



The presented in the article materials are new for the Republic of Belarus and rather actual for solving of problem of maximum utilization of iron-ore raw of belorussian fields with the purpose of creation of own mining branch in the country.

*В. И. ТИМОШПОЛЬСКИЙ, Президиум НАН Беларуси,
М. Л. ГЕРМАН, Научно-исследовательское и проектное РУП «БелТЭИ»*

УДК 669.1

КОНЦЕПЦИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ И МОДЕРНИЗАЦИИ ПАРКА НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ И МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ: ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ (ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ)

В настоящее время проблема с обеспечением энергоресурсами страны становится ключевой для безопасности нашего государства. Наряду с принимаемыми мерами по созданию и реализации новых направлений дальнейшего развития энергетики (атомная энергетика, использование угольных энерготехнологий) необходимо в нынешних условиях концентрировать внимание на мероприятиях по энергосбережению в отраслях народного хозяйства страны, в первую очередь в промышленных теплотехнологиях.

Производство и обработка черных металлов, в частности производство стального проката и готовых деталей машин и механизмов, являются базой промышленного комплекса Республики Беларусь. Однако современные технологии машиностроения и металлообработки требуют существенных затрат энергоресурсов на нагрев и термообработку продукции черных металлов. Особенно заметными становятся данные затраты на фоне активного роста промышленного производства в последние годы.

К сожалению, существующие сегодня на белорусских предприятиях технологии тепловой обработки материалов чрезвычайно энергозатратны, тепловой коэффициент полезного действия газопламенных нагревательных и термических печей крайне низок и составляет в подавляющем большинстве случаев 5–15%. Другими словами, из каждой 1000 м³ газа эффективно используется лишь 50–150 м³, а остальные 850–950 м³ просто сжигаются и выбрасываются в атмосферу.

При этом конструкции нагревательных печей, а во многих случаях и сами печи, почти не

модернизировались в течение последних 30 лет. Использование морально и физически устаревшего нагревательного и термического оборудования на предприятиях Республики Беларусь приводит к повышенной доле энергозатрат в цене конечной продукции. Все это снижает не только конкурентоспособность продукции белорусского машиностроения, но и энергетическую, а, следовательно, и экономическую безопасность республики.

Выполненные учеными и специалистами Национальной академии наук Беларуси и Белорусского национального технического университета энергетические обследования наиболее энергопотребляющих предприятий Республики Беларусь выявили потенциал энергосбережения в среднем на уровне 30% от нынешнего потребления ресурсов. 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.

В настоящее время в промышленном комплексе Республики Беларусь функционирует более 1500 печей камерного и проходного типа со сжиганием газа в инжекционных или дутьевых факельных горелках, в системе Министерства промышленности работают более 500 печных агрегатов (кузнечно-прессовые отделения, цехи термической обработки, нагрева чугунов и сталей). При затратах на покупку топлива для промышленных нужд Министерством промышленности на уровне 500 млн. у.е. в год (в ценах 2006 г.) около 60 млн. у.е. приходится на приобретение природного газа (около 1 млрд. м³).

Характерным примером, иллюстрирующим эффективность работы термических и нагревательных печей в машиностроительной отрасли, является ситуация на одном из передовых предприятий отрасли – Минском тракторном заводе. Парк таких печей на МТЗ составляет 236 ед. В начале 2006 г. учеными Белорусского национального технического университета и Национальной академии наук было проведено обследование состояния нагревательного и термического оборудования автотракторного производства. Согласно данным, представленным на рис. 1, тепловой к.п.д. большей части печей находится в диапазоне 5–15%.

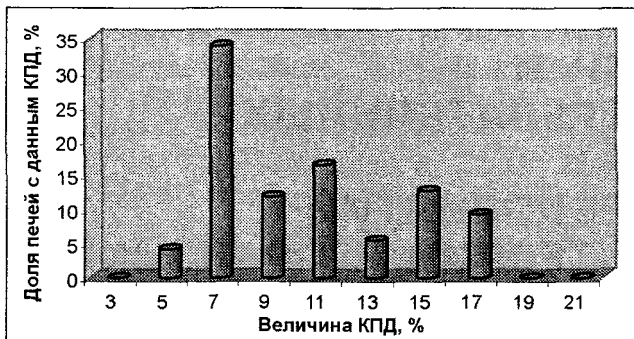


Рис. 1. Распределение печей МТЗ по к.п.д.

Для оценки общего положения дел в печном хозяйстве республики в ноябре 2006 г. непосредственно на предприятиях РБ была запрошена информация о состоянии и характеристиках печного парка. Были получены данные более чем о 500 печах, эксплуатируемых на промышленных предприятиях в настоящее время. Отметим, что результаты анализа этих данных в целом отражают общую ситуацию в печном хозяйстве республики.

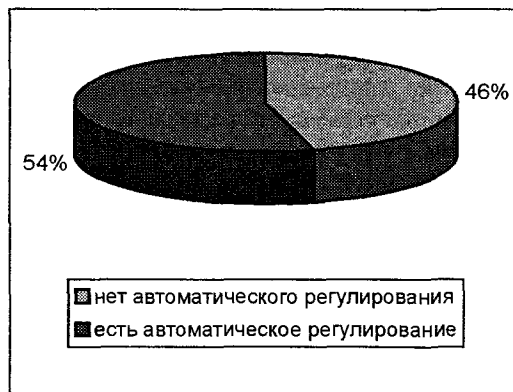
Анализ потребляемого печами топлива показал, что большая часть из них (87%) работает на природном газе (рис. 2, а). Это обусловлено спецификой производства (металлообработка, высокие производительности, нагрев до температур от 560 до 1200 °С). Поэтому переход на другие (в том числе местные) виды топлива для данных печей может сыграть

только отрицательную роль, ухудшив и без того не очень высокие показатели их работы. Средний возраст эксплуатируемых в настоящее время печей составляет 29,7 лет (рис. 3). Автоматическими системами регулирования процесса нагрева (или хотя бы отдельными их элементами) оборудованы только 54% печей (рис. 2, б), причем эти системы физически и морально устарели, тепло уходящих газов повторно используется лишь на 30% печей (рис. 2, в), а природоохранные технологии – лишь на 6% печного парка (рис. 2, г). Процессы тепловой обработки металлических изделий и заготовок могут существенно отличаться как температурой нагрева металла, так и характерными размерами нагреваемых деталей. Поэтому в общем случае нельзя сравнивать друг с другом затраты топлива при работе всех типов печей. Однако средняя характеристика по всему парку печей отражает общую энергоэффективность их работы. Так, среднее потребление топлива при работе газопламенных печей, используемых для термообработки металла, составляет около 220 кг у.т. на 1 т металла (рис. 4), а для нагрева 1 т стальных заготовок от 20 до 1200 °С (без учета тепловых потерь) необходимо 25–30 кг у.т.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что назрела необходимость замены парка устаревших, обладающих низким к.п.д., печей в машиностроении и металлургии. Естественно, что процесс этот будет не мгновенным и займет по различ-



а



б



в



г

Рис. 2. Распределение печей по типу потребляемого топлива (а); наличию на печах элементов автоматического регулирования (б); наличию на печах рекуперации тепла дымовых газов (в); наличию на печах природоохранных технологий (г)

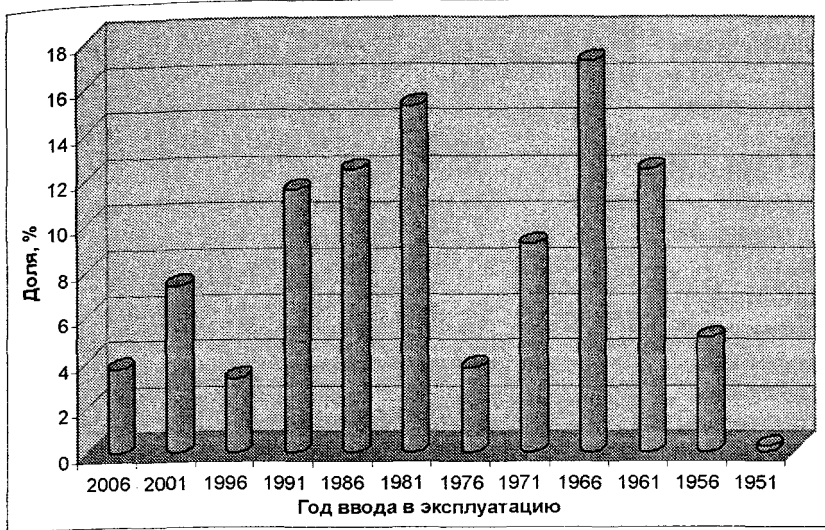


Рис. 3. Распределение печей по году ввода в эксплуатацию

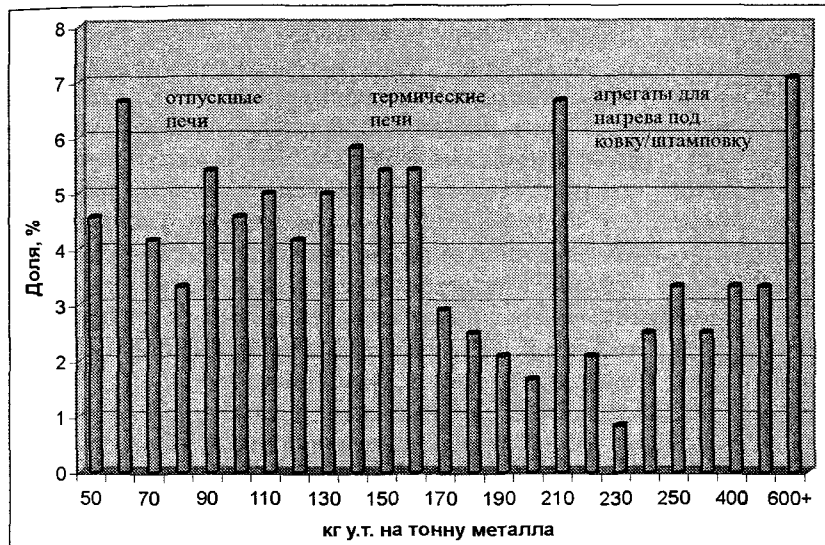


Рис. 4. Распределение термических и нагревательных газопламенных печей машиностроительных и металлургических предприятий республики по удельному расходу условного топлива на 1 т обрабатываемого металла

ным оценкам от 5 до 10 лет. Более того, на отдельных предприятиях процесс модернизации уже начался. Так, например, в программе развития Минского автомобильного завода на 2005–2007 гг. предусмотрена реконструкция и замена 13 нагревательных печей с выделением на эти цели около 2 млн. долл. США. Проведение такого важного и дорогостоящего мероприятия неизбежно ставит следующие вопросы.

- Какими именно печами и горелочными устройствами необходимо заменять устаревшее оборудование?

- В какой степени предлагаемая замена соответствует современным научно-техническим достижениям?

- На каком уровне новизны будут находиться данные агрегаты через 5–10 лет, когда цены на природный газ возрастут многократно?

Опыт работы с иностранными компаниями показывает, что даже при высокой цене оборудо-

вания на наш рынок могут поставляться не новейшие разработки ведущих мировых производителей, а оборудование, уровень которого зачастую можно считать «вчерашним днем».

Выполненный учеными и специалистами Национальной академии наук Беларуси и Белорусского национального технического университета анализ путей повышения энергоэффективности промышленных теплотехнологий позволил выявить основные пути экономии топлива в пламенных печах на основе организационно-технологической структуры потребления топлива. Такая структура предполагает разделение всех факторов, влияющих на эффективность потребления топлива печами, на три группы, в рамках которых выбираются те или иные наиболее значимые параметры.

1. Теплотехнические факторы (печное оборудование):

- рекуперация теплоты уходящих газов (подогрев воздуха до температур 300–400 °С) 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 технологии тепловой

обработки, позволяет экономить 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.

Реализация соответствующих мероприятий, позволяющих оптимизировать и автоматизировать тепловые режимы, обеспечивает в целом минимизацию расхода топлива на 15–20%.

Учитывая важность и актуальность конкретной проблемы, НАН Беларуси выполнила ряд научных разработок и организационных мероприятий в этом направлении. В результате на базе Института 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. Общий вид экспериментального стенда и его компонентов показан на рис. 5.

Лабораторный стенд – печь с выкатным подом (ТГ-1) – предназначен для проведения научно-исследовательских работ, направленных на

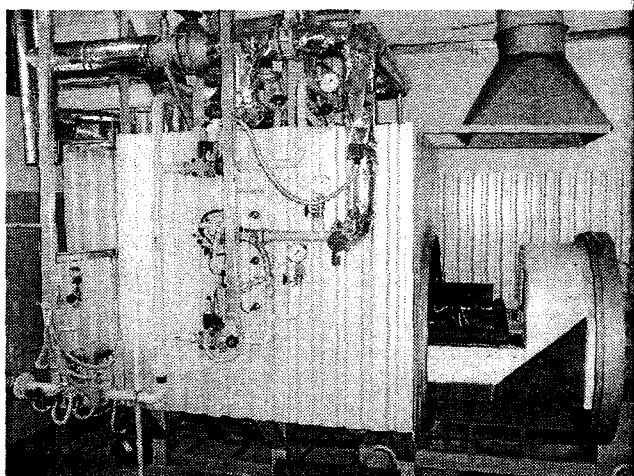


Рис. 5. Общий вид лабораторного стенда «Нагревательная печь с выкатным подом» ТГ-1

повышение эффективности использования природного газа в промышленном производстве Республики Беларусь, в частности, в нагревательных и термических печах на машиностроительных и металлургических предприятиях. Стенд позволяет проводить исследования режимов нагрева металла и режимов сжигания природного газа, алгоритмов автоматического управления тепловыми процессами в печи, стойкости различных футеровочных материалов для различных режимов нагрева, конструкций газогорелочных устройств (их применимость для конкретной технологии нагрева), конструкций рекуператоров тепла дымовых газов и ряд других параметров (табл. 1).

Таблица 1. Основные технические характеристики нагревательной печи ТГ-1

Показатель	Значение
Масса садки (максимальная нагрузка на под), кг	300
Рабочая температура, °С	до 1250
Время выхода температуры в рабочей камере с 20 до 1000 °С при полной загрузке печи, мин	10–15
Размеры рабочей камеры, мм: длина x ширина x высота	1000x900x700
Объем рабочей камеры, м ³	0,63
Вид топлива	природный газ
Давление газа, подводимое к печи, мбар	85
Количество горелок, шт.	3
Тип горелок:	
ВЮ 140 (1 шт.)	1
ВІС 100, шт.	2
Режимы работы печи: (макс. мощность/ макс. расход газа)	
Режим 1: работает одна плоскопламенная горелка	450 кВт/ 40 м ³ газа/ч
Режим 2: работают две дутьевые короткофакельные горелки	2x160 кВт/ 20 м ³ газа/ч
Регулирование мощности горелок	1:10
Режим 1	от 45 до 450 кВт
Режим 2	от 32 до 320 кВт
Температура подогрева первичного воздуха, подаваемого на горение, °С	150–250
Электрическая мощность, кВт:	
вентилятор	7,5
дымосос	15
полная установленная мощность	24
Габаритные размеры всей печи, мм: длина x ширина x высота	4820x2450x3730

Боковые поверхности камеры, под, свод и дверь футерованы волокнистой теплоизоляцией, под печи имеет жесткую раму, изготовленную из нержавеющей стали, необходимую для размещения нагреваемых стальных заготовок. Конструкция рамы позволяет дымовым газам со всех сторон омывать заготовку, что повышает равномерность ее нагрева. Печь имеет плоский свод. Выкатка пода осуществляется электромеханическим приводом.

На боковых поверхностях печи расположены две короткофакельные горелки (модель ВІС 100, производитель Kromschroder, Германия). В печи установлена плоскопламенная горелка (модель ВІО 140, производитель Kromschroder, Германия). Факел формируется таким образом, что не вступает

в соприкосновение с садкой, большой импульс истечения при этом гарантирует активный конвективный теплообмен вокруг садки. В печи применена схема удаления дымовых газов в подподовое пространство. Это также улучшает равномерность прогрева садки и увеличивает эффективность использования теплоты топлива.

Воздух на горение подается посредством вентилятора по системе металлических труб. Дымоотвод от печи продуктов горения принудительный и осуществляется тягой дымососа. Печь оборудована рекуператором, так что холодный воздух, подаваемый на горение, подогревается за счет тепла уходящих дымовых газов (рис. 6).

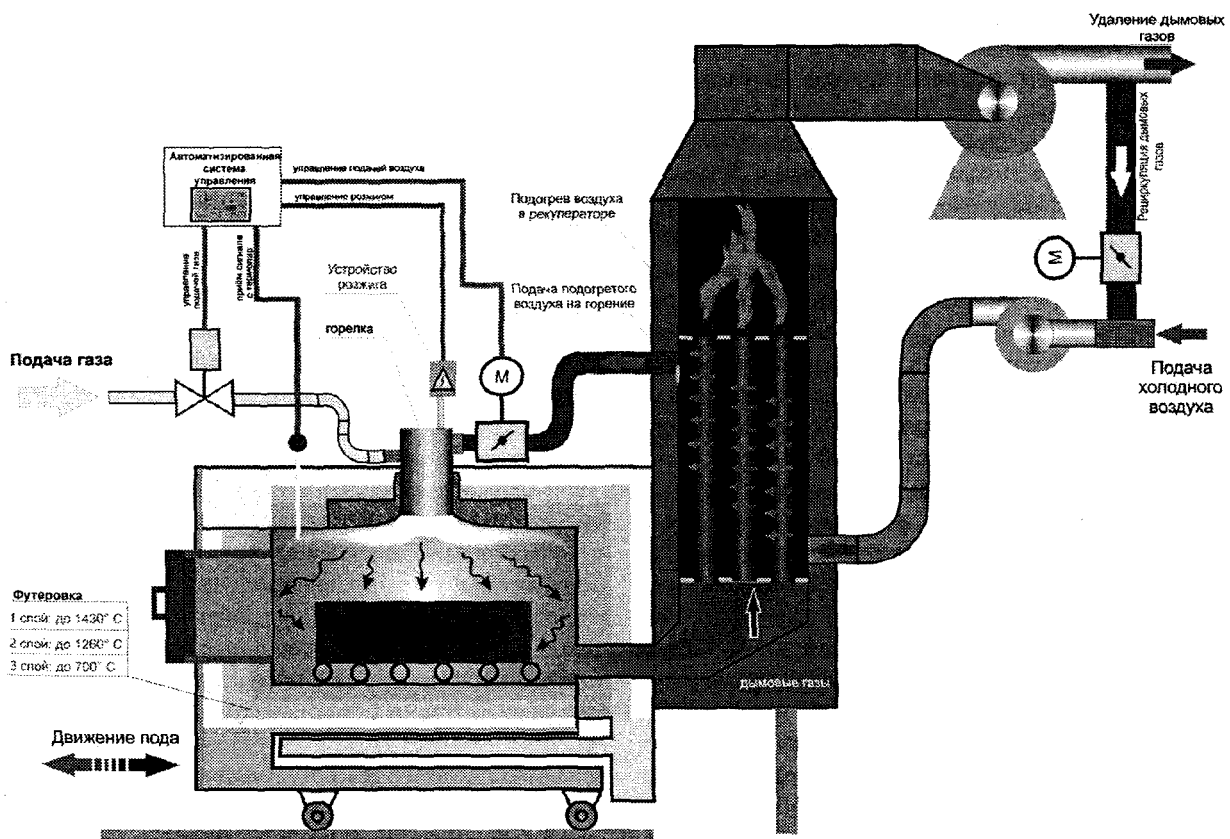


Рис. 6. Схема работы камерной нагревательной печи с выкатным подом

Контроль процесса нагрева осуществляется автоматизированной системой управления (АСУ). При необходимости управление процессом горения может выполняться в ручном режиме непосредственно с экрана промышленного компьютера, на котором установлена программная часть системы управления. При управлении процессом контролируются следующие параметры: температура в рабочем пространстве печи; температура нагрева первичного воздуха, подаваемого на горение; соотношение газ/воздух при любой мощности горелок; химический состав дымовых газов; температура дымовых газов перед рекуператором и дымососом; разрежение в печи.

Система автоматизированного управления печи включает в себя технические средства (промышленный компьютер, блоки распределенного контроля и управления, газоанализатор); программные средства (программа автоматического управления технологическим процессом по заданному режиму, являющаяся оригинальной разработкой ученых Института тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси и БНТУ, подпрограммы визуализации параметров технологического процесса, регистрации и хранения данных, а также обработки аварийных ситуаций). При работе печи регистрируются и сохраняются в памяти компьютера следующие

параметры: температура в рабочей камере (до шести термопар); температура нагреваемого металла (до восьми термопар); температура дымовых газов перед рекуператором и дымососом; температура футеровки; температура воздуха, подаваемого на горение; химический состав дымовых газов; расход воздуха и газа.

Система безопасности, которая является составной частью АСУ, обеспечивает прекращение подачи газа к горелкам с подачей световой и звуковой сигнализации при следующих событиях:

- недопустимом отклонении давления газа от заданного уровня;
- погасании пламени у горелки;
- понижении давления воздуха, подаваемого на горение, ниже заданного уровня;
- окончании цикла термообработки (без звуковой сигнализации);
- прекращении тяги;
- прекращении подачи электроэнергии (без подачи сигналов).

Охрана окружающей природной среды обеспечивается на экспериментальном стенде благодаря применению современных горелочных устройств с низким уровнем выбросов NO_x ; принудительному удалению продуктов горения в дымовую трубу и рассеиванию в атмосфере продуктов горения, обеспечивающих допустимые приземные концентрации вредных веществ; управлению процессом термообработки в автоматическом режиме с использованием газоанализатора (что обеспечивает низкий уровень выбросов CO).

Основные идеи, заложенные в конструкцию стенда при его создании, состоят в следующем.

1. Вместо традиционных материалов, таких, как шамот и диатомовый кирпич, при создании данной печи использованы современные волокнистые теплоизоляционные материалы, сочетающие в себе высокотемпературную стойкость, огнеупорные и теплоизоляционные свойства, низкую теплопроводность и малоинерционность. Оценки показывают, что применение этих материалов при модернизации парка термического оборудования позволяет добиться до 40% экономии природного газа в печах периодического действия и до 25% — в печах непрерывного действия. Использование указанных волокнистых материалов позволяет также добиться уменьшения габаритов печи за счет уменьшения толщины кладки, 10-кратного снижения массы футеровки, сокращения времени выхода печи на рабочий режим до 10–20 мин (вместо 8–12 ч и более), возможности загрузки деталей в «холодную» печь с повышением времени нагрева первой партии всего на 10–15%, увеличения числа теплосмен до 1000–2000, снижения трудоемкости монтажа футеровки. Использование новых материалов дает возможность решить и ряд других важных технических проблем, связанных с регулированием темпа нагрева металла.

Отметим, что новые футеровочные материалы в виде волокнистых плит стоят в несколько раз дороже, чем традиционный шамотный кирпич. Поэтому для снижения стоимости используемой футеровки была применена трехслойная схема: для внутреннего слоя изоляции использованы наиболее термостойкие (наиболее дорогие) плиты толщиной 10 см, выдерживающие температуру до 1430°C; второй слой изготовлен из более дешевых плит такой же толщины, выдерживающих температуру до 1260°C; наконец наружный слой изоляции толщиной 10 см изготовлен из еще более дешевого волокнистого материала Pаgос, выдерживающего температуру до 700°C. Такая схема футеровки печи вполне себя оправдала: была существенно снижена общая стоимость футеровочного материала, использованного на печи. С другой стороны, уникальное сочетание теплофизических свойств волокнистых плит (сочетание высокой эффективной степени черноты с низкой теплопроводностью и теплоемкостью) вполне позволяет использовать такую комбинацию материалов: после полутора часов работы печи с температурой 1000°C в рабочей камере температура даже на границе между первым и вторым слоем футеровки не превысила 30°C.

2. На печи применено повторное использование (рекуперация) тепла уходящих из печи горячих дымовых газов для предварительного подогрева воздуха, подающегося на горение. Эффективность тепловой работы печи напрямую зависит от того, насколько горячие дымовые газы выбрасываются в дымовую трубу. Подогрев воздуха, подающегося на горение, до температуры 200–250°C позволяет экономить 7–9% природного газа.

3. Важным элементом созданной печи является автоматическое управление режимом нагрева, т.е. исключение человеческого фактора из сложного технологического процесса. Мировой и отечественный опыт управления процессом печного нагрева стальных изделий показывает, что только за счет устранения субъективного человеческого фактора в данном процессе и использования системы автоматического управления можно увеличить к.п.д. печи на 5–7%, поскольку расход газа на нагрев зачастую зависит от квалификации оператора, обслуживающего печь. Использование в системе автоматического регулирования газоанализатора позволяет соблюдать жесткие экологические требования по выбросам угарного газа и оксидов азота в атмосферу, а также выдерживать заданное соотношение газа и воздуха, подаваемых на горение. Автоматическое поддержание данного соотношения на заданном уровне позволяет также сэкономить около 5–7% газа за счет отсутствия необходимости прогревать излишек воздуха до высокой температуры, а также существенно уменьшить вредное образование окалины на поверхности металла.

4. Применение на созданной печи вместо традиционных инжекционных горелок современ-

ных плоскопламенных газогорелочных устройств позволило обеспечить более полное и эффективное сжигание газа, более равномерное отопление печи и снизить потребление топлива на 10–15%.

Отметим, что, помимо перечисленных мероприятий, общих для всех термических и нагревательных печей, могут применяться и специфические для конкретной печи технические решения, связанные с выбором оптимального режима нагрева металла, а также с использованием схемы рециркуляции дымовых газов, когда небольшая доля уходящих дымовых газов подмешивается в воздух, подаваемый на горение. Применение этих технических решений также позволяет повысить эффективность использования природного газа. Как уже отмечено выше, перечисленные технические решения были воплощены в конкретной экспериментальной установке – печи с выкатным подом, созданной на базе Института тепло- и массообмена НАН Беларуси. Разработанная и построенная печь позволила повысить эффективность использования природного газа в 2,5–3,0 раза по сравнению со средним показателем в промышленности республики. Так, тепловой к.п.д. печи в зависимости от используемого режима нагрева может достигать 35–45%, что находится на уровне и даже несколько превосходит лучшие зарубежные аналоги. Отметим также, что в процессе работы над стендом была создана уникальная система автоматического управления процессом нагрева, не имеющая аналогов в странах СНГ. Эта система с минимальным числом доработок, учитывающих специфику конкретного производства, может уже сегодня массово внедряться на промышленных предприятиях республики.

Выполненные разработки ученых НАН Беларуси положены в основу разработки концепции модернизации и реконструкции печного парка промышленности Республики Беларусь, основные положения реализации которой включают следующее.

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

2. Исследование современного состояния вопроса в области 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): план технической реконструкции; определение типоряда современных конструкций для длительного использования на территории Республики Беларусь; план усовершенствования тепловых режимов; создание АСУ ТП на печных участках.

4. Реализация комплексного плана модернизации и реконструкции печного парка: технико-экономическое обоснование реконструкции; проектная и нормативно-технологическая документация; строительные-монтажные и пусконаладочные работы; внедрение современных конструкций печных установок и прогрессивных тепловых режимов.

Для реализации комплексного плана организационная структура должна включать вновь созданный республиканский центр печного хозяйства, координирующий все работы, связанные с модернизацией печного парка (исследования и оптимизация тепловых режимов работ печей, разработка конструкторской документации на изготовление печей и газогорелочных устройств, разработка и изготовление автоматических систем управления технологическим процессом, разработка проектно-сметной документации на внедрение в эксплуатацию печей с привязкой к существующему производству, осуществление строительные-монтажных и пусконаладочных работ, обучение рабочего персонала).

Названный центр должен иметь в своей структуре следующие организации: специализированное конструкторское бюро для разработки конструкторской документации печей и газогорелочных устройств (в настоящее время такое бюро в республике отсутствует); завод-изготовитель печного оборудования; предприятие-изготовитель современной микропроцессорной техники для систем АСУ ТП; организацию-генпроектировщика; пусконаладочную организацию; организацию-разработчика программно-технических средств АСУ ТП (НАН Беларуси).

Реализацию концепции технического перевооружения и модернизации печного парка промышленных предприятий Республики Беларусь необходимо осуществлять поэтапно.

В первую очередь следует создать современный парк печей в условиях отдельно взятой организации с целью дальнейшего тиражирования разработок на других энергоемких предприятиях.

В качестве такого предприятия представляется целесообразным определить РУП «Минский автомобильный завод», что обусловлено следующими обстоятельствами:

- низкий технический и теплоэнергетический уровень печного хозяйства (нагревательных и термических печей), неблагоприятная экологическая ситуация в литейных, кузнечно-штамповочных и термических цехах;

- результаты энергетических обследований тепловых агрегатов, выполненных специалистами НАН Беларуси;

- разработанные учеными НАН Беларуси совместно с техническими службами РУП «МАЗ» мероприятия по реструктуризации печного комплекса (применительно к 72 нагревательным и термическим печам);

- выполненные в рамках государственных программ фундаментальных исследований тепло-

технические расчеты и сопоставительный анализ теплоэнергетических показателей действующего и предлагаемого печного оборудования.

При разработке концепции модернизации парка термических и нагревательных печей следует учесть еще и то, что в Республике Беларусь (за исключением подшипникового завода № 11) нет промышленных предприятий с массовым характером производства. РУП «Минский автомобильный завод» и ПО «Минский тракторный завод» являются предприятиями с серийным, но не с крупносерийным, и тем более не с массовым характером производства. Поэтому применять электроэнергию в качестве первичного источника энергии на нагревательных и термических печах категорически не рекомендовано (это доказано мировым опытом), и стратегию восстановления печного хозяйства в Республике Беларусь с точки зрения экономики и энергетической безопасности целесообразно строить лишь с использованием органического топлива (жидкого и газообразного).

Важно учесть тот факт, что машиностроительные предприятия РБ классифицируются по группам производственных комплексов (цехах):

- заготовительный комплекс завода (цехи: собственно заготовительные, стале- и чугунолитейные, кузнечные, цехи сварки корпусных изделий);
- механосборочный комплекс завода (в основном это цехи сборки, РМЦ, цехи экспериментальной разработки, механические, РМЦ и др.).

Цехи заготовительного и механосборочного комплексов имеют как нагревательные, так и термические печи, сильно отличающиеся друг от друга, следовательно, модернизацию их парка нужно рассматривать с разных позиций и при условии, что нагревательные и термические печи заготовительного производства должны быть унифицированы для всех заводов Республики Беларусь. Печи механосборочного производства должны быть также представлены единым типорядом пламенных печей для всех без исключения предприятий республики.

Заготовительное производство. Включает как нагревательные, так и термические печи (в основном в литейных и кузнечных цехах):

а) нагревательные печи должны представлять единый типоряд пламенных проходных (методических и полуметодических) печей с единым типоразмером для всех заводов (типоряд по производительности). Типоразмерный ряд может состоять из печей производительностью 0,4; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 4,0 (либо 5,0) и 10,0 т/ч. Изготовление других печей приведет к их аномально низкому коэффициенту загрузки при одно- и двусменном режиме работы;

б) термические печи также должны быть представлены одним типорядом проходных печей для отжига модифицированного чугуна в защитной атмосфере (к примеру, азоте) и одним типорядом термических пламенных проходных печей для термоулучшения стального литья (зака-

лочно-отпускные агрегаты: закалочная печь — закалочный бак — печь отпуска).

Типоряд (по производительности) пламенных печей для отжига чугуна должен включать проходные печи типоразмеров 5; 15 и 30 т/ч (всего три типоразмера).

Типоряд (по производительности) пламенных проходных печей для термоулучшения стального литья (закалочно-отпускные агрегаты) включает печи типоразмера 1,0–1,2 т/ч.

Указанные печи должны полностью покрыть потребности промышленных предприятий республики.

Механосборочное производство (цехи сборочные, механические и др.). В данном случае преобладает термическая обработка. В основном это закалка и отпуск, а также цементация (химико-термическая обработка). Для реализации операций термической обработки необходимы закалочно-отпускной (пламенный) проходной агрегат производительностью 1,0–1,2 т/ч (всего один типоразмер); цементационно-закалочно-отпускной пламенный агрегат (контролируемая атмосфера) производительностью 2 т/ч (всего один типоразмер).

Как и в случае заготовительного производства, других агрегатов и нагревательных устройств разрабатывать не следует ни по типорядам, ни по типоразмерам в типорядах. Такой подход позволит упростить, систематизировать и унифицировать разработку конструкторской и проектно-сметной документации, а, следовательно, удешевить сам процесс модернизации.

В результате предварительно выполненных работ установлено, что экономия топлива при реализации концепции технического перевооружения и модернизации печного парка промышленных предприятий Республики Беларусь составит от 30 до 60% (в зависимости от типа и существующего состояния газопламенных печей), к.п.д. увеличится до 30–40% (взамен существующего 5–15%).

Предварительная оценка экономической эффективности от модернизации печного парка РУП «МАЗ» (только лишь для условий 72 печей, подлежащих замене и реконструкции в первоочередном порядке) показала, что экономический эффект может составить около 8 млн. долл. США в год, а срок окупаемости при капитальных вложениях на уровне 27 млрд. руб. (на 2007–2009 гг.) составит 3–4 года.

Авторы выражают благодарность профессору А.П. Несенчуку за полезные обсуждения и предложения, высказанные при написании данной работы. В выполнении работы также принимали участие сотрудники лаборатории теплофизики металлургических производств ГНУ ИТМО НАН Беларуси: зав. лаб., канд. физ.-мат. наук П.С. Гринчук, вед. науч. сотр., канд. техн. наук В.В. Торопов, науч. сотр. А.Н. Ознобишин, вед. инж.-конструктор Н.В. Якутович, сотрудники БНТУ: зав. лаб., канд. техн. наук Н.Л. Мандель, проф., д-р техн. наук И.А. Трусова, ст. науч. сотр., канд. техн. наук С.М. Кабишов.