



*The status of power engineering in the world and the main tendencies of its development are analyzed, the problems of energy saving in industrial complex of the Republic of Belarus, particularly in machine-building and metallurgical complex, are examined.*

В. И. ТИМОШПОЛЬСКИЙ, И. А. ТРУСОВА, БНТУ

УДК 620.9

## ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО И МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВ

**Введение.** Проблемы развития энергетики, обеспечения энергетической безопасности как базового элемента устойчивого и динамичного развития экономики любого государства постоянно находятся в центре внимания как специалистов, так и мировой общественности [1].

Анализ мирового потребления топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) показывает, что за период с 1970 г. к настоящему времени потребление ТЭР удвоилось и сегодня находится на уровне 18,0–18,5 млрд. т условного топлива (т у. т.), по прогнозам к 2020 г. оно возрастет до 22 млрд. т у. т., к 2030 г. – до 25–26 млрд. т у. т. Общие запасы ТЭР, доступные к обработке, оцениваются в 6,5 трлн. т у. т., разведанные извлекаемые запасы (природный газ, нефть, уголь) составляют около 1,4 трлн. т у. т. [2]. По оценкам российских ученых, сроки возможного запаса газа и нефти оцениваются на уровне от 50 до 130 лет в зависимости от глубины залежей, места расположения, перспектив потенциальных запасов, угля – от 150 до 500 лет. Несмотря на тенденцию наращивания мощностей в атомной энергетике (по прогнозам МАГАТЭ к 2030 г. на АЭС будет приходиться четверть мировой выработки электроэнергии) и использования возобновляемых источников энергии, доминирующее положение в структуре потребления первичных энергоресурсов сохранится за энергоносителями именно органического происхождения, которое составит к 2030 г. около 83–85%.

В Республике Беларусь валовое потребление всех видов энергоносителей составило в 2008 г. 38,2 млн. т у. т., в 2009 г. – 36,6, в 2010 г. – 37–38 млн. т у. т. (по предварительным оценкам), при этом более 35 % приходится на предприятия Министерства энергетики, второе место по энергопотреблению занимают концерн «Белнефтехим» и Ми-

нистерство промышленности, затем следует Министерство жилищного коммунального хозяйства.

Для Республики Беларусь, которая не обладает собственными месторождениями органического топлива, проблема энергетической безопасности приобретает особую актуальность. Это нашло отражение в документах, утвержденных Президентом Республики Беларусь: Директива № 3 от 14 июня 2007 г. «Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности государства», Концепция энергетической безопасности Республики Беларусь (Указ от 17.09.2007 г., № 433).

**Новые подходы и решения при обеспечении энергетической безопасности** [2]. Основой для создания энергетической безопасности, энергетической независимости и устойчивого экономического развития страны являются обеспечение энергосбережения и снижение энергоемкости производства.

Новые подходы, заложенные в Концепции энергетической безопасности Республики Беларусь, включают следующие ключевые моменты.

1. Оценка уровня энергетической безопасности на базе индикаторов, количественно характеризующих состояние и степень угроз энергетической безопасности. На период разработки указанных выше директивных документов четыре индикатора находились в критическом состоянии: доля природного газа в электроэнергетике (95%); доля доминирующего поставщика природного газа (Россия) (более 90%); низкая обеспеченность собственными ТЭР; отношение инвестиций в предприятия топливно-энергетического комплекса. Впервые был использован новый индикатор, имеющий определяющее значение для характеристики и контроля за процессом потребления энергоресурсов развивающейся экономикой, – энергоемкость ВВП. При

этом энергоемкость в 2010 г. должна быть снижена на 31% (при росте ВВП на 156% по сравнению с 2005 г.), к 2015 г. планируется снижение энергоемкости на 50% (при росте ВВП на 229%), к 2020 г. – на 60% (при росте ВВП на 319%).

2. Топливо-энергетический баланс (ТЭБ). Разработка баланса на период до 2020 г. базировалась на глубоком анализе мировых тенденций развития топливо-энергетических балансов промышленно развитых стран и прогнозных показателей социально-экономического развития страны.

3. Диверсификация видов топливо-энергетических ресурсов. Предусмотрено, что в 2020 г. значительное место в ТЭБ займут новые виды энергоносителей: ядерное топливо – до 5,0 млн. т у. т. за счет строительства собственной АЭС; каменные угли – не менее 3,0; бурые угли – 0,2–0,4 млн. т у. т. Увеличится доля использования местных видов топлива до 6,7–6,9 млн. т у. т. Это должно обеспечить снижение потребления природного газа в выработке тепловой и электрической энергии до 57–43% к 2020 г., в потреблении котельно-печного топлива – до 61–51, доли доминирующего поставщика природного газа в потреблении валовых ТЭР – до 64–57%.

4. Нарращивание объемов хранения ТЭР.

5. Реализация энергосбережения. Вопросам энергосбережения в обеспечении энергетической безопасности отводится основное значение. Общий объем экономии ТЭР по 2020 г. по стране в целом за период 2006–2010 гг. должен составить 7,55–7,56 млн. т у. т., 2011–2015 гг. – не менее 7,0, 2016–2020 гг. – не менее 5,2 млн. т у. т.

Для оценки взаимосвязи энергоемкости промышленной продукции и рентабельности предприятий предложено использовать так называемое единое технологическое топливное число, включающее в себя затраты тепловой и электрической энергии на всех этапах – от добычи сырья из недр до получения товарной продукции. В табл.1 приведены показатели ТТЧ для основных видов металлопродукции, имеющих наибольший спрос в нашей стране [1].

Т а б л и ц а 1. Технологические топливные числа (ТТЧ)

Наименование	ТТЧ, кг у. т./ед. изм.
Окатыши, т	150 – 190
Чугун (перелитейный и литейный), т	1050 – 1150
Ферросплавы, т	2500 – 3000
Сталь (слитки и заготовки), т	600 – 1400
Прокат, т	1100 – 1600
Сортовой прокат, т	1500 – 2500
Рельсы, т	1300 – 1400
Обсадные трубы, т	1200 – 1900
Колеса железнодорожных вагонов, т	1900 – 2100

В качестве инструмента политики энергосбережения и объективной оценки имеющегося потенциала предложен энергоаудит, направленный на разработку системы мероприятий, установление объемов снижения потребления и экономии ТЭР.

В Концепции энергетической безопасности Республики Беларусь предусмотрено также совершенствование нормативно-правовой базы и международных соглашений в области использования ТЭР, организационное, кадровое и информационное обеспечение энергобезопасности.

**Энергосбережение в металлургическом и машиностроительном производстве.** Базой промышленного комплекса Республики Беларусь является металлургическое и машиностроительное производство, включая получение и обработку черных металлов, металлопродукции, готовых деталей машин и механизмов и т. д. Во исполнение поставленных задач по энергосбережению разработана Программа технического переоснащения и модернизации литейных, термических, гальванических и других энергоемких производств на 2007–2010 годы (Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 31.10.2007 г. № 1421).

Если рассмотреть современные металлургические предприятия, к которым относится, например, РУП «Белорусский металлургический завод», оснащенный оборудованием и технологиями высшего технического уровня, то можно отметить, что энергоемкость металлопродукции на таком предприятии в 2–3 раза ниже, чем на крупных металлургических заводах России и Украины. Вместе с тем, по мере ввода в эксплуатацию нагревательных и плавильных печей на РУП «БМЗ» совершенствовались их конструктивные узлы и технологические режимы с учетом предыдущего опыта работы [3, 4]. Например, при проектировании печи стана 320/150 специалистами БНТУ предложено выполнить комбинированный под (шагающие балки и шагающий под), в печи стана 150 осуществляют кантовку (переворот) заготовки на 360°, что в итоге позволило интенсифицировать процесс нагрева и добиться рекордных показателей по удельному расходу условного топлива (менее 40 кг у. т./т). При освоении проектных мощностей нагревательных печей станов 320, 850 и 150 и совершенствовании технологии нагрева металла в результате совместных научно-исследовательских работ, выполненных специалистами БНТУ и РУП «БМЗ», получена экономия топлива в среднем 8–10 кг у. т./т. Исследования в области совершенствования процессов выплавки и конструкций сверхмощных дуговых печей позволили снизить удельный расход электроэнергии на 20–25%.

Выполненные в 2005 г. специалистами НАН Беларуси, БНТУ и РУП «БМЗ» энергетические обследования (энергоаудиты) отдельных агрегатов завода (стан 150, установка печь-ковш, установка для производства кислорода, агрегаты латунирования) выявили возможность снижения топливопотребления для этих агрегатов более 20%, что свидетельствует о возможности дальнейшего совершенствования технологических и конструктивных параметров промышленных печей и определения потенциала энергосбережения.

Комплексный анализ состояния парка нагревательных и термических печей на примере машиностроительных предприятий (ОАО «Минский автомобильный завод», РУП «Минский тракторный завод» и др.) страны показал [5,6], что около 90% печей используют природный газ, износ основного теплотехнологического оборудования составляет 70–80% (конструкции нагревательных печей, а во многих случаях и сами печи почти не модернизировались в течение последних 30 лет), на 70% печей не используются установки рекуперации теплоты дымовых газов, на 45% отсутствуют автоматизированные системы управления технологическим процессом, свыше 95% эксплуатируемых установок не имеют природоохранных технологий. Тепловой коэффициент полезного действия газопламенных нагревательных и термических печей крайне низок и составляет в подавляющем большинстве случаев 5–15%. Удельный расход условного топлива находится на уровне 250–350 кг у. т./т (лучшие мировые аналоги – 100–150 кг у. т./т). Использование морально и физически устаревшего нагревательного и термического оборудования на предприятиях приводит к повышенной доле энергозатрат в цене конечной продукции, что снижает не только конкурентоспособность белорусского машиностроения, но и энергетическую, а следовательно, и экономическую безопасность республики.

Выполненные специалистами НАН Беларуси, Белорусского национального технического университета и РУП «Белорусский теплоэнергетический институт» энергетические обследования наиболее потребляющих предприятий страны выявили потенциал энергосбережения в среднем на уровне 30%. При этом установлено, что для предприятий промышленного комплекса одним из узких мест в энергопотреблении являются нагревательные и термические печи, а также обжиговые, сушильные агрегаты, отапливаемые природным газом или использующие электроэнергию.

Анализ путей повышения энергоэффективности промышленных теплотехнологий выявил основные направления экономии топлива в пламенных

печах на основе организационно-технологической структуры потребления топлива. Такая структура предполагает разделение всех факторов, влияющих на эффективность потребления топлива, на три группы, в рамках которых выбираются те или иные наиболее значимые параметры [7].

1. Теплотехнические факторы (печное оборудование):

- рекуперация теплоты уходящих газов (подогрев воздуха до температур 300–400°C) увеличивает к. п. д. печи на 15–22% и уменьшает расход топлива на 16–26%;

- снижение потерь теплоты через ограждения печи и на аккумуляцию теплоты кладкой позволяет повысить к. п. д. на 6–8% и сэкономить 25–40% и более топлива;

- использование современных газогорелочных устройств с автоматическим регулированием соотношения «газ-воздух» повышает к. п. д. на 4–6%, обеспечивает экономию топлива до 10%;

- автоматизация теплового режима работы печи позволяет экономить до 15% топлива.

2. Технологические факторы (режимы тепловой обработки):

- сокращение продолжительности тепловой обработки (за счет интенсификации теплообмена) позволяет сократить удельный расход теплоты на 12–15%, причем без каких-либо существенных дополнительных затрат на действующем оборудовании;

- повышение теплосодержания металла перед обработкой;

- создание экономичных тепловых режимов.

Реализация технологической группы факторов снижения потребления теплоты печами, т. е. осуществление энергосберегающей теплотехнологии, позволяет сэкономить примерно 15–20% топлива практически при минимальных дополнительных затратах.

3. Факторы управления (режимы функционирования):

- оптимизация загрузки;

- оптимизация теплового режима;

- сокращение продолжительности холостого хода (работа печи без металла);

- соблюдение режимно-эксплуатационной и нормативно-производственной дисциплины.

Необходимо отметить, что реализация указанных мероприятий в совокупности обеспечивает экономию топлива на уровне 40–60% и более в зависимости от состояния парка печей.

Важнейшим результатом учета указанных факторов является разработка научно обоснованных норм топливопотребления для нагревательных и термических печей, базирующихся, в первую очередь,

на использовании современных конструкций рекуператоров, газогорелочных устройств и выборе материалов футеровки [7,8].

В табл. 2 приведены некоторые результаты определения научно обоснованных норм расхода топлива на примере проходных нагревательных печей со сплошным подом и ручьевого типа кузнечного цеха РУП «МАЗ».

Результаты ранее выполненных разработок позволили сформулировать концепцию модернизации и реконструкции печного парка промышленности Республики Беларусь:

1) всесторонний анализ технического состояния парка печей (технического уровня существующего печного оборудования; применяемых тепловых режимов; состояния автоматических систем управления технологическим процессом (АСУ ТП); эффективности использования печного оборудования);

2) исследование современного состояния печного хозяйства (печного оборудования высшего технического уровня; энергоэффективных тепловых режимов; современных систем АСУ ТП);

3) организационные мероприятия (определение объектов, темпов и мощностей, подлежащих модернизации на основе проведения энергоаудитов);

4) реализация комплексного плана модернизации и реконструкции печного парка (технико-экономическое обоснование реконструкции; проектная и нормативно-технологическая документация; строительно-монтажные и пусконаладочные работы; вне-

дрение современных конструкций печных установок и прогрессивных тепловых режимов).

Необходимо отметить, что значительная часть средств, направляемых на модернизацию теплоэнергетического оборудования, ежегодно уходит на закупку материалов, запасных частей и оборудования за пределами республики. Учитывая специализацию отраслей промышленности, многие из требуемых видов оборудования, материалов и комплектующих можно производить на отечественных предприятиях, включая промышленные печи и сушилки, газогорелочные устройства, футеровочные материалы, теплообменные устройства, дымососы, вентиляторы и др., т. е. фактически создать собственное энергетическое машиностроение.

Так, например, на базе ГНУ «Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова» НАН Беларуси спроектирован и изготовлен пилотный газопламенный агрегат для нагрева и термической обработки чугунов, сталей и сплавов, в котором воплощены последние достижения отечественной и зарубежной школ в области металлургической теплотехники и промышленной теплоэнергетики [8]. При этом эффективность использования природного газа повышена в 2,5–3,0 раза по сравнению со средним показателем в промышленности республики, тепловой коэффициент полезного действия составил 35–45%, что находится на уровне и даже несколько превосходит лучшие зарубежные аналоги. Кроме того, в процессе работы над стендом соз-

Т а б л и ц а 2. Паспортные, фактические и нормированные показатели потребления ТЭР в нагревательных печах кузнечного цеха РУП «МАЗ» (при стоимости природного газа 200 долл. США за 1000 м<sup>3</sup>)

Номер печи	Расход условного топлива по паспортным данным, кг у. т./т	Фактический удельный расход условного топлива, кг у. т./т	Нормированный удельный расход условного топлива, кг у. т./т	Допустимое снижение энергоёмкости печи при соблюдении норм потребления ТЭР, %
Нагревательная № 40	100	202	93 (—▲—×—) 76 (—■—) 69 (—◆—) 58 (—✱—)	53,96 (—▲—×—) 62,38 (—■—) 65,85 (—◆—) 71,29 (—✱—)
Нагревательная № 22	120	276	100 (—◆—■—▲—×—) 63 (—✱—)	64 (—◆—■—▲—×—) 77,34 (—✱—)
Нагревательная № 7	80	219	95 (—▲—×—) 93 (—■—) 92 (—◆—) 59 (—✱—)	56,63 (—▲—×—) 57,54 (—■—) 57,99 (—◆—) 73,06 (—✱—)
ГНП-2	85	131	91 (—▲—×—) 68 (—■—) 64 (—◆—) 57 (—✱—)	30,53 (—▲—×—) 48,09 (—■—) 51,15 (—◆—) 56,49 (—✱—)

П р и м е ч а н и е: —◆— — стоимость 1 кг рекуператора (с учетом монтажа) – 1 долл. США; —■— — 2 долл. США; —▲— — 4 долл. США; —×— — > 4 долл. США; —✱— — при использовании рекуперативных горелок (без учета затрат на установку и использование).

дана уникальная система автоматического управления процессом нагрева, не имеющая аналогов в странах СНГ. На базе РУП «БЕЛТЭИ» создан отдел по выполнению проектных, конструкторско-технологических, монтажных и пусконаладочных работ для разработки отечественных образцов энергоэффективных печей для нагрева и термической обработки металла.

Учитывая, что модернизация и реконструкция машиностроительного и металлургического комплексов будет осуществляться поэтапно в течение 10–20 лет, одной из важнейших задач является подготовка высококвалифицированных инженерно-технических кадров.

Здесь очевидны два новых взаимодополняющих направления подготовки таких специалистов в рамках специальности 1–42 01 01 «Металлургическое производство и материалобработка» в БНТУ:

- в области проектирования, конструирования и технического обслуживания парка современного теплотехнологического оборудования (промышлен-

ных печей, газогорелочных устройств, теплообменников) и создания передовых энергоэффективных технологий (специализация 1-42 01 01-02 02 «Металлургическая теплотехника и печи»);

- в области обеспечения промышленной безопасности предприятий при демонтаже устаревшего оборудования, модернизации и вводе нового оборудования, включая обеспечение безопасных условий труда, управления промышленной безопасностью, предотвращения аварийных ситуаций, технического надзора, экспертизы промышленной безопасности и т. д. (направление специальности 1-42 01 01-03 «Металлургическое производство и материалобработка (Промышленная безопасность)»).

Учитывая важность и актуальность проблемы энергосбережения, необходимо сконцентрировать усилия вузовской и академической науки и специалистов производства в этом направлении с целью эффективного и оперативного внедрения результатов исследований.

### Литература

1. Ткачев С. П., Тимошпольский В. И. Стратегия развития национальной энергетики // Наука и инновации. 2007. Спецвыпуск. С. 16–24.
2. Ткачев С. П., Тимошпольский В. И., Трусова И. А. Энергетическая безопасность страны как залог успешного экономического развития Беларуси // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. 2007. Спецвыпуск. С. 49–55.
3. Тимошпольский В. И. Экономия, бережливость и новые источники энергии – главные факторы энергетической безопасности государства // Докл. НАН Беларусі. 2007. Спецвыпуск. С. 100–105.
4. Тимошпольский В. И. Роль отечественной научной школы в освоении и организации производства на РУП «БМЗ» // Сталь. 2002. № 10. С. 8–12.
5. Тимошпольский В. И., Герман М. Л. Концепция реконструкции и модернизации парка нагревательных печей металлургических и машиностроительных предприятий Республики Беларусь: от теории к практике (проблемные вопросы) // Литье и металлургия. 2007. № 2. С. 21–28.
6. Тимошпольский В. И. Энергоэффективные печи для промышленного комплекса Беларуси // Наука и инновации. 2007. № 2(48). С. 12–14.
7. Тимошпольский В. И., Герман М. Л., Менделев Д. В. Обзор основных направлений модернизации печного парка и совершенствование технологий нагрева и термической обработки слитков и заготовок в условиях современного машиностроительного предприятия // Литье и металлургия. 2007. № 4. С. 54–62.
8. Тимошпольский В. И., Несенчук А. П., Трусова И. А., Менделев Д. В., Герман М. Л. Расчет и конструирование современных газопламенных установок для нагрева и термообработки металла // Изв. вузов и энерг. объедин. СНГ. Энергетика. 2008. № 4. С. 34–43.