

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ УСТРОЙСТВ ТЕХНОЛОГИИ FACTS

В.М. Преображенская, И.И. Пушкаренко (Северодвинск)

Проблема энергоэффективности для Архангельской области особенно актуальна по ряду причин: высокие затраты электроэнергии ввиду расположения в северных широтах, значительная протяженность воздушных и кабельных сетей электропередач, расположение основных генерирующих мощностей на территории г. Северодвинска и г. Архангельска, изношенность энергетического оборудования, отсутствие устройств регулирования потоков мощности в сетях электропередач. В этих условиях неоднократно фиксируются случаи сбоев в работе оборудования медицинских центров, узлов связи, систем автоматики и защиты в системах электроснабжения предприятий. Схема электроэнергетической системы (далее – ЭЭС) приведена на рисунке 1.

Наиболее вероятной причиной является низкое качество напряжения на шинах потребителей энергосистемы. В настоящее время наиболее действенный способ повышения эффективности действующих линий электропередач – это компенсация реактивной мощности. Комплекс мер по снижению потребления реактивной мощности из питающей сети позволяет разгрузить питающие линии электропередач, трансформаторы и распределительные устройства, что увеличит их срок службы, улучшить качество напряжения, уменьшить нагрузку на коммутационную аппаратуру за счет снижения токов в цепях, снизить расходы на электроэнергию. Режим компенсации может быть осуществлен путем внедрения устройств управляемых гибких линий электропередач переменного тока (FACTS) [1–4]. Эти устройства основаны на применении современной силовой электроники и способны одновременно воздействовать на три параметра: сопротивление линии, напряжение, угол передачи.



Рис. 1 – Схема ЭЭС Архангельской области

Для оценки влияния воздействия устройств технологии FACTS было предложено выполнить имитационное моделирование упрощенной ЭЭС Архангельской области и некоторых устройств компенсации реактивной мощности и исследовать влияние расположения устройств на свойства системы, рассмотреть возможности улучшения режимов энергосистемы, а также рассмотреть влияние устройств на работу энергосистемы при подключении и отключении дополнительной нагрузки. Моделирование выполнялось в среде Matlab.

### Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

Имитационная упрощенная модель ЭЭС Архангельской области приведена на рисунке 2.

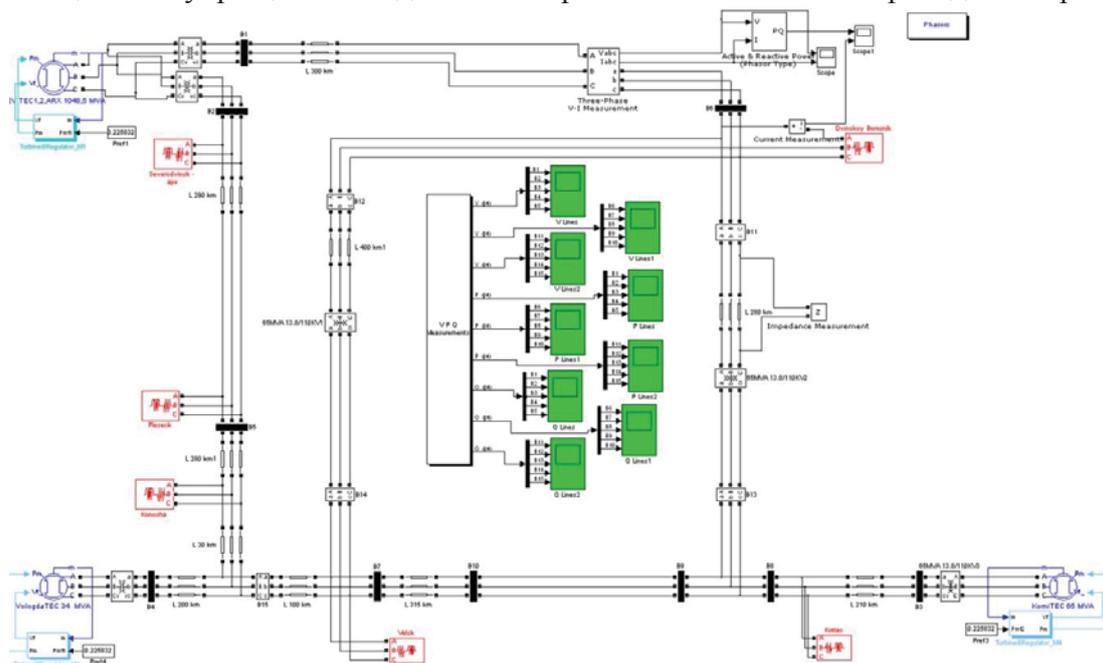


Рис. 2 – Имитационная модель ЭЭС Архангельской области

Схема замещения исследуемой ЭЭС приведена на рисунке 3. Схема включает в себя три узла генерации энергии: СГ 1 – «Архэнерго», СГ 2 – «Вологдаэнерго», СГ 3 – «Комиэнерго» и линии электропередач напряжением 110/220 кВ.

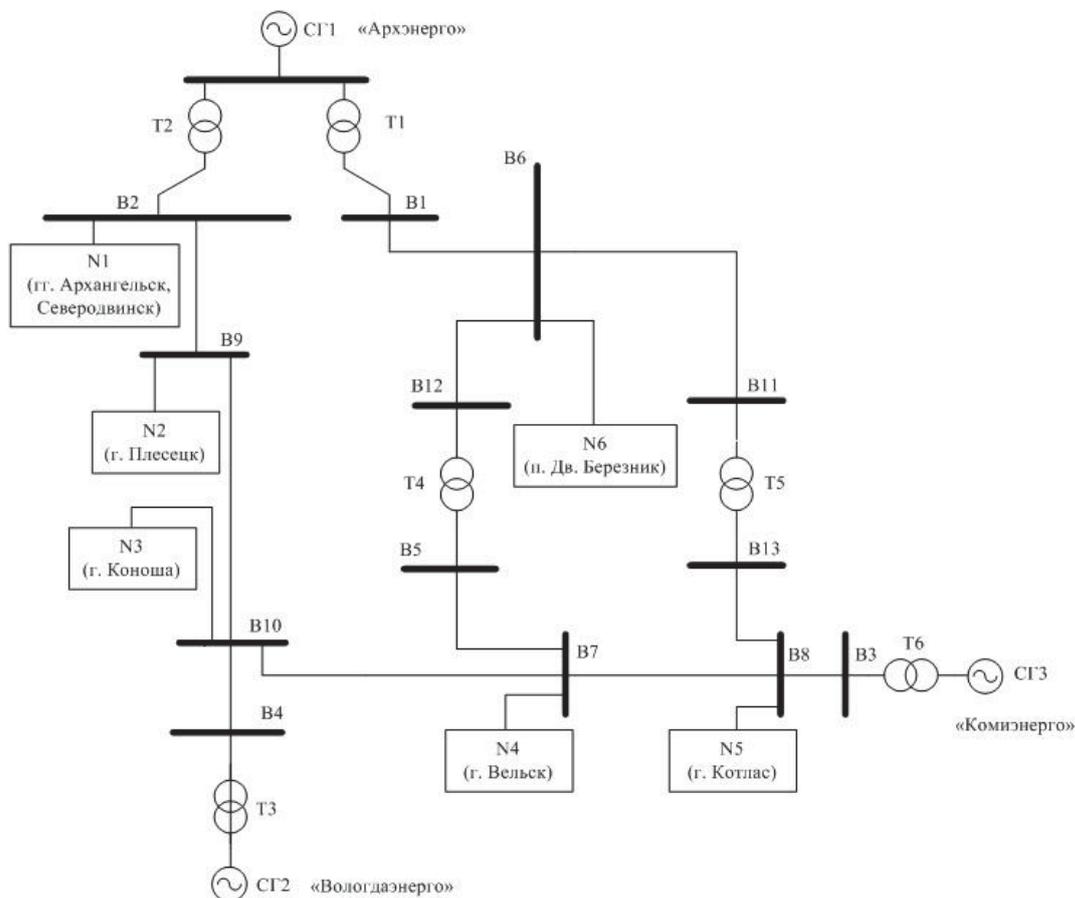


Рисунок 3 – Схема замещения ЭЭС Архангельской области

### Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

Протяженность линий электропередач (далее – ЛЭП) и значения напряжения в узлах системы приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры ЛЭП Архангельской области

ЛЭП	Напряжение, кВ	Протяженность, км
В1–В6 (г. Архангельск – п. Двинской Березник)	110	280
В2–В9 (г. Архангельск – п. Плесецк)	220	230
В9–В10 (п. Плесецк – п. Коноша)	220	220
В10–В4 (п. Коноша – г. Вологда)	220	350
В10–В7 (п. Коноша – г. Вельск)	220	120
В7–В8 (г. Вельск – г. Котлас)	220	260
В8–В3 (г. Котлас – г. Сыктывкар)	220	350
В6–В8 (п. Двинской Березник – г. Котлас)	110	320
В6–В7 (п. Двинской Березник – г. Вельск)	110	250

Изучение влияния устройств FACTS на параметры ЭЭС Архангельской области уже проводилось на примере моделирования и подключения устройства СТАТКОМ в разных точках модели ЭЭС. Результаты данного исследования приведены в статьях [5], [6].

В данной статье будет рассмотрено исследование статического синхронного продольного компенсатора SSSC [7] в модели ЭЭС Архангельской области. Имитационная модель устройства приведена на рисунке 4.

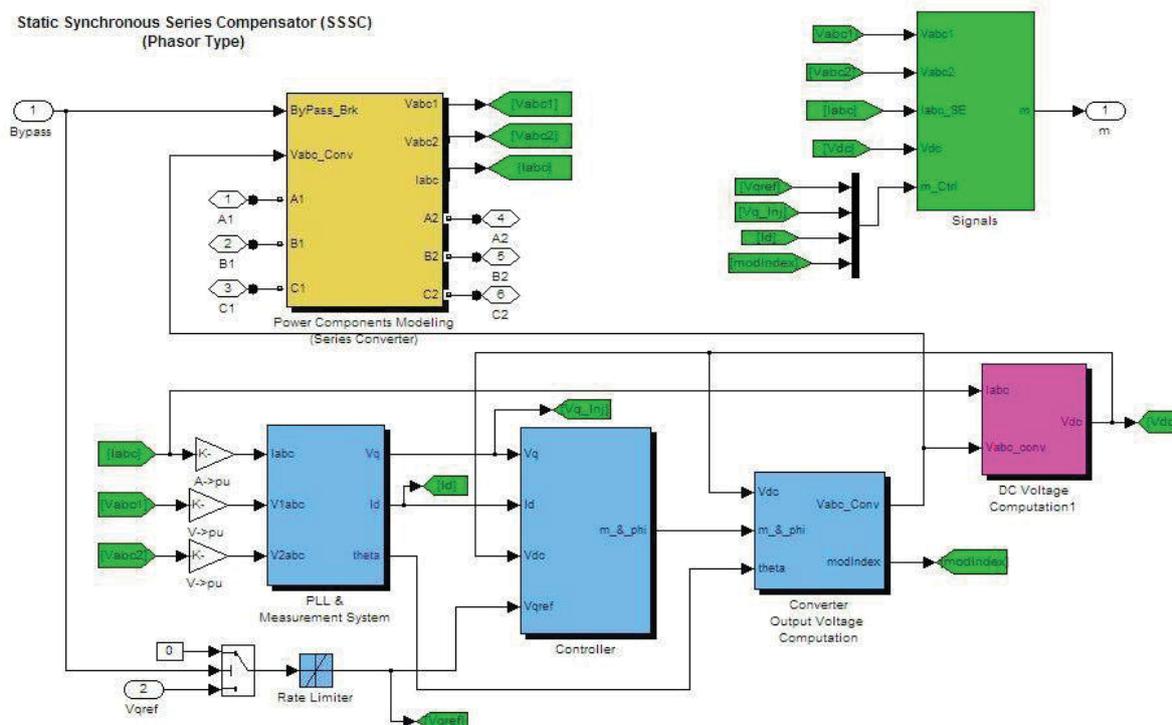


Рис. 4 – Имитационная модель компенсатора SSSC

Компенсатор типа SSSC считают усовершенствованным устройством тиристорно-управляемых установок продольной компенсации TCSC, исключая главный недостаток

**Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования**

TCSC – переход к индуктивному режиму работы только после отключения емкостного. Плавная смена режимов в SSSC реализуется с помощью управления в режиме широтно-импульсной модуляции PWM, а также применения базовых принципов систем динамического восстановления напряжения DVR.

Компенсатор SSSC может возвращать только реактивную мощность, за исключением случаев, когда контур постоянного тока получает подпитку от накопителя энергии. В распределении энергии используется принцип, который получил название DVR (система динамического восстановления напряжения), хотя по функциональности они несколько отличаются. При использовании компенсатора SSSC целью является поддержка сети в отношении ее наиболее уязвимых потребителей при кратковременных возмущениях.

Разработанная модель SSSC реализована на IGBT-вентиллях с фиксированным напряжением на конденсаторе. Однако отсутствие детально реализованной модели инвертора позволяет исследовать устройство VSC технологии GTO на отдельных режимах для исследования устойчивости.

Вводимое опорное напряжение SSSC обычно устанавливается POD контроллером. В общем случае структура POD контроллера включает в себя звенья следующих передаточных функций: блок усиления, блок фильтрации, два звена фазовой компенсации, выходной ограничитель. Модель POD контроллера приведена на рисунке 5.

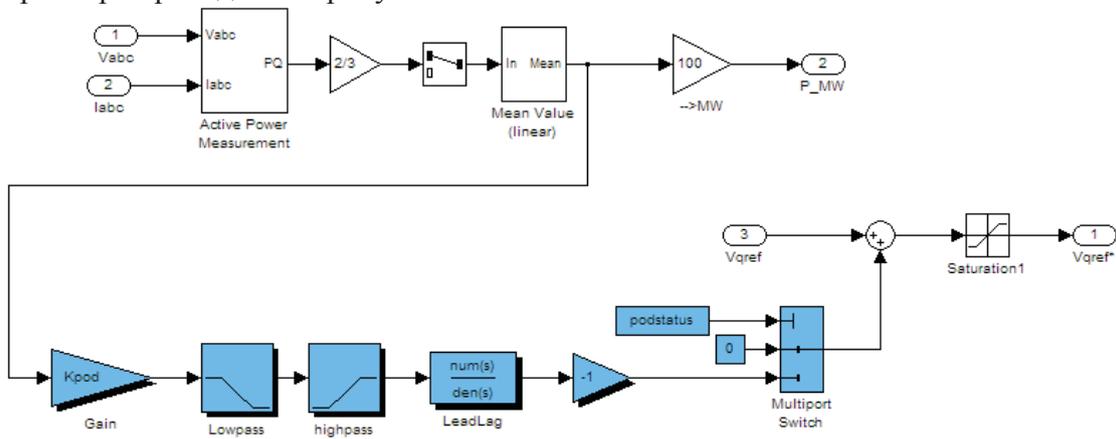


Рис. 5 – Имитационная модель POD контроллера  
Пиктограмма POD контроллера совместно с блоком SSSC приведена на рисунке 6.

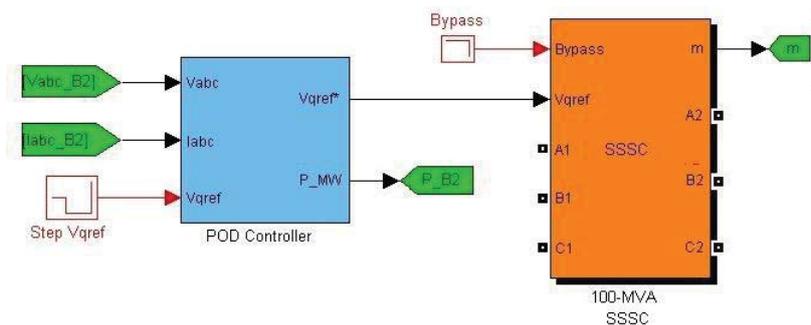


Рис. 6 – POD контроллер совместно с устройством SSSC

Для измерения значений напряжений, активной и реактивной мощностей в контрольных точках модели ЭЭС реализована система измерений, имитационная модель которой приведена на рисунке 7.

### Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

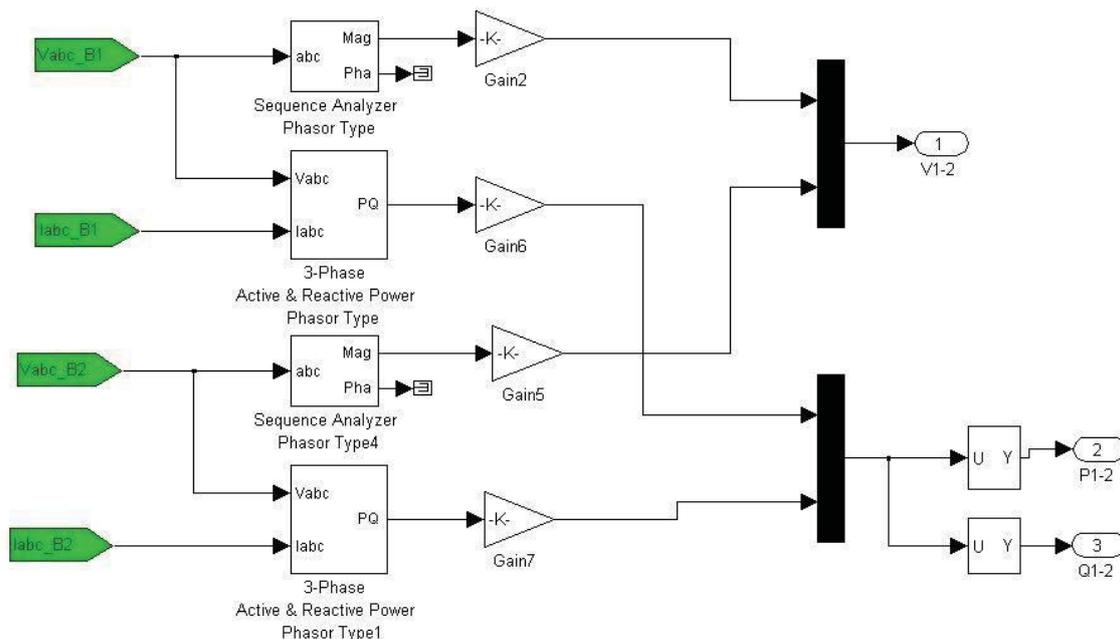


Рис. 7 – Система измерений параметров ЭЭС

Исследование функционирования ЭЭС с устройством SSSC проводилось в трех режимах (при различных мощностях узлов генерации). Параметры исследования приведены в таблице 2. Таблица 2 – Значения мощностей узлов генерации

Исследуемый режим функционирования	Мощность узла генерации, МВа		
	СГ1	СГ2	СГ3
Режим перегона энергии с севера на юг и восток	500	35	60
Режим перегона энергии с юга и востока на север	250	210	140
Режима имитации низкой реактивной составляющей нагрузки	450	150	140

Значение реактивной составляющей нагрузки было взято равным 10 % от номинального значения.

Также было изменено значение мощности компенсатора (50; 100; 150; 200 МВа) и изучено влияние его работы на энергосистему.

Эксперимент заключался в анализе влияния устройства SSSC на энергосистему при его установке в различных точках. Компенсатор устанавливался попеременно в трех точках: район г. Вельск, район п. Коноша, район п. Двинской Березник.

Первый этап исследований представлял собой анализ работы ЭЭС в номинальном режиме без компенсатора и с его установкой в различных точках. В первых двух режимах также изменялось значение опорного напряжения, подаваемое через POD-контроллер. Для первого режима эти значения составляют  $V_{qref} = 0,4$  и  $V_{qref} = 0,6$ , для второго режима –  $V_{qref} = 0,1$  и  $V_{qref} = 0,5$ , для третьего режима –  $V_{qref} = (-0,3)$ .

Второй этап исследований представлял собой наброс и сброс дополнительной нагрузки. Блок дополнительной нагрузки устанавливался в районе г. Плесеца. Его номинальные параметры: номинальное напряжение  $V_n = 220$  кВ, активная мощность  $P_n = 40 \times 10^6$  МВа, индуктивная составляющая реактивной мощности  $Q_L = 10 \times 10^6$  МВар, емкостная составляющая реактивной мощности  $Q_C = 0$  МВар.

Все сигналы, поступающие с выходов блоков системы измерений параметров ЭЭС, приведены в относительных единицах.

### Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

В таблицах 3, 4, 5 приведены результаты исследований, которые наиболее наглядно демонстрируют возможности компенсатора SSSC мощностью 200 МВа по улучшению энергоэффективности в некоторых узлах ЭЭС.

Таблица 3 – Значения напряжений по результатам исследований модели ЭЭС с устройством SSSC

В относительных единицах

Узел системы	Номинальный режим без установки устройства SSSC	Номинальный режим с установкой устройства продольной компенсации в линии			Режим подключения дополнительной нагрузки с установкой устройства продольной компенсации в линии		
		п. Коноша	г. Вельск	п. Дв. Березник	п. Коноша	г. Вельск	п. Дв. Березник
В1	0,9658	0,971	0,972	0,962	0,983	0,984	0,959
В4	0,9012	0,856	0,937	0,915	0,845	0,939	0,908
В6	0,7661	0,791	0,817	0,817	0,676	0,814	0,813
В12	0,7661	0,791	0,817	0,817	0,787	0,14	0,813

Таблица 4 – Значения активных мощностей по результатам исследований модели ЭЭС с устройством SSSC

В относительных единицах

Узел системы	Номинальный режим без установки устройства SSSC	Номинальный режим с установкой устройства продольной компенсации в линии			Режим подключения дополнительной нагрузки с установкой устройства продольной компенсации в линии		
		п. Коноша	г. Вельск	п. Дв. Березник	п. Коноша	г. Вельск	п. Дв. Березник
В1	0,3424	0,271	0,419	0,757	0,3752	0,4144	0,7412
В4	0,3632	0,094	0,262	0,215	0,0871	0,276	0,2129
В6	0,3806	0,439	0,488	0,866	0,4567	0,491	0,8723
В12	0,0344	0,064	0,088	0,274	0,075	0,09	0,2783

### Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

Таблица 5 – Значения реактивных мощностей по результатам исследований модели ЭЭС с устройством SSSC

В относительных единицах

Узел системы	Номинальный режим без установки устройства SSSC	Номинальный режим с установкой устройства продольной компенсации в линии			Режим подключения дополнительной нагрузки с установкой устройства продольной компенсации в линии		
		п. Коноша	г. Вельск	п. Дв. Березник	п. Коноша	г. Вельск	п. Дв. Березник
B1	0,5155	0,587	0,574	1,063	0,6357	0,6092	1,095
B4	0,2657	0,708	0,436	0,518	0,7479	0,4321	0,5447
B6	0,4174	0,43	0,413	0,708	0,4506	0,4332	0,7214
B12	-0,0632	-0,048	-0,091	0,039	-0,029	-0,073	0,0511

В результате проведенных исследований имитационной модели установлено, что использование компенсаторов SSSC в энергосистеме Архангельской области может позволить уменьшить падения напряжения до 11 % в номинальном режиме и до 6 % в режиме подключения дополнительной нагрузки, а также осуществить регулирование активной и реактивной мощности в достаточно широком диапазоне. Дальнейшая детализация имитационной модели ЭЭС Архангельской области с применением других устройств технологии FACTS может дать более объемную картину о способах улучшения энергоэффективности Архангельской области.

Литература

1. Кочкин В.И. Традиционные и новые технологии управления режимами работы электрических сетей на основе устройств силовой электроники // Электротехника. 2009. № 6.
2. Мисриханов М., Рябченко В., Ситников В. Устройства FACTS // Электро-info. 2008. № 1.
3. Hingorani N.G., Gyugy L. Understanding FACTS Concepts and Technology of Flexible AC Transmission System // IEEE Press, New York, 2000.
4. Singh B.R., Sharma N. K., Tiwari A. N. Prevention of Voltage Instability by Using FACTS Controllers in Power Systems: A Literature Survey // International Journal of Engineering Science and Technology, 2010. Vol. 2 (5).
5. Едемский С. Н., Пушкаренко И. И., Тригуб О. В. Исследование эффективности применения устройства СТАТКОМ для улучшения качества напряжения в узлах электроэнергетической системы Архангельской области // Промышленная энергетика. 2012. № 11 С. 49–53.
6. Едемский С. Н., Пушкаренко И. И., Тригуб О. В. Использование устройства компенсации реактивной мощности СТАТКОМ в электроэнергетической системе // Диагностика и надежность электрооборудования. 2013. № 3 (51), май-июнь. С. 27–30.
7. Murali D. Intelligent control schemes for SSSC based damping controllers in multi-machine power systems // International Journal of Engineering Science and Technology. 2010. Vol. 2 (8).