

**СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД
К МОДЕРНИЗАЦИИ ПЕЧНОГО ХОЗЯЙСТВА
ЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО И МЕХАНОСБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ И АВТОТРАКТОРНЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Докт. техн. наук, проф. **НЕСЕНЧУК А. П.**

Белорусский национальный технический университет

Ставя целью получение промышленного продукта заданного потребительского качества при достаточно низких затратах энергетических ресурсов, можно сформулировать основные направления создания парка печного хозяйства высокотемпературных промышленных теплотехнологий. А также помня, что основа нагрева и термообработки – это качество заготовок перед горячим формообразованием и продукции термической обработки, а качество – продукт соблюдения технологии нагрева (технологической дисциплины), что зафиксировано температурным (режимным) графиком, все мероприятия по модернизации парка печей следует начинать с решения вопросов, касающихся температурного графика нагрева (термообработки). При этом нужно:

- установить, имеется ли температурный график конкретного теплового процесса конкретного изделия (заготовки) из конкретной стали (изменение сорта стали влечет за собой необходимость переработки уже имеющегося температурного графика) и конкретной формы;
- выяснить, как может соблюдаться температурный график, если печь не оснащена приборами контроля (расходы топлива и воздуха-окислителя, теплота сгорания топлива, приборы измерения давления и температуры по зонам печи). Если такого контроля нет (о автоматическом регулировании тепловой нагрузки зон пока речь не идет), то, естественно, никакого разговора о модернизации быть не может.

Если эти вопросы не решены на первом этапе работ, то приступать к реализации регенеративного (в отдельных случаях и утилизационного) теплоиспользования, применению современных высокоэффективных огнеупорных и теплоизоляционных материалов, совершенных схем ручного и автоматического регулирования (к примеру, с учетом импульса по температуре воздуха-окислителя на величину коэффициента избытка воздуха, что сегодня нигде не используется) не следует, так как это не даст должного положительного эффекта.

Известно, что от регенеративного теплоиспользования затраты топлива на нагрев и термообработку могут быть снижены на величину от 9 до 15 %

$$B_{\text{факт}} = B - \Delta B,$$

где

$$\Delta B = B \mathcal{E}_{\text{под}} \mathcal{E} \%.$$

Здесь $\mathcal{E}_{\text{под}}$ – топливный эквивалент подогрева; $\mathcal{E}_{\text{под}} = 1/\eta_{\text{и.т}}$; $\mathcal{E}_{\%}$ – сокращение подачи топлива в рабочее пространство печи при подогреве окислителя топлива.

В итоге фактический технологический КПД печи запишется следующим образом:

$$\eta_{\text{техн}}^{\text{ф}} = \frac{Q}{(B - \Delta B)Q_{\text{н}}^{\text{р}}} \cdot 100 \%$$

Причем: $\eta_{\text{техн}} < \eta_{\text{техн}}^{\text{ф}}$; $\eta_{\text{техн}} = \frac{Q}{BQ_{\text{н}}^{\text{р}}}$.

Эффект для цеха (завода) еще увеличится (он оценивается энергетическим КПД), если реализовать (пусть с большим трудом) внешнее (утилизационное) теплоиспользование

$$\eta_{\text{энерг}}^{\text{ф}} = \frac{Q + Q_{\text{доп}}}{(B - \Delta B)Q_{\text{н}}^{\text{р}}} \cdot 100 \%$$

где $Q_{\text{доп}}$ – энергетическая составляющая дополнительного технологического продукта, полученного в результате внедрения утилизационного теплоиспользования.

Кроме реализации внутреннего теплоиспользования с эффектом $\Delta B = 10 \%$, внедрение качественных кладочных материалов позволит снизить затраты топлива еще на 5–10 %. В итоге будем иметь

$$\sum \eta_{\text{техн}}^{\text{ф}} = \eta_{\text{техн}} + \Delta \eta_{\text{техн}}^{\text{ф}} + \Delta \eta_{\text{техн}}^{\text{фут.мат}}$$

где $\eta_{\text{техн}}$ – КПД без регенеративного и утилизационного теплоиспользования ($\eta_{\text{техн}} \cong 15 \%$); $\Delta \eta_{\text{техн}}^{\text{ф}}$ – добавка (снижение затрат топлива) от регенеративного теплоиспользования, $\Delta \eta_{\text{техн}}^{\text{ф}} \cong 10 \%$; $\Delta \eta_{\text{техн}}^{\text{фут.мат}} \cong 10 \%$.

Итак:

$$\sum \eta_{\text{техн}}^{\text{ф}} \cong 15 + 10 + 10 \cong 35 \%$$

Как видим, реально технологический КПД нагревательных и термических печей машиностроительных и автотракторных производств республики может находиться на уровне 35–37 %. Сегодня же он составляет величину 17–5 % и менее.

Реальная возможность повышения эффективности сжигания топлива имеется. Однако это только реальная возможность модернизации. Недостаточно иметь температурный график и контроль за его соблюдением. Нужно уметь управлять процессом нагрева (горячее формообразование и термообработка). Управление (соблюдение соответствия) процессом нагрева – удел систем автоматического (ручного) теплового регулирования нагрузки многозонного объекта (две-три зоны регулирования). Без системы управления многозонным объектом контроль не может дать положительного эффекта. Автоматическое (ручное) регулирование исполнительными органами схемы – это также только предпосылка, но предпосылка вполне реальная. На этом фоне будет виден эффект и от регенеративного теплоис-

пользования, и от снижения потерь теплоты через ограждающую конструкцию рабочего пространства огнетехнической установки.

Итак, внедрение зонального регулирования (автоматического и ручного) само по себе экономии не дает. Это только реальная возможность. Можно предложить блок-схему автоматического (с элементами ручного) регулирования многозонного объекта, пригодную как для нагревательных, так и для термических печей заводов Республики Беларусь (рис. 1).

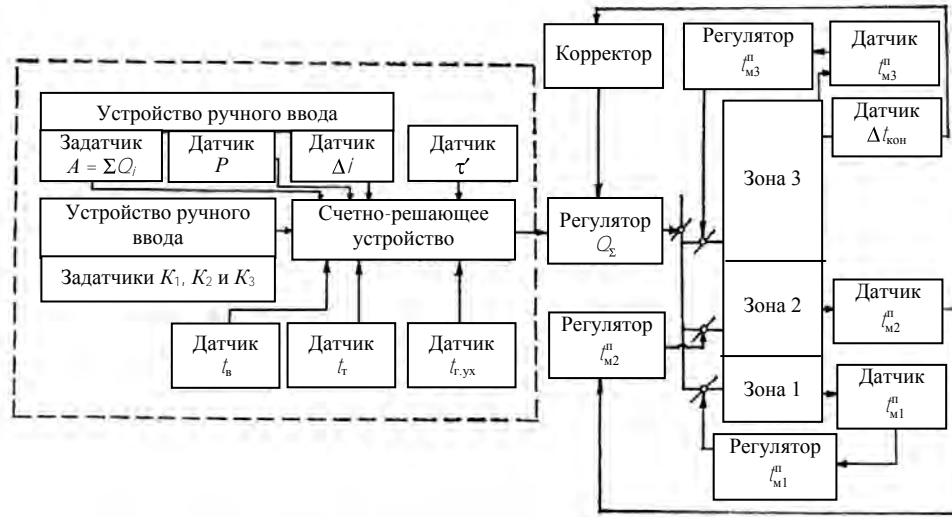


Рис. 1. Блок-схема регулирования тепловой нагрузки многозонной печи

Схема (рис. 1) предусматривает коррекцию работы регулятора Q_{Σ} по температуре подогрева воздуха-окислителя, что выгодно отличает ее от имеющихся и внедренных в промышленности. Схема получена с учетом уравнения регулирования тепловой нагрузки

$$Q_{\Sigma} = \frac{\rho \Delta t \tau' + A}{1 + k_1 t_v + k_2 t_t - k_3 t_{t,yx}},$$

где τ' – темп толкания садки (предполагается проходная конструкция печи).

Также нужно определиться с существующей классификацией цехов и характером производства заводов машиностроительного и автотракторного профилей, которые имеются в Республике Беларусь, так как это в значительной (подавляющей) мере определяет выбор энергоносителя (электроэнергия либо органическое топливо).

В Беларуси нет промышленных предприятий (за исключением подшипникового завода № 11) с массовым характером производства (РУП «Минский автомобильный завод» и ПО «Минский тракторный завод» – это предприятия с серийным, даже не с крупносерийным, и тем более не с массовым характером производства). Если таких заводов (исключая ПО «ГПЗ-11») нет, то в Республике Беларусь использовать электроэнергию в качестве первичного источника энергии категорически запрещено.

Как вывод: в Республике Беларусь можно (экономически целесообразно) базировать стратегию восстановления печного хозяйства лишь с ис-

пользованием органического топлива, а следовательно, серийно выпускаемые печи типов СТЦА и СТЗА (и их разновидности, серийно выпускаемые заводами электротермического оборудования России) в белорусской промышленности использовать противопоказано, так как будет нанесен большой вред ее экономике.

Таким образом, установлено, что развитие парка печей в нашей стране может происходить только при наличии газообразного и жидкого топлива (отсюда и появились на белорусских заводах комбинированные горелочные устройства КГМГ, на случай провала топливно-энергетического баланса, запланированного заранее энергобаланса промпредприятия по газообразному топливу в январе–феврале, всего несколько дней в году).

Машиностроительные и автотракторные предприятия Республики Беларусь классифицируются по группам производственных комплексов (цехам). Это:

- 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 (вагранки, нагревательные печи – все на газообразном топливе), так и термические печи. Однако печи этих производств сильно отличаются друг от друга, а следовательно, реанимацию их парка (модернизацию) нужно рассматривать с разных позиций в рамках заготовительного и механосборочного производств 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 заводов.

Заготовительное производство. Заготовительные цехи содержат и нагревательные, и термические печи (в основном это ЛЦ и кузнечные цехи или корпуса):

а) нагревательные печи для предприятий Республики Беларусь должны представлять единый типоряд пламенных проходных (методические и полуметодические) печей с единым типоразмером для всех заводов (типоряд по производительности). Итак, типоразмерный ряд «близнецов»: 0,4; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 4,0 (5,0; 10,0) т/ч – всего в типоряду шесть типоразмеров пламенных печей. Другие печи разрабатывать нельзя, так как у них будет аномальный коэффициент загрузки при одно- и двусменном режимах работы;

б) термические печи (как уже сложилось для предприятий Республики Беларусь) также должны быть представлены одним типорядом проходных печей для отжига модифицированного чугуна в защитной атмосфере (к примеру, азота) и одним типорядом термических пламенных проходных печей для термоулучшения стального литья (закально-отпускные агрегаты: закалочная печь – закалочный бак – печь отпуска).

Типоряд по производительности пламенных печей для отжига чугуна должен включать проходные печи трех типоразмеров: 5; 15 и 30 т/ч.

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

Других печей в заготовительном производстве заводов республики быть не должно.

Механосборочное производство (цехи сборочные, механические и др.). Здесь преобладает термическая обработка. В основном это закалка и отпуск, а также цементация (химико-термическая обработка). Для реализации операций термической обработки необходимо иметь:

- закально-отпускной (пламенный) проходной агрегат производительностью 1,0–1,2 т/ч (один типоразмер);
- цементационно-закально-отпускной агрегат (контролируемая атмосфера), пламенный, производительностью 2,0 т/ч (всего один типоразмер в типоряду).

Как и в случае заготовительного производства, здесь не следует разрабатывать другие агрегаты и нагревательные устройства ни по типорядам, ни по типоразмерам в типорядах. Все ясно, просто, систематизировано и унифицировано, а, следовательно, – недорого. За разработку и создание печей, отличных от предложенных, приводящих к разбазариванию средств, их удорожанию при строительстве и эксплуатации нужно строго наказывать.

Теперь переходим к самому главному – к модернизации. Модернизация должна обеспечить КПД печей заготовительного и механосборочного производств на уровне 35–37 %. Сегодня парк печей имеет КПД 5–17 %, т. е. модернизацию нужно организовать в направлении возрастания КПД вдвое, а в отдельных случаях – втрое. Как мы уже заметили, такая возможность имеется и ее реализация вполне реальна.

Модернизация (реанимация) состоит в основном в создании парка печей проходных (методических и полуметодических) заготовительного и механосборочного производства, обладающих КПД не менее 35–37 % и удовлетворяющих требованиям существующих заводских теплотехнологий, а также учитывать возможность инновационных технологических процессов на ближайшие 15–20 лет (автоматизация загрузки и выгрузки, перемещения садки в пределах рабочего пространства, внедрение новых схем автоматического (ручного) регулирования тепловой нагрузки зон рабочего пространства, внедрение хорошо управляемых горелочных устройств и др.).

На основном этапе модернизации работы должны быть направлены на разработку и систематизацию рациональных режимов и температурных графиков основных (практически всех) тепловых процессов в многозонном нагревательном устройстве, а также на создание надежных схем регулирования процесса, что позволяет максимально приблизить реальный процесс нагрева к разрабатываемому температурному графику и обеспечить экономичный, гарантированный режим нагрева с заданным технологическим качеством поковок и продукта термообработки (рис. 2).

На рис. 2б представлен фактический температурный график нагрева, максимально приближенный к теоретическому.

Влияние газогорелочного устройства на величину технологического КПД. Бесспорно, печь (нагревательная, термическая) должна быть оснащена современным горелочным устройством. Установлено, что хорошее горелочное устройство создает предпосылки сокращения удельного расхода топлива на нагрев в пределах 0,1–0,5 %. При современном состоянии печного хозяйства, где КПД составляет всего 5–17 % (а его нужно повысить до 35–37 %), такое влияние ничтожно мало, тем более, что содержание CO и H₂ в нагревательных печах определяется не величиной избытка воздуха α , а диссоциацией CO₂ и H₂O, и влияние диссоциации на экономичность работы печи существенно выше, чем это имеет место при регулировке α .

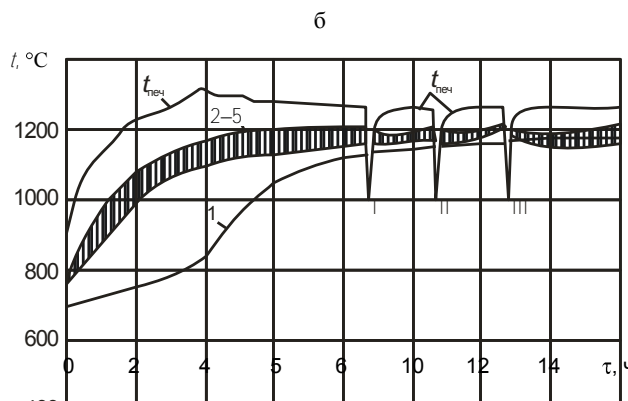
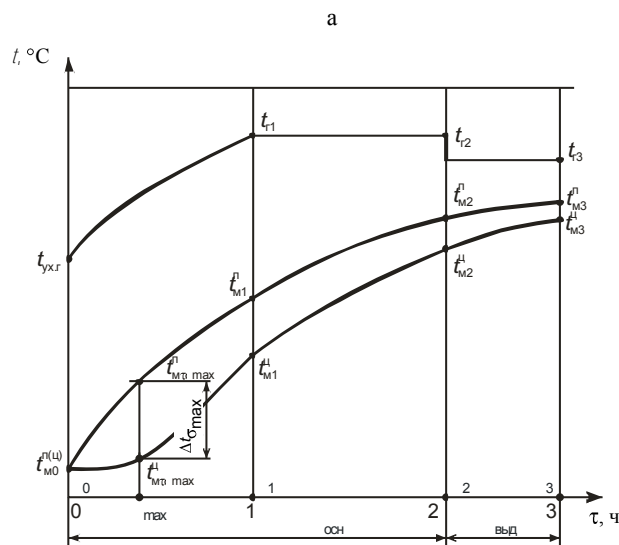


Рис. 2. График нагрева в печи слитка стали 5ХГСВФА. 1 – температура в центре слитка; 2–5 – температура на поверхности слитка; а – теоретический график нагрева; б – действительный график нагрева слитка во временных зонах камерной печи

Следовательно, идея создания сверхординарного газогорелочного устройства при модернизации на первом этапе должна быть отложена.

Влияние регенеративного теплоиспользования. На рис. 3 показана зависимость экономического эффекта $\mathcal{E}\%$ от $t_{г.ух}$ и $t_{в.о.}$. В отличие от качества горения топлива такое влияние весьма ощутимо. Оно оценивается

в 5–15 % при наличии надежного, хорошо зарекомендовавшего себя рекуператора.

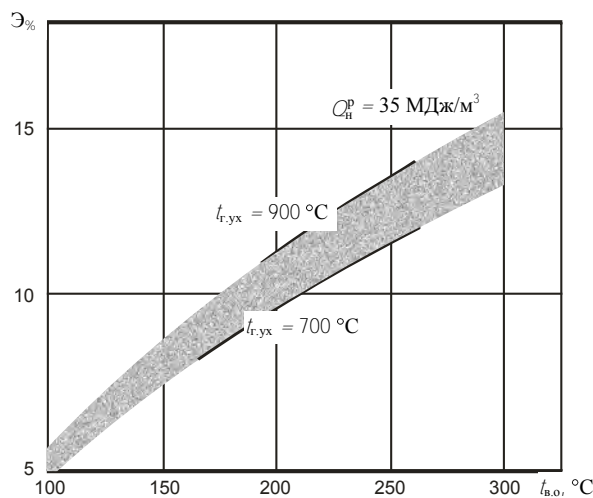


Рис. 3. Графики зависимости $\mathcal{E}_{\%} = f(t_{г.ух}; t_{в.о})$

Графики (рис. 3) построены для природного горючего газа ($Q_{н}^p = 35 \text{ МДж/м}^3$) и рассчитаны по формуле

$$\mathcal{E}_{\%} = \frac{i_{в.о}}{i_m + i_{в.о} - i_{г.ух}} \cdot 100 \%$$

При оснащении всех (без исключения) печей устройством для регенеративного теплоиспользования нужно напрочь отказаться от петлевого трубчатого рекуператора, который по ряду объективных причин в ближайшие годы не может быть внедрен на промышленных предприятиях Республики Беларусь.

Следует создать чугунный рекуператор из игольчатых унифицированных элементов, модифицированных кремнием и хромом (никелем). Элемент должен изготавливаться непосредственно литьем чугуна в заводскую литейную форму с механической доработкой по месту. Необходимы унифицированные типоряды «М-I» или «М-II» (без наружного оребрения). Типоряд должен быть выполнен по производительности печи: 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 4,0 (5; 10) т/ч и по температуре: 100; 150; 200 и 250 °C (возможны типоразмеры, соответствующие температуре подогрева воздуха-окислителя до 300 °C). Рекуператор должен иметь два модуля «М-I» и «М-II», быть взаимозаменяемым и применим для любой нагревательной либо термической печи.

Внедрение регенеративного (не утилизационного) теплоиспользования – это мощный рычаг в деле повышения КПД печи. Эффект от подогрева воздуха-окислителя складывается из $\mathcal{E}_{\%}$ (рис. 3) и топливного эквивалента подогрева $\mathcal{E}_{\text{под}}$

$$\Delta B = B \varepsilon_{\%} \varepsilon_{\text{под}} = B \varepsilon_{\%} \frac{1}{\eta_{\text{и.т}}}$$

Это верных 10–12 % снижения удельного расхода топлива на нагрев (термообработку) против 0,1–0,5 % от модернизации горелочных устройств.

Влияние теплопотерь через ограждающую конструкцию (футеровочный и теплоизоляционный слой). На данный момент разработаны и серийно изготавливаются в Украине и Российской Федерации принципиально новые материалы для кладки печей. У таких материалов коэффициент теплопроводности вдвое, а в подавляющих случаях на порядок ниже существующего у применяемых сегодня в Республике Беларусь материалов [1–4]. Это свидетельствует о том, что, применяя такие футеровочные (к примеру, карбидкремниевые) и теплоизоляционные (легковесные волокнистые) материалы, можно повысить КПД еще на 10 %.

Место внешнего (утилизационного) теплоиспользования в деле модернизации печного парка заводов Республики Беларусь. Утилизационное использование не может повысить (может только снизить) технологический КПД печи. Однако положительный эффект от утилизационного теплоиспользования в полной мере скажется на энергетическом КПД $\eta_{\text{эн}}$ системы: печь – рекуператор – утилизатор. Причем $\eta_{\text{эн}} > \eta_{\text{техн}}$ на величину дополнительного энергоносителя, выработанного в устройстве для внешнего теплоиспользования $Q_{\text{доп.техн.пр}}$:

$$\eta_{\text{эн}} = \frac{Q + Q_{\text{доп.техн.пр}}}{(B - \Delta B) Q_{\text{н}}} \cdot 100 \%$$

Но, к сожалению, реальных предпосылок для внедрения комбинированного (регенеративного и утилизационного) теплоиспользования нет. Правда, имеются отдельные теплотехнологии термической обработки (закалочной-отпускной агрегат, термоулучшение стального литья), где отпускная печь может работать на тепловых отходах закалочной печи. Такой вариант необходимо просчитать и попытаться внедрить на одном из автотракторных предприятий Республики Беларусь (рис. 4). Однако такая теплотехнология может и не реализоваться, и тогда целесообразно для отпускной печи использовать стандартный газопоршневой двигатель (когенерационное теплоиспользование), где установленная мощность двигателя подбирается по мощности отпускной печи агрегата термоулучшения.

Здесь изложена единственно разумная стратегия развития существующего парка печей при существующих теплотехнологиях, т. е. на ближайшие 15–20 лет.

Восстановление и модернизация печного хозяйства промышленных предприятий Республики Беларусь – длительный и очень серьезный процесс, в котором звенья всех работ должны быть воссоединены в единую логическую и последовательную цепь. В этой цепи разум людского фактора должен главенствовать над всеми плановыми и внеплановыми мероприятиями. Как же могло случиться, что всевозможные «энергосберегающие» организации на протяжении нескольких десятков лет «плодотворной» работы не предусмотрели контроль за процессом «энергосбере-

жения»? Сегодня на предприятиях нет элементарных приборов контроля (хотя бы контроля расхода газообразного топлива конкретной печью, сушилом). Почему и кому это выгодно (кстати, даже в однокомнатной квартире с месячным расходом горючего газа в 1–3 м³ расходомер существует и работает, а на печи с расходом в 20–40 м³ газа в час этого прибора учета нет).

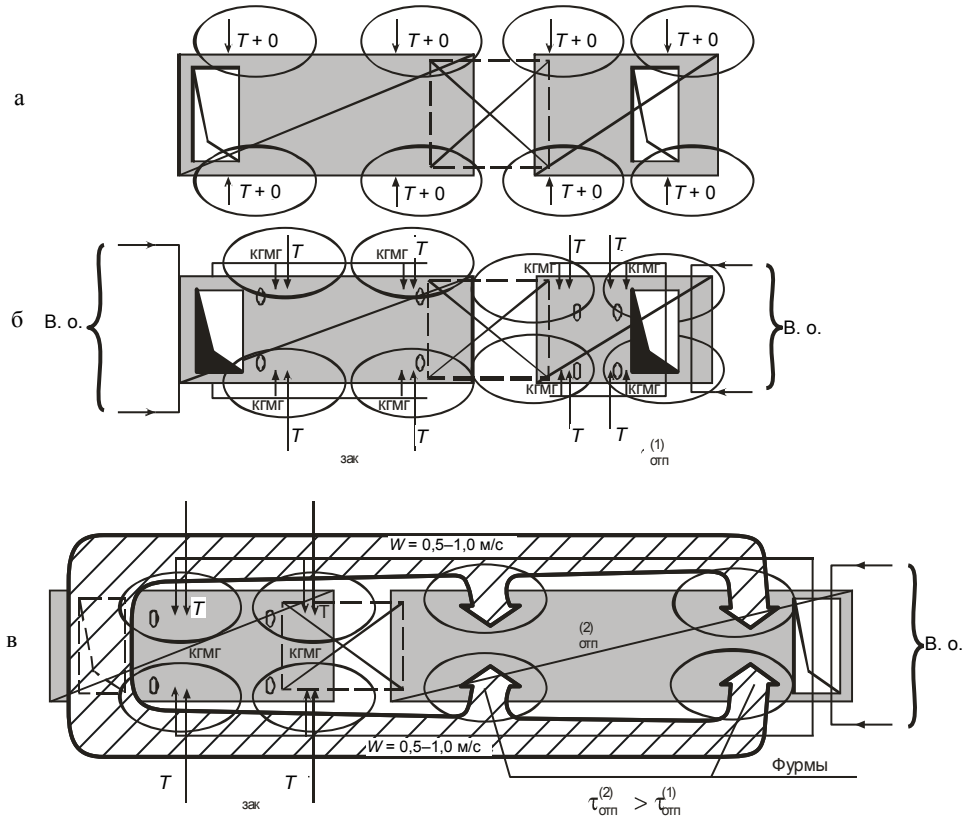


Рис. 4. Возможные схемы теплоиспользования тепловых отходов закально-отпускного агрегата (термоулучшение) стального литья: а – без использования тепловых отходов ($\eta = 5-10 \%$); б – с регенеративным теплоиспользованием ($\eta = 35-37 \%$); в – с комбинированным теплоиспользованием ($\eta = 35-37 \%$; $\eta_{\text{ан}} = 60 \%$)

Не ответив на этот главный вопрос, заниматься модернизацией печного хозяйства нет никакого смысла. Ведь проводимые аудиты в течение 30–40 лет не дали положительного результата (КПД печи как был в 1954 г. на уровне 2–17 %, таким и остался спустя 50 лет). Человеческий фактор в этом сложном процессе – главное его звено.

На тех предприятиях (станционные теплотехнологии), где снижению (контролю) нормы расхода топлива на выработку конечного продукта (электрическая и тепловая энергия) уделяют серьезное внимание, оборудование имеет системы контроля за теплотой сгорания топлива (непрерывная запись), его расходом (непрерывный контроль), непрерывно сводится тепловой баланс с выдачей КПД и выдаются цифры удельного расхода топлива.

В связи с особенностями современной энергетики «энергосбережение» (снижение удельной нормы расхода условного топлива) приобретает статус основной энергетической проблемы современности.

Основные пути ее решения известны:

- 1) повышение КПД (снижение удельных расходов энергоресурсов) установок как потребляющих, так и генерирующих;
- 2) использование вторичных энергоресурсов (ВЭР);
- 3) наведение должного порядка в использовании энергоресурсов;
- 4) реструктуризация промышленности;
- 5) использование рациональных технологий;
- 6) рациональное построение теплоэнергетической системы промышленного предприятия (ТЭСИП).

Возможности первых двух направлений во многом реализованы, поскольку именно они традиционно были в области ведения энерготехнологов, а потому достаточно изучены и в определенном смысле представляют меньший интерес. Для них, как правило, характерна традиционная методическая основа решения проблемы энергосбережения, отличающаяся дискретностью энергетического анализа в рамках отдельных агрегатов и частных мероприятий. И повышение энергетического КПД, и увеличение степени утилизации ВЭР требуют меньшей популяризации в связи с их очевидной связью с первым законом термодинамики. По последней причине понятна их притягательность, но дальнейшее продвижение по этим направлениям сопровождается эффектом, который не соответствует затратам, потребовавшимся на его достижение. В отношении КПД отдельных взятых агрегатов следует отметить, что для многих из них и, прежде всего энергетических, достигнуты значения, близкие к практическому потолку. Утилизация ВЭР в своей реализации наталкивается на проблемы временных дисбалансов потребления и генерации, аккумуляции, очистки энергоносителей, обратной пропорциональности стоимости использования энергоресурса и его температурного уровня.

Третий путь характеризуется значительно большей актуальностью. Исторически сложились такие отношения, когда энергия, являясь одним из важнейших ресурсов, до последнего времени, к сожалению, таковым не считалась, а потому ее использованию не уделялось должного внимания. Соответственно складывались взаимоотношения между производственными службами, распределялись права и обязанности. Сегодня произошло признание энергии дорогостоящим ресурсом, и в этой связи заметно изменение в отношении людей к энергоиспользованию. Вместе с тем еще требуется время для достижения понимания, в первую очередь руководящим звеном, что для действительно эффективного использования этого дорогостоящего ресурса необходима кропотливая управленческая работа. Осознание важности этой работы является первым шагом на пути экономии топлива на предприятии. Осложняется ситуация и тем обстоятельством, что подходы к энергетическому управлению могут быть различными. Выбор зависит от сочетания многих факторов, прежде всего, индивидуального состояния предприятия и достигнутого уровня энергетического управления на нем. Обязательными являются достижение и сохранение

контроля над энергопотреблением и инвестирование мероприятий по изменению энергопотребления.

Неформальная бесконтрольность потребления энергии недалекого прошлого должна быть преодолена. На этом пути прежде всего необходимо улучшить структуру энергопотребления на предприятии. Она позволит выявить как основных потребителей энергии, так и отдельных ее носителей и форм в частности. В результате, как правило, происходит оценка использования альтернативных технологического оборудования и сложившихся методов управления им, проводимых кампаний по энергосбережению. Кроме того, в ходе данного этапа работ выявляются беззатратные и мало-затратные пути экономии органического топлива, связанные с устранением очевидных издержек прошлого отношения к использованию энергоресурсов.

Следующий шаг связан с мероприятиями, требующими существенных затрат, и мероприятиями по защите этих затрат. Без мер по защите вложенной ситуация на предприятии может стать еще более плачевной в сравнении с той, что была до попыток улучшения энергопотребления. Второй попытки добиться будет несравненно сложнее.

В соответствии с возможностями предприятия необходимо ранжировать предполагаемые мероприятия с учетом их эффективности и стоимости. Новые, непрерывно появляющиеся технологии энергообеспечения производственных процессов будут требовать дополнительных вложений денежных средств. В этой связи необходимы шаги по созданию информационной системы энергетического управления, обеспечивающей оперативную, всеобъемлющую информацию для всех звеньев, которым она необходима. Требуется постоянная поддержка руководства мер по привлечению квалифицированного энергетического персонала, соответствующего финансированию работ, динамического отслеживания ситуации, в том числе и в вопросах новых технологий энергообеспечения материального производства. В этой ситуации целесообразность энергетического управления становится очевидной. Вопросы энергетического управления включают:

- отслеживание текущего состояния энергетического управления;
- энергетическую политику, состоящую в создании официальной заинтересованности в энергетическом управлении на предприятии;
- организационные вопросы по неформальному внедрению во все управленческие структуры предприятия энергетического аспекта;
- развитие мотивации, стимулирующей энергосбережение у потребителей энергии и создающей эффективные взаимоотношения с ними;
- создание действенной информационной системы;
- пропаганду и рекламу энергетического управления на всех этапах технологического цикла;
- выбор проектов и обоснование вложений в изменение эффективности энергоиспользования;
- возможные варианты финансирования мероприятий.

Конкретное количество людей, привлекаемых к его выполнению, зависит от ряда факторов: доли энергетической составляющей себестоимости продукции предприятия и необходимой величины ее уменьшения, стадии

энергетического управления на предприятии, располагаемых средств. Очевидно, что с течением времени требуемое число сотрудников будет изменяться, но на всех стадиях необходимо ответственное лицо – энергетический управляющий. Задачи и обязанности его на первоначальном этапе следующие:

- формулирование и выполнение энергетической политики;
- сбор и ведение информации об энергопотреблении и выбросах в окружающую среду;
- регулярное информирование руководства и всех лиц, ответственных за энергопотребление, о текущей ситуации;
- контроль выгодности приобретения энергоресурсов и их расходования;
- информация о проблемах энергетики для всего предприятия;
- внедрение эффективной эксплуатационной практики, разработка и отслеживание соответствующих административно-хозяйственных мероприятий;
- распространение опыта энергосбережения;
- выявление и экономическое обоснование мероприятий по повышению энергоэффективности;
- разработка инвестиционной программы по снижению энергопотребления и загрязнения окружающей среды;
- введение и сопровождение процедур оценки экономической эффективности мероприятий энергетического управления.

Переходя к оценке четвертого пути, нельзя не согласиться с тем, что при всей заманчивости реструктуризация промышленности с целью ее переориентации на выпуск продукции, не связанной с большими затратами энергоресурсов, весьма проблематична. Трудности связаны, прежде всего, с необходимостью изменения сложившейся системы на международном рынке распределения выпуска и потребления продукции.

Разработка малозатратных в энергетическом плане технологий не относится к компетенции промышленных теплоэнергетиков, но именно при его реализации крайне важно участие названных специалистов. Это вытекает из анализа временной структуры причин рассеяния энергии в технической системе. Для нее характерны три составляющие. Первая и меньшая связана со стадией эксплуатации, на которую приходится $2 \cdot 10\%$ возможностей снижения потерь. Оставшиеся $8 \cdot 10\%$ распределяются примерно поровну между двумя другими стадиями: созданием идеологии ТЭС/ТЭЦ, когда закладывается концепция энергообеспечения выбранного технологического процесса предприятия, и непосредственно проектированием и строительством. Однако если в выборе технологии в лучшем случае нужны лишь консультации энергетиков, то в создании энергообеспечения выбранной теплотехнологии роли должны быть перераспределены: ведущие позиции принадлежат системным промышленным теплоэнергетикам, а к роли консультантов привлекаются технологи. Исторически сложилось так, что на этих стадиях работы ведутся чаще всего специалистами-технологами, призванными решать совершенно иные задачи. В результате и объективно, и субъективно основные возможности снижения потребления первичных энергоресурсов сегодня лежат на пути рационального, с энерге-

тической точки зрения, построения ТЭСПП, обозначенного выше. Возможности эти, по всеобщему признанию, оцениваются в $\approx 5 \cdot 10$ % сегодняшнего потребления.

Для более полного понимания ситуации энергетику страны можно представить следующим образом (рис. 5) [5].

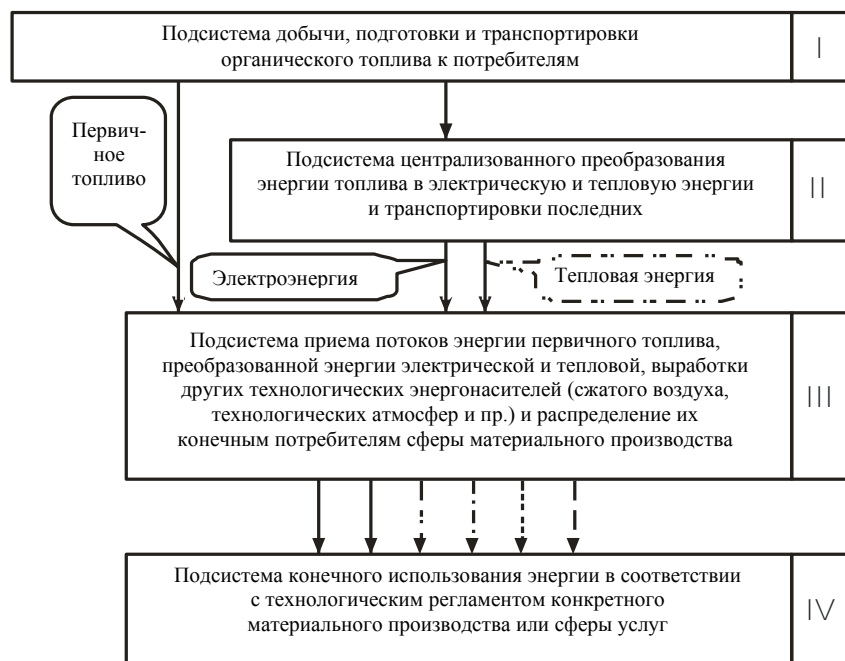


Рис. 5. Принципиальная структурная схема энергетики материального производства

На первых трех составляющих ее подсистем привлекаются к работе специалисты энергетики. В частности, к третьей подсистеме относится служба главного энергетика промышленного предприятия. Для этих подсистем в совокупности коэффициент преобразования энергии не опускается ниже 25 %. Четвертая подсистема в большинстве случаев – теплотехнологическая, что вытекает из структуры энергопотребления промышленного производства. Из вышеизложенного следует, что создается она, как правило, специалистами, не имеющими отношения к промышленной энергетике. Коэффициент использования первичной энергии здесь крайне редко превышает 5–10 %, опускаясь в ряде случаев ниже 2 %. Традиционный подход к энергообеспечению теплотехнологических процессов отличается дискретностью энергетического анализа в узких границах отдельных теплотехнологических агрегатов и в рамках частных мероприятий, что абсолютно недостаточно для достижения уровня эффективного использования энергии. Предпосылкой радикального сдвига в изменении ситуации с энергообеспечением теплотехнологий в системах преобразования вещества является внедрение методологии системного подхода к обеспечению теплотехнологических производств и комплексного проведения соответствующих мероприятий, не относящихся напрямую к теплотехнологическому оборудованию (например, разработка генерального плана завода, обеспечивающая минимальное перемещение сырья, обустройство складов, транспортеров в плане блокирования путей увлажнения последнего и т. д.).

Крупномасштабное энергосбережение возможно лишь в рамках отраслевого технологического комплекса на основе рационального построения его структуры.

Общеизвестно, что оптимизацию сложных комплексов, к которым относятся и ТЭСПП, по любой целевой функции можно вести только на основе системного подхода. В сугубо энергетическом аспекте для этого следует:

- использовать иерархический принцип создания ТЭСПП, когда собственные энергогенерирующие мощности, отделенные непосредственно от технологического процесса, вводятся в ее структуру лишь для покрытия дисбалансов;

- применять компоновку оборудования, позволяющую реструктуризацию ТЭСПП после эксплуатации объекта в течение определенного отрезка времени, необходимого для мониторинга системы и индивидуальной оптимальной доработки состава подсистем, из чего вытекает необходимость многоэтапного финансирования создания объекта.

При построении ТЭСПП следует ориентироваться на блокирование путей потерь эксергии на всех стадиях протекания теплотехнологических процессов, прежде всего интеграцией взаимодополняющих теплотехнологий с большими внутренними потерями эксергии у одной на горячем, у другой – с большими внешними потерями эксергии на холодном торцах технологического процесса.

Сегодня очевидно, что энергетически рациональное построение теплотехнологической системы предприятия, в первую очередь, учитывает требования второго закона термодинамики. Как отмечалось, блокирование путей внутренних потерь эксергии, которые не могут быть определены из баланса энергии, и составляет основу эффективного энергообеспечения теплотехнологического процесса. Общий анализ систем, отличающихся энергетической рациональностью, показывает, что в наборе оборудования, образующего их структуру наряду с теплотехнологическими агрегатами, характерными для данной технологии, дополнительно появляются устройства с общими функциями, не зависящими от специфики технологий. Введение таких дополнительных подсистем в структуру теплотехнологической системы предприятия обеспечивает рациональность ее построения и повышает эффективность энергоиспользования.

В ы в о д ы

Таким образом, проблему энергосбережения, в связи с которой и ведется разговор об эффективном энергоиспользовании, необходимо разделять на две составляющие:

первая связана с созданием и внедрением энергосберегающих технологий и, как правило, не относится к компетенции промышленных энергетиков, а является прерогативой специалистов-технологов.

вторая связана с эффективным энергообеспечением выбранной теплотехнологии независимо от того, энергосберегающая она или не очень.

Выполнить работы по решению проблемы эффективного энергоиспользования в той или иной конкретной технологии призван системный специалист, владеющий вопросами промышленной теплоэнергетики и глубоко

понимающий данную технологию. Группа таких системных неформальных специалистов в каждой отрасли должна определять политику эффективного энергообеспечения специфических теплотехнологий отрасли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ладыгичев, М. Г. Огнеупоры для нагревательных и термических печей: справ. – 2-е изд., доп. / М. Г. Ладыгичев, В. Л. Гусовский, И. Д. Кашеев. – М.: Теплотехник, 2004. – 256 с.
2. Кашеев, И. Д. Свойства и применение огнеупоров: справ. / И. Д. Кашеев. – М.: Теплотехник, 2004. – 352 с.
3. Пивинский, Ю. Е. Неформованные огнеупоры: справ.: в 2 т. – Т. 1. Кн. 1: Общие вопросы технологии / Ю. Е. Пивинский. – 2-е изд. – М.: Теплотехник, 2004. – 448 с.
4. Неформованные огнеупоры: справ.: в 2 т. – Т. 2 / под ред. И. Д. Кашеева. – 2-е изд. – М.: Теплотехник, 2004. – 400 с.
5. Хрусталев, Б. М. Техническая термодинамика: учеб.: в 2 ч. – Ч. 1 / Б. М. Хрусталев [и др.]. – Минск: УП «Технопринт», 2004. – 487 с.

Представлена кафедрой
промышленной теплоэнергетики
и теплотехники

Поступила 10.01.2007

УДК 697.1

К ВОПРОСУ РАСЧЕТА СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ СОВРЕМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НАРУЖНЫХ СТЕН ЗДАНИЙ

Канд. техн. наук, доц. НЕСТЕРОВ Л. В., КРУТИЛИН А. Б

Белорусский национальный технический университет

В Республике Беларусь с целью экономии энергетических ресурсов одной из основных проблем ставится задача повышения теплозащитных качеств наружных ограждающих конструкций зданий. В СНБ 2.0.4.01–97 «Строительная теплотехника» показателем теплозащиты ограждающих конструкций является приведенное сопротивление теплопередаче. Как правило, для повышения приведенного сопротивления теплопередаче при проектировании наружных стен зданий одним из решений является увеличение их толщины теплоизоляционного слоя. В то же время с увеличением сопротивления теплопередаче наружных стен возрастает сток теплоты через теплопроводные включения, откосы проемов, стыки с плитами перекрытий и покрытий и т. п. При этом резко снижается величина приведенного сопротивления теплопередаче по сравнению с сопротивлением теплопередаче, рассчитанным по «глади» конструкции.

Применяемые в настоящее время инженерные методы расчета приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен представлены в [1–3]. С их помощью можно определить сопротивление теплопередаче конструкций с учетом их теплотехнической неоднородности. Так, В. Н. Бо-