

ISSN 2220-3699

**СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД
И ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА**

***ТРУДЫ ДЕВЯТОЙ ВСЕРОССИЙСКОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ***

*ПОСВЯЩАЕТСЯ 90-ЛЕТИЮ
СИБИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ИНДУСТРИАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА*

**НОВОКУЗНЕЦК
25-26 НОЯБРЯ 2020 г.**

УДК 621.34.001.2 (0758)

А 18

Автоматизированный электропривод и промышленная электроника: Труды Девятой научно-практической конференции / Под общей редакцией В.Ю. Островляничика, В.А.Кубарева. — Новокузнецк: изд-во СибГИУ, 2020 г. — 216 с., ил.

ISSN 2220-3699

Сборник содержит труды IX Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 90-летию СибГИУ. В докладах представлены результаты научных исследований и практических приложений по проектированию, созданию математических моделей, теоретических основ энергосберегающего автоматизированного электропривода с традиционным и микропроцессорным управлением, решению проблем электроснабжения электрических установок и учета электрической энергии. Рассматриваются решения, ориентированные на применение в производстве и учебном процессе.

Сборник предназначен для научных работников, инженерно-технических работников предприятий, преподавателей вузов, аспирантов и студентов.

Под общей редакцией: д.т.н., проф. Островляничика В.Ю.
к.т.н., доц. Кубарева В.А.

ISSN 2220-3699

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2020

направления инновационной деятельности в промышленности : сборник научных статей международной научной конференции, 31 января 2020 г. – Казань, 2020. – Ч. 1. – С. 113–120. – Библиогр.: с. 119–120 (14 назв.).

УДК621.311.11

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ МИНИ-ТЭЦ В MATLAB

О. В. Кончакова, В. А. Кузнецов, Е. С. Кузнецова,
*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

В работе построена имитационная модель мини-ТЭЦ, которая содержит в себе модель турбины. Параметрами турбины управляет система регулирования с заданными значениями. Приводятся полученные зависимости.

Ключевые слова: мини-ТЭЦ, электроснабжение, имитационное моделирование, турбогенератор, турбина.

Одним из способов решения задачи бесперебойного электроснабжения в период аварии является подключение резервных станций. Мини-ТЭЦ позволяет с небольшими затратами обеспечить поддержку электроснабжения потребителей в условиях временного отключения основного источника, а в некоторых случаях рассматривать как основной автономный источник питания [1, 2].

Проектирование мини-ТЭЦ требует учитывать ряд параметров:

- режим работы всех инженерных систем в расчетные периоды, число которых может быть 8–24 и даже более;
- суточные, недельные, сезонные и годовые графики электрических нагрузок;
- параметры используемого топлива;
- возможность подключения к единой энергосистеме.

Одним из способов учесть все эти параметры при разработке мини-ТЭЦ является разработка компьютерной модели.

Моделирование систем электроснабжения возможно как с помощью создания своей программы на языке MATLAB, так и путем использования моделей типовых элементов системы электроснабжения из пакета расширения Simulink.

Упрощенный блок синхронный машины моделирует как, электрическую так и механическую характеристики простой синхронной машины. Электрическая система для каждой фазы состоит из напряжения источника последовательно с полным сопротивлением RL , которое осуществляет внутреннее полное сопротивление машины. Величина R может быть нулем, но величина L должна быть положительной. Модель выполнена в двух вариантах: Simplified Synchronous SI Units (параметры машины задаются в системе единиц СИ) и Simplified Synchronous Machine pu Units (параметры машины задаются в системе относительных единиц). В зависимости от варианта входные и выходные переменные машины также измеряются в системе единиц СИ или в относительных единицах.

Параметры блока:

Connection type: [Тип соединения обмотки статора].

Значение параметра выбирается из списка:

3-wire Y - звезда без нулевого провода;

4-wire Y - звезда с нулевым проводом.

Nom. power, L=L volt, and freq. [Pn (VA) Vn (Vrms) fn (Hz)]:

[Номинальная мощность Pn (ВА), действующее линейное напряжение Un (В) и номинальная частота fn (Гц)].

Inertia, damping friction factor and pairs of poles [J (kg*mA²) Kd (pu_T/pu_w) p]:

[Момент инерции J (кг*мА²), коэффициент демпфирования Kd (о.е.Т/о.е.в) и число пар полюсов p].

СЕКЦИЯ 2. Информационные и управляющие системы технологическими процессами и системы автоматизации технологических процессов
производственных комплексов

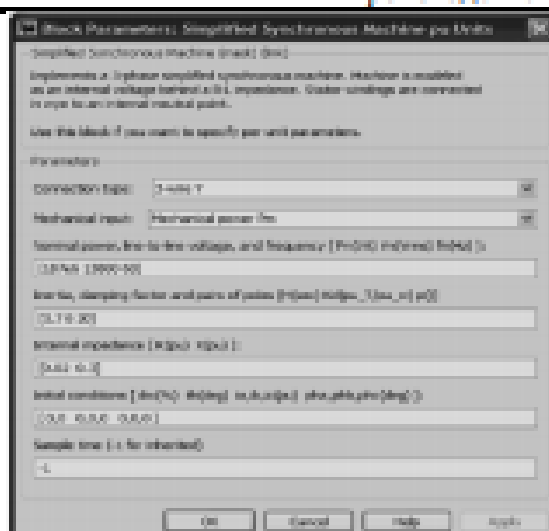


Рисунок 1 – Параметры блока Simplified Machine pu Units

Параметры блока:

Connection type: [Тип соединения обмотки статора].

Значение параметра выбирается из списка:

3-wire Y - звезда без нулевого провода;

4-wire Y - звезда с нулевым проводом.

Nom. power, L-L volt, and freq. [Pn (VA) Vn (Vrms) fn (Hz)]:

[Номинальная мощность Pn (ВА), действующее линейное напряжение Un (В) и номинальная частота fn (Гц)].

Inertia, damping friction factor and pairs of poles [J (kg*mA2) Kd (pu_T/pu_w) p]:

[Момент инерции J (кг*мА2), коэффициент демпфирования Kd (о.е.Т/о.е.в) и число пар полюсов p].

Internal impedance [R (Ohm) L (H)]:

[Активное сопротивление и индуктивность обмотки статора R (Ом) L (Гн)].

Init. cond. [dw (%) th (deg) ia, ib, ic (A) pha, phb, phc (deg)]:

Начальные условия. Параметр задается в виде вектора, каждый элемент которого имеет следующие значения:

dw (%) - отклонение угловой частоты вращения (в %);

θ (deg) - угловое положение ротора (град.);
 i_a, i_b, i_c - начальные значения токов статора (А);
 ϕ_a, ϕ_b, ϕ_c - начальные фазы токов статора (град.).

Параметры машины задаются в системе единиц СИ или параметры машины задаются в системе относительных единиц $p.u.$ и маркировании изменения блочного вклада на P_m . Машинная скорость определена машиной инерция J (или константа инерции H для $p.u.$ машины) и различием между механическим вращающим моментом T_m , протекающим из прикладной механической мощности P_m , и внутренний электромагнитный вращающий момент T_e [2].

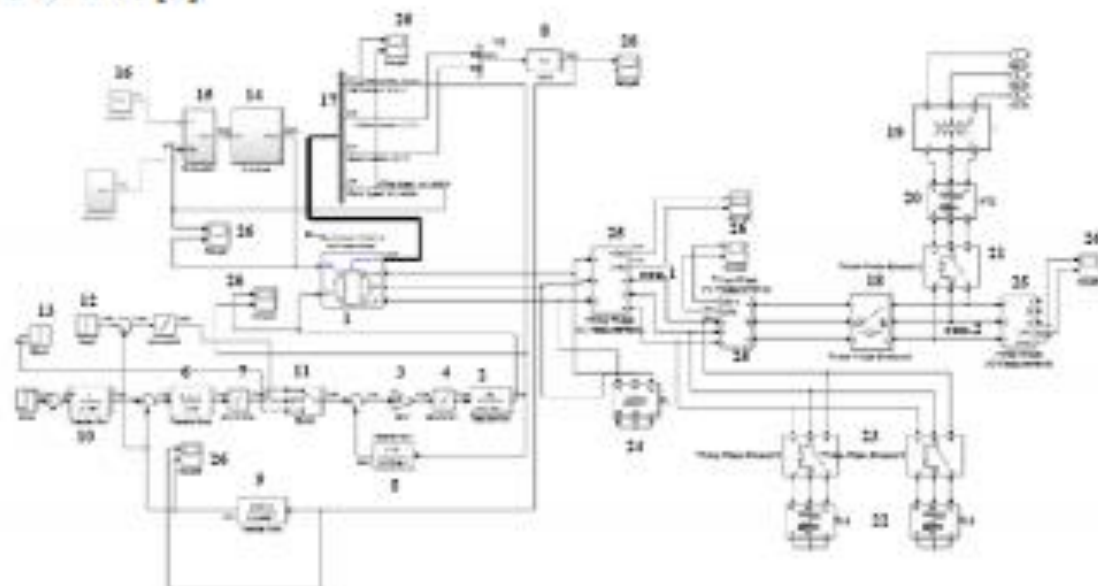


Рисунок 2 – Схема модели мини-ТЭЦ в MATLAB

На рисунке 2 отображены следующие блоки с установленными параметрами:

1. Блок 1 - турбогенератор;
2. Блок 2 - тиристорный возбудитель;
3. Блок 3 - регулятор тока возбуждения;
4. Блок 4 - ограничитель регулятора тока возбуждения;
5. Блок 5 - датчик тока возбуждения;
6. Блок 6 - регулятор напряжения;
7. Блок 7 - ограничитель регулятора напряжения;

8. Блок 8 - преобразователь напряжения;
9. Блок 9 - датчик напряжения;
10. Блок 10 - фильтр;
11. Блок 11 - реле;
12. Блок 12 - источник питания;
13. Блок 13 - источник питания с уставкой;
14. Блок 14 - модель турбины;
15. Блок 15 - блок системы регулирования;
16. Блок 16 - блок задания турбогенератора (параметры);
17. Блок 17 - измеритель параметров;
18. Блок 18 - секционный выключатель;
19. Блок 19 - трансформатор;
20. Блок 20 - кабельная линия;
21. Блок 21 - высоковольтный выключатель сети;
22. Блок 22 - блок активно индуктивной нагрузки;
23. Блок 23 - высоковольтный выключатель;
24. Блок 24 - блок активно индуктивного сопротивления;
25. Блок 25 - измеритель;
26. Блок 26 - осциллограф.

На схеме приведена модель линии теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) состоящая из следующих основных элементов и работающая по принципу: турбогенератор (1) - неявнополюсный генератор мощностью $P=6$ МВт, с номинальным напряжением 6,3кВ и током 1050А. Обмотка возбуждения 140В, 250А (с демпферной обмоткой).

В данной модели турбогенератора реализована возможность вывода параметров через специальное измерительное устройство для их анализа и применения в качестве обратных связей:

- номинальный ток возбуждения генератора;
- напряжение статорной обмотки по оси q , В;
- напряжение статорной обмотки по оси d , В;
- скорость ротора, рад/с.

На клемму P_m модели синхронного генератора поступает так называемая механическая мощность. В данном случае это сила вращения турбины. На вход V_f модели поступает напряжение от тиристорного возбудителя (фазы А, В и С). В модели реализована

схема управления возбуждением синхронного генератора с использованием теристорного возбудителя (2) с параметрами:

- коэффициент усиления 75;
- малая постоянная времени 0,01с.

Система двухконтурная, с подчиненным регулированием параметров: внутренний контур - тока возбуждения, внешний - напряжения статора двигателя.

Внутренний контур состоит из регулятора тока возбуждения G1 (3) с ограничением S1 (4) вышеназванного теристорного возбудителя. Объекты регулирования - обмотка возбуждения турбогенератора, датчик тока возбуждения (5). Контур тока возбуждения построен по модульному оптимуму. Внешним, по отношению к данному контуру, является контур напряжения статора синхронного генератора, состоящий из: регулятора напряжения (6) с ограничением (7) оптимизированного контура тока возбуждения, объекта регулирования статора синхронного генератора, а также цепи обратной связи, содержащей последовательно соединенные преобразователь напряжения (8) и датчик напряжения (9). Для снижения перерегулирования на входе контура напряжения установлен фильтр (10).

Контур настроен по симметричному оптимуму, при этом статизм по управлению равен 0.

В случае значительного снижения напряжения статора, контур напряжения отключается от внутреннего контура тока возбуждения, а на вход регулятора тока возбуждения (3) через реле (11) подается сигнал форсировки тока возбуждения от источника питания (12). Уставка переключения реле в режим форсировки установлена в устройстве (13). Коэффициент форсировки по току при этом равен значению 1,8, по напряжению 5. Уставка срабатывания реле равняется 5,8кВ.

Мини ТЭЦ содержит в себе модель турбины (14). Параметрами турбины управляет система регулирования (15) с заданными значениями. Блок регулирования выполнен таким образом, чтобы имелась возможность поддерживать постоянную скорость вращения турбогенератора. На вход системы (16) подается задание, в качестве обратной связи используется жесткая

обратная связь по скорости, полученная от комплекта измерителей параметров (17) синхронного генератора.

Напряжение от синхронного генератора мини ТЭЦ подается на первую (сек 1) из двух секций распределительного устройства РУ 10кВ. Через секционный выключатель (18) может быть подключена вторая секция (сек 2), электроснабжение которой осуществляется от общих сетей энергосистемы через трансформатор ТР1 110/10 кВ (19), кабельную линию КЛ2 (20), высоковольтный выключатель сети (21). Активно индуктивная нагрузка RL1 и RL2 (22) через высоковольтные выключатели Вг1 и Вг2 (23) подключена к секции 1.

Для нормальной работы модели в схему введено балластное активно-индуктивное сопротивление R, равное 100кОм (24). Для измерения напряжения токов в трехфазных сетях модели установлены различные измеряющие компоненты (25) с осциллографами (26).

Модель мини ТЭЦ настроена, работоспособна. Ниже изображены рисунки с графиками работы модели.

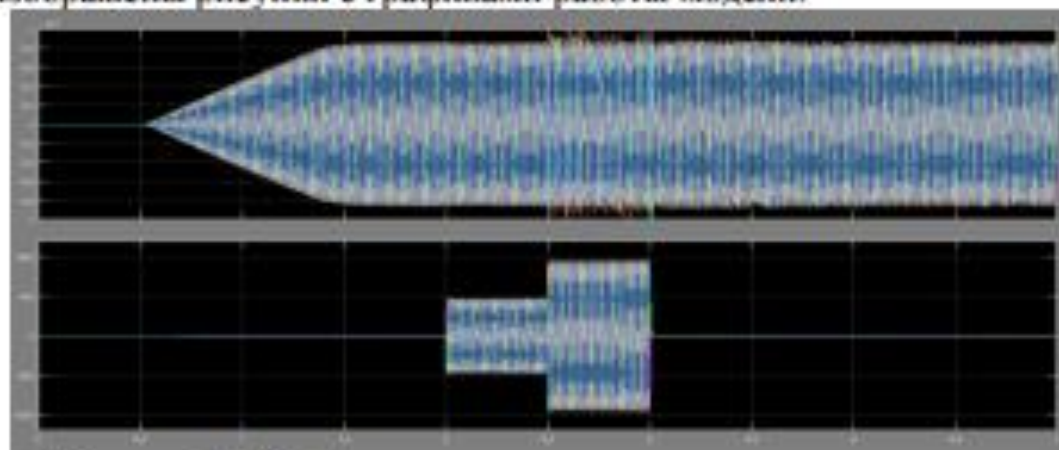


Рисунок 3 – Графики изменения напряжения и тока статора турбогенератора 6 МВт

На рисунке 3 и рисунке 4 показаны графики изменения напряжения и тока статора турбогенератора 6МВт, тока возбуждения и скорости вращения синхронного генератора. В момент подачи возбуждения, а также набросе нагрузки на турбогенератор 6МВт. В данный момент напряжение синхронного генератора не снижается, так как система регулирования за счет

увеличения тока возбуждения поддерживает постоянное напряжение синхронного генератора.

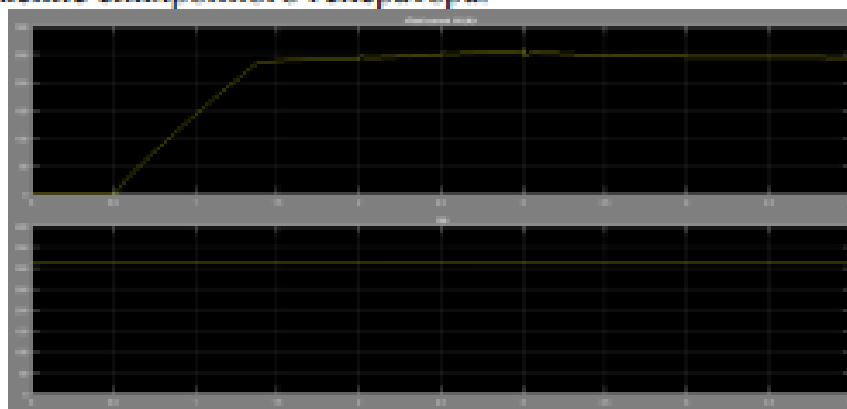


Рисунок 4 – Графики изменения тока возбуждения и скорости вращения синхронного генератора

На рисунке 5 изображены графики изменения скорости синхронного генератора и механической мощности. Из графиков видно увеличение механической мощности на валу турбогенератора в момент увеличения нагрузки. Момент возникает из-за незначительного снижения скорости синхронного генератора.

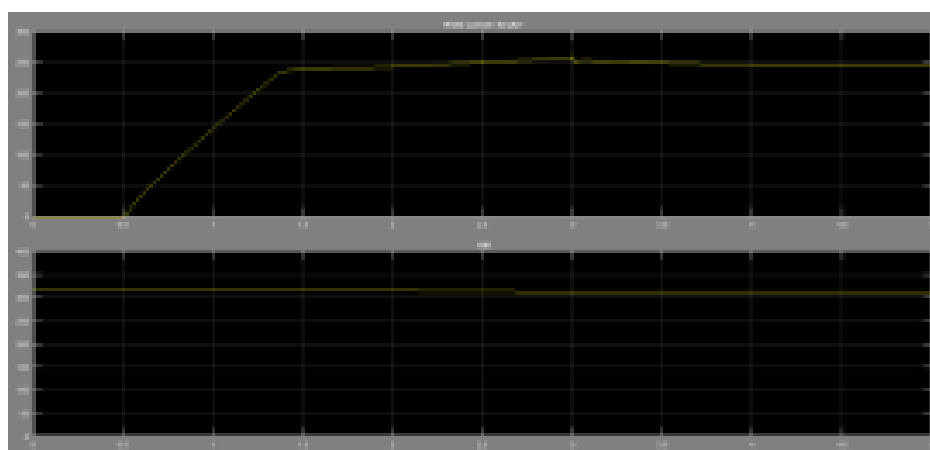


Рисунок 4 – Графики изменения тока возбуждения и скорости вращения синхронного генератора

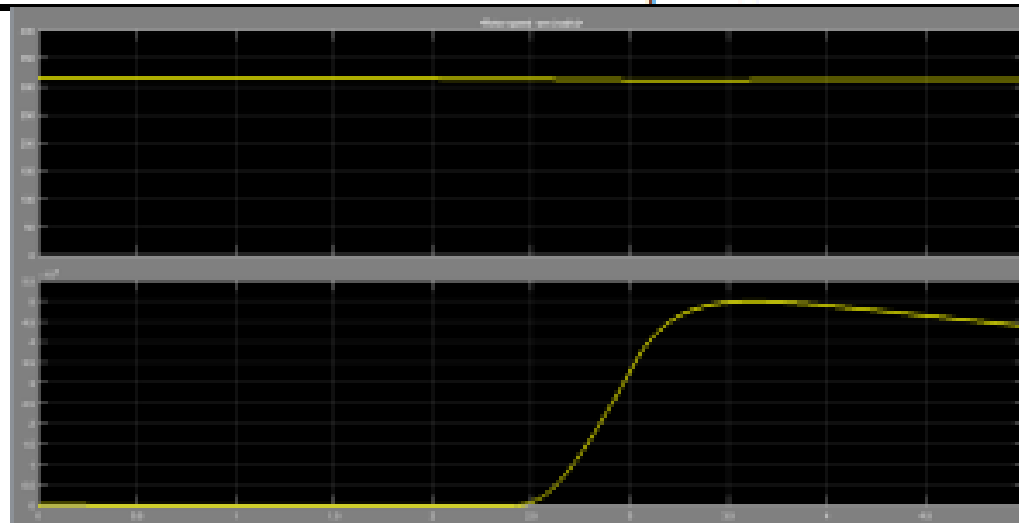


Рисунок 5 – Графики изменения скорости синхронного генератора и механической мощности

На рисунке 6 показаны графики изменения напряжения возбуждателя и тока возбуждения синхронного генератора. В начальный момент при увеличении тока возбуждения синхронного генератора напряжение на тиристорном возбудителе приобретает значение, максимально равное 750В. Далее на графиках показана работа при незначительных изменениях значения тока возбуждения. В любой момент изменения тока возбуждения наблюдается форсированное изменение напряжения.

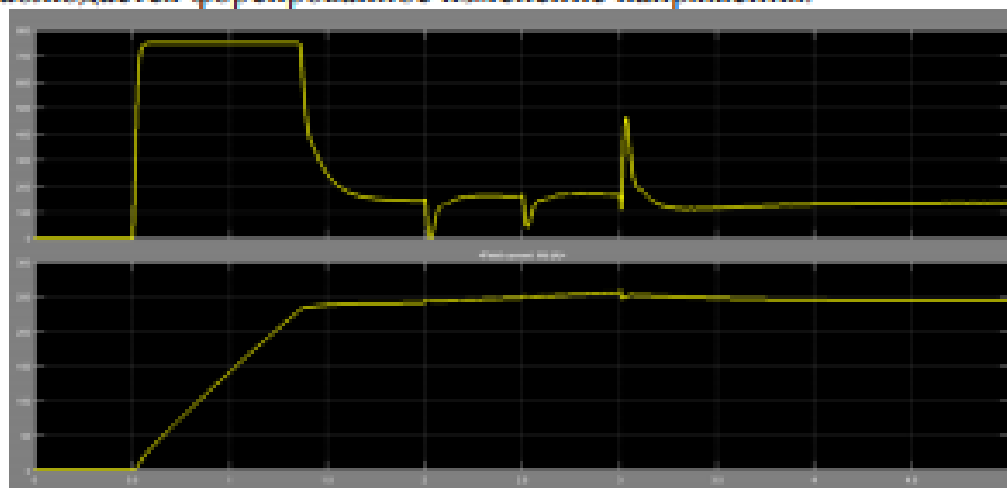


Рисунок 6 – Графики изменения напряжения возбуждателя и тока возбуждения синхронного генератора

Полученная модель мини-ТЭЦ позволяет оптимизировать режимы работы полученной установки. Изменяя параметры и применяя различные виды топлива получать графики изменения основных характеристик энергоустановки.

Библиографический список

1. В.Н. Чурашев, В.М. Маркова. Мини-ТЭЦ – перспективное направление развития энергетики. 2015
2. Концепция развития и использования возможностей малой и нетрадиционной энергетики в энергетическом балансе России. – М.: Минтопэнерго РФ. 1994.– 122с.
3. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystem и Simulink. -М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. - 288 с.

УДК 621.316.72

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СПРОСОМ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

С. О. Корнева, Е. С. Кузнецова, В. А. Кузнецов
*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Рассмотрена программа рационализации электропотребления – управление спросом на электроэнергию, способы для ее осуществления в различных странах. Реализация программы управления спросом позволит увеличить потенциал энергосбережения в России.

Ключевые слова: управление спросом электроэнергии, энергосбережение, потребитель, снижение потребления электроэнергии, электроэнергетический рынок.

Возможность потребителей влиять на спрос – ключевая черта любого эффективно функционирующего конкурентного рынка. Это утверждение справедливо и для рынка электроэнергии. Особые свойства электроэнергии как товара (одновременность

