

УДК 621.774.3

Д. М. Суворов, Н. В. Татарина

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ВЭР КАК ФАКТОР РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ СТАЛЕПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Проблема ресурсосбережения в черной металлургии всегда являлась и остается приоритетным направлением исследований. Целью статьи является выявление проблем внедрения инновационных технологий и ресурсосбережения в отрасли. Для этого проведен анализ литературных данных и выполнены расчетные исследования по оценке резервов энергосбережения, позволившие определить условия и критерии надежной и экономичной работы оборудования при работе в характерных для него режимах. Составлены схемы технологического процесса до и после модернизации методической печи нагрева заготовок стана 500 за счет установки после нее металлического рекуператора уходящих газов. Выполнены подробные расчеты горения топлива методической печи, ее теплового баланса, определен расход топлива. Произведен тепловой и конструктивный расчет рекуператора для подогрева воздуха. Полученные результаты могут быть использованы для решения задачи повышения эффективности металлургического производства в методических печах металлургических предприятий.

Ключевые слова: энергетическая эффективность, ресурсосбережение, инновации, черная металлургия, тепловые ВЭР, рекуператор.

Проблема ресурсосбережения в черной металлургии в настоящее время обретает особую актуальность. В рыночных условиях функционирования остро встает вопрос о повышении конкурентоспособности промышленной продукции существующих предприятия (по сравнению с зарубежными странами), в первую очередь по причине высокой энергоемкости и устаревших (по современным стандартам) технологий и, следовательно, технологических и тепловых агрегатов. Удельный расход топлива на 1 т проката в России выше на 25,0%, чем в Японии, и на 37,5% выше, чем в странах ЕС.

Эта задача может решаться по трем направлениям:

– решением организационно–правовых вопросов (к сожалению, большинство компаний по энергосбережению работают только в этом направлении вне всякой связи с технологическим процессом, агрегатом, но в силу объективных причин, прежде всего высокой энергоемкости производства, это не приносит существенных результатов);

– технического перевооружения и внедрения передовых малоэнергоемких технологий (но это требует значительных инвестиций; тем не менее развитые страны еще в 50–60 годы прошлого века пошли именно по этому пути развития);

– совершенствованием эксплуатации за счет реализации прогрессивных, зачастую малозатратных, технических решений, направленных на максимально возможную утилизацию и эффективное использование вторичных энергетических ресурсов.

В рамках последнего направления важная роль отводится внедрению современных энерго- и ресурсосберегающих экологически безопасных технологий.

Технологические процессы, протекающие на металлургических предприятиях, можно охарактеризовать как сложные, энергоемкие, высокотемпературные, с повышенными требованиями к безопасности технологий и агрегатов. В связи этим они требуют проведения детального предпроектного моделирования и расчета как самих установок, так и технологического процесса в целом до и после модернизации. Это возможно лишь на основе теоретических представлений, базирующихся на фундаментальных науках, таких как математика, теплофизика, термодинамика и теория тепломассообменных процессов с учетом специфики пирометаллургических технологий.

В данной работе объектом исследования было выбрано печное хозяйство прокатных и термических цехов, как один из основных потребителей топлива и энергии в черной металлургии (на его долю приходится до 40% потребления топлива в черной металлургии России). Особенность потенциала энергосбережения на металлургических предприятиях заключается и в том, что наблюдается существенная неритмичность работы металлургических комбинатов, связан-

ная с особенностью современного рынка продукции после вступления России в ВТО. А получение новых профилей литых заготовок в машинах непрерывного литья большой производительности требует более совершенной технологии нагрева металла и коренного технического перевооружения нагревательных и термических печей, парк которых исчисляется тысячами единиц на заводах России, подавляющее большинство которых было спроектировано и построено в 40–60 гг. прошлого столетия. К настоящему времени их конструкции морально и физически устарели, к примеру, высокотемпературные печи зачастую не имеют аппаратов для подогрева воздуха, подаваемого для горения топлива, а если и имеют, то использование тепла уходящих из печи продуктов горения находится на низком уровне, обеспечивающем подогрев воздух только до 200–300°C. Отмеченные проблемы свидетельствуют о том, что отечественные тепловые агрегаты на сегодняшний день работают с большими удельными расходами топлива. Для примера, методические нагревательные печи, осуществляющие нагрев слабов и блюмов перед прокаткой, работают с удельным расходом топлива в пределах 80–100 кг у.т. / т проката; в то же время работа зарубежных аналогичных печей осуществляется с удельными расходами 40–50 кг у.т. / т проката [1, 8]. Кроме того, в большинстве случаев промышленные печи работают с весьма низким термическим КПД, который обуславливается в основном очень большими потерями тепла с отходящими дымовыми газами (50–65%).

Очевидный энергосберегающий эффект создает вовлечение в энергобаланс предприятия вторичных энергетических ресурсов (ВЭР). Современные технологии позволяют широко использовать вторичные ресурсы для замещения покупных энергоресурсов, что может значительно улучшить экономику предприятия и стабилизировать себестоимость металлопродукции [4, 11].

Анализируя энергетический баланс предприятия, отдельного цеха и такого энергоемкого агрегата, как методическая печь, за различные периоды времени была выявлена качественная возможность модернизации технологической

схемы методической печи и проведена количественная оценка возможности оптимизации энергопотребления за счет утилизации тепловых ВЭР и в конечном счете экономии топливно–энергетических ресурсов.

Для решения поставленных задач необходимо иметь стратегию развития предприятия, неразрывно связанную с внедрением инновационных технических и технологических решений и основными направлениями энерго– и ресурсосбережения.

Данная работа была проведена на одном из металлургических заводов Кировской области, одном из старейших предприятий черной металлургии России. В настоящее время оно представляет собой компактное предприятие с неполным металлургическим циклом, специализирующееся на выпуске горячекатаных фасонных профилей и стальных фасонных профилей высокой точности (СФПВТ) сложных сечений. Основными источниками тепловых ВЭР на предприятии выступают технологические агрегаты, как правило, недостаточно совершенные с энергетической стороны. Особенно неблагоприятны с точки зрения использования теплоты сгорания топлива нагревательные и термические печи (их тепловой КПД равен 12–18%), вагранки чугунолитейных цехов (теплопотери с газами превышают 50–60%), паровые котлы низкого давления (КПД порядка 50%), паровые молоты кузнечных цехов (КПД не более 2–5%) и др [2, 3, 9].

Для оценки способов повышения эффективности металлургического производства путем использования тепловых ВЭР печи нагрева заготовок стана 500 предлагается провести модернизацию производства, которая заключается в том, чтобы после методической нагревательной печи перед котлом-утилизатором установить металлический рекуператор. Методическая печь – проходная печь непрерывного действия для нагрева металлических заготовок перед обработкой давлением (прокатка, ковка, штамповка).

Существующая методическая нагревательная печь была спроектирована достаточно давно, без учета необходимости максимальной экономии энерго-ресурсов. При установке рекуператора тепло уходящих газов, которое ранее ис-

пользовалось только в котле-утилизаторе для получения пара, теперь может полезно использоваться для подогрева воздуха, подаваемого к горелкам. А это, в свою очередь, позволяет снизить расход природного газа на предприятии.

Утилизация теплоты уходящих дымовых газов за счет снижения их температуры может быть выполнена в двух направлениях: с возвратом утилизированной теплоты обратно в печь и без возврата этой теплоты в печь. Возврат части теплоты дымовых газов в печь может осуществляться путем предварительного подогрева за счет части теплоты дымовых газов, металла, топлива или воздуха перед их подачей в печь, что позволяет повысить коэффициент использования теплоты печного агрегата, температуру и качество горения топлива, а также снизить расход топлива и сопутствующие негативные экологические воздействия. Предварительный нагрев металла за счет части теплоты уходящих дымовых газов ограничен и осуществляется в методических печах. Увеличение использования теплоты уходящих газов приводит к значительному возрастанию капитальных и эксплуатационных затрат на печи. Поэтому устанавливают температурный предел, ниже которого уменьшить температуру дымовых газов нецелесообразно [5, 8].

Для предварительного подогрева топлива или воздуха уходящими газами перед их подачей в печь можно использовать рекуперативные и регенеративные теплообменники [5, 8].

Но наиболее важное значение имеет утилизация теплоты уходящих газов с возвратом части теплоты в печь [6]. Однако утилизация не может быть полной, так как увеличение поверхности нагрева рационально только до определенных пределов, после которых оно уже приводит к очень незначительному выигрышу в экономии теплоты. Как было сказано выше, утилизация теплоты уходящих газов происходит в рекуператорах – теплообменниках поверхностного типа для использования теплоты отходящих газов, в которых теплообмен между теплоносителями осуществляется непрерывно через разделяющую их стенку.

Рекуператор устанавливается на пути отходящих газов, например, из печи в дымовую трубу, а воздух в печь подается через смежные полости рекуперато-

ра и нагревается отходящими газами, проходящими вдоль нагретых стенок. В зависимости от материала, из которого сделаны элементы рекуператора, последние подразделяют на металлические и керамические [1, 5].

В настоящее время представлен широкий диапазон выбора теплообменников, рекуператоров и т.д. Для выбора оптимального рекуператора были проанализированы некоторые наглядные характеристики типов металлических (из стальных труб) и керамических (из керамических блоков) рекуператоров. Как показывают детальные расчеты на математических моделях, первый тип наиболее предпочтителен [1, 5].

Выбор стального рекуператора с вертикальными трубами был обусловлен тем, что существующие сегодня конструкции керамических рекуператоров имеют весьма серьезные недостатки:

- неудовлетворительные массогабаритные показатели, которые определяются относительно низким коэффициентом теплопередачи и, как следствие, громоздкостью теплообменника (поверхность нагрева керамического рекуператора в 6–8 раз больше, чем у металлического);
- очень небольшая газоплотность, хрупкость, в результате чего теряется до 40–60% подаваемого в них воздуха;
- сложность или невозможность ремонта (замена вышедшего из строя рекуператора требует от нескольких дней до нескольких недель);
- высокая стоимость и большой срок окупаемости.

В данном проекте для применения был предложен и рассчитан металлический прямотрубный рекуператор (рис.1), изготовленный из прямых цельнотянутых стальных труб, концы которых завальцовываются в трубные доски. Воздух проходит по трубам, а дымовые газы омывают трубы снаружи, обычно в поперечном токе. Основные технические параметры данного рекуператора следующие:

- производительность по воздуху – 25000 м³/ч;
- количество продуктов горения – 40000 м³/ч;

- температура продуктов горения на входе – 850°C ;
- температура воздуха на выходе – 350°C .

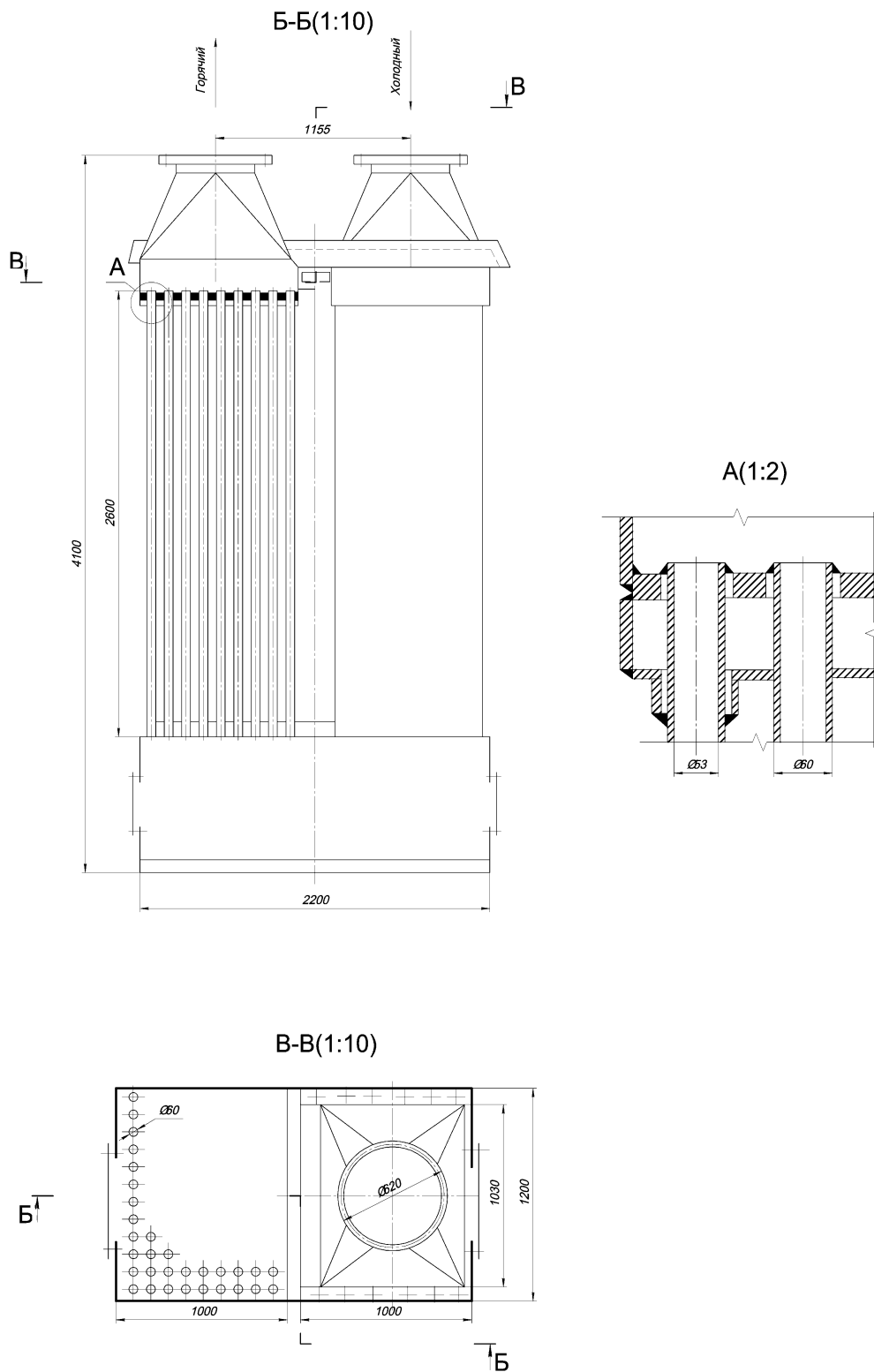


Рис. 1. Конструктивные параметры рекуператора

В случае модернизации технологической схемы (рис. 2) дымовые газы из печи будут удаляться по дымопроводу и поступать в камеру рекуператора для нагрева воздуха, подаваемого к горелкам.

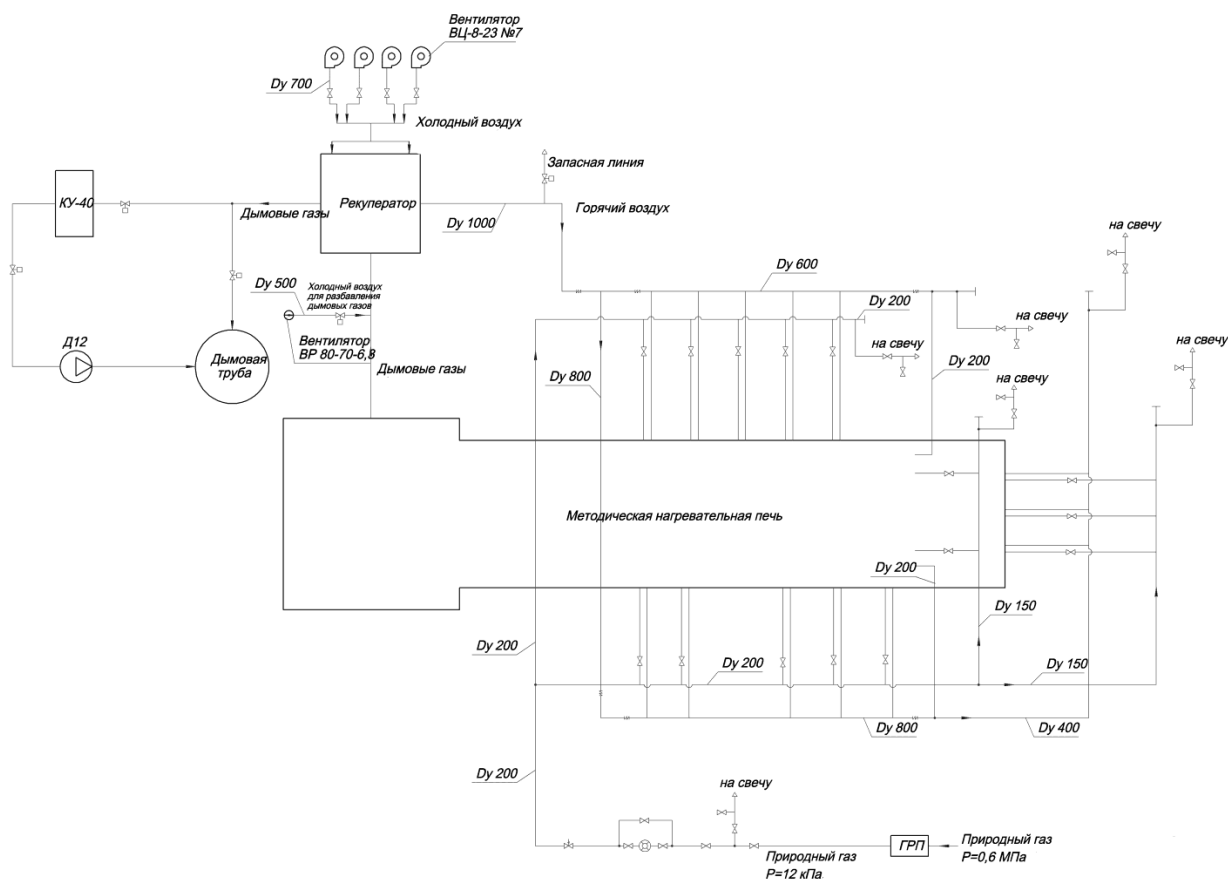


Рис. 2. Расчетная схема технологического процесса после модернизации.

Нагреваемый металл перемещается толкателем, расположенным перед печью. Затем заготовки передвигаются по водоохлаждаемым глиссажным трубам. Топливо сжигается с помощью горелок, расположенных над и под поверхностью металла. Продукты сгорания двумя потоками – верхним и нижним движутся вдоль рабочего пространства печи, в направлении, противоположном движению металла, т. е. противотоком. Через дымовые каналы продукты сгорания удаляются в боров и из него через рекуператор, котел–утилизатор и дымовую трубу в атмосферу. Нагретый металл через окно выдачи попадает на рольганг и по нему – к стану. Холодный воздух, подаваемый вентиляторами, нагревается уходящими дымовыми газами, проходя через рекуператор, затем – на горелки.

Энергетический баланс печи до и после установки рекуператора представлен в табл. 1, анализ основных энергетических показателей – в табл.2.

Таблица 1

Энергетический баланс печи

Статья прихода	Значение		Статья расхода	Значение	
	До модернизации, кВт (%)	После модернизации, кВт (%)		До модернизации, кВт (%)	После модернизации, кВт (%)
Тепло от горения топлива	27014 (97,4)	19114 (85,2)	Тепло на нагрев металла	6733 (24,3)	6733 (30,0)
Тепло подогретого воздуха	–	2597 (11,6)	Тепло, уносимое уходящими газами	13977 (50,4)	9890 (44,2)
Тепло экзотермических реакций	714 (2,6)	714 (3,2)	Потери тепла теплопроводностью через кладку	810 (2,9)	810 (3,6)
			Потери тепла с охлаждающей водой	2972 (10,7)	2388 (10,6)
			Неучтённые потери	3242 (11,7)	2605 (11,6)
Итого:	27728 (100)	22425 (100)	Итого:	27728 (100)	22425 (100)

Практический результат исследования заключается в следующем: при одинаковом количестве тепла, расходуемого на нагрев металла, количество топлива, необходимое для технологического процесса, после установки рекуператора уменьшается почти в 1,5 раза. При этом КПД печи увеличивается на 6%. Таким образом, при установке рекуператора с целью экономии топлива производственные затраты на нагрев металла снижаются не только вследствие уменьшения расхода топлива на единицу продукции, но также в результате увеличения производительности печи.

Снижение расхода топлива может составить 578,5 м³/ч (4 165 200 м³/год), в денежном эквиваленте это соответствует более 17 млн. рублей в год (более 270 тыс. долларов США).

Основные выводы, полученные по результатам расчетов, следующие.

1. Программы по развитию предприятий черной металлургии, в том числе и программы по энерго– и ресурсосбережению, должны быть направлены, в первую очередь, не на обеспечение роста производства энергоресурсов, а на снижение затрат энергии любого вида на осуществление конкретного технологического процесса в конкретном технологическом или тепловом агрегате.

Таблица 2

Основные энергетические показатели печи до и после модернизации

Наименование показателя	Расчетная формула	До модернизации	После модернизации
Удельный расход тепла на нагрев 1 кг металла, кДж/кг	$q = \frac{Q_{прих}}{P},$ где $Q_{прих}$ – приход тепла, кВт; P – производительность печи, кг/с.	2852,70	2307,10
Удельный расход условного топлива, кг у.т./т	$b = \frac{Q_n^p \cdot B}{(Q_n^p)_{услов} \cdot P},$ где Q_n^p – низшая теплота сгорания топлива, кДж/м³, B – расход топлива при нормальных условиях, м³/с	94,82	67,09
Коэффициент полезного действия печи, %	$\eta_{кпо} = \frac{Q_{пол}}{Q_{\Sigma}} = \frac{Q_{пол}}{Q_{хим} + Q_{в} + Q_{экз}} \cdot 100\%$ где $Q_{пол}$ – полезное тепло, расходуемое на нагрев металла, кВт, $Q_{хим}$ – тепло от сгорания топлива, кВт, $Q_{экз}$ – тепло экзотермических реакций (в нагревательных печах учитывается только тепло окисления железа), кВт, $Q_{в}$ – тепло, вносимое подогретым воздухом, кВт	24,3	30

2. Существенным фактором, побуждающим более интенсивно вести модернизацию производства и внедрять мероприятия по использованию вторичных ресурсов и энергосбережению, является ежегодный рост тарифов на первичные энергоносители (природный газ, уголь, нефтепродукты) и электроэнергию в течение последних 20 лет, что приводит к соответствующему росту цен на металлопродукцию.

3. Авторами были составлены схемы технологического процесса до и после модернизации методической печи путем установки металлического рекуператора с целью продемонстрировать, насколько комплексно и эффективно может быть решена актуальная проблема по ресурсосбережению на конкретном оборудовании. Для этого выполнены подробные расчеты горения топлива методической печи, ее теплового баланса, определен расход топлива. Произведен тепловой и конструктивный расчет рекуператора для подогрева воздуха.

4. В ходе расчетов были определены капитальные затраты на установку рекуператора, эксплуатационные расходы, срок окупаемости капитальных вложений, который составил 1,4 года (в случае роста тарифов на энергоносители, транспорт, налоги и пр. он может увеличиться в 2 раза).

5. Реализация данного проекта позволит утилизировать тепло дымовых газов, ранее бесполезно теряемое, а вырученные дополнительные средства направить на расширение и усовершенствование основного производства. Подобное внедрение инновационных и ресурсосберегающих технологий способствует достижению главной цели развития металлургической промышленности России – преобразование ее в динамично развивающуюся, высокотехнологичную и конкурентоспособную отрасль [7, 10].

Список литературы

1. Буркова А. В. К вопросу рекуперации теплоты газов печей термообработки металлических изделий // Научный журнал НИУ ИТМО. Сер. «Экономика и экологический менеджмент». – 2014. – № 1. – С. 4–15.
2. Гольстрем В. А., Кузнецов Ю. Л. Справочник по экономии топливно-энергетических ресурсов. – М., 2007. – 383 с.
3. Губинский В. И., Пашин И. К. Разработка и испытание конструкций высокотемпературных металлических рекуператоров // Сталь. – 1993. – № 6. – С. 91–93.
4. Дружинин Г. М., Зайнуллин Л. А., Казяев М. Д., Спирин Н. А., Ярошенко Ю. Г., Губинский М. В. Основные направления ресурсоэнергосбережения в черной металлургии // Творческое наследие В. Е. Грум-Гржимайло: прошлое, современное состояние, будущее : сб. докл. Междунар. науч.-практ. конференции (27–29 марта 2014 г., г. Екатеринбург). – Екатеринбург : УрФУ, 2014. – Ч. 1. – С. 205–212.

5. *Журавлев Ю. П.* Комплексные решения проблем энергосбережения на металлургических предприятиях // Главный энергетик. – 2011. – № 3. – С. 48–53.
6. *Лисиенко В. Г., Шарнин Ю. К., Маликов Ю. К. и др.* Использование струйных рекуператоров для подогрева воздуха в высокотемпературных участках дымоотводящих трактов металлургических агрегатов // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1992. – № 2. – С. 66–69.
7. *Митрофин В. В.* Грамотное использование ТЭР в рыночных условиях. – М. : Пресс-Издат, 2007. – 102 с.
8. *Моторина Т. А., Парахин Н. Ф.* Реконструкция методической печи с целью усовершенствования тепловой работы (рекуператор) // Металлургия XXI столетия глазами молодых : материалы Всеукр. науч.–практ. конф. студентов. – Донецк : ДонНТУ, 2012. – С. 119.
9. *Розенгарт Ю. И.* Вторичные энергетические ресурсы и их использование. – М. : Высш. шк., 2008. – 328 с.
10. Стратегия развития металлургической промышленности Российской Федерации на период до 2020 года. Приказ Министра промышленности и энергетики Российской Федерации 18.03.2009 г., № 150.
11. *Трегуб Е.* Европейский опыт утилизации сбросного энергопотенциала промышленных газов // Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». – 2008. – № 4.

СУВОРОВ Дмитрий Михайлович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой теплотехники и гидравлики, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: dmilar@mail.ru

ТАТАРИНОВА Наталья Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники и гидравлики, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: nvt_s@mail.ru