

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МОЩНОСТЕЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ НА РЕГИОНАЛЬНУЮ ЭНЕРГОБЕЗОПАСНОСТЬ

Евгений ЛИСИН,

кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики
в энергетике и промышленности,
Национальный исследовательский университет
«Московский энергетический институт»,
г. Москва, Россия,
e-mail: lisinym@mpei.ru;

Николай РОГАЛЕВ,

доктор технических наук,
заведующий кафедрой тепловых электрических станций,
Национальный исследовательский университет
«Московский энергетический институт»,
г. Москва, Россия,
e-mail: rogalevnd@mpei.ru;

Павел ОКЛЕЙ,

кандидат экономических наук,
руководитель блока производственной деятельности,
ПАО «Интер РАО»,
г. Москва, Россия,
e-mail: okley_pi@interra.ru

Цитирование: Лисин, Е., Рогалев, Н., Оклей, П. (2019). Разработка модели оценки влияния структуры производственных мощностей энергосистемы на региональную энергобезопасность // *Terra Economicus*, 17(2), 96–111. DOI: 10.23683/2073-6606-2019-17-2-96-111

Сложившаяся производственная структура территориальной энергосистемы оказывает существенное влияние на энергобезопасность региона. При этом ее ключевой характеристикой является производственно-технологическая эффективность, повышение которой способствует росту уровня энергобезопасности территориального образования. Рыночные условия функционирования энергетического хозяйства требуют обеспечения эффективности эксплуатации производственных мощностей энергосистемы согласно установленным правилам их работы на рынках энергетической продукции. Для этого необходимо проводить ее структурную оптимизацию, в том числе, путем внедрения новых производственных технологий. В статье предлагается модель оценки влияния на энергетическую безопасность структуры производства энергетической продукции, позволяющую

формировать эффективные производственно-технологические решения по модернизации производственных мощностей территориальной энергосистемы с позиции обеспечения энергетической безопасности региона в рыночных условиях.

Ключевые слова: энергетическая система; структура производственных мощностей; рынки энергетической продукции; территориальная энергетическая безопасность; модель оценки эффективности управленческих решений

Благодарность: Статья подготовлена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № 26.9593.2017/8.9.

THE IMPACT MODEL OF THE PRODUCTION CAPACITIES STRUCTURE OF THE ENERGY SYSTEM AND THE REGIONAL ENERGY SECURITY

Evgeny LISIN,

Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor,
National Research University «Moscow Power Engineering Institute»,
Moscow, Russia,
e-mail: lisinym@mpei.ru;

Nikolay ROGALEV,

Doct. Sci. (Engineering), Professor,
National Research University «Moscow Power Engineering Institute»,
Moscow, Russia,
e-mail: rogalevnd@mpei.ru;

Pavel OKLEY,

Cand. Sci. (Econ.),
Head of Production Unit,
OAC INTER RAO UES,
Moscow, Russia,
e-mail: okley_pi@interrao.ru

Citation: Lisin, E., Rogalev, N., and Okley, P. (2019). The impact model of the production capacities structure of the energy system and the regional energy security. *Terra Economicus*, 17(2), 96–111. DOI: 10.23683/2073-6606-2019-17-2-96-111

As recent research literature suggests, the existing production structure of the territorial energy systems has a significant impact on the regional energy security. Energy security of the region constitutes an important issue that is key to the development of national economies. At the same time, its key characteristic is represented by the production and technological efficiency. With regard to the above, the increase of the production and technological efficiency contributes to the growth of the level of energy security of a territorial entity. Market conditions that are necessary for the smooth and reliable operation of the energy sector require ensuring the efficiency of operation of the production capacity of the energy system in accordance with the established rules for their operation in the energy product markets. In order to do this, it is necessary

to carry out its structural optimization, including the one that includes the introduction of new production technologies. This paper proposes a model for assessing the impact on energy security of the structure of energy production that, in its turn, allows to form the effective production and technological solutions for the modernization of the production capacity of the territorial energy system from the standpoint of ensuring the energy security of the region in market conditions.

Keywords: *energy system; production capacity structure; energy products markets; territorial energy security; management efficiency model*

Acknowledgements: *This paper was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, research project № 26.9593.2017/8.9.*

JEL classifications: *L11, L94*

Введение

Обеспечение энергетической безопасности в средне- и долгосрочной перспективе требует повышения управляемости энергетического хозяйства в рыночных условиях на территориальном уровне. Ситуацию усугубляет тот факт, что большая часть объектов энергетики была введена в период плановой экономики и в принципе не создавалась для функционирования в конкурентных условиях энергорынков. Рыночные условия функционирования существенно отразились на экономичности объектов энергетики, в частности системах теплофикации, обеспечивающих комплексное энергоснабжение региональных потребителей (Zlyvko et al., 2014; Newbery et al., 2018).

Частично повышение управляемости территориального энергетического хозяйства достигается за счет протекающих процессов объединения энергетических активов, создания и развития вертикально интегрированных предприятий, усиливающих влияние государства в энергетическом секторе. С одной стороны, это приводит к реализации масштабных инвестиционных программ и уменьшению транзакционных издержек, с другой стороны, снижает конкуренцию в отрасли и, как следствие, препятствует инновационному развитию энергетического комплекса (Stępień & Miciuła, 2016; Strielkowski, 2017).

Механизмом достижения устойчивого развития энергосистемы является структурно-технологическая модернизация энергетического комплекса на территориальном уровне, позволяющая усовершенствовать его организационную и производственно-технологическую структуры на основе согласованного критерия управления, учитывающего различия в целеполагании направлений развития энергетического хозяйства со стороны энергопредприятий и региональных органов государственной власти (Kashintseva et al., 2018). Целью структурно-технологической модернизации энергетического комплекса является обеспечение необходимого уровня энергетической безопасности территориального образования при прогнозируемых сценариях изменений внешних и внутренних условий его функционирования, ключевыми критериями которой являются ресурсная достаточность, экономическая доступность (энергоресурсов и продукции) и технологическая допустимость (наличие эффективных технологических решений) (Balitskiy et al., 2014).

Проблему обеспечения устойчивого развития территориальных энергосистем и, соответственно, энергетической безопасности регионов можно рассматривать с двух сторон:

- изменения рыночных правил функционирования территориальной энергосистемы с целью повышения эффективности имеющейся производственной структуры;
- оптимизации производственной структуры под существующие рыночные правила функционирования хозяйства, в том числе путем внедрения новых технологий, повышающих эффективность эксплуатации производственных мощностей энергосистемы в рыночных условиях.

В данной статье первостепенное внимание уделяется второму из вышеперечисленных подходов к решению проблемы. При этом в качестве ключевого объекта энергетического хозяйства рассматриваются теплофикационные электростанции, представляющие основную производственную единицу территориального образования, вырабатывающую электроэнергию и тепло для местных потребителей, и находящиеся под управлением территориальных генерирующих компаний.

Для изучения влияния изменения состава энергетического оборудования генерирующих объектов и внедрения новых технологий повышения эффективности производственного процесса на обеспечение региональной энергетической безопасности предлагаются специально разработанные методы и модели. Результатом их использования является оценка эффективности применения производственно-технологических решений по модернизации производственных мощностей территориальной энергосистемы с позиции обеспечения энергетической безопасности региона в рыночных условиях.

Анализ видов производственных мощностей энергосистемы

Современное производство энергетической продукции представлено объектами генерации электрической и тепловой энергии.

Объекты генерации, производящие преимущественно электроэнергию, формируют электроэнергетический комплекс страны. На сегодняшний день электроэнергетический комплекс России включает около 600 электростанций единичной мощностью свыше 5 МВт. Общая установленная мощность электростанций составляет 227 ГВт (ПАО «АТС», 2018; Системный оператор ЕЭС, 2018).

Электроэнергетический комплекс преимущественно представлен объектами тепло-, гидро- и атомной энергетики.

К объектам теплоэнергетики относят тепловые электрические станции, на которых в результате сжигания органического топлива получают тепловую энергию, преобразуемую затем в электрическую. В электроэнергетическом комплексе тепловые электростанции представлены преимущественно:

- государственными районными электростанциями (ГРЭС), основным продуктом производства которых является электроэнергия;
- теплофикационными электростанциями (ТЭЦ, теплоэлектроцентралями), производящими электроэнергию совместно с теплом для централизованной системы теплоснабжения;
- парогазовыми и газотурбинными установками, имеющими блочную структуру, позволяющую их применять как в составе ГРЭС для производства электроэнергии, так и ТЭЦ для комбинированной выработки электроэнергии и тепла.

К объектам гидроэнергетики относят гидроэлектростанции, на которых энергия водного потока преобразуется в электрическую энергию. Доля гидроэнергетики составля-

ет 99% возобновляемой энергетики страны. В электроэнергетическом комплексе гидроэлектростанции представлены:

- крупными ГЭС;
- каскадами средних и малых ГЭС;
- гидроаккумулирующими электростанциями (ГАЭС).

Объекты атомной энергетики представляют собой атомные электростанции, осуществляющие производство электроэнергии путем преобразования ядерной энергии. При этом на многих АЭС есть теплофикационные установки. Через полезное использование тепловых потерь станции осуществляется централизованное теплоснабжение потребителей.

Структура электроэнергетического комплекса по установленной электрической мощности объектов генерации представлена на рис. 1. Более 2/3 установленной генерирующей мощности относится к тепловым электростанциям, формирующим производственную основу территориальных энергосистем. Подавляющая их часть входит в состав объединенных электроэнергетических систем (ОЭС), которые формируют единую энергетическую систему страны (ЕЭС).

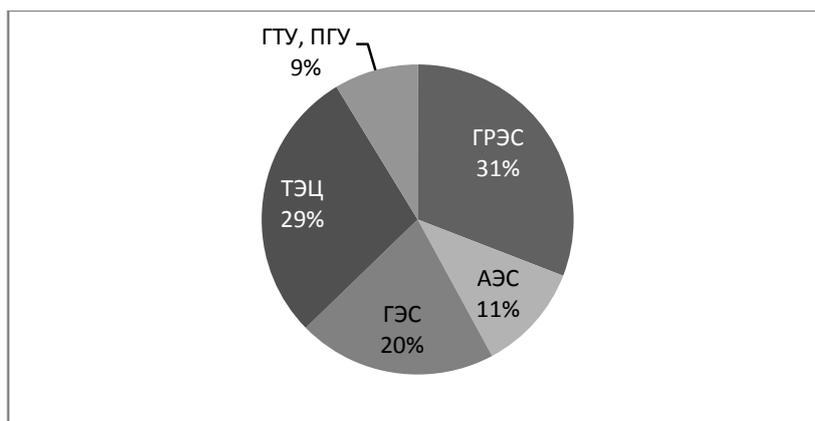


Рис. 1. Структура производственных мощностей электроэнергетического комплекса по объектам генерации

Источник: разработано авторами на основании (Системный оператор ЕЭС, 2018; Лисин и др., 2015а).

Крупные тепловые электростанции (ГРЭС), осуществляющие преимущественно производство электроэнергии, находятся в управлении оптовых генерирующих компаний (ОГК). Теплофикационные электростанции (ТЭЦ), осуществляющие комбинированное производство электроэнергии и тепла, принадлежат территориальным генерирующим компаниям (ТГК) и в основном обеспечивают теплом и электроэнергией местных потребителей.

К объектам теплоэнергетики также относят объекты генерации, производящие преимущественно тепловую энергию и формирующие системы городского и жилищно-коммунального теплоснабжения. Выделяют системы централизованного и индивидуального теплоснабжения. Источником тепла в централизованных системах теплоснабжения являются крупные тепловые станции (районные и квартальные котельные) или ТЭЦ.

Структура производства тепловой энергии по объектам генерации представлена на рис. 2.

Тепло от источника к потребителю транспортируется по магистральным тепловым сетям. Его носителем являются горячая вода или пар, поступающий на централизованные или индивидуальные пункты теплоснабжения.



Рис. 2. Структура производства тепловой энергии по объектам генерации

Источник: разработано авторами на основании (Минэнерго России, 2015; Лисин и др., 2015b).

Источником тепла в индивидуальных системах теплоснабжения являются малые и крышные котельные. Отсутствие большой протяженности тепловых сетей позволяет добиться уменьшения потерь тепла. Вместе с тем их применение связано с более высокими первоначальными капитальными затратами и себестоимостью производства тепла, а также повышенной нагрузкой на окружающую среду (более высокий уровень выбросов продуктов сгорания топлива, чем у крупных источников теплоснабжения) (Стенников, 2008).

Объекты тепловой генерации принадлежат территориальным генерирующим компаниям или единым тепловым компаниям, в состав которых, помимо производственных мощностей, также входят тепловые сети.

Исходя из приведенного анализа объектов генерации, можно представить структуру основных производственных мощностей энергосистемы в виде схемы, изображенной на рис. 3.

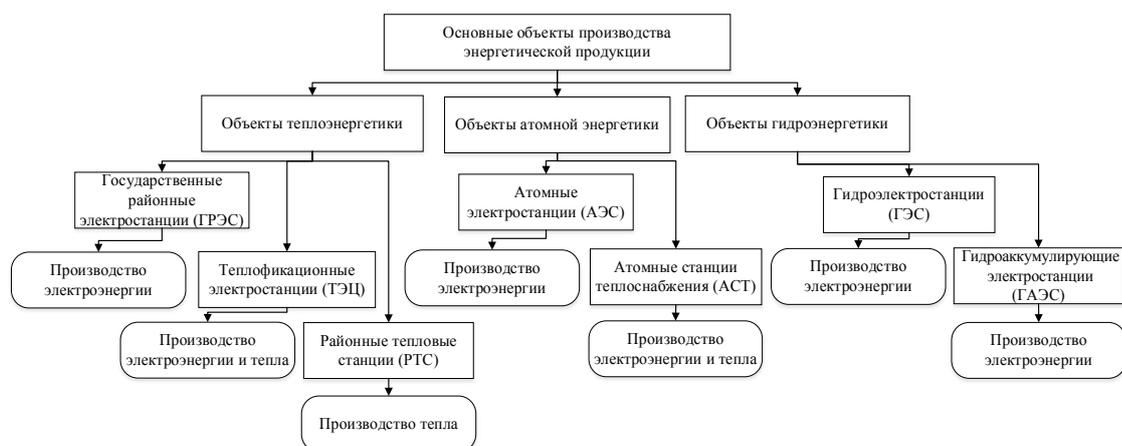


Рис. 3. Основные производственные мощности общенергетической системы, используемые для производства энергетической продукции

Источник: разработано авторами.

Технологии производства энергетической продукции в территориальных энергосистемах

На территориальном уровне производственные мощности общенергетических систем представлены в первую очередь объектами теплоэнергетики. Технологии произ-

водства энергетической продукции на данных объектах отличаются видом рабочего тела (пар, газ) и принципом действия (термодинамическим циклом). В теплоэнергетике распространены следующие виды технологий (Лисин и др., 2017а; Трухний и др., 2003):

- производство на основе парового цикла Ренкина (паротурбинные (силовые) установки (ПТУ));
- производство на основе газового цикла Брайтона (газотурбинные установки (ГТУ));
- производство на основе комбинации перечисленных двух циклов (парагазовые установки (ПГУ)).

Первый вид технологии производства наиболее распространен. Паротурбинные установки в составе паротурбинных тепловых электростанций (ПТЭС) составляют около 85% установленной мощности тепловых электростанций страны. Основным топливом для них может быть как природный газ, так и энергетические угли. Это является преимуществом данной технологии производства, объясняющим ее широкое использование. КПД по выработке электроэнергии паровых ТЭС находится в широком диапазоне от 28 до 40%.

Второй вид технологии производства реализуется в рамках газотурбинных электростанций (ГТЭС). В основе ГТЭС лежит газотурбинная установка (ГТУ), которая является основным энергетическим оборудованием. ГТУ сильно отличаются как по мощности, так и по уровню эффективности. Так, газовые турбины мощностью 350 МВт имеют КПД по выработке электроэнергии около 40%. С другой стороны, маломощные ГТУ характеризуются КПД в диапазоне от 16 до 23%.

ГТЭС слабо представлены в энергосистемах регионов, что связано с их достаточно невысоким КПД, высокими капитальными затратами и требовательностью к топливу (работают в основном на газообразном топливе). Крупные ГТЭС конкурентоспособны в сравнении с ПТЭС только в нефтегазоносных регионах, где стоимость топлива достаточно низкая. Основным преимуществом ГТЭС является высокая маневренность. Пуск установки может быть осуществлен всего за несколько минут, а разгрузка происходит до 80% номинальной мощности без больших потерь в эффективности. Для сравнения ПТУ на газе разгружаются до 60%, на угле – до 40%. Таким образом, ГТЭС малой мощности хорошо подходят в качестве пиковых электростанций, покрывающих максимум графика нагрузки.

Третий вид технологии производства реализуется в рамках ТЭС на основе парагазовых установок (ПГУ). Основным топливом для них является природный газ. Применение парагазового цикла позволяет достичь крайне высоких для ТЭС значений КПД – 55-62%. Высокие показатели эффективности являются основной причиной активного строительства парагазовых ТЭС и постепенного замещения ими паротурбинных ТЭС, функционирующих на природном газе.

Данные технологии производства также используются и при комбинированной выработке энергетической продукции на ТЭЦ. Принципиальным отличием ТЭЦ от ГРЭС является то, что на ТЭЦ возможно получение в едином производственном цикле как электрической, так и тепловой энергии. При этом электрическая мощность ТЭЦ является подчиненным параметром требуемой тепловой мощности. Так как в отличие от электроэнергии тепло нельзя передавать на большое расстояние без высоких потерь, то ТЭЦ обычно располагаются недалеко от потребителя в городской черте (в 2 км от промышленного потребителя и 12-14 км от бытового). Этим объясняются отличия во взаимном расположении ТЭЦ и ГРЭС и их принадлежности различным группам генерирующих компаний.

Также особенностью ТЭЦ является средняя величина единичной мощности, которая сильно уступает электрической мощности ГРЭС (рис. 4). При этом в структуре установленной мощности тепловых электростанций ТЭЦ составляют 48%, что объясняется большим числом электростанций данного типа и их высокой значимостью в энергоснабжении регионов.

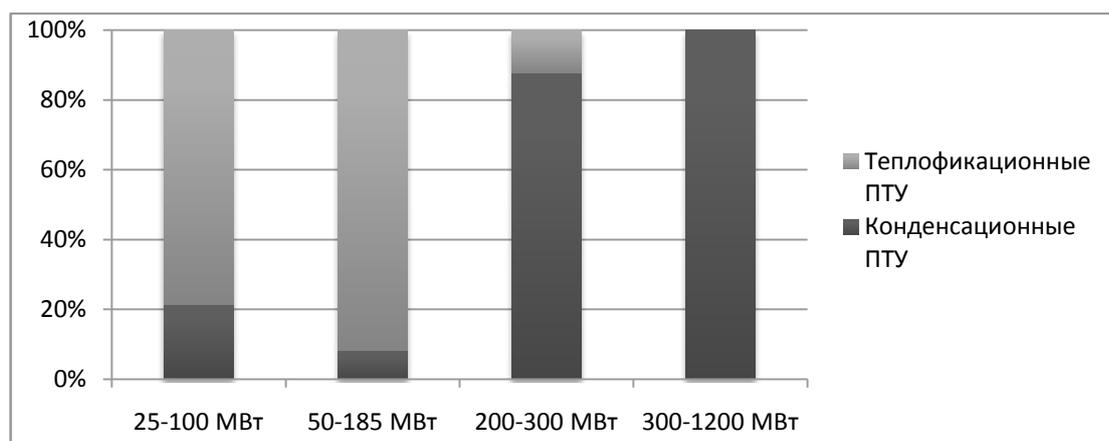


Рис. 4. Структура мощности действующих энергоблоков ТЭЦ и ГРЭС

Источник: разработано авторами на основании (Lisin et al., 2015c; Lisin et al., 2015d).

Еще одной отличительной чертой технологии производства энергетической продукции на электростанциях является их различие по технологическому уровню. Технологический уровень определяется начальными параметрами пара (давления P_0 и температуры t_0), на которые спроектирована энергоустановка. С термодинамической точки зрения повышение данных параметров энергоустановок является единственным способом существенного увеличения КПД электростанции. При этом капитальные затраты за счет роста материалоемкости и использования дорогих сплавов также увеличиваются, что делает экономически целесообразным проектирование энергоустановок с высокими начальными параметрами только на большую единичную мощность (Lisin et al., 2015d).

На данный момент большинство энергоустановок работают на докритических и сверхкритических параметрах пара. Повышение температуры t_0 на 1% приводит к увеличению КПД энергоустановки в среднем на 0,13%, а увеличение давления P_0 – на 0,0086% (Lisin et al., 2015d; Lisin et al., 2018).

Конкурентной технологией для производства тепла являются котельные установки. Котельная установка представляет собой сооружение, в котором осуществляется нагрев теплоносителя (как правило, воды) для системы теплоснабжения потребителей. Котельные соединяются с потребителями с помощью теплотрасс. Основными устройствами котельной являются котлы, в которых теплота от сжигания топлива передается воде. В паровых котлах вода превращается в пар, в водогрейных – нагревается до требуемой температуры.

В зависимости от использования теплоты котельные подразделяются на энергетические, отопительно-производственные и отопительные. Энергетические котельные снабжают паром паросиловые установки, производящие электроэнергию, и входят в состав производственного оборудования тепловой электростанции. Отопительно-производственные котельные применяются на предприятиях для обеспечения теплотой технологических процессов производства и отопления помещений. Отопительные котельные обслуживают жилые комплексы и общественные здания (Башмаков, 2008; Звонарева и др., 2015).

В зависимости от масштаба теплоснабжения отопительные котельные разделяют на местные (индивидуальное теплоснабжение), групповые и районные (централизованное теплоснабжение). Местные котельные предназначены в основном для теплоснабжения одного здания и размещаются на его территории. Групповые котельные обеспечивают теплотой жилые кварталы и размещаются в отдельных сооружениях, формируя квартальные тепловые станции (КТС). Районные отопительные котельные используются для теплоснабжения крупных жилых массивов и носят название районных тепловых станций (РТС).

Все вышеизложенное позволяет составить единую классификацию производственных мощностей энергосистемы и технологий производства энергетической продукции на территориальном уровне, представленную на рис. 5.

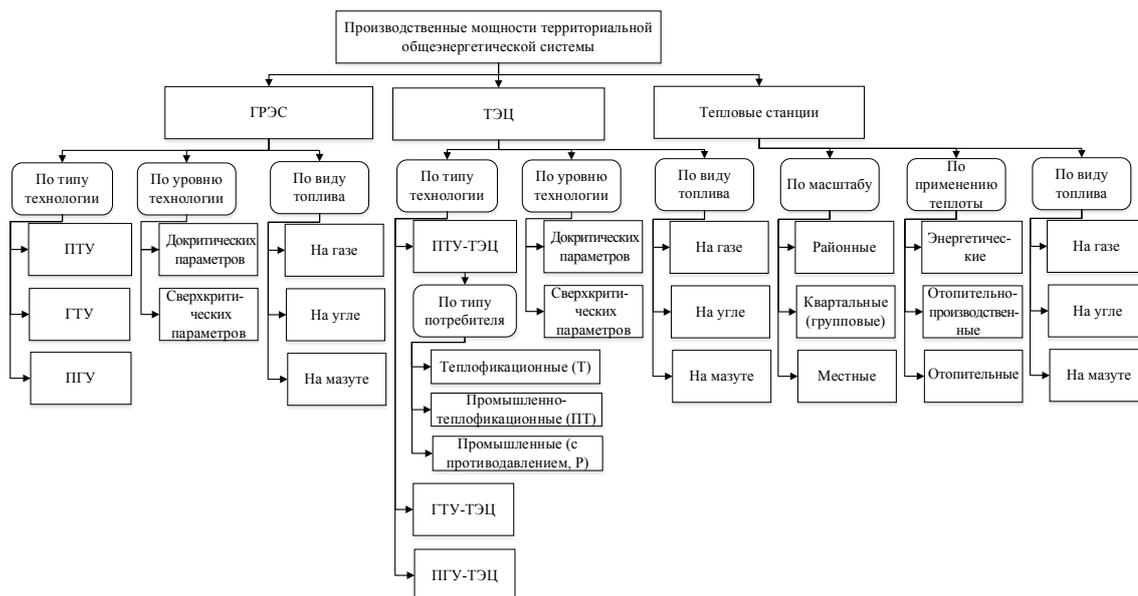


Рис. 5. Классификация производственных мощностей и технологий производства территориальной энергосистемы

Источник: разработано авторами.

Разработка модели оценки влияния производственной структуры энергосистемы на энергобезопасность

Структура производства энергетической продукции оказывает существенное влияние на энергетическую безопасность региона и является одним из драйверов ее повышения. Соответственно, для решения задачи управления развитием энергосистемы требуется разработка модели ее оценки.

Производственная структура общенергетической системы определяется структурой ее производственных подсистем, представляющих собой системы электро- и теплоснабжения, в рамках которых осуществляется выработка электроэнергии и тепла. В связи с этим структура производства определяется:

- технологической схемой производства энергетической продукции;
- составом генерирующих мощностей;
- режимами работы генерирующих мощностей.

Ключевой характеристикой производственной структуры общенергетической системы является ее производственно-технологическая эффективность. На территориальном уровне повышение производственно-технологической эффективности энергосистемы способствует повышению уровня энергетической безопасности территориального образования.

Показателями производственно-технологической эффективности являются топливная экономичность и коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) энергосистемы (Lisin et al., 2017b). Повышение данных показателей приводит к росту экономической рентабельности производства при стабилизации стоимости энергетической продукции для потребителя.

Если топливная экономичность описывает достигаемое снижение расходов топлива производственным оборудованием электростанции, то КИУМ является общей характеристикой эффективности электростанции. Для его оценки применяются два способа подсчета. Первый способ основан на нахождении отношения задействованной среднеа-

рифметической мощности к установленной мощности за выбранный интервал времени. На практике применение данного метода затруднительно. Поэтому чаще используют второй способ, предполагающий нахождение КИУМ в виде отношения фактической к теоретической выработке энергии. Повышение КИУМ может характеризовать повышение топливной экономичности за счет возможного увеличения времени работы энергооборудования в режимах, приближенным к номинальным. В то же время статистическая взаимосвязь между КИУМ и топливной экономичностью может быть слабой или отсутствовать (Lisin et al., 2016; Lisin et al., 2017c).

Повышение топливной экономичности и КИУМ достигается за счет технологической и структурной оптимизации производства.

Технологическая оптимизация связана с выбором эффективной технологической схемы производства энергетической продукции и совершенствованием производственного процесса за счет внедрения новых технологий. Технологическая оптимизация способствует в первую очередь снижению расходов топлива и повышению экономичности производства.

Структурная оптимизация производства заключается в изменении состава производственных мощностей и режимов их работы. Основной задачей структурной оптимизации является повышение загрузки производственных мощностей в течение года. Таким образом, снижается себестоимость производства энергетической продукции за счет уменьшения затрат на обслуживание неиспользуемых производственных фондов и дозагрузки эксплуатируемого оборудования до номинальных режимов работы, обеспечивающих наибольшую топливную экономичность.

На рис. 6 представлена разработанная структура производственно-технологической эффективности территориальной общенергетической системы.

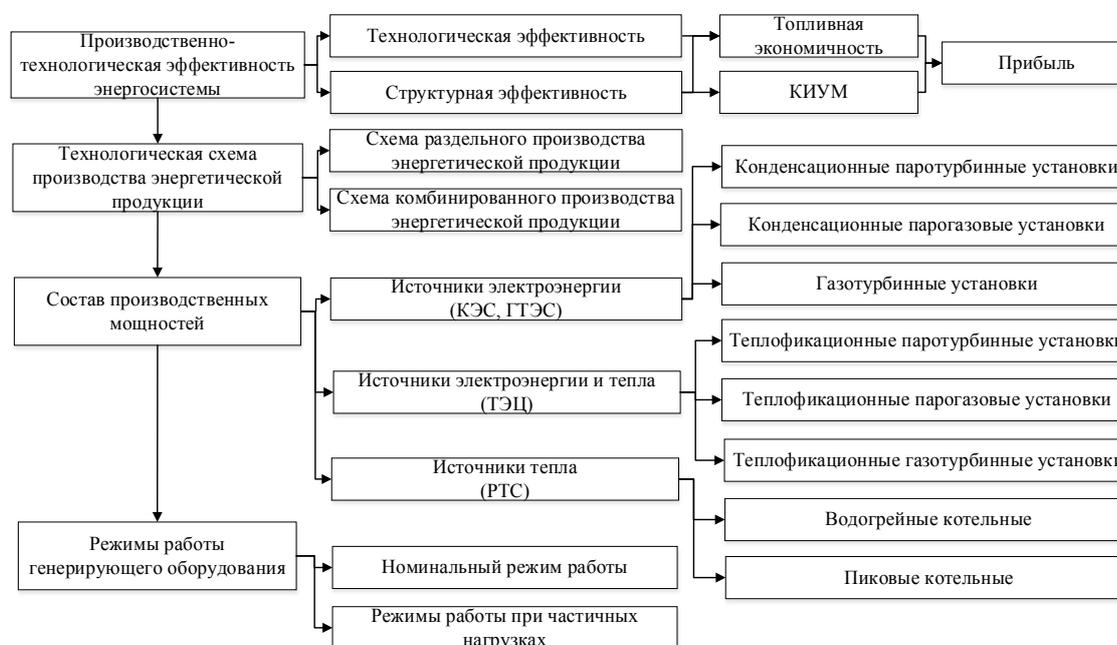


Рис. 6. Структура производственно-технологической эффективности территориальной энергосистемы

Источник: разработано авторами.

Определение степени влияния производственно-технологической эффективности общенергетической системы на энергетическую безопасность территориального образования предполагает рассмотрение в качестве варьируемых параметров разработанной модели оценки уровня энергетической безопасности показателей КИУМ и расхода топлива по энергосистеме.

Данные параметры будут характеризовать изменение общих производственных затрат, которые распределяются между производством электроэнергии и тепла в рамках энергосистемы. При комбинированной выработке энергетической продукции данное распределение требует задания способа разнесения экономии топлива, являющегося преимуществом двухпродуктового цикла производства.

Существует множество способов распределения затрат между теплом и электроэнергией, и их отличия в первую очередь связаны с обоснованием выбора точки раздела, в которой совместно производимые продукты признаются индивидуальными. Таким образом, выбирается, на какой продукт будет отнесена экономия от теплофикации.

Предлагается для разнесения затрат применять метод отключений ввиду его наглядности и универсальности при решении задачи управления производственной деятельностью в рамках энергосистемы при комбинированной выработке энергии. Согласно данному методу, себестоимость отпуска электроэнергии является функцией себестоимости производства тепла:

$$S_E(S_H) = \frac{PC}{V_E} - \frac{V_H}{V_E} S_H, \quad (1)$$

где PC – производственные затраты, V_E , V_H – объемы производства электроэнергии и тепла.

В общем виде оценку влияния на энергетическую безопасность структуры производства энергетической продукции можно представить в виде следующего алгоритма (рис. 7).



Рис. 7. Алгоритм оценки влияния повышения эффективности производственной структуры энергосистемы на уровень энергобезопасности

Источник: разработано авторами.

Структурная оптимизация позволяет повысить КПД энергоустановок за счет эксплуатации их в наиболее экономичных режимах работы. Технологическая оптимизация нацелена на переход к более технологически совершенным энергоустановкам, позволяющим обеспечить высокий КПД. Структурная и технологическая оптимизация требуют изменения структуры и состава оборудования с целью повышения экономичности эксплуатации энергосистемы.

В общем случае КИУМ, являясь обобщенной характеристикой эффективности энергосистемы, оказывает более существенное влияние на уровень энергетической безопасности, чем топливная экономичность. Также это обусловлено тем, что повышение технологического уровня производства энергетической продукции не позволяет получить значительный прирост в снижении расходов топлива, что связано с близостью развития традиционных технологий производства энергии к технологическому пределу, определяемому законами термодинамики. Потенциал повышения производственной эффективности с помощью структурной оптимизации значительно выше.

Представленные разработки формируют модель оценки влияния на энергетическую безопасность структуры производства энергетической продукции, которая позволяет проводить исследования производственно-технологических решений повышения эффективности функционирования энергосистемы.

Ввиду значительного дефицита собственного производства электроэнергии в большей части регионов страны (70%) и роста уровня газификации с позиции повышения уровня энергетической безопасности целесообразно развивать комбинированное производство энергетической продукции на основе территориальных энергосистем. Это позволит повысить долю собственного производства электроэнергии на тепловом потреблении, таким образом обеспечивая экономию топлива в производственном процессе, уменьшение загрязнения окружающей среды и затрат на транспортировку энергетической продукции.

Повышению конкурентоспособности ТЭЦ в условиях существующих рыночных правил функционирования энергорынков будут способствовать следующие производственно-технологические решения:

- повышение маневренных характеристик работы теплофикационных электростанций на основе аккумуляторов сетевой воды (производственно-технологическая схема ТЭЦ с баками-аккумуляторами сетевой воды);
- повышение доли выработки энергетической продукции на тепловом потреблении в течение года на основе схемы многоступенчатого подогрева сетевой воды (производственно-технологическая схема теплофикационного турбоагрегата с трехступенчатым подогревом сетевой воды);
- повышение объема выработки электроэнергии на тепловом потреблении на основе организации контура предварительного подогрева сетевой воды (производственно-технологическая схема когенерационной газотурбинной энергетической установки с контуром предварительного подогрева сетевой воды).

В табл. 1 представлены результаты оценки влияния на уровень энергобезопасности предложенных решений согласно разработанной модели при заданных сценарных условиях.

Происходящее на данный момент снижение конкурентоспособности ТЭЦ вызвано организационно-экономическими и управленческими причинами, приведшими к возникновению противоречия между финансовыми механизмами энергорынков и экономикой станции. Рассмотренные производственно-технологические решения повышения эффективности комбинированного производства энергетической продукции в рыночных условиях способствуют устранению данного противоречия и, таким образом, повышению уровня региональной энергобезопасности.

Таблица 1

Оценка влияния повышения эффективности комбинированного производства энергии на уровень энергобезопасности

Описание мероприятия	Сценарий	Потенциал повышения ЭБ, %
Повышение маневренных характеристик ПТУ-ТЭЦ на основе схемы с баками-аккумуляторами сетевой воды	Рыночная цена на энергетическую продукцию фиксирована.	21–30
Повышение доли комбинированной выработки на ПТУ-ТЭЦ в году на основе схемы с многоуровневым подогревом сетевой воды	Достигается повышение	8–15
Повышение выработки электрической мощности на тепловом потреблении ГТУ-ТЭЦ на основе схемы с контуром предварительного подогрева сетевой воды	прибыли генерации на снижении производственных издержек	5–10

Источник: разработано авторами.

Заключение

Сложившаяся производственная структура территориальной энергосистемы оказывает существенное влияние на уровень энергобезопасности региона. Для решения задачи управления развитием энергосистемы необходимо проводить оценку влияния эффективности производственно-технологических решений по модернизации производственных мощностей энергосистемы на уровень энергетической безопасности с учетом ее функционирования в рыночных условиях.

Ключевой характеристикой производственной структуры энергосистемы является ее производственно-технологическая эффективность, повышение которой способствует росту уровня энергобезопасности территориального образования. Показано, что основными показателями производственно-технологической эффективности являются топливная экономичность и коэффициент использования установленной мощности энергосистемы.

На основе анализа выделенных показателей была разработана модель оценки влияния на энергетическую безопасность структуры производства энергетической продукции, которая позволяет формировать производственно-технологические решения повышения эффективности функционирования энергосистемы, направленные на достижение экономически обоснованного уровня энергобезопасности региона.

Обеспечение энергетической безопасности территориального образования в рыночных условиях во многом зависит от конкурентоспособности комбинированного производства энергетической продукции на ТЭЦ. Повышения конкурентоспособности когенерации на ТЭЦ можно достичь за счет производственно-технологических решений, позволяющих снизить влияние производственно-технологических ограничений на экономическую эффективность применения теплофикации в рыночных условиях. Был предложен ряд таких решений и проведена оценка их влияния на уровень энергобезопасности.

ЛИТЕРАТУРА

Башмаков, И. А. (2008). Анализ основных тенденций развития систем теплоснабжения в России и за рубежом // *Новости теплоснабжения*, 2, 6–10.

Годовой отчет ПАО «АТС» (2010–2016) // ПАО «АТС» (<http://www.atsenergo.ru> – Дата обращения: 18.04.2019).

Звонарева, Ю. Н., & Ваньков, Ю. В. (2015). Энергосбережение в системах теплоснабжения крупных муниципальных объединений, запитанных от нескольких источников тепла // *Известия Томского политехнического университета*, 326(11), 75–82.

Лисин, Е. М., Анисимова, Ю. А., Стриелковски, В., & Кочерова, А. А. (2015b). Предпосылки формирования и развития национальных энергосистем на основе технологий теплофикации // *Вестник Ивановского государственного университета. Серия: Экономика*, 1(23), 39–44.

Лисин, Е. М., Комаров, И. И., Курдюкова, Г. Н., & Сухарева, Е. В. (2015a). Совершенствование методики технико-экономического обоснования выбора основного энергетического оборудования для газотурбинной электростанции // *Экономика и предпринимательство*, 8–1(61–1), 716–722.

Отчет о функционировании ЕЭС России (2010–2017) // *Системный оператор ЕЭС* (http://so-ups.ru/index.php?id=ups_reports – Дата обращения: 18.04.2019).

Стенников, В. А. (2008). Проблемы развития теплового хозяйства России и пути их решения // *Открытый семинар «Экономические проблемы энергетического комплекса»*, М.: Издательство ИПП РАН, 95 с.

Трухний, А. Д., Макаров, А. А., & Клименко, В. В. (2003). *Основы современной энергетики: курс лекций для менеджеров энергетических компаний*, в 2-х ч. М.: Издательство МЭИ, 278 с.

Balitskiy, S., Bilan, Y., & Strielkowski, W. (2014). Energy security and economic growth in the European Union // *Journal of Security and Sustainability Issues*, 4(2), 125–132.

Kashintseva, V., Strielkowski, W., Streimikis, J., & Veynbender, T. (2018). Consumer attitudes towards industrial CO₂ capture and storage products and technologies // *Energies*, 11(10), 2787. <https://doi.org/10.3390/en11102787>.

Lisin, E., Lozenko, V., Komarov, I., & Zlyvko, O. (2015c). Business competitiveness of Russian power plants in current market situation // *Transformations in Business & Economics*, 14(2B), 557–575.

Lisin, E., Shuvalova, D., Volkova, I., & Strielkowski, W. (2018). Sustainable development of regional power systems and the consumption of electric energy // *Sustainability*, 10(4), 1111–1122. <https://doi.org/10.3390/su10041111>.

Lisin, E., Kindra, V., Strielkowski, W., Zlyvko, O., & Bartkute, R. (2017b). Economic analysis of heat and electricity production in the decentralisation of the Russian energy sector // *Transformations in Business and Economics*, 16(2), 75–88.

Lisin, E., Marishkina, Y., Strielkowski, W., & Streimikiene, D. (2017a). Analysis of competitiveness: energy sector and the electricity market in Russia // *Economic Research – Ekonomika Istraživanja*, 30, 1820–1828. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2017.1392887>.

Lisin, E., Rogalev, A., Komarov, I., & Strielkowski, W. (2015d). Sustainable modernization of the Russian power utilities industry // *Sustainability*, 7(9), 11378–11400. <https://doi.org/10.3390/su70911378>.

Lisin, E., Sobolev, A., Strielkowski, W., & Garanin, I. (2016). Thermal efficiency of cogeneration units with multi-stage reheating for Russian municipal heating systems // *Energies*, 9(4), 269–287. <https://doi.org/10.3390/en9040269>.

Newbery, D., Pollitt, M. G., Ritz, R. A., & Strielkowski, W. (2018). Market design for a high-renewables European electricity system // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 695–707. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.025>.

Stępień, P., & Miciuła, I. (2016). Liberalization of the Polish energy market and the EU commitments // *Czech Journal of Social Sciences, Business and Economics*, 5(2), 25–33. <https://doi.org/10.24984/cjssbe.2016.5.2.3>.

Strielkowski, W. (2017). Social and Economic Implications for the Smart Grids of the Future // *Economics and Sociology*, 10(1), 310–318. <https://doi.org/10.14254/2071-789X.2017/10-1/22>.

Strielkowski, W., Lisin, E. (2017c). Economic aspects of innovations in energy storage // *International Journal of Energy Economics and Policy*, 7(1), 62–66.

Zlyvko, O., Lisin, E., Rogalev, N., & Kurdiukova, G. (2014). Analysis of the concept of industrial technology platform development in Russia and in the EU // *International Economics Letters*, 3(4), 124–138. <https://doi.org/10.24984/iel.2014.3.4.2>.

REFERENCES

- Annual report of PJSC «ATS» (2010–2016). *PJSC «ATS»* (<http://www.atsenergo.ru> – Access Date: 18.04.2019).
- Balitskiy, S., Bilan, Y., & Strielkowski, W. (2014). Energy security and economic growth in the European Union. *Journal of Security and Sustainability Issues*, 4(2), 125–132.
- Bashmakov, I. A. (2008). Analysis of the main trends in the development of heat supply systems in Russia and abroad. *Novosti Teplosnabzheniya*, 2, 6–10. (In Russian.)
- Kashintseva, V., Strielkowski, W., Streimikis, J., & Veynbender, T. (2018). Consumer attitudes towards industrial CO₂ capture and storage products and technologies. *Energies*, 11(10), 2787. <https://doi.org/10.3390/en11102787>.
- Lisin, E. M., Komarov, I. I., Kurdyukova, G. N., & Sukhareva, E. V. (2015a). Improving the feasibility study of the choice of the main power equipment for a gas turbine power plant. *Economy and Entrepreneurship*, 8–1(61–1), 716–722 (In Russian.)
- Lisin, E. M., Anisimova, Yu. A., Strielkowski, V., & Kocherova, A. A. (2015b). Prerequisites for the formation and development of national energy systems based on heating technologies. *Bulletin of Ivanovo State University. Series: Economy*, 1 (23), 39–44.
- Lisin, E., Lozenko, V., Komarov, I., & Zlyvko, O. (2015c). Business competitiveness of Russian power plants in current market situation. *Transformations in Business & Economics*, 14(2B), 557–575.
- Lisin, E., Rogalev, A., Komarov, I., & Strielkowski, W. (2015d). Sustainable modernization of the Russian power utilities industry. *Sustainability*, 7(9), 11378–11400. <https://doi.org/10.3390/su70911378>.
- Lisin, E., Sobolev, A., Strielkowski, W., & Garanin, I. (2016). Thermal efficiency of cogeneration units with multi-stage reheating for Russian municipal heating systems. *Energies*, 9(4), 269–287. <https://doi.org/10.3390/en9040269>.
- Lisin, E., Marishkina, Y., Strielkowski, W., & Streimikiene, D. (2017a). Analysis of competitiveness: energy sector and the electricity market in Russia. *Economic Research – Ekonomska Istraživanja*, 30, 1820–1828. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2017.1392887>.
- Lisin, E., Kindra, V., Strielkowski, W., Zlyvko, O., & Bartkute, R. (2017b). Economic analysis of heat and electricity production in the decentralisation of the Russian energy sector. *Transformations in Business and Economics*, 16(2), 75–88.
- Lisin, E., Shuvalova, D., Volkova, I., & Strielkowski, W. (2018). Sustainable development of regional power systems and the consumption of electric energy // *Sustainability*, 10(4), 1111–1122. <https://doi.org/10.3390/su10041111>.
- Newbery, D., Pollitt, M. G., Ritz, R. A., & Strielkowski, W. (2018). Market design for a high-renewables European electricity system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 695–707. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.025>.
- Report on the functioning of the UES of Russia (2010–2017). *UES system operator* (http://so-ups.ru/index.php?id=ups_reports – Access Date: 18.04.2019).
- Stennikov, V. A. (2008). Problems of the development of heat economy in Russia and their solutions. *Open Seminar «Economic Problems of the Energy Complex»*. Moscow: The Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences (IEF RAS) Publishing House, 95 p.
- Stępień, P., & Miciuła, I. (2016). Liberalization of the Polish energy market and the EU commitments. *Czech Journal of Social Sciences, Business and Economics*, 5(2), 25–33. <https://doi.org/10.24984/cjssbe.2016.5.2.3>.
- Strielkowski, W. (2017). Social and Economic Implications for the Smart Grids of the Future. *Economics and Sociology*, 10(1), 310–318. <https://doi.org/10.14254/2071-789X.2017/10-1/22>.
- Strielkowski, W., & Lisin, E. (2017c). Economic aspects of innovations in energy storage. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 7(1), 62–66.

Trukhny, A. D., Makarov, A. A., & Klimenko, V. V. (2003). *Fundamentals of modern energy: a course of lectures for managers of energy companies*. Moscow: Publishing House of MPEI, 278 p.

Zlyvko, O., Lisin, E., Rogalev, N., & Kurdiukova, G. (2014). Analysis of the concept of industrial technology platform development in Russia and in the EU. *International Economics Letters*, 3(4), 124–138. <https://doi.org/10.24984/iel.2014.3.4.2>.

Zvonareva, Yu. N., & Van'kov, Yu. V. (2015). Energy saving in heat supply systems of large municipal unions, powered from several heat sources. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 326(11), 75–82. (In Russian.)