

УДК 65

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УСТРОЙСТВ FACTS  
В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

**Аль Зухаири Али Мохаммед**

аспирант

**Виноградов Анатолий Алексеевич**

канд. тех. наук

Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, Белгород

*author@apriori-journal.ru*

**Аннотация.** FACTS является одной из наиболее перспективных электросетевых технологий, суть которой состоит в том, что электрическая сеть из пассивного устройства транспорта электроэнергии превращается в устройство, активно участвующее в управлении режимами работы электрических сетей для снижения потерь в электрической сети, что приводит к снижению стоимости этих сетей.

**Ключевые слова:** FACTS; экономические показатели; дополнительные капиталовложения; годовой суммарный; индекс доходности.

# METHOD OF TECHNICAL AND ECONOMIC EFFICIENCY CALCULATION OF FACTS DEVICES USE IN ELECTRICAL POWER SYSTEMS

**Al Zukhairi Ali Mohammed**

post-graduate student

**Vinogradov Anatoly Alekseevich**

candidate of technical sciences

Belgorod state technological university of V.G. Shukhov, Belgorod

**Abstract.** FACTS is one of the most promising technologies of grid, the essence of which is that the electrical network of passive devices is converted into electricity transportation device, actively participating in the management of operation of electrical networks to reduce losses in the electrical network, which reduces the cost of these networks.

**Key words:** FACTS; economic indicators; additional capital investments; the annual total; profitability index.

## 1. Общая характеристика устройств FACTS

Термин «управляемые (гибкие) системы электропередачи переменного тока» – Flexible Alternative Current Transmission System (FACTS) – введен в обращение Институтом электроэнергетики EPRI (США).

FACTS является одной из наиболее перспективных электросетевых технологий, суть которой состоит в том, что электрическая сеть из пассивного устройства транспорта электроэнергии превращается в устройство, активно участвующее в управлении режимами работы электрических сетей.

Благодаря этому удается «в темпе процесса» управлять значением пропускной способности линии электропередачи, перераспределять

между параллельными линиями электропередачи потоки активной мощности, оптимизируя их в установившихся режимах и перенаправлять их по сохранившимся после аварий линиям электропередачи, не опасаясь нарушения устойчивости, тем самым обеспечивая повышение надежности электроснабжения потребителей.

К устройствам FACTS первого поколения (FACTS-1) относят устройства, обеспечивающие регулирование напряжения (реактивной мощности) и обеспечивающие требуемую степень компенсации реактивной мощности в электрических сетях (статический компенсатор реактивной мощности (СТК), реактор с тиристорным управлением, стационарный последовательный конденсатор с тиристорным управлением, фазосдвигающий трансформатор и др.).

К новейшим FACTS второго поколения (FACTS-2) относят устройства, обеспечивающие регулирование режимных параметров на базе полностью управляемых приборов силовой электроники (IGBT транзисторы, IGCT тиристоры и др.).

FACTS-2 обладают новым качеством регулирования – **векторным**, когда регулируется не только величина, но и фаза вектора напряжения электрической сети (синхронный статический компенсатор (СТАТКОМ), синхронный статический продольный компенсатор реактивной мощности на базе преобразователя напряжения (ССПК), объединённый регулятор потоков мощности (ОРПМ), ВПТН, ФПУ, асинхронизированный синхронный компенсатор в том числе с маховиком (АСК), асинхронизированный синхронный электромеханический преобразователь частоты (АС ЭМПЧ), фазовращающий трансформатор(ВФТ).

## **2. Методика расчёта**

Областью применения устройств FACTS являются системообразующие и распределительные электрические сети энергосистем, межсистемные электрические связи.

Техническая целесообразность применения тех или иных устройств FACTS должна устанавливаться на основании результатов расчетов установившихся режимов, устойчивости энергосистемы и переходных процессов при нормированных возмущениях в энергосистеме.

Расчеты проводятся с целью выявления диапазонов изменения параметров режима энергосистемы, продолжительности существования характерных режимов, пределов устойчивости энергосистемы, а также для минимизации потерь активной мощности в электрических сетях.

Расчеты должны проводиться в нормальных схемах энергосистемы, а также в ремонтных схемах при отключении одного элемента сети, в наибольшей степени влияющего на режим региона. В качестве такого элемента может рассматриваться генератор, группа однофазных шунтирующих реакторов, наиболее загруженная ЛЭП, наиболее мощный трансформатор.

В отдельных случаях должны рассматриваться послеаварийные режимы, возникающие после отключения двух указанных выше элементов.

Расчеты должны проводиться для периодов года и часов суток с максимальным диапазоном изменения параметров режима энергосистемы. Такие режимы могут соответствовать максимальным и минимальным нагрузкам энергосистемы и интервалам максимальных и минимальных по абсолютной величине потоков мощности по отдельным ЛЭП в пределах суток летнего и зимнего периодов. При большой доле участия ГЭС в балансе мощности энергосистемы, кроме того, должны рассматриваться режимы максимальных нагрузок энергосистемы в паводковый период.

Расчеты должны проводиться вариантно: без устройств FACTS и с этими устройствами. По их результатам должно быть определено влияние устройств FACTS на изменение уровней напряжения в электрических сетях, загрузку турбогенераторов тепловых электростанций реак-

тивной мощностью, пропускную способность электрических сетей или отдельных электрических связей, потери мощности в сетях.

При выполнении оптимизационных расчетов должны учитываться ограничения на прием реактивной мощности турбогенераторами тепловых электростанций, а также ограничения на число коммутаций шунтирующих реакторов, батарей статических конденсаторов и РПН трансформаторов.

Расчеты динамической устойчивости проводятся с целью уточнения диапазонов регулирования и выбора алгоритмов управления устройств FACTS и выявления возможного влияния устройств FACTS на повышение устойчивости энергосистемы и, как следствие, на изменение дозировки противоаварийного управления, предотвращающего нарушение устойчивости энергосистемы. Расчеты динамической устойчивости должны выполняться, как правило, для режима зимнего максимума нагрузки энергосистемы.

Решение о применении устройств FACTS должно основываться на сравнении показателей их экономической эффективности, с аналогичными показателями альтернативных вариантов технических решений. Выбор альтернативных вариантов технических решений должен производиться с учетом специфики условий: конфигурации электрических сетей, структуры нагрузки, перспективы развития энергорайона и т.п. Практически это означает индивидуальный подход к обоснованию экономической эффективности устройств FACTS в каждом конкретном случае их применения.

Экономическими показателями, рекомендованными для этих целей методикой, являются:

- интегральный эффект или чистый дисконтированный доход (ЧДД),
- срок окупаемости,
- индекс доходности (ИД),
- внутренняя норма доходности (ВНД).

Кроме того, могут быть использованы другие показатели, отражающие интересы участников проекта и (или) специфику проекта.

Экономическая эффективность дополнительных затрат на устройства FACTS оценивается на основании факторов технического эффекта.

ЧДД от применения устройств FACTS определяется по формуле:

$$\text{ЧДД}_{FACTS} = -\Delta K_{FACTS} + \sum_{t=1}^T (R_{FACTS}^{(t)} - \Delta Z_{FACTS}^{(t)}) \frac{1}{(1+E)^t} \quad (2.1)$$

где:

1.  $\Delta K_{FACTS}$  – дополнительные капиталовложения в FACTS по сравнению с ШР определяются по формуле.

$$\Delta K_{FACTS} = (K_{FACTS} + K_{FACTS}^{CMP}) - (K_{ШР} + K_{ШР}^{CMP}) \quad (2.2)$$

1.1 ( $K_{FACTS}$ ,  $K_{ШР}$ ) – стоимости линейных FACTS и ШР.

1.2 ( $K_{FACTS}^{CMP}$ ,  $K_{ШР}^{CMP}$ ) – строительно-монтажные работы по установке FACTS и ШР.

2.  $\Delta Z_{FACTS}^{(t)}$  – дополнительные годовые затраты на амортизацию и обслуживание FACTS.

$$\Delta Z_{FACTS}^{(t)} = \alpha_{FACTS} * \Delta K_{FACTS} \quad (2.3)$$

2.1  $\alpha_{FACTS}$  – оцениваются ориентировочно в размере 8,4 %.

3.  $R_{FACTS}^{(t)}$  – годовой суммарный экономический результат от применения УШР от более полного использования пропускной способности электропередачи ПС0 – ПС1 – ПС2. Этот эффект выражается в возможности передачи дополнительной электроэнергии из ОЭС2 с вытеснением в ОЭС1 выработки неэкономичных электростанций. Годовой суммарный экономический результат от применения УШР определяется по формуле.

$$R_{FACTS}^{(t)} = P * T_{\max} * \Delta \text{ц} \quad (2.4)$$

3.1 P – увеличение использования пропускной способности электропередачи при применении FACTS.

3.2  $T_{\max}$  – годовое число часов использования дополнительной передаваемой мощности.

3.3  $\Delta c$  – разница тарифа на электроэнергию в ОЭС1 и ОЭС2. \$/кВт\*ч.

В общем случае суммарный системный экономический результат  $R^{(t)}$  от применения устройств FACTS в энергосистеме определяется факторами:

- Повышение управляемости режимов работы ЭЭС;
- Повышение пропускной способности линий электропередач;
- Повышение статической и динамической устойчивости ЭЭС;
- Повышение качества электроэнергии;
- Нормализация параметров режимов работы ЭЭС.

4.  $T$  – продолжительность эксплуатации устройств FACTS ,

5.  $t$  – шаг расчета,

6.  $E$  – норма дисконта.

Для увеличения передаваемой мощности по участку электрической сети (например, по межсистемной связи) можно рассматривать в качестве альтернативных вариантов сооружение дополнительной ЛЭП в совокупности с техническими средствами, обеспечивающими её нормальную эксплуатацию, либо использовать возможности пропускной способности существующих ЛЭП, установив в электрической сети для этой цели устройства FACTS. В этом случае устройства FACTS при более или менее массовом их применении могут решать следующие задачи:

- нормализовать напряжение на сетевом оборудовании в периоды роста и снижения нагрузки;
- корректировать потокораспределение в электрической сети, с учетом текущих рыночных и режимных ситуаций, в частности с целью ограничения потоков мощности в ЛЭП низших классов напряжения на уровне их термической стойкости;
- другие задачи, обусловленные спецификой местной нагрузки (например, симметрирование фазных напряжений, подавление

высших гармоник промышленной частоты, снижение потерь мощности и энергии в электрических сетях).

Повышение степени использования пропускной способности существующих электрических сетей за счет возможностей, предоставляемых устройствами FACTS, обуславливает более жесткие требования к надежности последних. Отказ отдельных из них может стать причиной перегрузки звеньев электрической сети выше предела их термической стойкости, нарушения устойчивости энергосистемы или недопустимое снижение запаса устойчивости. Поэтому при выборе типов, установленной мощности и мест подключения устройств FACTS должна предусматриваться определенная избыточность как по установленной мощности, так и по функциональным возможностям этих устройств.

#### **Список использованных источников**

1. Методика оценки технико-экономической эффективности применения устройств FACTS в ЕНЭС России – Проект. М., 2009.
2. Руководящие указания по выбору средств компенсации реактивной мощности и регулируемых трансформаторов в электрических сетях 110-1150 кВ (Энергосетьпроект, ВНИИЭ, ЦДУ «ЕЭС России»), утв. РАО «ЕЭС России» 4.04.1997 г.
3. Методические указания по применению асинхронизированных турбогенераторов на реконструируемых, расширяемых и вновь строящихся тепловых электростанциях разных типов. (РАО «ЕЭС России»). М., 1996.
4. ГОСТ Р 1.4-2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения».