

УДК 620.9:662.6

**МАЛАЯ РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ЭНЕРГЕТИКА РОССИИ:  
СОВМЕСТНАЯ ВЫРАБОТКА ТЕПЛО- И  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

А.В. Казаков, А.С. Заворин, П.Ю. Новосельцев, Р.Б. Табакаев

Томский политехнический университет

E-mail: kazakov@tpu.ru

**Казаков Александр Владимирович**, канд. техн. наук, доцент кафедры парогенераторостроения и парогенераторных установок Энергетического института ТПУ.  
E-mail: kazakov@tpu.ru

Область научных интересов: технологии термической конверсии органических топлив.

**Заворин Александр Сергеевич**, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой парогенераторостроения и парогенераторных установок Энергетического института ТПУ.  
E-mail: zavorin@tpu.ru

Область научных интересов: энергетические технологии топливосжигания, теплофизические процессы в трактах котельных установок, диагностика и надежность работы энергетического оборудования.

**Новосельцев Павел Юрьевич**, аспирант кафедры парогенераторостроения и парогенераторных установок Энергетического института ТПУ.  
E-mail: pavel2906@rambler.ru

Область научных интересов: технологии термической конверсии органических топлив.

**Табакаев Роман Борисович**, инженер кафедры парогенераторостроения и парогенераторных установок Энергетического института ТПУ.  
E-mail: TabakaevRB@tpu.ru  
Область научных интересов: теплотехнологии, подготовка твердого топлива к сжиганию, энергосбережение.

Рассмотрены вопросы и актуальные направления исследований в области децентрализованного энергоснабжения на период до 2030 года. Сделан анализ рынка когенерационных установок в России. Освещены вопросы газификации и водородных технологий применительно к рынку когенерационных установок. Приведены перспективные технологии для автономного децентрализованного энергоснабжения и дана оценка возможности их применения в малой энергетике.

**Ключевые слова:**

Децентрализованное энергоснабжение, энергетическая безопасность, когенерационные установки, газификация, водородные технологии, топливный элемент.

**Вопросы децентрализованного энергоснабжения  
Энергетической стратегии России  
на период до 2030 года**

Принятая в России Концепция перехода на инновационный путь развития экономики предусматривает переход страны от экспортно-сырьевого к ресурсно-инновационному развитию с качественным обновлением энергетики (как топливной, так и нетопливной) и смежных отраслей [1].

В Энергетической стратегии России на период до 2030 года одной из задач является модернизация и создание новой энергетической инфраструктуры на основе масштабного технологического обновления энергетического сектора экономики страны. Отмечается [1], что энергетическая безопасность является одной из важнейших составляющих национальной безопасности страны. Обеспечение энергетической безопасности определяется ресурсной достаточностью, экономической доступностью, экологической и технологической допустимостью. Ресурсная достаточность определяет физические возможности бездефицитного обеспечения энергоресурсами национальной экономики и населения, экономическая

доступность – рентабельность такого обеспечения при соответствующей конъюнктуре цен, экологическая и технологическая допустимость – возможность добычи, производства и потребления энергоресурсов в рамках существующих на каждом этапе технологий и экологических ограничений, определяющих безопасность функционирования энергетических объектов [1].

По итогам реализации Энергетической стратегии России на период до 2020 года существуют проблемы, отраженные в Стратегии-2030:

- слабое развитие энергетической инфраструктуры в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке;
- недостаточно активное развитие возобновляемой энергетики и использования местных видов топлива в региональных энергетических балансах;
- недостаточное развитие малой энергетики и низкая вовлеченность в энергобалансы местных источников энергии регионального и локального значения.
- В качестве приоритетных направлений научно-технического прогресса в энергетическом секторе в Стратегии-2030 выделены:
- создание и широкое внедрение комплекса технологического оборудования на модульной основе для нового строительства и перевода существующих источников теплоснабжения на когенерационную основу;
- развитие технологий использования возобновляемых источников энергии, а также многофункциональных энергетических комплексов для автономного энергообеспечения потребителей в районах, не подключенных к сетям централизованного энергоснабжения;
- освоение эффективных технологий сетевого электро- и теплоснабжения на базе возобновляемых источников энергии;
- расширение производства и использования новых видов топлива, получаемых из различных видов биомассы;
- развитие малой энергетики в зоне децентрализованного энергоснабжения за счет повышения эффективности использования местных энергоресурсов, сокращения объемов потребления завозимых светлых нефтепродуктов;
- развитие теплоснабжения России и ее регионов на базе теплофикации с использованием современных экономически и экологически эффективных когенерационных установок широкого диапазона мощности;
- оптимальное сочетание централизованного и децентрализованного теплоснабжения с выделением соответствующих зон;
- развитие систем централизованно-распределенной генерации тепловой энергии с разными типами источников, расположенных в районах теплотребления;
- модернизация и развитие систем децентрализованного теплоснабжения с применением высокоэффективных когенерационных и других установок, а также автоматизированных индивидуальных теплогенераторов нового поколения для сжигания разных видов топлива;
- оснащение потребителей стационарными и передвижными установками теплоснабжения в качестве резервных и (или) аварийных источников теплоснабжения.
- Стратегией-2030 предполагается, что региональная структура генерирующих мощностей будет формироваться следующим образом:
- развитие малой энергетики на возобновляемых источниках энергии, в том числе путем замещения локальной дизельной генерации;
- получит развитие, особенно в районах невысокой плотности нагрузки, малая энергетика и децентрализованное электроснабжение с активным использованием всех видов местных и вторичных энергоресурсов; также будут осваиваться установки с газификацией угля и энерготехнологические установки;
- разработка и реализация региональных энергетических программ, программ энергосбережения, максимизация экономически эффективного использования местных источников топливно-энергетических ресурсов, развитие экономически эффективных децентрализованных и индивидуальных систем теплоснабжения.

#### **Актуальные направления исследований в области децентрализованного энергоснабжения**

В интересах развития российской энергетики, распространяемых в том числе и на объекты малой энергетики, следует развивать направление исследований в области генерации тепловой и электрической энергии для автономных децентрализованных потребителей.

Как показывает практика, проблема децентрализованных потребителей заключается в удаленности от транспортных схем, что кратно увеличивает стоимость доставки топливных ресурсов. Зачастую в таких удаленных районах имеются запасы местных низкосортных топлив, которые можно использовать в качестве энергоносителя, но характеристики этих топлив настолько осложняют организацию процесса прямого сжигания в топках котлов, что на практике используются в редких случаях.

Меморандум о создании и деятельности технологической платформы «Малая распределенная энергетика» гласит, что одними из основных сфер применения новых технологических решений малой распределенной энергетике являются [2]:

- когенерационные установки для модернизации коммунальной инфраструктуры поселений;
- типовые комплекты оборудования и модульные технологические решения для энергообеспечения удаленных и изолированных потребителей;
- комплексные локальные энергосистемы с максимально возможным использованием местных топливных ресурсов.
- Одними из основных направлений технологического развития, поддерживаемыми в рамках технологической платформы, являются [2]:
- технологии генерации электрической и тепловой энергии, включая топливные элементы, водородную энергетику;
- технологии использования местных энергетических ресурсов, в том числе современные технологии использования торфа как топливного ресурса, газификация местных топливных ресурсов, отходов производства и бытовых отходов с использованием синтез-газа для генерации энергии.

Таким образом, работы по темам, связанным с исследованиями в области энергообеспечения удаленных потребителей на базе когенерационных установок, генерирующих синтез-газ на основе местных топлив с использованием топливных элементов, представляются актуальными.

### **Рынок когенерационных установок в России**

Развитие рынка когенерации в России представляется одним из стратегических направлений в области малой энергетике. На сегодняшний момент существует порядка 12 крупных отечественных и 17 зарубежных производителей когенерационного оборудования, представленного на рынке России. В абсолютном своем большинстве когенерационные станции предназначены для работы на природном газе и дизельном топливе. Очевидно, что спрос на такие установки определяется относительной простотой обслуживания и их достаточной маневренностью. Шесть зарубежных компаний (GE Jenbacher, MTU, Motorgas, Tedom, Turbec, MWM) поставляют оборудование, работающее на синтезированном газе. Из российских производителей имеется одна компания (ООО АРЗ «Синтур-НТ»), производящая оборудование для работы на генераторном газе. Диапазон мощностей когенерационных установок довольно велик и составляет от 3,8 кВт до 4,3 МВт электрической и от 8,9 кВт до 5,2 МВт тепловой. Основными типами когенерационных установок, предназначенных для выработки тепловой и электрической энергии, в настоящее время являются газопоршневые установки. КПД таких зарубежных когенерационных систем в основном превышает 90 %, в то время как КПД отечественных систем находится на уровне 80 %.

Вывод: современный рынок России не испытывает дефицита в когенерационных установках на основе двигателей внутреннего сгорания. Область применения поставляемых когенерационных установок ограничивается возможностью снабжения природным газом и дизельным топливом. Мощность существующего оборудования способна покрыть потребности любых потребителей. Существует привязка выработки тепловой и электрической мощностей, что не совсем удобно потребителю. Наиболее эффективны когенерационные станции зарубежного производства.

### Роль газификации

Считается, что газификация твердого топлива является актуальным и перспективным направлением исследований, имея в виду, что данный технологический прием позволяет использовать в том числе низкосортные топлива с получением качественного газа и твердого продукта. Существуют разработки, снижающие расход тепла на собственные нужды путем организации автотермического режима газификации. В то же время, имеются проблемы очистки газов и обеспечения надежности работы крупных газогенераторов. Несмотря на всю привлекательность газификации как энерготехнологического приема переработки твердых топлив, отмечается ее низкая коммерческая привлекательность.

Вывод: существующий уровень исследований в области вопросов газификации позволяет создавать установки, перерабатывающие как качественные угли, так и низкосортные топлива, но их масштабное внедрение ограничено конкурентными преимуществами действующих крупных станций. Газогенераторные технологии можно считать едва ли не единственным вариантом переработки низкосортных местных топлив в отдаленных децентрализованных районах.

### Водородные технологии

Актуальность развития водородной энергетики обоснована следующими критериями:

- возможность использования в автономных энергоустановках;
- потребность промышленности в водороде;
- высокая конкурентность водородных технологий;
- экологичность при сжигании водорода.

Считается, что выработка водорода путем конверсии природного газа наиболее целесообразна с точки зрения производства водорода в промышленных масштабах. В то же время есть мнение, что перспективным направлением является генерация водорода из биомассы и твердого топлива с последующим его использованием в топливных элементах.

На сегодняшний день есть проблемы, ограничивающие распространение водородных технологий:

- низкий электрический КПД топливных элементов;
- проблемы при хранении и транспортировке водорода.

Низкий электрический КПД топливных элементов может нивелироваться использованием выделяющейся на них теплоты, что позволяет достигать приемлемых значений КПД установки в целом. Минимизировать проблемы, связанные с транспортировкой и хранением водорода, предлагается за счет организации производства водорода на месте его потребления либо в одном энергетическом агрегате.

Отмечается, что особенностью применения водорода в топливных элементах является требование к его чистоте, однако существуют разработки топливных элементов, работающих на синтез-газе. Так, актуальным считается направление по разработке твердооксидных топливных элементов, которые могут работать на газе с высоким содержанием  $\text{CO}_2$ , а рабочая область температур (800...1000 °С) позволяет применять такие топливные элементы в газотурбинных установках. Для газов, имеющих повышенное содержание  $\text{CO}$ , ведутся разработки топливных элементов с полимерными мембранами (рабочая область температур составляет 120...300 °С) и топливных элементов с расплавами карбонатов (400 °С).

Вывод: безусловно, в настоящее время имеет место актуальность и востребованность водородных технологий. Прослеживается многообразие в подходах к технологиям производства водорода, которое в первую очередь определяется конечной целью его использования. Повышение эффективности использования исходного топлива видится в организации выработки водорода и энергии в одном устройстве при одновременной утилизации теплоты, генерируемой топливным элементом. Современное состояние исследований в области топливных элементов показывает, что требования, предъявляемые к чистоте водорода, снижаются.

### Состояние малой и нетрадиционной энергетики

Малая энергетика как неотъемлемый элемент энергетического пространства признается как в России, так и во всем мире. Более того, целесообразность искусственного развития малой распределенной энергетики считается позитивным, экономически и социально перспективным фактом. В силу географических и экономических факторов в России естественным образом сложилась ситуация, когда огромные территории не охвачены централизованным энергоснабжением и существуют проблемы с обеспечением таких территорий топливными ресурсами.

В настоящее время выработка электроэнергии в децентрализованных районах в основном производится посредством дизельных электростанций, что признается экономически неэффективным. При этом отмечается, что такие районы зачастую обладают запасами местных низкосортных топлив, но для их потребления требуются соответствующие технические устройства.

Вывод: сегодня остро стоит вопрос об энергоснабжении децентрализованных потребителей как в коммунальном хозяйстве, так и в производстве. Использование когенерационных систем на основе двигателей внутреннего сгорания, сжигающих привозное дизельное топливо, является пережитком прошлого и требует замещения путем внедрения новых технологий комбинированной выработки тепловой и электрической энергии из местных низкосортных топливных ресурсов.

#### Перспективные технологии для автономного децентрализованного энергоснабжения

Существующие исследования в области автономного тепло- и электроснабжения можно разделить по следующим основным направлениям:

- а) совместное сжигание нескольких видов твердых топлив (уголь, биомасса);
- б) производство синтезированных газов;
- в) производство и последующее сжигание топливных брикетов;
- г) производство водорода и использование в топливном элементе;
- д) создание гибридных установок.

Автономные энергогенерирующие установки, сжигающие совместно уголь и биомассу, все-таки в большей мере ориентированы на качественный уголь, а введение биомассы позволяет лишь сократить расход угля. Данное направление не может быть ориентировано на отдаленные районы, не имеющие своего каменного угля или сложившуюся транспортную инфраструктуру.

Для производства синтезированных газов пригодны любые виды твердого органического сырья. Вполне перспективным выглядит создание такого производства вблизи имеющих месторождений местных низкосортных топлив. Нужно учитывать, что для малых населенных пунктов представляется нецелесообразным создание электростанций на базе мощных высокотемпературных газогенераторов, т. к. это довольно сложное техническое устройство, специфичное в обслуживании и требующее от персонала определенной квалификации.

Производство и последующее сжигание топливных брикетов представляется перспективным направлением, с учетом современных наработок в области производства брикетного топлива из низкосортных топлив. Брикетное топливо можно сжигать в существующих слоевых топочных устройствах без их реконструкции.

Производство электрической и тепловой энергии из водорода в топливном элементе можно рассматривать как прорывное направление в энергетике будущего. Однако применительно к области малой генерации возникает некая настороженность относительно перспектив внедрения, обусловленная тем, что все-таки это довольно высокотехнологичный процесс, который требует применения технологий производства высокочистого водорода, в настоящее время реализуемый конверсией природного газа.

Создание гибридных установок – одно из направлений диверсификации в области малой генерации. Действительно, наличие в составе таких установок одновременно нескольких устройств по выработке энергии из различных источников (возобновляемых и невозобновляемых) позволяет повысить надежность энергоснабжения потребителей. Но при этом сохраняется зависимость от поставок качественных энергоносителей (уголь, газ, дизельное топливо).

Вывод: выбор варианта автономного энергоснабжения децентрализованных потребителей следует рассматривать исходя из двух условий: 1) наличие собственных ресурсов качественного угля и (или) природного газа либо отлаженных транспортных схем с приемлемой стоимостью доставки; 2) наличие местных низкосортных топливных ресурсов. При выполнении первого условия целесообразно применять направления *а, д*. При выполнении второго условия – направления *б, в*. Применение технологии *г* при конверсии природного газа видится нецелесообразным, т. к. природный газ сам по себе является высококачественным топливом.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года / Распоряжение Правительства Российской Федерации от 13.11.2009 г. № 1715-р.
2. Меморандум о создании и деятельности технологической платформы «Малая распределенная энергетика» / Интернет-портал ЗАО «Агентство по прогнозированию балансов в электроэнергетике» ([http://www.e-apbe.ru/distributed\\_energy/memo\\_TP\\_SDE.php](http://www.e-apbe.ru/distributed_energy/memo_TP_SDE.php)).

Статья написана на основании анализа материалов, опубликованных в следующих периодических изданиях в период с 2006 по 2013 гг: *Альтернативная энергетика и экология* (2011 [№ 2, 7, 11, 12]; 2012 [№ 1, 4, 5-6]); *Известия вузов. Проблемы энергетике* (2008 [№ 1-2]); *Известия РАН. Энергетика* (2006 [№ 1, 3]; 2007 [№ 2]; 2008 [№ 6]; 2009 [№ 1]; 2010 [№ 6]; 2011 [№ 5, 6]); *Промышленная энергетика* (2008 [№ 9]; 2009 [№ 2, 5]; 2012 [№ 7, 12]); *Теплофизика высоких температур* (2011 [№ 5, Т. 49]); *Теплоэнергетика* (2006 [№ 3, 4, 7, 12]; 2007 [№ 8]; 2009 [№ 1, 8, 12]; 2010 [№ 1, 4, 11]; 2011 [№ 9]; 2012 [№ 6, 11]; 2013 [№ 3]); *Уголь* (2006 [№ 6, 8, 9, 11]; 2007 [№ 2, 5, 10]; 2008 [№ 4]; 2012 [№ 3]); *Электрические станции* (2010 [№ 1]; 2011 [№ 7]; 2012 [№ 10]); *Электричество* (2008 [№ 6, 10]); *Энергетик* (2006 [№ 3, 11]; 2007 [№ 1]; 2009 [№ 7]; 2010 [№ 3, 4, 6]; 2011 [№ 8]; 2012 [№ 4, 7, 10]; 2013 [№ 3]); *Энергосбережение и водоподготовка* (2008 [№ 2, 4]; 2009 [№ 2, 3]; 2010 [№ 6]; 2012 [№ 2, 6]). Кроме этого, проанализированы материалы со следующих интернет-ресурсов:

[http://www.ges-ukraine.com/maininfo\\_14-16.html](http://www.ges-ukraine.com/maininfo_14-16.html); <http://www.e-m.ru/er/2005-11/22845/>; <http://www.metallinfo.ru/ru/news/64626/>; <http://energyland.info/news-show-tek-teplo-102014/>; [http://www.interra.ru/press-center/news/?ELEMENT\\_ID=121&sphrase\\_id=35270/](http://www.interra.ru/press-center/news/?ELEMENT_ID=121&sphrase_id=35270;); [http://www.rao-esv.ru/press-center/RAOESVostokaiyaponskiekompaniipodpisaliSoglashenieovzaimodeystvii/?sphrase\\_id=1079/](http://www.rao-esv.ru/press-center/RAOESVostokaiyaponskiekompaniipodpisaliSoglashenieovzaimodeystvii/?sphrase_id=1079/); [http://advis.ru/php/view\\_news.php?id=9B3B3A25-DECD-3449-A6F7-877C834D55AA/](http://advis.ru/php/view_news.php?id=9B3B3A25-DECD-3449-A6F7-877C834D55AA;); <http://www.mobilegtes.ru/links/>; <http://cogeneration.ru/>; [http://cogeneration.ru/base-benefits/technology.html?&Page=6/](http://cogeneration.ru/base-benefits/technology.html?&Page=6;); <http://cogeneration.ru/equipment/>; <http://www.mwm.net/de/>; <http://www.powercity.ru/site/ru/catalog/364.html>; [http://www.yakutskenergo.ru/news/press/?id=2284/](http://www.yakutskenergo.ru/news/press/?id=2284;); [http://www.holding-mrsk.ru/press/news/detail.php?ID=5779&sphrase\\_id=40562/](http://www.holding-mrsk.ru/press/news/detail.php?ID=5779&sphrase_id=40562;); <http://www.pesc.ru/news/n132/>; [http://www.holding-mrsk.ru/press/news/detail.php?ID=2151&sphrase\\_id=40562/](http://www.holding-mrsk.ru/press/news/detail.php?ID=2151&sphrase_id=40562;); <http://www.pesc.ru/smi/n113/>; <http://www.pesc.ru/news/n112/>.

Поступила 02.10.2013 г.