

**УДК 669.1.004.18****В.А. БОТШТЕЙН**, первый заместитель генерального директора,**А.С. РУДЮК**, канд. техн. наук, директор структурного подразделения, **А.Л. СКОРОМНЫЙ**, заведующий лабораторией,**Н.Г. ШАПОВАЛОВА**, начальник отдела, **В.С. БАРАНЕНКО**, заместитель директора структурного подразделения

Украинский государственный научно-технический центр «Энергосталь» (УкрГНТЦ «Энергосталь»), г. Харьков

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПРОМЫШЛЕННОЙ И КОММУНАЛЬНОЙ СФЕРЫ

Приведен обзор разработок УкрГНТЦ «Энергосталь», направленных на повышение эффективности использования первичных (природного газа, мазута, угля, электроэнергии) и вторичных энергоресурсов на предприятиях металлургии, машиностроения и объектах коммунального хозяйства.

**Ключевые слова:** энергосбережение, энергоэффективность, металлургия, машиностроение, жилищно-коммунальное хозяйство, использование вторичных ресурсов.

Повышение эффективности использования энергетических ресурсов является весьма актуальной задачей как в промышленности, так и в коммунальной сфере [1–3]. Снижение энергозатрат на выпуск товарной продукции промышленными предприятиями позволит уменьшить ее себестоимость и повысить конкурентоспособность, а повышение энергоэффективности объектов жилищно-коммунального хозяйства – уменьшить затраты населения на оплату коммунальных услуг.

УкрГНТЦ «Энергосталь» – ведущая организация в Украине и СНГ по ряду приоритетных направлений, в т.ч., по энергосбережению и использованию вторичных энергоресурсов, обладает уникальным опытом исследования технологических процессов, разработки энергосберегающих технологий, проектирования и конструирования энергоэффективного оборудования, его изготовления и поставки.

Для повышения энергоэффективности работы любого предприятия необходимо прежде всего произвести его энергетическое обследование – выявить крупных потребителей топливно-энергетических ресурсов, определить эффективность использования вторичных энергоресурсов. На основании полученных результатов следует разработать перечень энергосберегающих мероприятий для основных технологических процессов и агрегатов, оценив их эффективность, и включить эти мероприятия в программу энергосбережения, а при отсутствии такой программы – разработать ее и, самое главное, реализовать энергосберегающие мероприятия.

### Основные энергосберегающие мероприятия для предприятий металлургии и машиностроения:

1. Рециркуляция агломерационных газов и горячего воздуха от охладителя в зажигательный горн агломашины.

Разработанные Центром схемы рециркуляции газов на агломашинах позволяют уменьшить расход твердого топлива на 2–3 кг/т агломерата и снизить выбросы пыли и CO на 22–25 %. Схемы использования воздуха, подогретого в первых дутьевых камерах охладителя, обеспечивают при спекании агломерата снижение расхода твердого топлива на 4–5 кг/т агломерата и соответствующее снижение выбросов вредных веществ [4].

2. Реализация систем испарительного охлаждения (СИО) доменных, мартеновских и нагревательных печей.

Данное мероприятие позволяет сократить расход охлаждающей воды в 60–100 раз и, соответственно, уменьшить расход электроэнергии на работу циркуляционных насосов при работе СИО с принудительной циркуляцией либо вовсе отказаться от использования циркуляционных насосов при работе СИО с естественной циркуляцией охладителя [5].

3. Реализация систем использования пара испарительного охлаждения.

Пар СИО может быть использован для уменьшения расхода природного газа в доменных воздухонагревателях при подогреве паром компонентов горения (воздуха и доменного газа) либо для уменьшения энергозатрат на получение химочищенной воды путем получения из пара

СИО конденсата и его использования для нужд предприятия [5].

4. Выработка электроэнергии с помощью газовых утилизационных бескомпрессорных турбин (ГУБТ) при работе доменных печей с повышенным давлением (0,16–0,19 МПа) доменного газа на колошнике.

Комплекс работ по оснащению доменных печей ГУБТ включает реконструкцию системы газоочистки, обеспечивающей необходимую степень очистки доменного газа (не более  $4 \text{ мг/м}^3$ ) за счет установки современных высокоэффективных регулируемых труб Вентури. Количество электроэнергии, вырабатываемой различными типами ГУБТ при расходе доменного газа 150–400 тыс.  $\text{м}^3/\text{час}$  с избыточным давлением не менее 0,15 МПа, составляет 5–10 МВт·час. По предварительным расчетам, себестоимость вырабатываемой с помощью ГУБТ электроэнергии составляет 60–70 грн/1000 кВт·час, а срок окупаемости – 1,5–3 года [6].

5. Системы отвода и охлаждения технологических газов кислородных конвертеров.

УкрГНТЦ «Энергосталь» разработаны схемы и технические решения по отводу и охлаждению технологических газов, позволяющие уменьшить расход охлаждающей воды на газоочистку на 10–30 % и, соответственно, уменьшить количество работающих насосов; оснастить двигатели системами частотного регулирования и экономить электроэнергию в межпродувочный период; осуществить переход на систему отвода газа «с частичным дожиганием», что вдвое уменьшит расход газа перед нагнетателем, а модернизация ротора нагнетателя позволит увеличить его напор на 20 %; организовать возврат конденсата для подпитки первичного контура охладителя конвертерных газов и уменьшить затраты тепловой и электрической энергии на производство химочищенной воды. Разработанные энергосберегающие мероприятия, реализуемые на газоотводящих трактах ПАО «Енакиевский металлургический завод», позволяют уменьшить расход электроэнергии на 11,9 МВт·час/год [7].

6. Замена мартеновского способа выплавки стали кислородно-конвертерным с внедрением непрерывной разливки стали и выводом из эксплуатации обжимных цехов.

Замена мартеновского способа производства стали кислородно-конвертерным обеспечивает уменьшение прямых затрат топливно-энергетических ресурсов на выплавку стали на 65–70 кг у.т./т. Расчеты по методике, разработанной УкрГНТЦ «Энергосталь», показывают, что при удельном расходе чугуна 0,74 т/т стали полная металлургическая энергоемкость товарной продукции металлургического предприятия с технологической цепочкой «добыча и обогащение железной руды – производство

агломерата, кокса, извести, чугуна, стали конвертерным способом – непрерывная разливка стали – производство проката» меньше, чем при технологической цепочке «добыча и обогащение железной руды – производство агломерата, кокса, извести, чугуна, стали мартеновским способом – разливка стали в слитки – производство проката». При этом конвертерный способ выплавки стали имеет значительные преимущества по сравнению с мартеновским, поскольку он обеспечивает возможность синхронизации периодической выплавки стали с ее разливкой на МНЛЗ, что позволяет полностью заменить разливку стали в слитки на непрерывную разливку; расширить сортамент выплавляемой стали за счет производства легированных и нержавеющей марок; значительно сократить выбросы в воздушный бассейн (особенно по сравнению с выбросами из двухванных мартеновских печей); снизить расход огнеупоров и трудозатраты при ведении горячих и холодных ремонтов [8].

7. Строительство мини- или микрометаллургических заводов.

Выплавка стали на мини- и микрометаллургических заводах осуществляется в дуговых электросталеплавильных печах. Расчеты показывают, что полная металлургическая энергоемкость проката, произведенного мини- и микрозаводами, в 2–2,5 раза меньше при шихте, состоящей на 70–100 % из металлолома, чем проката, полученного на комбинате с полным циклом производства: от добычи железной руды – до производства проката с мартеновским способом производства стали [8].

8. Перевод прокатных станов на низкотемпературную прокатку.

Данное мероприятие позволяет снизить затраты топливно-энергетических ресурсов на производство проката предприятиями, оснащенными непрерывными и полунепрерывными станами горячей прокатки; повысить срок эксплуатации нагревательных устройств; улучшить комплекс механических свойств стали, прежде всего, за счет повышения вязкостно-пластических характеристик; снизить потери металла в окалину и уменьшить глубину обезуглероженного слоя. В общем случае, снижение температуры нагрева заготовок перед прокаткой на каждые  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  приводит к уменьшению расхода топлива, эквивалентному 65–70 кВт·час/т, и к увеличению расхода электроэнергии на прокатку на 4–5 кВт·час/т, что обеспечивает суммарную экономию энергоресурсов порядка 60–65 кВт·час или 7,5–8,0 кг у.т. на каждой тонне проката [6].

9. Модернизация и реконструкция термического и нагревательного оборудования.

Модернизация топливных печей предполагает герметизацию их рабочего пространства и оснащение систем



отвода продуктов сгорания компактными радиационно-конвективными рекуператорами для подогрева воздуха горения, применение современных конструкций и материалов футеровок, замену горелочных комплексов более эффективными и позволяет сократить потребление природного газа на 20–40 %. Срок окупаемости капитальных затрат составляет от 3,5 до 6 месяцев [6].

10. Сокращение потребления природного газа путем перевода топливных (нагревательных и термических) печей с газового нагрева на электроннагрев сопротивлением.

Перевод топливных печей с газового нагрева на электроннагрев позволит отказаться от использования природного газа для их работы и в 1,5–2 раза уменьшить затраты на энергоносители, уменьшить потери теплоты с отходящими дымовыми газами, исключить выбросы в атмосферу вредных веществ, образующихся при сжигании природного газа, а также повысить точность регулирования температуры нагрева. Срок окупаемости капитальных затрат – от 3,5 до 6 месяцев [6].

11. Системы сбора, очистки и подготовки вторичных горючих газов (доменного, коксового, конвертерного) для их использования в газотурбинных установках комбинированного цикла и выработки электроэнергии.

Объекты инфраструктуры газотурбинной электростанции комбинированного цикла впервые в СНГ спроектированы и реализуются УкрГНТЦ «Энергосталь» для ОАО «Алчевский металлургический комбинат». Система предусматривает две парогазовые установки мощностью 303 МВт электроэнергии при использовании 500000  $\text{нм}^3/\text{час}$  доменного, 65000  $\text{нм}^3/\text{час}$  конвертерного и 42000  $\text{нм}^3/\text{час}$  коксового газа. Потребление электроэнергии на собственные нужды – 50 МВт. КПД установок – 44 %, что почти вдвое превышает КПД ТЭЦ комбината. В дальнейшем планируется строительство третьей установки и увеличение электрической мощности до 454,5 МВт [9].

12. Программное обеспечение для расчета и анализа причин изменения сквозных затрат энергоресурсов на производство товарной продукции.

УкрГНТЦ «Энергосталь» разработана методика и программное обеспечение для расчета показателей сквозных затрат энергоресурсов на выпуск товарной продукции. Программное обеспечение позволяет определять фактическую экономию или перерасход топлива и покупной электроэнергии по результатам работы предприятия в отчетном периоде по сравнению с любым предыдущим периодом; анализировать причины изменения энергоемкости товарной и переделной продукции, в т.ч., за счет изменения удельного расхода энерго-

носителей и полуфабрикатов при изготовлении каждого вида продукции; рассчитывать сквозную нормативную энергоемкость продукции на основе заданных норм прямых расходов энергоносителей и полуфабрикатов; определять технически обоснованную потребность в топливе и электроэнергии на основе прогнозируемых объемов производства, планируемых норм расхода энергоносителей и полуфабрикатов; оценивать энергоэффективность проведения реконструкции и модернизации производства. Опыт использования методики и программного обеспечения показал, что, по результатам проводимого многофакторного анализа, ежегодно на предприятиях достигается экономия не менее 0,2 % всех затрат топлива и 0,15 % покупной электроэнергии.

**Энергосберегающие мероприятия для предприятий коммунальной сферы предполагают:**

1. Создание предприятий по утилизации твердых бытовых отходов (ТБО) с получением товарной тепловой и электрической энергии.

Строительство предприятий по переработке ТБО производительностью от 10 до 500 тыс. т/год, которые, утилизируя ТБО в объеме 100–120 тыс. т/год в населенном пункте с числом жителей 400–500 тыс. человек, позволяют утилизировать около 50 тыс. т вторичного сырья (лом цветных и черных металлов, макулатура, стеклобой) с получением 14–15 млн кВт·час товарной электроэнергии и 60–70 тыс. Гкал товарной тепловой энергии [10]. Срок окупаемости предприятия в зависимости от тарифа на утилизацию и годового объема утилизируемых отходов составляет от 4,7 до 10 лет.

2. Получение альтернативных топливных энергоресурсов из резиносодержащих отходов методом термохимической деструкции.

Создание «под ключ» предприятия по утилизации изношенных автомобильных шин и других резиносодержащих отходов методом термохимической деструкции с получением альтернативных топливных энергоресурсов – жидкого топлива (аналог печного бытового топлива) и твердого топлива (аналог каменного угля), а также металллома [11]. Срок окупаемости комплексов производительностью 300–1000 кг/час составляет 4,8–1,7 года, соответственно.

**Универсальные энергосберегающие мероприятия для предприятий промышленности и коммунальной сферы:**

1. Технология и оборудование для приготовления, дозирования и сжигания пылеугольного топлива (ПУТ) в энергетических котельных агрегатах и в доменных печах.

Данное мероприятие направлено на частичную (при внедрении на доменных печах) или полную (при внедрении на котлах) замену природного газа подготовлен-



ным пылеугольным топливом посредством реконструкции агрегата – оснащением эффективной газоочисткой. Технология пылеприготовления успешно внедрена на ЗАО «Донецксталь» – металлургический завод для дувания до 200 кг ПУТ/т чугуна в доменные печи № 1 и № 2, что обеспечивает экономию природного газа – 70–100 м<sup>3</sup>/т чугуна. Перевод котлоагрегатов на сжигание ПУТ позволит исключить использование природного газа и сэкономить около 700 грн на каждой тонне условного топлива. Учитывая капитальные затраты на реконструкцию котлоагрегата и его инфраструктуры, срок окупаемости затрат на замену природного газа пылеугольным топливом составляет 1,5–2 года [6].

2. Повышение энергоэффективности сжигания мазутного топлива в котлоагрегатах.

Сжигание водомазутной эмульсии, подготовленной в системе диспергирования, вместо мазута обеспечивает экономию мазута (3–8 %) за счет повышения степени полноты сгорания; повышение КПД котла на 2–3 %; сокращение (до 50 %) выбросов в атмосферу сажи и оксидов азота; утилизацию замасленных стоков посредством использования их вместо воды. Срок окупаемости затрат на реализацию этого мероприятия – 0,5–1 год [6].

3. Утилизация тепла продуктов сгорания топлива в нагревательных, термических печах и котлах с помощью эффективных высокотемпературных рекуператоров и/или термосифонных теплообменников.

Конструкции теплоутилизационного оборудования, разработанные УкрГНТЦ «Энергосталь», применимы как для периодически, так и для непрерывно работающих топливных печей. Включение в технологическую схему периодически работающей топливной печи высокотемпературного рекуператора позволяет уменьшить потребление природного газа на 5–20 %. Для утилизации тепла непрерывно работающих печей разработаны энерготехнологические агрегаты, в которых осуществляется высокотемпературный (350–400 °С) нагрев воздуха горения, а избыток тепла используется для выработки пара энергетических и технологических параметров или нагрева воды для отопления и горячего водоснабжения. Включение в технологическую схему непрерывно работающей топливной печи энерготехнологического агрегата позволяет: сэкономить от 5 до 20 % природного газа (или другого топлива) за счет повышения коэффициента использования теплосодержания технологического топлива при утилизации тепла воздуха горения с температурой 350–400 °С; получить до 1,4 ГДж дополнительной тепловой энергии на каждые 100 м<sup>3</sup> природного газа, сжигаемого в печи, что позволит частично или полностью покрыть собственные потребности предприятия в отоплении и горячем водоснабжении; отказаться от футеровки дымовых труб за счет снижения

температуры отходящих газов до значений 100–120 °С; повысить суммарный коэффициент использования технологического топлива до 85 % [6].

4. Система автоматического управления и оптимизации процесса горения топлива в котлах, печах и других топливотребляющих агрегатах.

Разработанная система обеспечивает достижение максимального КПД топливной печи или котельной установки, работающей на природном газе, мазуте или пылеугольном топливе, динамически поддерживая оптимальные режимы сгорания топлива в соответствии с сигналами датчиков контроля технологических параметров. Применение системы автоматического управления и оптимизации процесса горения в топках топливных печей и котлов позволяет сэкономить от 2 до 5 % газа или мазута, до 10 % угля; исключить выбросы монооксида углерода в атмосферу; на 5–10 % увеличить срок службы тягодутьевых устройств. Срок окупаемости в зависимости от вида используемого топлива и объема его потребления составляет от 3 месяцев до 1 года [6].

5. Электростабилизационная обработка воды прямоточных и оборотных систем водоснабжения.

Внедрение этого мероприятия в оборотных циклах тепловых электростанций (для повышения эффективности работы конденсаторов турбин), в системах бытового и промышленного теплоснабжения и других, где в качестве теплоносителя используется вода, предотвращает образование карбонатных отложений на поверхностях теплообмена и стабилизирует воду в системе охлаждения технологического оборудования. За счет этого достигается: уменьшение затрат электроэнергии на собственные нужды до 5 %; снижение эксплуатационных расходов на обслуживание конденсаторов и другого теплообменного оборудования. Срок окупаемости установки – до 1 года [6].

6. Автоматизированные системы учета потребления энергоресурсов (АСУП Э).

Разработанная центром АСУП Э позволяет обеспечить мониторинг, контроль и учет расхода энергоресурсов (электроэнергии, природного газа, осушенного сжатого воздуха, кислорода, аргона, азота, технической, питьевой и горячей воды, тепловой энергии), своевременно выявлять места повышенного энергопотребления для принятия управленческих решений по уменьшению энергозатрат на выпуск товарной продукции [12].

Отметим, что УкрГНТЦ «Энергосталь» реализует энергосберегающие разработки на предприятиях горно-металлургического комплекса, машиностроения и в жилищно-коммунальном хозяйстве комплексно, «под ключ»:

- проведение обследований;
- разработка проектной и конструкторской документации;



- разработка программного обеспечения;
- изготовление и поставка оборудования;
- осуществление авторского надзора;
- выполнение шефмонтажных и пусконаладочных работ;
- гарантийное и сервисное обслуживание;
- обучение персонала.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Энергетична стратегія України на період до 2030 року // Відомості Міністерства палива та енергетики України : Інформаційно-аналітичний бюлетень. Спеціальний випуск. – 2006. – 113 с.
2. **Сталинский, Д.В.** Формирование научно-технической политики по энергосбережению на предприятиях горно-металлургического комплекса Украины / Д.В. Сталинский, В.А. Ботштейн, А.Л. Каневский, А.Г. Нотыч // Казантип-ЭКО-2007. Экология и здоровье человека. Охрана воздушного и водного бассейнов. Утилизация отходов: сб. науч. статей XV Междунар. науч.-практ. конф., 4–8 июля 2007 г., г. Щелкино, АР Крым: в 2-х т. Т.1/УкрГНТЦ «Энергосталь». – Х. : Сага, 2007. – С. 132–136.
3. Галузева програма енергозбереження та енергоефективності на період до 2017 року / УкрДНТЦ «Енергосталь». – Х., 2008. – 132 с.
4. **Сталинский, Д.В.** Рециркуляция агломерационных газов и использование тепла нагретого воздуха от охладителей агломерата / Д.В. Сталинский, Ю.Г. Банников, Н.Г. Шاپовалова // Экология и промышленность. – 2010. – № 4. – С. 68–71.
5. **Андоньев, С.М.** Охлаждение доменных печей / С.М. Андоньев, О.В. Филиппов, Г.А. Кудинов. – М. : Metallurgia, 1972. – 368 с.
6. **Кваташидзе, Т.И.** Эффективные малозатратные быстроеосуществимые решения по сокращению потребления энергоресурсов в металлургии, машиностроении и коммунальном хозяйстве / Т.И. Кваташидзе, А.З. Жученко, А.З. Рыжавский, А.Л. Скоромный // Казантип-ЭКО-2009. Экология, энерго- и ресурсосбережение, охрана окружающей среды и здоровье человека, утилизация отходов : сб. науч. статей XVII Междунар. науч.-практ. конф., 1–5 июня 2009 г., г. Щелкино, АР Крым: в 2-х т. Т.1 / УкрГНТЦ «Энергосталь». – Х. : Сага, 2009. – С. 373–378.
7. **Рыжавский, А.З.** Комплексное решение проблем энергосбережения и сокращения выбросов вредных веществ в атмосферу при реконструкции газоотводящих трактов конвертеров ОАО «Енакиевский металлургический завод» / А.З. Рыжавский, В.Д. Мантула, А.В. Зимогляд, Д.В. Романов // Экология и промышленность. – 2011. – № 1. – С.14–16.
8. **Сталинский, Д.В.** Влияние технического перевооружения сталеплавильного производства на энергопотребление в черной металлургии / Д.В. Сталинский, В.Г. Литвиненко, В.А. Ботштейн, Т.А. Андреева, А.Л. Скоромный // Экология и промышленность. – 2011. – № 1. – С.58–63.
9. **Трофимов, А.П.** Использование вторичных энергоресурсов для производства электроэнергии на предприятиях черной металлургии / А.П. Трофимов, Н.И. Паламарчук, О.А. Журавлев, Н.В. Моцарь. // Казантип-ЭКО-2009. Экология, энерго- и ресурсосбережение, охрана окружающей среды и здоровье человека, утилизация отходов: сб. науч. статей XVII Междунар. науч.-практ. конф., 1–5 июня 2009 г., г. Щелкино, АР Крым: в 2-х т. Т.1 / УкрГНТЦ «Энергосталь». – Х. : Сага, 2009. – С. 397–400.
10. **Сталинский, Д.В.** Экологически безопасные стационарные и передвижные установки утилизации твердых бытовых отходов / Д.В. Сталинский, А.В. Дунаев, А.З. Рыжавский, А.В. Зимогляд // Казантип-ЭКО-2009. Экология, энерго- и ресурсосбережение, охрана окружающей среды и здоровье человека, утилизация отходов: сб. науч. статей XVII Междунар. науч.-практ. конф., 1–5 июня 2009 г., г. Щелкино, АР Крым: в 2-х т. Т. 2 / УкрГНТЦ «Энергосталь». – Х. : Сага, 2009. – С. 397–400.
11. **Сталинский, Д.В.** Получение альтернативных видов топлива из резиносодержащих отходов / Д.В. Сталинский, А.Л. Скоромный, А.М. Синозаций // Экология и промышленность. – 2009. – № 2. – С. 8–12.
12. **Кривоносов, А.И.** Автоматизированная система учета потребления энергоресурсов в металлургическом производстве ОАО «Волгоцеммаш» / А.И. Кривоносов, Н.Б. Малашенко, С.Б. Стрюков, В.Ф. Маликов, А.И. Дверницкий, А.С. Кийко // Экология и промышленность. – 2011. – № 1. – С.17–22.

*Поступила в редакцию 15.04.2011*

Наведено огляд розробок УкрДНТЦ «Енергосталь», що направлені на підвищення ефективності використання первинних (природного газу, мазуту, вугілля, електроенергії) і вторинних енергоресурсів на підприємствах металургії, машинобудування та об'єктах комунального господарства.

The article presents an overview of UkrSSEC «Energostal»s developments aimed at increasing effectiveness of primary (natural gas, fuel oil, coal, power) and waste energy use at iron & steel, machine building and utility enterprises.