

УДК 303.725.+ 330.131
JEL C61, C67, O13

В. Н. Чурашев¹, В. М. Маркова^{1,2}

¹ *Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН
пр. Акад. Лаврентьева, 17, Новосибирск, 630090, Россия*

² *Новосибирский государственный университет
ул. Пирогова, 2, Новосибирск, 630090, Россия*

tch@ieie.nsc.ru, markova_vm@mail.ru

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЙ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОВЫХ ОТХОДОВ С ПОЗИЦИЙ РЕГИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ (НА ПРИМЕРЕ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ). ЧАСТЬ 1 *

Объективный анализ и прогнозирование теплосбережения в России в настоящее время весьма затруднительны, так как статистическая отчетность по энергоносителям ориентирована в основном на показатели производства топлива и энергии, а не на показатели их потребления. По оценке экспертов, основные потери ТЭР происходят при сжигании топлива на ТЭС и котельных. Одной из главных причин высоких потерь энергии на стадии преобразования топлива в электрическую и тепловую энергию является использование устаревших технологий генерации. В первой части статьи проводится анализ тепловых потерь в РФ и регионах Сибири. Во второй части акцент делается на анализе возможности сокращения потерь ТЭР за счет реализации инновационных энерготехнологий. На основе комплекса энергетических моделей (модели перспективного развития ТЭК регионов; отчетный и прогнозный топливно-энергетические балансы регионов) проводится оценка потенциального объема сокращений потерь теплоэнергии на примере Кемеровской области.

Ключевые слова: утилизация тепла, энергосбережение, когенерация, региональная эффективность, энергетические технологии.

Проблемы теплового хозяйства и теплосбережения: особенности и вопросы анализа

Россия занимает первое место в мире по масштабам теплоснабжения: объему производства тепла, развитию теплофикации, протяженности тепловых сетей, расходу топлива на производство тепла. Теплоснабжение по расходу первичных топливно-энергетических ресурсов является самым крупным сегментом в энергообеспечении страны. По расчетам ряда экспертов энергорынка, ежегодно на тепловое хозяйство в стране тратится, с учетом вливаний из бюджетов, от 1,5 до 2 трлн рублей (около 3 % ВВП). Это больше расходов на генерацию электроэнергии¹. Многие эксперты отмечают существенную неэффективность отечественного производства и потребления теплоэнергии по сравнению с развитыми странами [1–5]. Объективный анализ и прогнозирование теплосбережения в России в настоящее время весьма

* Статья подготовлена при финансовой поддержке по интеграционному проекту СО РАН № 120 «Утилизация тепловых отходов в восточных районах России как важнейший фактор энергосбережения и роста эффективности развития экономики».

¹ *Обухова Е., Огородников Е.* Свет в конце теплотрассы // Эксперт. 2013. № 45 (875). URL: <http://expert.ru/expert/2013/45/svet-v-kontse-teplotrassyi/>

Чурашев В. Н., Маркова В. М. Эффективность энерготехнологий утилизации тепловых отходов с позиций региональной системы (на примере Кемеровской области). Часть 1. // Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Серия: Социально-экономические науки. 2015. Т. 15, вып. 4. С. 77–90.

затруднительны, так как статистическая отчетность по энергоносителям ориентирована в основном на показатели производства топлива и энергии, а не на показатели их потребления.

Общепризнано, что адекватным инструментом для определения объемов энергии, которые теряются в различных секторах экономики, является единый топливно-энергетический баланс (ЕТЭБ)², который позволяет детально проследживать все трансформации энергетического потока – от потенциальной энергии добываемых (производимых) энергоресурсов до реально используемых видов топлива и энергии [1; 6–8]. К середине первого десятилетия XXI в. была осознана необходимость разработки сводных ТЭБ для оценки таких ключевых параметров макроэкономического развития, как уровни энергообеспечения и энергоэффективности экономики России и отдельных ее регионов. В соответствии с решением Совета Безопасности РФ летом 2006 г. правительство начало подготовку предложений и материалов по разработке долгосрочных балансов ТЭР. По замыслу новая методика была призвана учесть российские особенности функционирования экономики и привести к сопоставимости ТЭБ России с ТЭБ стран Евросоюза и других государств. Однако обсуждение предложенного Минпромэнерго проекта методики быстро свернулось, и до сих пор нет принятой методики анализа и прогнозирования ТЭБ, хотя известны отдельные разработки по формированию ТЭБ на региональном уровне и в целом для страны [7; 9–13]³.

В Институте экономики и организации промышленного производства СО РАН для исследования производственных связей в энергетике на мезоуровне (и в том числе для оценки прогнозных уровней потребления и производства энергоресурсов) используется комплекс энергетических моделей, в который входят: *Энергетическая модель России; Модели перспективного развития ТЭК регионов; Отчетный и прогнозный топливно-энергетические балансы регионов* [7; 8]. На основе этого инструментария мы проводили оценку потенциального объема сокращений потерь теплоты на примере Кемеровской области.

Кемеровская область по своему экономическому потенциалу является крупным территориально-производственным комплексом и опорной базой для промышленного развития не только Сибири, но и всей страны и специализируется на производстве сырья и продукции его первичной переработки. Регион занимает 11-е место в России и 2-е место в СФО по производству промышленной продукции. Ведущие роли в экономике области принадлежат топливно-энергетическому комплексу, металлургии и химической отрасли⁴. На долю области приходится около 20 % экспортного товарооборота Сибирского федерального округа. Регион производит 2,5 % от российской выработки электроэнергии, 12,3 % от СФО, занимая 3-е место в СФО по выработке. Кемеровская область, обладающая сырьевой специализацией, относится к группе регионов страны с высокой энергоемкостью экономики: удельный расход топливно-энергетических ресурсов, соизмеренных в единицах условного топлива, на производство ВРП близок к среднему по СФО и на 42–46 % выше, чем в среднем по России. В то же время теплоемкость ВРП в Кемеровской области существенно ниже общероссийского значения, что объясняется более высокой долей прочих энергоресурсов в потреблении (табл. 1).

² Основные задачи и принципы составления ЕТЭБ были сформулированы в СССР еще в 20-х гг. прошлого века и получили дальнейшее развитие в послевоенные годы. Разработка плановых и исполнительных (отчетных) топливно-энергетических балансов (ТЭБ) в целом по СССР и по отдельным экономико-географическим районам осуществлялась под руководством Госплана СССР раз в 5 лет по полному кругу охвата всех видов энергетических ресурсов. В промежуточные годы разрабатывался ежегодный расчетный ТЭБ на уровне страны по краткой схеме. В период перехода страны к рыночной экономике разработка ТЭБ в развернутом виде прекратилась. Подготавливались лишь суженные ежегодные балансы в целом по России, а по отдельным регионам по собственной инициативе разрабатывались расчетные энергетические балансы, которые отличались от отчетных неполным учетом энергоресурсов, неполнотой круга предприятий и организаций, сочетанием отчетных данных и экспертных оценок. В источниках [3, 4, 5, 7] более детально обсуждается история и текущее состояние методик составления ТЭБ.

³ 20 апреля 2015 г. в здании Государственной думы ФС РФ по инициативе экспертной секции «Региональная и отраслевая политика энергосбережения» Консультативного совета при Председателе Комитета по энергетике прошел круглый стол «Роль региональных топливно-энергетических балансов в вопросах надежного и эффективного энергообеспечения».

⁴ Регион производит 14 % российской стали и проката черных металлов, добывает около 60 % российского угля, в том числе 80 % – коксующегося, производит более 20 % российского кокса.

Таблица 1

Характеристика энергопотребления Кемеровской области
на фоне сибирских и российских показателей *

Показатель	Кемеровская область	Сибирский Федеральный округ	Российская Федерация
Энергоемкость ВРП, т у. т./ тыс. руб.	79,8	82,0	49,0
Теплоемкость ВРП, Гкал/ тыс. руб.	14,2	15,5	22,7
Потребление теплоэнергии на душу населения, тыс.кВт.ч/чел.	14,7	13,2	11,4

* Источник: табл. 1–2 составлены авторами по данным форм 1-тэп, 11-ТЭР, 4-ТЭР Росстата.

В табл. 2 приведены основные характеристики систем централизованного теплоснабжения (ЦТС) Кемеровской области в сравнении России и СФО.

Таблица 2

Показатели системы ЦТС РФ и регионов СФО

Показатель	Кемеровская область	Сибирский Федеральный округ	Российская Федерация
Число источников теплоснабжения, тыс. шт.	1,1	11,2	72,1
Число тепловых станций, шт.	7	77	526
Протяженность сетей, км	3 583	29 568	171 276
Выработка теплоэнергии, млн Гкал	43,7	248,8	1 355
Доля выработки теплоэнергии, % в том числе на котельных и теплоутилизационных установках (ТУУ)	60,7	45,9	53,7
на ТЭС	39,3	53,0	46,0

В настоящее время в СФО действует около 77 ТЭЦ, что составляет 13,2 % от общего числа станций в стране, более 11 тысяч котельных (15,9 % от общего количества котельных в стране соответственно), из них около 500 котельных имеют мощность выше 20 МВт. В производстве теплоэнергии значимость Кемеровской области в общей выработке по СФО достаточно велика – более 16 %, при этом в структуре производства тепла доля котельных и ТУУ существенно превышает подобный показатель РФ. Общая протяженность тепловых сетей (ТС) в Сибири в 2010 г. составила 29,5 тыс. км соответственно, что составляет 16,4 % от общей протяженности тепловых сетей по стране. Доля Кемеровской области в общей протяженности тепловых сетей СФО – 12 %. Если же рассматривать удельный показатель протяженности сетей на одного потребителя (населения), то в целом по СФО этот показатель (8,5 км/тыс. чел.) существенно превышает таковой для Кемеровской области.

В экономике России основными потребителями тепла являются промышленность (41,89 %), население (38 %), социальная и коммунально-бытовая сферы (12,9 %), при этом структура потребления в Кемеровской области близка к среднероссийской в части населения и промышленности (рис. 1).

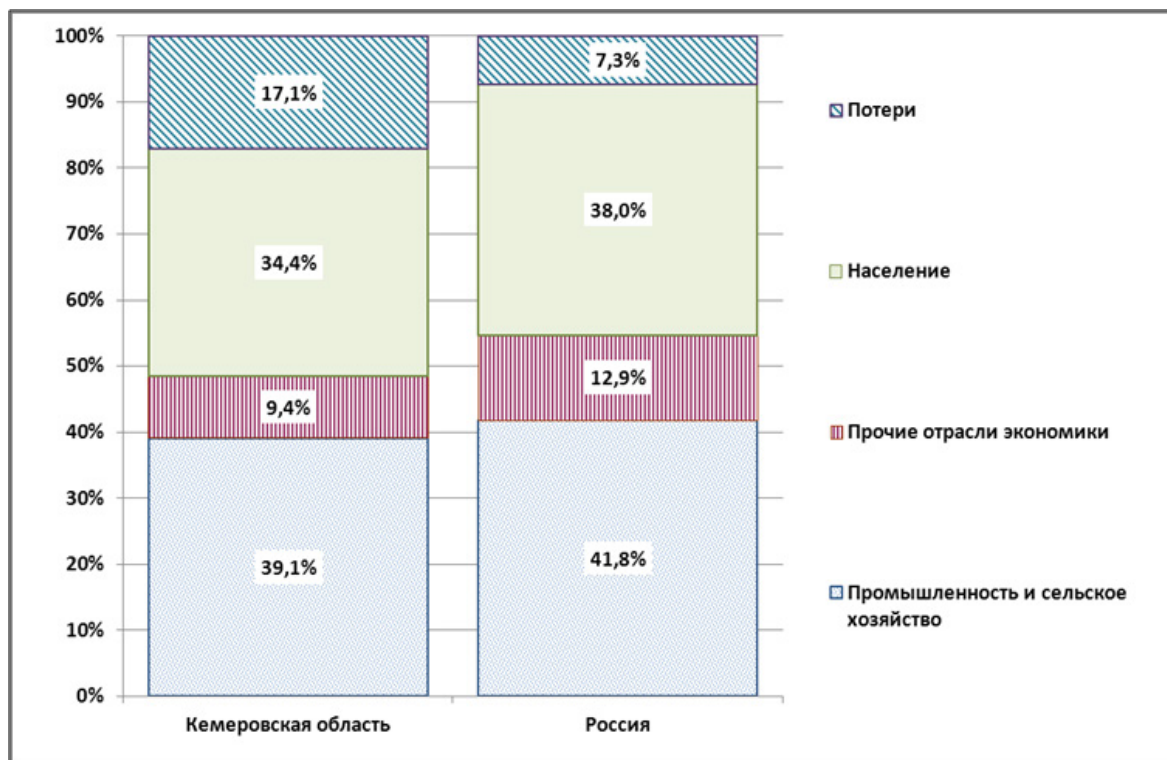


Рис. 1. Структура потребления теплоэнергии.
Составлено по данным форм 1-тэп, 4-ТЭР Росстата [3; 14]

Анализ основных показателей развития теплового хозяйства Кемеровской области показал, что производство тепла в 2000–2012 гг. устойчиво снижалось – с 54,3 до 42,0 млн Гкал (рис. 2).

В ряду производителей тепловой энергии за рассматриваемый период электростанции и котельные поменялись местами. Если в 2000 г. крупнейшим источником тепла были электростанции (49,2 %), а котельные следовали за ними (44,3 %), то к концу периода доля электростанций сократилась до 39,3 %, а доля котельных возросла до 50,4 %⁵.

Подобный тренд характерен и для теплового хозяйства России в целом. По оценкам Минэнерго РФ [14] отпуск теплоэнергии от ТЭС за 20 лет (с 1992 по 2012 г.) сократился в 1,5 раза за счет снижения промышленной тепловой нагрузки ТЭС и замещения тепловой нагрузки ТЭС котельными. Возрождение промышленности после 2000 г. не вернуло ТЭС эту часть рынка (занятую автономными котельными и индивидуальными котлоагрегатами, численность которых выросла на 9 %, при этом более быстрыми темпами росло число мелких котельных – на 20 %). Кроме того, как отмечает Минэнерго РФ, доля электроэнергии, выработанной ТЭС общего пользования в теплофикационном режиме, снизилась с 34 % в конце 1980-х гг. до 28 % в 2012 г., при этом доля полезно используемого сбросного тепла ТЭС уменьшилась с 59 % до 48 %.

⁵ Абсолютный объем выработки теплоэнергии на теплоутилизационных установках практически не менялся (около 4 млн Гкал), при этом их доля на фоне снижения общего объема теплоэнергии выросла с 6,5 до 10 %.

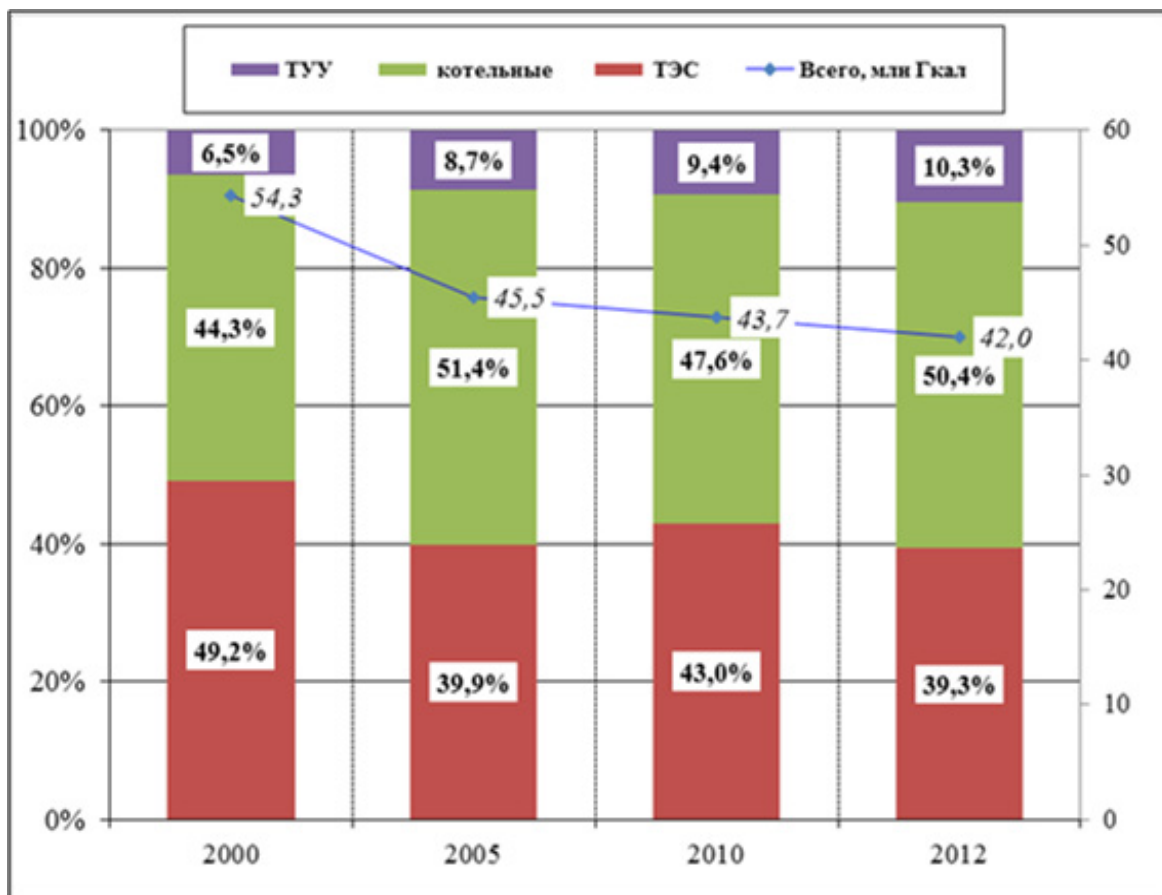


Рис. 2. Годовая выработка теплоэнергии в Кемеровской области, млн Гкал.
Составлено по данным форм 1-тэп, 4-ТЭР, 6-ТП Росстата

В Кемеровской области снижение производства тепла было вызвано соответствующим сокращением его потребления практически по всем группам потребителей. При этом общий объем конечного потребления тепловой энергии сократился с 44,3 млн Гкал в 2000 г. до 36,0 млн Гкал, или на 23 %. В промышленности Кемеровской области потребление тепла определяли два производства – металлургическое и химическое, суммарная доля которых в общем потреблении тепла по промышленности колебалась на уровне 77–80 %.

Как видно, объемы потребления теплоэнергии в регионе заметно ниже, чем объемы ее производства, что свидетельствует о низкой энергоэффективности теплового хозяйства и высоких потерях тепла в Кемеровской области.

Уровень и источники потерь тепловой энергии: сравнительный анализ

По официальным данным Росстата РФ ⁶, потери тепла в 2012 г. составили 8,9 %, что близко к нормативным значениям, которые включаются теплоснабжающими компаниями в себестоимость отпуска тепла. Однако при отсутствии приборов учета у потребителей (что является массовым случаем) реальные сверхнормативные потери тепла в СЦТ учитываются как тепло, поставленное потребителям. В разных источниках информации называются существенно различающиеся объемы потерь тепла. В первую очередь обращает внимание несоответствие оценок потерь тепла по данным Росстата РФ и специалистов.

⁶ Единая межведомственная информационно-статистическая система Росстат. <http://www.fedstat.ru/indicators/start.do>, Российский статистический ежегодник, официальное издание. М., 2014.

Анализ динамики доли потерь на основе данных Росстата (рис. 3), показал, что, как в целом по РФ, так и в сибирских регионах, эти доли имеют тенденцию к росту. Поскольку за период 2000–2012 гг. общее потребление в них тепловой энергии не увеличивалось, то это свидетельствует о падении эффективности использования тепловой энергии.

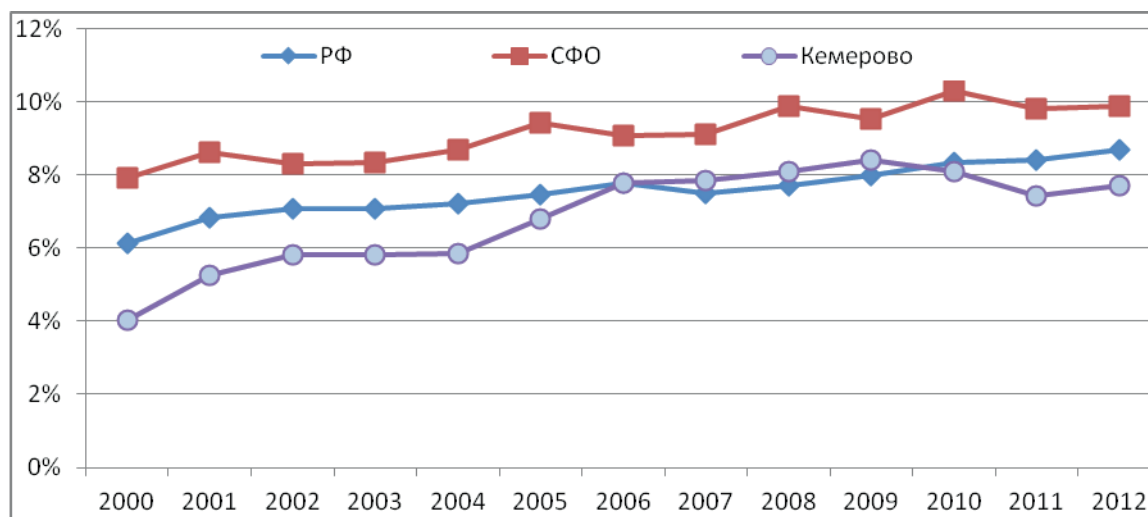


Рис. 3. Динамика доли потерь тепловой энергии (в % от общего объема производства)

Потери энергоресурсов возникают на разных стадиях их перетоков. На основе ТЭБ рассчитываются потери для следующих составляющих: у источника теплоснабжения (при преобразовании топлива); при транспортировке (тепловые сети); при потреблении. По оценке экспертов, основные потери ТЭР происходят при сжигании на ТЭС (40–50 % от поступления топлива) и на котельных (15–25 % от поступления топлива), в тепловых сетях (12–15 % от отпуска тепла) [4].

Если посмотреть схему преобразования топлива в тепло на котлоагрегате, функциями которого является преобразование химической энергии топлива в тепловую и передача этой энергии теплоносителю, то видно, что в нем происходит ряд физико-химических процессов, каждый из которых имеет свой КПД. И любой котлоагрегат, каким бы совершенным он не был, обязательно теряет часть энергии топлива в этих процессах. Распределение тепла, выделившегося при сжигании топлива, на полезное и на потери, сопровождающие работу котла, называется *тепловым балансом котельного агрегата*. За величину прихода тепла принимают тепло, внесенное в топку котла с рабочим топливом, т. е. низшую теплоту сгорания топлива. На участке производства тепловой энергии при нормальной работе котлоагрегата всегда существуют три вида основных потерь⁷:

- с недожогом топлива и уходящими газами (обычно не более 18 %);
- потери энергии через обмуровку котла (не более 4 %);
- потери с продувкой и на собственные нужды котельной (около 3 %).

Одним из интегральных показателей эффективности работы ТЭЦ и котельных является коэффициент использования топлива – КИТ (или коэффициент энергетической эффективности – КЭ), который фактически характеризует степень использования топлива по производству энергии (тепловой и электрической). КИТ для лучших ГРЭС России составляет около 40 %, в то время как для ТЭЦ он может достигать 80–85 %.

⁷ Основные источники потерь в тепловых системах и способы их устранения. URL: http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=181

В табл. 3 приведены показатели потерь топлива при его сжигании на электростанциях и котельных Кемеровской области, определенные из ЕТЭБ 2010 г., и рассчитанные на их основе коэффициенты использования топлива.

Таблица 3

Блок преобразования топлива в энергетике Кемеровской области *

Показатель	Электростанции	Котельные
Расход топлива, млн т у. т.	12,5	3,9
Выработка электроэнергии и теплоэнергии, млн т у. т.	6,0	3,0
Потери при преобразовании, млн т у. т.	6,5	0,9
То же, %	52,2	23,9
Коэффициент использования топлива, %	47,8	76,1

* Источник: составлено авторами по данным форм 1-тэп, 4-ТЭР, 6-ТП Росстата.

Поскольку в Кемеровской области высока доля ГРЭС, то коэффициент использования топлива на электростанциях не достигает 50 %, тогда как, например, для Новосибирской области, где вся теплоэнергетика представлена только ТЭЦ, коэффициент КИТ находился в 2010 г. на уровне 73 %. Подавляющее большинство коммунальных теплоисточников Кузбасса, которые были построены не одно десятилетие назад, оборудованы топками со слоевым сжиганием угля. Специалисты считают такой способ малоэффективным. Поэтому когда появляется возможность масштабной модернизации теплоисточника, они выбирают технологии, которые гарантируют более высокий коэффициент полезного действия котлов ⁸.

Среди основных причин высоких тепловых потерь можно выделить как высокий износ и недоинвестированность системы теплоснабжения, так и отсутствие необходимой регулировки (маневренности) при генерации тепла, а также энергозатратные, отсталые технологии преобразования топлива.

Новые технологии в теплосбережении: границы и возможности

Цель данной работы – получить сравнительную оценку эффективности новых технологий выработки электро- и теплоэнергии с позиций региональной системы, изучение реакции изменения структуры регионального ТЭК на ввод новых способов генерации и оценка потенциального объема утилизации тепловой энергии.

Мы ориентировались на технологии, позволяющие эффективнее вырабатывать и использовать теплоэнергию, которые могли быть реализованы в следующих сферах: комбинированное производство энергии, частичное преобразование тепловой энергии в энергию холода, непосредственное использование тепловой энергии конечными потребителями

Формирование набора технологий проводилось как с учетом мировых трендов в развитии энергетики, так и на основе экспертных данных (в том числе с помощью сотрудников СО РАН) [15]. Критический анализ современных зарубежных и отечественных источников литературы, стратегических документов позволил сформировать список новых технологий, имеющих реальные перспективы к внедрению в регионах Сибири. При отборе технологий мы руководствовались следующими критериями: повышение эффективности использования / производства энергоресурсов (в первую очередь теплоэнергии), возможность реализации технологий в сибирских регионах, наличие потенциальных инвесторов и включение в стратегические энергетические документы.

⁸ На передовой коммунальной энергетики // Домовой эксперт. 2010. Июнь. URL: <http://tessib.ru/public/smi/3/150.html>

Одно из перспективных направлений развития энергетики Кемеровской области – это строительство малых локальных теплоэлектроцентралей (мини-ТЭЦ) ⁹ и / или реконструкция существующих котельных – перевод их на комбинированную выработку электрической и тепловой энергии. Преимущество когенерационных установок заключается в том, что преобразование энергии в них происходит за счет использования сбросного тепла, которое обычно просто теряется. В мини-ТЭЦ может быть превращена практически любая котельная путем надстройки существующих котлов газовыми турбинами или газопоршневыми двигателями, сбрасывающими отработавшие газы в топки на утилизацию теплоты сбросных газов двигателей.

Среди простых и эффективных вариантов организации когенерации на котельных, а также при строительстве новых станций можно назвать паровую винтовую машину (ПВМ), газотурбинную установку (ГТУ), газопоршневые агрегаты (ГПА). Конкурентоспособность энергоустановок с ПВМ обеспечивается также самой низкой в сравнении с другими видами когенерационного оборудования удельной стоимостью за кВт установленной мощности (порядка 750 долл./кВт, здесь и далее по курсу 2011 г., 1 долл. = 30 руб.) при возможной типовой мощности от 250 до 1000 кВт. Стоимость ввода электростанции на базе ГТУ составляет 1 000–1 500 долл./кВт, и микротурбина является наиболее дорогой из существующих технологий когенерации. Мощность единичного агрегата может достигать 25–100 МВт. Стоимость электростанции на базе ГПА составляет 600–900 долл./кВт, при мощности единичного агрегата до 16 МВт. В качестве топлива на данных станциях могут быть использованы природный газ, метан, уголь и шламы, древесные отходы. КПД подобных станций в 1,3–1,4 раза выше традиционных ТЭЦ и сопоставимо с КПД новейших технологий (36–45 %), при этом удельный расход топлива на выработку электроэнергии в полтора раза ниже – в среднем находится на уровне 160–185 г у. т./кВтч.

В качестве перспективных направлений сокращения тепловых потерь и утилизации тепловых выбросов с уходящими газами можно выделить такие технологии, как: центробежно-барботажные аппараты, абсорбционные бромисто-литиевые машины (АБХМ – холодильные машины, АБТН – тепловые насосы), парокомпрессионные тепловые насосы (ПКТН), вращающиеся теплообменники для регенерации тепла вентиляционного воздуха ¹⁰.

Тепловые насосы имеют широкое применение в различных отраслях промышленности, жилом и общественном секторах: в общественных зданиях с кондиционированием воздуха обычно применяют совмещенные кондиционеры, обеспечивающие охлаждение воздуха в теплый период и нагревание в режиме теплового насоса в холодный; в жилищно-коммунальном секторе с помощью них может осуществляться автономное теплоснабжение коттеджей и отдельных зданий; на промышленных предприятиях тепловые насосы применяют для утилизации теплоты низкопотенциальных ВЭР, водооборотных систем, стоков с целью использования такого тепла для теплоснабжения, отопления и горячего водоснабжения.

Абсорбционные тепловые насосы в качестве энергоресурсов используют греющий водяной пар или газовое / жидкое топливо. Капитальные вложения на 1 МВт мощности существенно зависят от тепловой мощности единичного насоса, которая может быть довольно в широком типоряде: от 1,5 до 6 МВт, соответственно затраты на насосы находятся в диапазоне от 6 до 10 млн руб./МВт. На АБТН, предусматривающих использование газового топлива, его расход на выработку теплоэнергии практически в 2 раза ниже уровня котельных (96–112 против 140–160 кг ут./Гкал). Абсорбционные тепловые насосы могут использоваться в комбинации с вихревыми скрубберами, что позволяет получить двойной эффект – производить очистку от вредных примесей и утилизировать тепло уходящих газов. Подобная технология утилизации тепловых выбросов с уходящими газами имеет выраженную эффективность для ТЭЦ, позволяя дополнительно экономить до 2 % топлива.

⁹ Тригенерация. Примеры решения для мини-ТЭЦ см.: <http://www.combienergy.ru/>

¹⁰ Технические характеристики данных технологий приведены в отчете НИР ИТ СО РАН по проекту ИП № 120 «Блок 2. «Анализ технологических возможностей сбора и повторного использования тепловых отходов в России и Восточных районах страны»».

Холодильные машины АБХМ работают за счет использования тепловой энергии перегретой воды, пара, отработанных газов, сжигания природного газа или иного топлива. Теплоиспользующие АБХМ активно вытесняют в мире электроприводные турбокомпрессорные и винтовые пароконпрессорные водоохлаждающие машины (чиллеры), позволяя существенно экономить электроэнергию при невысоких капитальных затратах. АБХМ дает возможность с 1 кВт потребляемой тепловой энергии получить около 0,7–0,8 кВт холода ¹¹.

Пароконпрессорные тепловые насосы (ПКТН) могут применяться в разнообразных сферах: в системах отопления канализационных насосных станций крупных городов Сибири, в комбинации с гидротурбинами в экологически чистых районах, при теплоснабжении объектов малоэтажной застройки. Они имеют достаточно широкий разброс по мощности (от 15 кВт до 3 МВт) и стоимости. Так, стоимость теплового насоса теплопроизводительностью 45 кВт российского производства составляет около 700 тыс. рублей. Сокращение удельного расхода топлива по сравнению с традиционными котельными на таких тепловых насосах составляет до 40 %.

Одним из направлений повышения эффективности выработки энергии может стать проект мусоросжигающего завода, предполагающий экологически чистое сжигание бытового мусора. Подобный завод позволит заменить ряд котельных (мощностью до 15 Гкал/ч), сократить потребления органического топлива (удельный расход на выработку Гкал выше на 15–18 %) при одновременном снижении метановых выбросов. Существующие разработки предполагают при суммарных капитальных вложениях в размере 300 млн руб. утилизацию до 100 тыс. т бытовых отходов с выработкой как электроэнергии, так и теплоэнергии.

С учетом специфики угледобывающего региона в Кемерово перспективным направлением развития энергетики являются станции подземной газификации, котельные, работающие на метане и водоугольном топливе.

В регионе предполагается строительство восьми предприятий на месторождениях углей, пригодных для отработки методом подземной газификации, общей производительностью по горючему газу 25 млрд куб. м в год, суммарной электрической мощностью 850–1 000 МВт и объемом производства тепловой энергии порядка 10,0 млн Гкал. Общая стоимость реализации проекта составит 18,3 млрд руб. КПД планируемых станций на турбинах ПГУ находится на уровне 52–55 %, при этом удельный расход топлива на выработку электроэнергии на 15 % ниже традиционных угольных станций [16].

Перевод котельных на использование комбинированного топлива в виде угля и водоугольного топлива ¹² позволит как увеличить КПД котельных, так и решить ряд экологических задач (в процессе высвобождения площадей из-под шламовых отвалов поэтапно будет выполняться рекультивация земель). Требуемые инвестиции на модернизацию котельных составляют порядка 25 млн руб. в расчете на котельную мощностью 5 Гкал/ч.

Перспективным вариантом переработки метана является технология его утилизации в блочно-модульных котельных. Такая котельная позволит угледобывающим компаниям сократить расходы на тепло- и электроэнергию, расход первичного топлива (угля) на внутренние нужды, снизить загрязнения окружающей среды и экологические платежи за выбросы метана в атмосферу.

Все рассмотренные выше технологии способны сократить расход топлива и имеют достаточно хорошие показатели коммерческой эффективности.

¹¹ Потребность в холоде современных торговых и офисных зданий огромна. Например: для системы кондиционирования офисного здания площадью 30 000 кв. м необходимо примерно 2 500 кВт холода, для чего требуется подвести электрическую мощность около 900 кВт.

¹² Водоугольное топливо представляет собой дисперсную систему, состоящую из тонкоизмельченного угля, воды и реагента-пластификатора, обладает всеми технологическими свойствами жидкого топлива: транспортируется в авто- и железнодорожных цистернах, по трубопроводам, в танкерах и наливных судах, хранится в закрытых резервуарах; сохраняет свои свойства при длительном хранении и транспортировании; взрыво- и пожаробезопасно.

Используемый модельный инструментарий и экономическая постановка задачи

Для оценки сравнительной эффективности традиционных энергоустановок и вышеперечисленных инновационных энерготехнологий на основе модели регионального ТЭК проводились расчеты по прогнозированию развития энергетики Кемеровской области. При решении поставленной задачи с позиций региональной эффективности делалась попытка охватить ряд направлений оценки:

- масштабы распространения технологий в регионе;
- конкурентоспособность различных комбинаций технологий;
- экономия энергоресурсов в целом при использовании новых технологий по сравнению с традиционными.

Понятие утилизации тепловых отходов рассматривалось нами, как и авторами [17], в самом широком смысле: и ликвидация потерь, которая позволяет производить меньше тепла для потребителя, и использование бросового тепла как побочного продукта технологических процессов, это и результат рационализации и нормирования с использованием учетно-измерительных средств.

Как упоминалось, в качестве модельного инструментария использовалась модель регионального ТЭК. Данная модель является оптимизационной, балансового типа, в квазидинамической постановке, с непрерывными переменными. Модель состоит из четырех блоков и функционала. Первый блок включает производство первичных энергоресурсов, ввоз и вывоз энергоресурсов и изменение запасов. Второй блок описывает преобразование одних энергоресурсов в другие, в нем определяется топливный баланс электро- и теплоэнергетики. Третий блок отражает конечное потребление энергоносителей в различных секторах экономики и по видам экономической деятельности¹³.

Критерием оптимальности развития ТЭК может приниматься как минимизация суммарных приведенных затрат, так и максимизация прибыли. Модель квазидинамическая, предполагает, что связь между расчетными периодами осуществляется на основе принципов построения полипериодной модели, в которой часть результатов расчетов предыдущего периода задается в виде граничных и начальных условий в последующий период.

В модели выделяются следующие виды энергоносителей: энергетические угли (каменные, бурые и отсева антрацита); природный и попутный газ; топочный мазут; моторное топливо, прочие виды топлива (торф, сланцы, дрова, опилки и др.), а также электрическая и тепловая энергия. Описание взаимозаменяемости традиционных и новых энерготехнологий дается на основе технологических способов, выраженных в экономических переменных (выбытия и ввода производственных мощностей, затрат ресурсов и выпусков продуктов и др.). Детализировано рассматриваются возможные поставщики топлива из-за пределов области. В качестве вариантов внешнего энергоснабжения рассматривается передача электроэнергии по ЛЭП из ОЭС других регионов.

Перечень экзогенных параметров.

- Объемы потребности в топливе и энергии конечных потребителей по регионам.
- Верхние и нижние границы на объемы выпуска основной продукции (электроэнергия – для ГЭС, ТЭЦ и прочих генерирующих установок, теплоэнергия – для ТЭЦ, котельных и прочих источников, уголь, нефть и прочие виды топлива для объектов топливной промышленности) в натуральном и стоимостном измерении.
- Удельные расходы топлива по видам, а также электро- и теплоэнергии на функционирование объектов ТЭК.
- Удельные капитальные вложения и трудоемкость по способам, описывающим производство топлива и энергии по регионам.
- Верхние и нижние границы на объемы поставок и использования энергоресурсов.
- Текущие издержки на производство, транспортировку и использование топлива и энергии.

¹⁴ В четвертом блоке производится расчет экономических показателей, характеризующих развитие ТЭК региона (например, требуемый объем инвестиций, объем товарной продукции, численность занятых и фонд заработной платы, размеры отчислений в бюджеты различных уровней и др.).

В результате расчетов для рассматриваемого региона по всем годам прогнозируемого периода определяются следующие *эндогенные показатели*.

- Объемы добычи (производства) различных энергоресурсов по отдельным месторождениям (пунктам, нефтеперерабатывающим заводам).
- Объемы переработки различных видов топлива по отдельным пунктам.
- Распределение энергоресурсов между основными категориями потребителей.
- Объемы и направления поставок различных видов топлива магистральным железнодорожным транспортом, газопроводами, передача электроэнергии по линиям электропередачи (ЛЭП).

• Рациональные виды топлива для тепловых электростанций и котельных, работающих на органическом топливе.

• Объемы производства электроэнергии и теплоэнергии на новых, реконструируемых и действующих электростанциях и в котельных

Расчеты по модели *РТЭК* позволяют определить:

- рациональную структуру используемых энергоносителей;
- экономически целесообразные пропорции между использованием собственных и привозных энергоресурсов;
- рациональные масштабы развития объектов энергетики и объемы производства и преобразования всех видов ТЭР.

Модель используется в имитационном режиме, при рассмотрении различных сценарных условий изменения экзогенных параметров ¹⁴.

С помощью вышеизложенного инструментария проводилась оценка эффективности рассмотренных технологий в сравнении с традиционной генерацией. Исходные условия для экономико-математической задачи и результаты расчетов приведены во второй части статьи в 1-м номере 2016 г. Вестника НГУ (серии «Социально-экономические науки»).

Выводы

Рынок теплоэнергии можно рассматривать как крупнейший неэффективный рынок, потребляющий энергоресурсы, но, с другой стороны, в перспективе он является одной из крупнейших возможностей для получения дохода. Внедрение технологий когенерации позволит в два-три раза эффективней традиционной энергетики использовать топливо, попутно снижая выбросы загрязняющих веществ в 2–3 раза. Очевидно, что в будущем эти технологии, обладающие меньшими капиталовложениями и сроками ввода, могут быть весьма востребованы.

Список литературы

1. Башмаков И. А. Разработка комплексных долгосрочных программ энергосбережения и повышения энергоэффективности: методология и практика: Дисс. ... д-ра экон. наук. М., 2013. 361 с.
2. Дубинин В. С., Лаврухин К. М., Титов Д. П. Сопоставление систем централизованного и децентрализованного энергоснабжения в современных условиях России (Ч. 1–3) // Промышленная энергетика. 2005. № 9. С. 7–12; № 10. С. 8–15; № 11. С. 11–16.
3. Теплоэнергетика и централизованное теплоснабжение России в 2012–2013 годах / Минэнерго РФ. М., 2014. 35 с.
4. Энергоэффективность в России: скрытый резерв. М.: ЦЭНЕФ, 2010. 166 с. URL: http://www.cenef.ru/file/FINAL_EE_report_rus.pdf
5. Российский статистический ежегодник: Офиц. изд. М., 2009. 384 с.
6. Методы и модели прогнозных исследований взаимосвязей энергетики и экономики. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 2009. 178 с.

¹⁵ Более детально математическая запись модели изложена в [7; 8].

7. Методология и практика построения и использования региональных топливно-энергетических балансов. Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2010. 452 с.
8. Системное моделирование и анализ мезо- и микроэкономических объектов / Отв. ред. В. В. Кулешов, Н. И. Суслов; РАН, Сиб. отд-ние, ИЭОПП СО РАН. Новосибирск. 2014. URL: <http://lib.ieie.nsc.ru/docs/2014/SistemModelir/>
9. О законодательном обеспечении оптимизации топливно-энергетического баланса РФ. Парламентские слушания // Энергетическая политика. 2007. Вып. 2., URL: http://www.energystrategy.ru/old/materials/source/ep_2_2007.htm
10. Теоретико-методологические и информационные аспекты прогнозирования топливно-энергетического баланса региона. Екатеринбург: Ин-т экономики УрО РАН, 2008. 236 с.
11. Башмаков И. А. Единый топливно-энергетический баланс как инструмент анализа, прогноза и индикативного планирования развития энергетики региона. URL: <http://www.cenef.ru/file/Bashmakov%20Yar.ppt>
12. Санеев Б. Г., Соколов А. Д., Музычук С. Ю., Музычук Р. И. Топливо-энергетические балансы байкальского региона: методы разработки и основные результаты исследований // Вестн. Иркут. гос. техн. ун-та. 2012. № 9 (68). С. 224–231.
13. Санеев Б. Г., Соколов А. Д., Музычук С. Ю., Музычук Р. И. Топливо-энергетические балансы в системе комплексного исследования развития региональных ТЭК // Изв. РАН. Энергетика. 2011. № 2. С. 21–35.
14. Политика в теплоснабжении / Минэнерго РФ. М., 2013. 25 с. URL: minenergo.gov.ru/system/download-pdf/3397/3193
15. Исследования и разработки Сибирского отделения Российской академии наук в области энергоэффективных технологий / Отв. ред. С. В. Алексеенко; Ин-т теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 421 с.
16. Лазаренко С. Н., Кравцов П. В. Новый этап развития подземной газификации угля в России и в мире // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2007. № 5. С. 304–310.
17. Суслов Н. И., Бузулуцков В. Ф. Моделирование потенциальных эффектов от утилизации тепловой энергии с использованием инструментария ОМММ-ТЭК // Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Серия: Социально-экономические науки. 2014. Т. 14, вып. 4. С. 15–33.

Материал поступил в редколлегию 30.08.2015

V. N. Churashev¹, V. M. Markova^{1,2}

¹ *Institute of Economics and Industrial Engineering of SB RAS
17, Acad. Lavrentiev Ave., 17, Novosibirsk, 630090, Russian Federation*

² *Novosibirsk State University
2, Pirogov Str., Novosibirsk, 630090, Russian Federation*

tch@ieie.nsc.ru, markova_ym@mail.ru

EFFICIENCY OF POWER TECHNOLOGIES OF UTILIZATION OF THERMAL WASTE FROM POSITIONS OF REGIONAL SYSTEM (FOR THE KEMEROVO REGION). PART 1

The objective analysis and forecasting of heatsaving in Russia are very difficult now as the statistical reporting under energy carriers is focused generally on indicators of production of fuel and energy, but not on indicators of their consumption. According to experts the main losses of FER happen when burning fuel on thermal power plant and boiler rooms. One of the main reasons of high losses of energy at a stage of transformation of fuel to electric and thermal energy is use of obsolete technologies of generation. In the part 1 of article the analysis of thermal losses in the

Russian Federation and regions of Siberia is carried out. In the part 2 of article the emphasis is placed on the analysis of possibility of reduction of losses of TER due to realization of innovative power technologies. On the basis of a complex of power models (Model of perspective development of energy industry of regions; Reporting and expected fuel and energy balances of regions) the assessment of potential volume of reductions of losses of heat power on the example of the Kemerovo region is carried out.

Keywords: utilization is warm, energy saving, a cogeneration, regional efficiency, power technologies.

References

1. Bashmakov I. A. Razrabotka kompleksnykh dolgosrochnykh programm ehnergoberezhenija i povyshenija ehnergoehffektivnosti: metodologija i praktika [Development of comprehensive long-term programs of energy saving and increase of energy efficiency: methodology and practice]. Moscow, 2013, 361 p.
2. Dubinin V. S., Lavrukhin K. M., Titov D. P. Sopotavlenie sistem centralizovannogo i decentralizovannogo ehnergosnabzhenija v sovremennykh uslovijakh Rossii (Chasti 1,2,3) [Comparison of systems of the centralized and decentralized power supply in modern conditions of Russia (Part 1, 2, 3)]. *Promyshlennaja ehnergetika* [Industrial power engineering], 2005, № 9, p. 7–12; № 10, p. 8–15; № 11, p. 11–16.
3. Teploehnergetika i centralizovannoe teplosnabzhenie Rossii v 2012–2013 godakh [Power system and the centralized heat supply of Russia in 2012–2013]. Moscow, 2014, 35 p.
4. Ehnergoehffektivnost' v Rossii: skrytyj rezerv [Energy efficiency in Russia: hidden reserve]. Moscow, CEhNEF, 2010, 166 p. URL: http://www.cenef.ru/file/FINAL_EE_report_rus.pdf
5. Rossijskij statisticheskij ezhegodnik, oficial'noe izdanie [Russian statistical year-book]. Moscow, 2009, 384 p.
6. Metody i modeli prognoznykh issledovanij vzaimosvjazej ehnergetiki i ehkonomiki [Methods and models of expected researches of interrelations of power and economics]. Novosibirsk, Nauka, SB RAS, 2009, 178 p.
7. Metodologija i praktika postroenija i ispol'zovanija regional'nykh toplivno-ehnergeticheskikh balansov [Methodology and practice of construction and use of regional fuel and energy balances]. Novosibirsk, IEIE SB RAS, 2010, 452 p.
8. Sistemnoe modelirovanie i analiz mezo- i mikroehkonomicheskikh ob"ektov [System modeling and the analysis meso - and microeconomic objects]. Novosibirsk, IEIE SB RAS, 2014. URL: <http://lib.ieie.nsc.ru/docs/2014/SistemModelir/>
9. O zakonodatel'nom obespechenii optimizacii toplivno-ehnergeticheskogo balansa RF. Parlamentskie slushanija [About legislative ensuring optimization of fuel and energy balance of the Russian Federation]. *Ehnergeticheskaja politika* [Energy Politics], 2007, vol. 2. URL: http://www.energystrategy.ru/old/materials/source/ep_2_2007.htm
10. Teoretiko-metodologicheskie i informacionnye aspekty prognozirovaniya toplivno-ehnergeticheskogo balansa regiona [Theorist - methodological and information aspects of forecasting of fuel and energy balance of the region]. Ekaterinburg, Institute of economics UrB RAS, 2008, 236 p.
11. Bashmakov I. A. Edinyj toplivno-ehnergeticheskij balans kak instrument analiza, prognoza i indikativnogo planirovaniya razvitija ehnergetiki regiona [Uniform fuel and energy balance as tool of the analysis, forecast and indicative planning of development of power of the region]. URL: http://www.cenef.ru/file/Bashmakov_%20Yar.ppt
12. Saneev B. G., Sokolov A. D., Muzychuk S. Ju., Muzychuk R. I. Toplivno-ehnergeticheskie balansy bajkal'skogo regiona: metody razrabotki i osnovnye rezul'taty issledovanij [Fuel and energy balances of the Baikal region: methods of development and main results of researches]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Vestnik of Irkutsk state technical university], 2012, № 9 (68), p. 224–231.

13. Saneev B. G., Sokolov A. D., Muzychuk S. Ju., Muzychuk R. I. Toplivno-ehnergeticheskie balansy v sisteme kompleksnogo issledovanija razvitija regional'nykh TEhK [Fuel and energy balances in system of complex research of development of regional energy industries]. *Izvestija Rossijskoj akademii nauk. Ehnergetika* [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Power Engineering], 2011, № 2, p. 21–35.
14. Politika v teplosnabzhenii [Policy in heat supply]. Moscow, 2013, 25 p. URL: minenergo.gov.ru/system/download-pdf/3397/3193
15. Issledovanija i razrabotki Sibirskogo otdelenija Rossijskoj akademii nauk v oblasti ehnergoehffektivnykh tekhnologij [Researches and development of the Siberian branch of the Russian Academy of Sciences in the field of power effective technologies]. Novosibirsk, SB RAS, 2009, 421 p.
16. Lazarenko S. N., Kravtsov P. V. Novyy etap razvitiya podzemnoy gazifikatsii uglya v Rossii i v mire [A new stage of development of underground coal gasification in Russia and in the world]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tehnicheskij zhurnal)* [Mining information and analytical Bulletin (scientific and technical journal)], 2007, no. 5, p. 304–310.
17. Suslov N. I., Buzuluckov V. F. Modelirovanie potencial'nykh ehffektov ot utilizacii teplovoj ehnergii s ispol'zovaniem instrumentarija OMMM-TEhK [Modelling of potential effects from utilization of thermal energy using the OMMM-TEK tools]. *Vestnik NGU. Serija: Social'no-ehkonomicheskie nauki* [Vestnik NSU. Series: Social and Economics Sciences], 2014, vol. 14, iss. 4, p. 15–33.