

УДК 669.04

**В.И. ТИМОШПОЛЬСКИЙ**, д-р техн. наук,  
**И.А. ТРУСОВА**, д-р техн. наук,  
**Д.В. МЕНДЕЛЕВ**,  
**П.Э. РАТНИКОВ**, канд. техн. наук,  
**Н.Г. МАЛЬКЕВИЧ**, канд. техн. наук (БНТУ)

### **АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СТАНДАРТОВ ПО РАСЧЕТУ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ЭНЕРГИИ ДЛЯ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ, НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ И МЕТОДОВ РАСЧЕТА ДЛЯ НАУЧНОГО ОБОСНОВАНИЯ НОРМ ТОПЛИВОПОТРЕБЛЕНИЯ**

До конца 80-х годов прошлого столетия загрузка основных технологических печных агрегатов, функционирующих в условиях металлургических и машиностроительных предприятий, находилась на уровне 90–98 %. Традиционным направлением повышения эффективности использования тепловой энергии в этих условиях было укрупнение технологических агрегатов и рост мощности оборудования. В целом это снижало удельные затраты энергии на единицу продукции, так как уменьшало удельные непроизводительные потери энергии. Аналогичный подход к снижению потерь энергии применялся и для предприятий в целом: чем оно крупнее и чем больше партии выпускаемой продукции, тем ниже затраты энергии в расчете на единицу продукции.

Подавляющее большинство печей металлургических и машиностроительных производств проектировались более 30 лет назад с основным требованием – обеспечить их максимальную производительность. Соответственно и расчет температурных режимов нагрева металла осуществляли при максимальной производительности.

Тогда же, в 80-х годах, были начаты разработки научно обоснованных норм потребления топлива и снижения удельного расхода теплоты. Работа в данном направлении была связана с объективным определением основных факторов, влияющих на потребление топлива печами, поскольку точность нормирования достигается только

при достаточно подробном анализе организационно-технологической структуры потребления топлива, то есть с учетом факторов технологии тепловой обработки, управления загрузкой печей и технических параметров печного оборудования.

Согласно [1] в таблице 1 представлены нормы расхода теплоты в некоторых газовых печах с традиционной шамотной футеровкой.

Таблица 1 – Нормы расхода теплоты в газовых печах с традиционной шамотной футеровкой

Тип и название печи	Температура нагрева металла, °С	Удельная производительность, g, (кг/м <sup>2</sup> ·ч)	Удельный расход теплоты, q, МДж/кг	Макс. теплонапряж. пода, A, МВт/м <sup>2</sup>	КПД, η, %
1	2	3	4	5	6
Нагревательные печи					
Камерная с заслонками и шелевые ( $t_{yx} \approx t_{мет}$ ). Нагрев под штамповку в поточном производстве	1200–1250	400–500	3,35–3,8	0,465	22–25
Камерная – нагрев под штамповку в серийном производстве	1200–1250	250–400	3,5–4,6	0,42	18–22
Камерная для мелкосерийного производства или под свободную ковку	1200–1250	400–700	2,8–3,1	0,52	27–30
Нагревательные полуметодические ( $t_{yx} < t_{мет}$ )					
Нагрев под штамповку в поточном производстве	1200–1250	400–700	2,8–3,1	0,52	27–30
Нагрев под штамповку в серийном производстве	1200–1250	250–400	3,1–4,2	0,35	20–27
Нагревательные печи с выкатным подом для нагрева под ковку $t_{yx} \approx t_{мет}$					
Холодные слитки ( $t < 300$ °С)	1200–1250	200–250	3,35–4,2	0,29	20–25
Подстуженные слитки ( $t = 300–600$ °С)	1200–1250	400–500	2,5–3,3	0,29	20–25

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6
Горячие слитки	1200–1250	150–250	2,1–2,5	0,29	20–25
Печи с вращающимся кольцевым подом, проходные с шагающими балками ( $t_{yx} <$	1200–1250	150–250	2,5–3,35	0,175	25–35
Печи вращающиеся с тарельчатым подом	1200–1250	150–250	3,35–4,2	0,23	20–25
Проходные для листов или полос перед штамповкой	950–1150	300–500	2,5–3,3	0,23	25–35
Термические печи					
Закалка или нормализация	850–1100	250–1500	2,3–3,3	0,175	20–25
Отжиг	850–1100	200–1000	2,7–4,2	0,145	18–22
Отпуск, старение	550–700	100–200	1,65–3,3	0,095	15–25
Проходные толкательные с поддонами или башмаками, конвейерные с обратной холодной ветвью, роликовые с водяным охлаждением ( $t_{yx} \approx t_{мет}$ )					
Закалка и нормализация	850–1050	100–200	1,8–2,5	0,1	25–35
Отжиг	850–1050	30–150	2,1–3,1	0,09	20–30
Отпуск, старение	550–700	30–150	1,25–2,1	0,055	20–35
Проходные с бестарной укладкой изделий (с вращающимся подом, роликовые без водяного охлаждения, с шагающими балками, со скрытым конвейером или конвейером с обратной ветвью) $t_{yx} < t_{мет}$					
Закалка и нормализация	850–1050	100–200	1,65–2,3	0,095	30–40
Отжиг	850–1050	30–150	1,9–2,9	0,08	25–35
Отпуск, старение	550–700	30–150	0,85–1,9	0,045	25–40

Данные, приведенные в таблице 1, использовались, в основном, при решении задач проектирования печей. Значения удельной производительности ( $g$ ) соответствуют наиболее распространенным режимам нагрева и термической обработки заготовок для печей с неупорядоченной садкой. Для печей с фиксированной садкой величина  $g$  подлежит уточнению в каждом конкретном случае. Больше-

му значению  $g$  соответствует меньшее значение удельного расхода теплоты ( $q$ ) и большее значение КПД ( $\eta$ ). Значения  $q$  являются основой для определения нормы расхода топлива для всех значений  $g$ . Максимальные значения теплонапряжения  $A$  пода соответствуют наибольшему значению  $g$  и используются для определения установленной тепловой мощности и производительности горелочных устройств, а также сечений газо-воздухопроводов и дымовых каналов. Приведенные значения  $g$ ,  $q$  и  $\eta$  для термических печей соответствуют традиционным тепловым режимам, включающим нагрев и выдержку металла при заданных температурах. Для многоступенчатых температурных режимов и иных конечных температур нагрева указанные параметры следует рассчитывать. Значения  $g$ , приведенные в таблице 1, соответствуют нагреву углеродистых сталей и должны уточняться при тепловой обработке легированных марок, если их режимы существенно отличаются.

Определение нормативного расхода условного топлива на 1 т нагретого металла производились авторами по формуле [1]

$$B_{i,6} = \frac{qK_1K_{11}K_{111}}{Q_{i,6} K^1},$$

где  $K_1$  – коэффициент, учитывающий вид топлива, используемого в печи;  $K_{11}$  – коэффициент, учитывающий сменность работы печи;  $K_{111}$  – коэффициент, учитывающий нормативные простои оборудования;  $K^1$  – коэффициент, учитывающий реальный выход годного при тепловой обработке;  $Q_{i,6}$  – теплота сгорания условного топлива.

Нормы расхода топлива на практике устанавливаются по видам продукции и технологическим процессам (ковка, штамповка, термообработка). При этом предполагается учет особенностей применяемого печного оборудования и степени его технического совершенства, однако практически это сделать трудно ввиду отсутствия соответствующей методики. Точность данных, приведенных в таблице 1 и определяемых по формулам, мала и составляет  $\pm 30\%$ . Поэтому удельные нормы расхода топлива по отдельным типам печного оборудования можно использовать только для ориентировоч-

ных оценок, так как основные показатели (удельная производительность, удельный расход теплоты, КПД) могут существенно изменяться.

Автор работы [2] выделил ряд процессов термообработки и нагрева в машиностроении, удельный вес которых в объеме металла, проходящего нагрев, весьма высок. Они охватывают широкий диапазон режимов тепловой обработки:

- отпуск низкий	150–350 °С	1–3 ч
- отпуск высокий	350–650 °С	1–3 ч
- отжиг	700–900 °С	3–6 ч
- закалка и нормализация	850–900 °С	1–3 ч
- газовая цементация	930–950 °С	6–10 ч
- нагрев под обработку давлением	1100–1250 °С	1–3 ч

Ориентировочные данные [3] по удельным расходам теплоты в печах различных типов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Удельные расходы теплоты в печах разных типов

Процесс	Тип печи	Температура нагрева металла, °С	Средняя производительность, кг/(м <sup>2</sup> ·ч)	Расход теплоты на нагрев 1 кг металла, ккал
Нагрев заготовок	Толкательная камерная или с вращающимся подом	1250	250	390–980
		1250	125	980–1700
Закалка	Камерная или непрерывная	870	125	560–840
Отпуск	То же	550	100	280–560
Нормализация	Камерная или непрерывная	925	125	560–840
Отжиг	Камерная	840	20	560–1400

Методика [4] для металлургического производства заводов тракторного и сельскохозяйственного машиностроения использована

для условий кузнечного цеха с целью корректного определения норм удельных расходов топлива на выпускаемую продукцию. На основании расчетов или теплотехнических испытаний печи авторы построили тепловую характеристику, т.е. зависимость эффективного КПД, удельного и абсолютного расхода топлива от производительности печи (кг/ч) или от напряженности пода (кг/(м<sup>2</sup>·ч)).

В 80-е годы в машиностроении использовались нормативные данные удельного расхода условного топлива в зависимости от вида производства (кг у.т/т):

- термообработка крупных стальных изделий – 150–250,
- термообработка мелких стальных изделий – 100–200.

Методики составления норм топлива разделялись на две группы. К первой группе относились те, в которых методика нормирования расхода топлива была создана применительно к условиям серийного производства и базировалась на типовых инструкциях по нормированию расхода топлива, тепловой и электрической энергии в машиностроении и черной металлургии. Методики второй группы связывались с созданием систем оперативного анализа расхода топлива с помощью физических или статистических моделей потребления топлива печью, пригодных к использованию в серийном, мелкосерийном и единичном производстве [5–7].

Методики первой группы основывались на упрощенных расчетных формулах, приведенных в типовых инструкциях, а также специальных номограммах, графиках и т.д. Для реализации методик нормирования потребления топлива необходимы данные КПД печей или их КИТ. Известно, что эти коэффициенты зависят от ряда технологических факторов (потерь теплоты в рабочем пространстве и с уходящими газами, температуры и скорости движения продуктов сгорания, условий теплообмена и т.д.) Использование при нормировании топлива средних значений КПД и КИТ, особенно для печей периодического действия и условий мелкосерийного и единичного производств, когда эти коэффициенты изменяются в достаточно больших пределах, может привести к значительным погрешностям. Поэтому методы оперативного нормирования и учета потребления топлива печами основывались преимущественно на статистических моделях. Реализация данного подхода требовала проведения подробного статистического анализа производственного процесса с точки зрения расхода топлива, разработки соответ-

ствующего программного обеспечения, его эффективного использования в производственных условиях и постоянной корректировке.

Как отмечалось ранее, для предприятий машиностроительного комплекса характерна сложная структура использования топлива ввиду большого разнообразия номенклатуры обрабатываемых изделий, тепловых режимов и способов загрузки печей. При этом многие факторы расхода топлива носят случайный характер (например, масса садки, продолжительность нагрева металла и режима холостого хода печи). Структурный анализ на машиностроительном предприятии может быть выполнен с учетом комплексного подхода (детерминированного и статистического). Первый основан на применении математической модели режима потребления печью, второй – на анализе информации по реальному расходу топлива.

В общем, подход к разработке норм расхода топлива можно осуществлять в следующей последовательности:

- выявление основных и вспомогательных тепловых технологических процессов при производстве поковок и изделий, при осуществлении которых затрачивается топливо, с целью определения структуры норм топливопотребления;

- экспериментально-статистическое обследование режима топливопотребления в тепловых процессах с целью определения закономерностей изменения составляющих норм расхода топлива от факторов, имеющих случайный характер;

- расчетное исследование режима топливопотребления нагревательными и термическими печами с целью получения зависимостей удельных затрат топлива от различных факторов, используемых при корректировке норм потребления топлива.

В 80-х годах были разработаны четыре ГОСТ по удельным расходам энергии для промышленных нагревательных печей:

1. ГОСТ 27880-88 «Печи газовые секционные для нагрева черных металлов. Удельный расход энергии» распространяется на печи производительностью более 3 т/ч, предназначенные для нагрева стальных круглых заготовок или труб под термическую обработку с установлением допустимого удельного расхода тепловой энергии на 1 т металла. Удельный расход энергии в ГДж/т выражен в виде таблиц в соответствии с определенной (требуемой) температурой нагрева (без указания времени выдержки).

2. ГОСТ 27881-88 «Печи с шагающим подом и печи с шагающими балками для нагрева черных металлов. Удельный расход энергии» распространяется на вновь сооружаемые печи с шагающим подом и печи с шагающими балками производительностью 30 т/ч и более, отапливаемые газообразным или жидким топливом и предназначенные для нагрева стальных заготовок (блужков, слябов, круглых и квадратных заготовок) под обработку давлением.

3. ГОСТ 27882-88 «Печи толкательные и печи с вращающимся подом для нагрева черных металлов. Удельный расход энергии». Оговаривается его использование для вновь сооружаемых печей двустороннего нагрева производительностью до 20 т/ч и более, предназначенных для нагрева блужков, слябов и т.п. под обработку давлением с установлением допустимого расхода топлива на 1 т металла за цикл нагрева. Нормы удельного расхода топлива согласно данному ГОСТу приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Нормы удельного расхода топлива

Тип печи	Номинальная производительность, т/ч	Удельный расход энергии, $E$ , ГДж/т, не более
Печи толкательные	20	1,75
	30	1,70
	$\geq 80$	1,50
Печи с вращающимся подом	15	1,60
	30	1,53
	50	1,49
	$\geq 80$	1,46

В данном ГОСТ указывается, что нормы удельного расхода энергии печей с производительностью, находящейся в промежутках указанных значений, устанавливаются линейной интерполяцией. Температуры нагрева металла, для которых установлены данные нормы, составляют 1200–1220 °С.

При повышении или понижении температуры нагрева металла удельный расход топлива предусматривается определять с процентным отклонением от табличного. Наряду с описанием стандартной методики испытания печи на удельный расход энергии подчеркивается, что толщина заготовок для толкательных печей должна быть 200 мм, для вращательных – 100 мм. Установлены значения низшей теплоты сгорания топлива (34–38 МДж/м<sup>3</sup>) и давления для газообразного топлива, для которых распространяется данный ГОСТ. Перепад температуры по сечению заготовки не должен превышать 30 °С. Также приведены формулы расчета удельного расхода для заготовок, отличающихся по толщине от приведенных выше.

4. ГОСТ 28542-90 «Печи протяжные для нагрева черных металлов. Показатели энергопотребления» распространяется только на вновь сооружаемые печи с непрерывной протяжкой полосы.

Следует отметить, что данные стандарты относятся больше к оборудованию, используемому в металлургической промышленности. В условиях действующих машиностроительных предприятий в Республике Беларусь подобные печи практически отсутствуют. Кроме того, указанные ГОСТ распространяются только на вновь сооружаемые печи с четкими оговорками по размерам нагреваемой заготовки и производительности. Они не распространяются на действующее и реконструируемое печное оборудование машиностроительных производств, характерных для Республики Беларусь.

Изменение объемов производства и неравномерная посуточная производительность выпуска продукции предприятий влияет на режимы работы технологического оборудования и процессы потребления энергии. В реальных условиях печи работают при значительных изменениях производительности (сортамента заготовки и др.). Кроме того, имеют место частые простои, связанные с нестабильной работой оборудования, которые значительно уменьшают часовую производительность оборудования. Поэтому при работе печи на средней и низкой производительности, что характерно также для машиностроительных предприятий, резко возрастают удельные расходы топлива.

Необходимо отметить, что в силу сложившихся экономических обстоятельств в настоящее время многие предприятия Республики Беларусь, работавшие во времена существования СССР в непре-

рывном режиме, перешли на неполную рабочую неделю, двух- или односменный режим работы. Это привело к дополнительным непроизводительным затратам энергии. Разогрев печи и корректировка температуры – процедуры сложные и длительные, требующие 6–8 часов, поэтому часто при двухсменной работе печи оставляют включенными на ночь, расходуя энергию вхолостую. То есть, спад или снижение объемов производства приводит к росту удельных расходов энергии. Чем более загрузка оборудования соответствует расчетно-проектной, тем ниже удельные расходы энергии в расчете на единицу продукции.

В случае существующих трудностей по обеспечению постоянной и полной загрузки оборудования требуется иначе организовывать тепловую работу при простоях или отключении оборудования. Если оборудование работает в одну или две смены, то норму удельного расхода требуется повысить на величину, соответствующую расходу топлива на разогрев печи перед рабочей сменой, а также на расход топлива, связанный с разогревом печи после холодных ремонтов.

На основании изложенного следует отметить, что в настоящее время нормы потребления топлива в печном хозяйстве, особенно применительно к машиностроительному производству, в большинстве случаев отсутствуют или не отвечают современным требованиям экономии топливно-энергетических ресурсов, что связано с отсутствием надежных методик комплексного анализа и оценки резервов экономии топлива в печах, неудовлетворительным состоянием системы контроля и учета использования топлива, несовершенством существующей системы установления норм расхода топлива и контроля их выполнения.

В этой связи особо актуальной является разработка норм расхода тепловой энергии в условиях типовых печей, функционирующих на машиностроительных предприятиях Республики Беларусь как с учетом ранее разработанной нормативной базы, так и на базе созданных к настоящему времени современных элементов конструкции, материалов, научно-технических достижений в области энергосбережения и т.д.

В соответствии с Программой технического переоснащения и модернизации литейных, термических, гальванических и других энергоемких производств [8], утвержденной Постановлением Сове-

та Министров Республики Беларусь № 1421 от 31 октября 2007 г., основными направлениями развития промышленного комплекса является обеспечение снижения себестоимости продукции, повышение ее качества и конкурентоспособности, в первую очередь, за счет создания энергосберегающих режимов тепловой обработки металлопродукции.

Функционирующие промышленные газопламенные нагревательные и термические печи машиностроительного и металлургического комплекса отличаются по характеру работы (периодического и непрерывного действия), конструкции (садочные со стационарным и выкатным подом, шахтные, проходные и т.д.), способам отопления и др. При этом характерной особенностью печного оборудования, эксплуатируемого в настоящее время в машиностроении, является его сравнительно низкая энергетическая эффективность, которая подтверждается расчетными низкими показателями, а именно, величиной коэффициента полезного действия печей, находящимся на уровне 5–20 %.

Как показали ранее проведенные исследования [9], это во многом было обусловлено большой номенклатурой изделий и заготовок, обрабатываемых в печах по различным тепловым режимам. Вместе с тем, сегодня следует отметить и такие факторы, как использование устаревших газогорелочных устройств, футеровочных материалов, которые способствуют несовершенству сжигания топлива и значительным тепловым потерям во внешнюю среду через ограждения печей.

В настоящее время процесс модернизации печного хозяйства машиностроительных предприятий предполагает повышение его технического уровня и соответствие технологическим (по параметрам тепловой работы), производственным (по производительности), энергетическим (по затратам топлива, включая оценку удельного расхода условного топлива) требованиям.

Следует отметить, что разработка норм удельного потребления топлива как при проектировании печных агрегатов, так и при определении путей экономии топлива были в период существования СССР одним из важнейших направлений развития металлургических и машиностроительных предприятий. Однако, распад СССР, смена экономического уклада и кризис тяжелой промышленности в 90-х годах явились причинами незавершенности задачи разработки

норм топливопотребления в высокотемпературных печах металлургической и машиностроительной отрасли. В связи с этим ряд государственных проектных организаций, деятельность которых была связана с проектированием и созданием конструкций тепловых агрегатов, практически прекратила свое существование. На смену им пришли узкоспециализированные производственные фирмы, которые стали осуществлять услуги профильным предприятиям в виде разработки проектов конкретного печного оборудования и поставки соответствующих материалов и комплектующих (в частности, в области современных газогорелочных устройств, футеровочных материалов и современных систем управления процессом). Сказанное относится в большей степени к России и Украине, обладающим мощной машиностроительной и металлургической промышленностью и колоссальным опытом специалистов, трудившихся в соответствующих отраслевых институтах.

Для Республики Беларусь в связи с отсутствием как источников собственных энергоносителей, так и необходимых материалов и оборудования для перевооружения печного парка, решение вопросов энергосбережения и реконструкции печного хозяйства является одной из первоочередных задач. Соответственно актуальной задачей является разработка и научное обоснование нормирования удельного расхода топлива газопламенных печей с целью повышения их энергоэффективности.

С точки зрения экономии топлива в промышленных печах первоочередной задачей является минимизация всех видов тепловых потерь и максимально возможное снижение удельного расхода топлива на тепловую обработку металлопродукции в металлургическом и машиностроительном производстве.

Нормы использования энергоресурсов должны обосновываться технико-экономическими расчетами с ориентацией на интенсификацию производства, внедрение достижений научно-технического прогресса, учитывать внутренние резервы экономии, обеспечивать наибольший выпуск продукции при наименьших затратах энергоресурсов. Другими словами, нормы должны устанавливаться применительно не к достигнутому, а к планируемому уровню организации производства с учетом внедрения новой техники и технологии и призваны обеспечить достижение определенной экономии топли-

ва и энергии по сравнению с удельным фактическим расходом [9, 10].

Выполнение требований, предъявляемых к нормам, возможно только на основе учета всех факторов, влияющих на их величину. На первом этапе разработки норм устанавливают состав параметров и первичных показателей и их влияние на производительность оборудования и удельные расходы энергии по операциям и процессам; в последующем разрабатывают энергетические балансы процессов и операций, в ходе чего используют указанные первичные зависимости, паспортно-технические характеристики оборудования и нормативы удельных потерь по элементам [11]. Нормирование расхода топливно-энергетических ресурсов включает разработку норм их потребления на производство продукции и работ, утверждение и доведение проектных норм до производственных участков и цехов, организацию их внедрения на местах, осуществление систематического контроля выполнения [12].

Существует ряд стандартов, положений, рекомендаций, методик, а также нормативной литературы, посвященной нормированию расхода топлива [1, 2, 4–7, 9–34]. Вместе с тем следует отметить, что данная информация, как правило, не затрагивает проблему нормирования удельного расхода топлива в газопламенных печах металлургического и машиностроительного производства. В качестве примера можно отметить, что на основании приказа Министерства жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь № 10 от 24 января 2005 г. утверждены и введены в действие «Методики нормирования расхода топливно-энергетических ресурсов для организаций жилищно-коммунального хозяйства» [24]. В пункте 9 данного документа приведены методики расчета норм расхода тепловой энергии для различных типов оборудования и технологических процессов. При этом указано, что для определения технологической нормы необходимо рассчитать значения расходов тепловой энергии на работу технологического оборудования. В общем расходе энергии в аппарате выделяется энергия, затрачиваемая для воздействия на обрабатываемый материал и осуществляющая главную цель данного технологического процесса (например, нагрев материала, выпарка влаги, проведение химических реакций и т.д.). Кроме этого, выделяется энергия, расходуемая на создание необходимых условий для осуществления главной цели технологического про-

цесса (например, нагрев самого аппарата, компенсация теплообмена с окружающей средой и т.д.).

В Положении о нормировании расхода топлива на электростанциях [33] отмечается такой фактор, как резерв тепловой экономичности, определяемый разностью между фактическим и номинальным значениями удельных расходов топлива. Коэффициент резерва тепловой экономичности оборудования  $k_p$  представляет собой максимальный уровень снижения расхода топлив, который может быть достигнут за счет ликвидации устранимых конструкторско-технологических дефектов и недостатков эксплуатации. Номинальный расход топлива  $b^h$  – это удельный расход топлива на отпуск теплоты конкретному оборудованию, предназначенному для определенного режима тепловой обработки конкретных заготовок или деталей, рассчитанный на основе энергетических характеристик оборудования при фактических значениях внешних факторов.

Для газопламенных печей экономичность тепловой обработки также определяется в основном условиями, обеспечивающими минимальное потребление топлива. Основным показателем энергоэффективности является удельный расход условного топлива

$$b = \frac{\hat{A} \cdot Q_i^\delta}{29,3 \cdot G_\delta} \text{ (кг у.т/т)},$$

где  $B$  – расход топлива, м<sup>3</sup>/ч или кг/ч;  $Q_i^\delta$  – низшая рабочая теплота сгорания топлива, МДж/м<sup>3</sup>;  $G_\tau$  – производительность печи, т/ч; 29,3 МДж/кг – теплота сгорания 1 кг условного топлива.

К факторам, влияющим на расход тепловой энергии в промышленных печах, относятся полнота сжигания топлива, коэффициент расхода воздуха, тепловое сопротивление кладки, тепловые потери во внешнюю среду через окна и неплотности теплового ограждения, температура нагрева металла, теплоемкость кладки, начальное и конечное состояние кладки, интенсивность теплопередачи от газов к металлу, степень рекуперации теплоты, простои печи с нагретым металлом, начальное и конечное температурное состояние металла, режим нагрева, теплофизические свойства металла, масса металла и т.д.

## Литература

- 1. Бергауз, А.Л.** Повышение эффективности сжигания топлива в нагревательных и термических печах / А.Л. Бергауз. – Л.: Недра, 1984. – 175 с.
- 2. Некрасов, А.С.** Экономика энергетики процессов нагрева / А.С. Некрасов, Ю.В. Синяк. – М.: Энергия, 1965. – 175 с.
- 3. Эфрос, М.М.** Нагревательные и термические печи на газовом топливе / М.М. Эфрос. – М.: Metallurgia, 1965. – 236 с.
- 4. Скворцов, А.А.** О нормировании расхода топлива в кузнечных цехах / А.А. Скворцов // Кузнечно-штамповочное производство. – 1983. – № 7. – С. 26–28.
- 5. Немзер, Г.Г.** Нормирование расхода топлива при производстве крупных поковок / Г.Г. Немзер // Кузнечно-штамповочное производство. – 1987. – № 5. – С. 26–29.
- 6. Смольнов, А.Н.** Пути снижения удельного расхода топлива в кузнечных цехах Горьковского автомобильного завода / А.Н. Смольнов // Кузнечно-штамповочное производство. – 1985. – № 7. – С. 28–29.
- 7. Немзер, Г.Г.** Статистическое исследование режима топливопотребления нагревательными печами в кузнечно-прессовом производстве / Г.Г. Немзер // Конструкции и строительство тепловых агрегатов. – М.: ВНИПИТеплопроект, 1984. – С. 13–20.
- 8. Программа** технического переоснащения и модернизации литейных, термических, гальванических и других энергоемких производств на 2007–2010 гг.: Постановление Совета Министров Республики Беларусь № 1421 от 31 октября 2007 г.
- 9. Сальников, А.Х.** Нормирование потребления и экономия топливно-энергетических ресурсов / А.Х. Сальников, Л.А. Шевченко. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 240 с.
- 10. Багиев, Г.Л.** Совершенствование направления нормированием топливно-энергетических ресурсов / Г.Л. Багиев. – Л.: ЛИЭИ, 1984. – 154 с.
- 11. Методические** рекомендации по нормированию прямых энергозатрат производства. – М.: НИИПиН, 1982.
- 12. Методическое** обеспечение нормирования расхода топливно-энергетических ресурсов в народном хозяйстве. – М.: НИИПиН, 1987.

**13. Шевченко, Л.А.** Нормирование расхода топливно-энергетических ресурсов / Л.А. Шевченко. – М.: НИИПиН, 1986. – 104 с.

**14. Нормирование** расхода топлива, тепловой и электрической энергии. – М.: НИИПиН, 1979.

**15. Нормирование** расхода топливно-энергетических ресурсов. ГОСПЛАН СССР. – М.: НИИПиН, 1986.

**16. Лукьянец, Т.И.** Расчет норм расхода топлива, электроэнергии и неметаллических материалов в машиностроении / Т.И. Лукьянец. – Киев: Тэхника, 1988. – 192 с.

**17. Мельниченко, Е.Ф.** Пути экономии топлива в пламенных печах / Е.Ф. Мельниченко, Г.Г. Немзер, И.К. Энно.– М.: Машиностроение, 1989. – 152 с.

**18. Энергосбережение.** Методы подтверждения соответствия показателей энергетической эффективности энергопотребляющей продукции их нормативным показателям : ГОСТ Р 51380-99. – Введ. 30.11.99. – М.: Научно-техническое управление Госстандарта России : ВНИИстандарт, 2000. – 6 с.

**19. Энергосбережение.** Нормативно-методическое обеспечение. Основные положения : ГОСТ Р 51387-99. Введ. 30.11.99. – М.: ФГУ «Российское агентство энергоэффективности Минтопэнерго России» : ВНИЦ СМВ, ВНИИстандарт, 2000. – 16 с.

**20. Энергосбережение.** Информирование потребителей об энергоэффективности изделий бытового и коммунального назначения. Общие требования : ГОСТ Р 51388-99. Введ. 30.11.99. – М.: ФГУ «Российское агентство энергоэффективности Минтопэнерго России» : ВНИЦ СМВ, ВНИИстандарт, 2000. – 14 с.

**21. Энергосбережение.** Энергетическая эффективность. Состав показателей. Общие положения: ГОСТ Р 51541-99. Введ. 29.12.99. – М.: Научно-техническое управление Госстандарта России: ФГУ «Российское агентство энергоэффективности» Минтопэнерго России, 2000. – 9 с.

**22. Энергосбережение.** Энергопотребляющее оборудование общепромышленного применения. Виды. Типы. Группы. Показатели энергетической эффективности. Идентификация : ГОСТ Р 51749. – Введ. 21.05.01. – М.: ФГУ «Российское агентство энергоэффективности» Минэнерго России, 2002. – 60 с.

**23. Энергосбережение.** Методика определения энергоемкости при производстве продукции и оказании услуг в технологических энергетических системах. Общие положения: ГОСТ Р 51750-2001. – Введ. 21.05.01. – Москва : ФГУ «Российское агентство энергоэффективности» Минэнерго России, 2002. – 53 с.

**24. Методика** нормирования расхода топливно-энергетических ресурсов для организаций жилищно-коммунального хозяйства : Приказ № 10 Министерства жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь от 24 января 2005 г.

**25. Чулаевский, Е.Э.** Комплексный подход к снижению расхода топлива расхода топлива в ПО НКМЗ / Е.Э. Чулаевский // Кузнечно-штамповочное производство. – 1985. – № 2. – С. 35–36.

**26. Немзер, Г.Г.** Обоснование проектных решений по выбору состава печного оборудования кузнечно-прессовых цехов / Г.Г. Немзер // Кузнечно-штамповочное производство. – 1982. – № 10. – С. 15–18.

**27. Аронов, М.А.** Исследование режима топливопотребления термическими печами / М.А. Аронов // Конструкции и строительство тепловых агрегатов. – М.: ВНИПИТеплопроект, 1984. – С. 21-25.

**28. Зобнин, Б.Ф.** Пути повышения эффективности использования природного газа в камерных термических печах / Б.Ф. Зобнин. – М.: ВНИИГазпром, 1977.

**29. Печи** газовые секционные для нагрева черных металлов. Удельный расход энергии : ГОСТ 27880-88.

**30. Печи** с шагающим подом и печи с шагающими балками для нагрева черных металлов. Удельный расход энергии : ГОСТ 27881-88.

**31. Печи** толкательные и печи с вращающимся подом для нагрева черных металлов. Удельный расход энергии : ГОСТ 27882-88.

**32. Печи** протяжные для нагрева черных металлов. Показатели энергопотребления : ГОСТ 28542-90.

**33. Положение** о нормировании расхода топлива на электростанциях : РД 153-34.0-09.154-99.