ-110/50/25 на ПП «Таврическая», РФ 2008 г.

(из презентации «Тюмень, 2007. Компенсация реактивной мощности и стабилизация напряжения в электрических сетях ОАО «Тюменьэнерго», питающих предприятия нефтегазового комплекса»)

Таким образом, достигнуто:

1. Увеличение напряжения на ПС «Таврическая» и в прилегающем узле **на 4,5%**

Снижение колебаний напряжения в течение суток **в 8,7 раз**

2. Снижена нагрузка:

2.1 автотрансформаторов на:

ПС «Кирилловская»	по полному току	на 3,2%
	по реактивной мощности	9,2%
ПС «Прогресс»	по полному току	на 2,2%
	по реактивной мощности	20 %



питающих линий:

2.2 ВЛ – 110 Кирилловская - Айка	по полному току на	12 %
	по реактивной мощности	37 %
2.3 ВЛ – 110 Инга – Таврическая	по полному току	на 7 %
	по реактивной мощности	33 %
2.4 ВЛ – 110 Прогресс – Таврическая	по полному току	на 6,5%
	по реактивной мощности	35 %
2.5 ВЛ – 110 Прогресс – Фотон	по полному току	на 6,6%
	по реактивной мощности	42 %

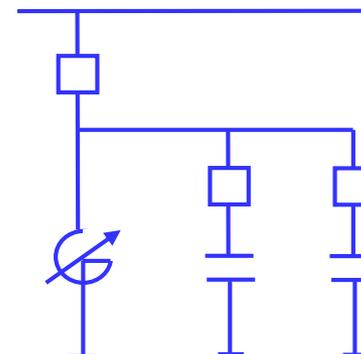
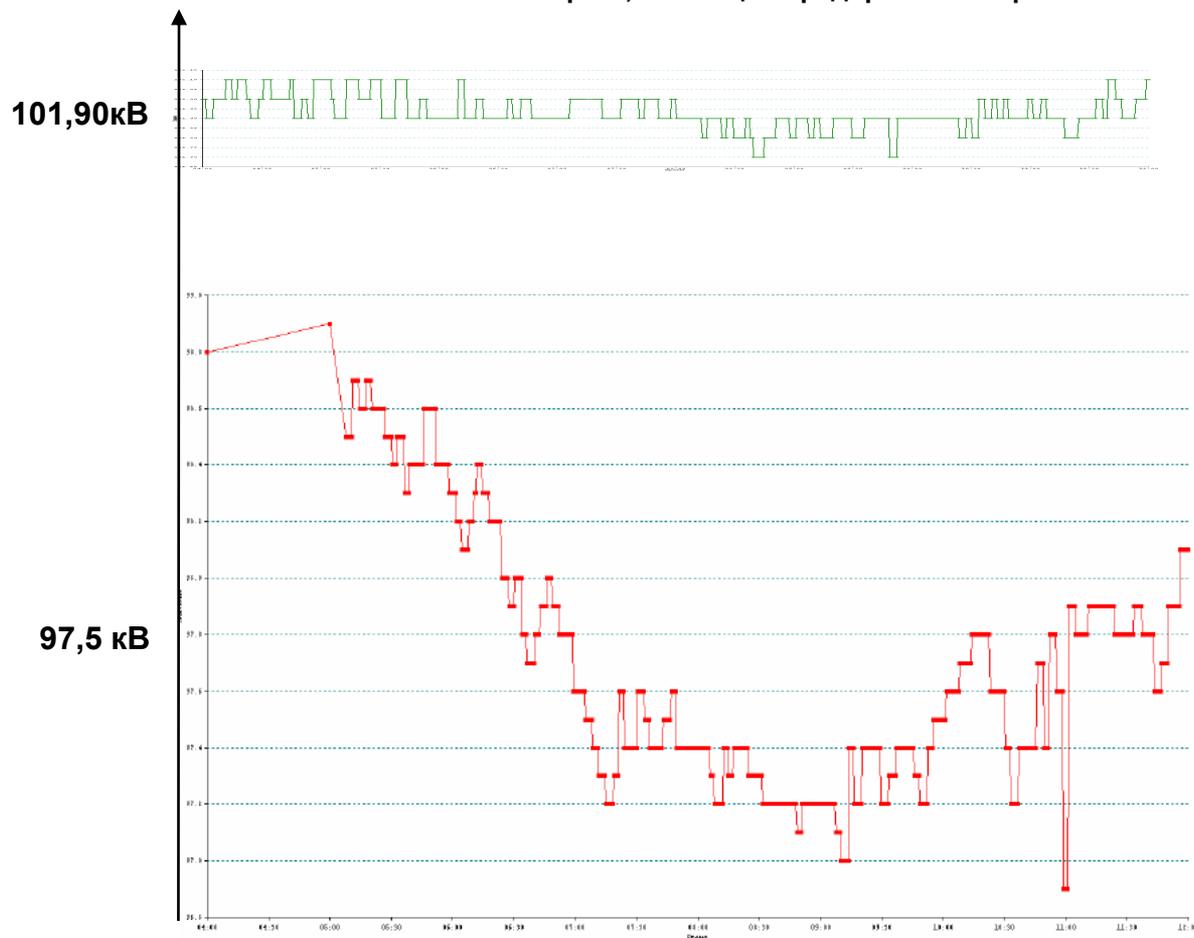


График напряжения на ПП «Таврическая»

(из презентации «Тюмень, 2007. Компенсация реактивной мощности и стабилизация напряжения в электрических сетях ОАО «Тюменьэнерго», питающих предприятия нефтегазового комплекса»)



Режим с ИРМ-110/50/25

$\Delta U = 0,4 \text{ кВ}$

Режим без ИРМ-110/50/25

$\Delta U = 2,6 \text{ кВ}$

1. Тема:

«Разработка системного подхода к регулированию напряжения в сетях ОАО «МОЭСК» с использованием средств компенсации реактивной мощности (существующих и перспективных)».

2. Цель работы:

2.1. Разработка системного подхода к регулированию напряжения в сетях ОАО «МОЭСК» с использованием средств компенсации реактивной мощности (существующих и перспективных) обеспечивающего:

- регулирование и автоматическую стабилизацию напряжения электрической сети ОАО «МОЭСК» в нормальных ремонтных и послеаварийных режимах с целью повышения на $15\div 20\%$ пропускной способности и устойчивости сети к внешним и внутренним аварийным возмущениям;
- нормализацию перетоков реактивной мощности внутри электрической сети ОАО «МОЭСК» и ее связям с центрами питания, с целью уменьшения на $20\div 30\%$ потерь и уменьшения, на порядок и более, числа срабатываний РПН трансформаторов;
- исключение необходимости вынужденных разрывов в электрической сети ОАО «МОЭСК» по условию допустимых токов короткого замыкания, при сохранении пропускной способности сети по активной мощности.

3. Основное содержание:

Этап 1. Оценка общей потребности в средствах компенсации реактивной мощности.

1.1. Анализ характеристик режимов напряжений, активной и реактивной мощности.

1.2. Разработка и расчет параметров структурной схемы электрической сети ОАО «МОЭСК».

1.3. Расчет общей потребности в средствах компенсации реактивной мощности.

Этап 2. Разработка общих технических решений, требований и спецификаций на средства компенсации реактивной мощности.

2.1. Разработка технических решений по назначению (центры питания, узлы нагрузки, точки разрыва электрической сети), классам напряжения (6-220 кВ), типу электрических сетей (воздушные, кабельные).

2.2. Разработка рекомендаций по месту установки пилотных проектов устройств компенсации реактивной мощности. Подбор перспективного оборудования.

Этап 3. Разработка системного подхода (алгоритмов) к регулированию напряжения с использованием средств компенсации реактивной мощности.

3.1. Разработка шкалы номинальных мощностей устройств компенсации реактивной мощности.

3.2. Разработка программы поэтапного оснащения ими электрической сети ОАО «МОЭСК» (с учетом установленного оборудования).

3.3. Разработка алгоритмов регулирования и автоматической стабилизации напряжения, обеспечивающих:

- регулирование и стабилизацию напряжения в соответствии с ГОСТ – 131-09-97;

- ограничение перетоков реактивной мощности в соответствии с Приказом Минпромэнерго РФ № 49 от 22.02.2007 г. и исключение потребления и ограничение выдачи реактивной мощности центрами питания в соответствии с Концепцией системы регулирования напряжения «Приказ ОАО «ФСК ЕЭС» № 62 от 14.03.2008 г.;

- снижение токов коротких замыканий в точках определяемых Заказчиком до уровня обеспечивающих надежную работу установленного коммутационного оборудования, без снижения пропускной электрической способности сети по активной мощности.