

Министерство образования и науки Российской Федерации
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова

*Посвящается
80-летию кафедры теплотехнических
и энергетических систем
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»*

ЭНЕРГЕТИКИ И МЕТАЛЛУРГИ НАСТОЯЩЕМУ И БУДУЩЕМУ РОССИИ

Материалы 19-й Всероссийской
научно-практической конференции
студентов, аспирантов и специалистов

22 – 24 мая

Под общей редакцией Е.Б. Агапитова

Магнитогорск
2018

Редакционная коллегия:

Е.Б. Агапитов – профессор, д-р техн. наук (МГТУ им. Г.И. Носова);
О.Ю. Шешуков – профессор, д-р техн. наук (Имет УрО РАН);
В.Н. Михайловский – канд. техн. наук, заместитель начальника
Центра энергосберегающих технологий ПАО «ММК»;
С.В. Осолков – ст. преподаватель (МГТУ им. Г.И. Носова);
М.С. Соколова – ассистент (МГТУ им. Г.И. Носова);
А.В. Тихонов – ст. преподаватель (МГТУ им. Г.И. Носова).

Энергетики и металлурги настоящему и будущему России:
материалы 19-й Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и
специалистов / под общ. ред. Е.Б. Агапитова. – Магнитогорск: Изд-во
Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2018. – 144 с.

ISBN 978-5-9967-1266-3

Публикуемые доклады содержат материалы исследований, проведенных студентами, магистрантами, аспирантами и молодыми учеными вузов и промышленных предприятий. Тематика исследований охватывает проблемы энергосбережения в энергетике и металлургии, а также повышения эффективности производства и распределения энергоресурсов. В докладах рассмотрены современные пути развития промышленной теплоэнергетики, в том числе природосовместимые энергосберегающие технологии.

Сборник предназначен для научных, инженерно-технических работников, студентов, магистрантов и аспирантов энергетических и металлургических направлений.

ISBN 978-5-9967-1266-3

© Магнитогорский государственный
технический университет
им. Г.И. Носова, 2018

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

80 лет – серьезная дата для осмысления пройденного кафедрой пути и оценки перспектив развития.

В 1938 г. приказом № 411к от 28.10.38 г. организована кафедра «Металлургические печи». Исполняющим обязанности заведующего кафедрой был назначен инженер «Магнитогорского металлургического комбината» Бурылев Николай Герасимович. Кафедра готовила студентов по специальности «инженер-металлург». В состав кафедры были включены инженеры Горин В.К., Дегтярев П.Д., а затем в 1939 г. инженер Михин М.К. – все по совместительству с их основной работой на «ММК».



Становление кафедры было сложным – отсутствовал устойчивый коллектив, не было лабораторной базы. Тем не менее, выполнялись хозяйственные работы с промпредприятиями, к примеру, работа под научным руководством доцента М.К. Михина с ГУМПОм Востока (январь 1940 г.) по теме «Разработка мероприятий по снижению расхода топлива в нагревательных колодцах и мартеновских печах» позволила, за счет дополнительной изоляции стен, сводов и крышек, устранения неплотностей кладки, существенно снизить расход топлива.

Большое значение для развития кафедры имело присоединение к ней преподавателей эвакуированного вуза из Днепропетровска. В сентябре 1941 г. в соответствии с приказом ГУУЗа произошло объединение Днепропетровского металлургического института с Магнитогорским горно-металлургическим институтом. Кадровый потенциал двух вузов позволял не только улучшить подготовку специалистов, но и значительно поднять уровень научно-исследовательской работы. Днепропетровский институт славился своими научными школами и профессорско-преподавательским составом не только союзного, но и мирового уровня.

В 1941-1945 гг. возглавлял кафедру профессор Семикин Иосиф Данилович – один из создателей энергетической теории печей, ранее в 1930-1938 гг. работавший на «ММК» начальником проектного отдела. В 1939-1940 гг. Семикин И.Д. стажировался на

металлургических заводах США и участвовал в согласовании проектов фирмы Мак-Ки для «ММК». По прибытии Иосифа Даниловича в Магнитогорск, к нему приехал директор «ММК» Носов Г.И. с просьбой заняться мартеновскими печами завода, несмотря на то, что в предвоенные годы в дискуссиях по перспективам совершенствования их работы, выступал с осуждением энергетической теории и сомневался, что в печах, рассчитанных на основе этой методики, можно варить качественную сталь.

Тем не менее, в реконструированных во время войны по Семикину мартеновских печах ММК удалось решить задачу повышения производительности печей на 20-30 % и добиться высокого качества стали. И.Д. Семикин активно работал не только над теоретической базой конструирования печей, но и занимался формированием костяка кафедры в Магнитогорске, чтобы перенести высокую теплотехническую культуру в круг металлургов, сформировать свои мощные кадры квалифицированных теплотехников, творчески владеющих физико-математическими методами анализа процессов тепловой обработки материалов. Под его руководством было выполнено несколько исследовательских тем по изучению факельного процесса сжигания топлива.

Магнитогорские преподаватели также активно участвовали в совершенствовании тепловой работы печей, например, тема: «Анализ тепловой работы мартеновских печей в скоростных плавках», выполненная доцентом Н.Г. Бурылевым.

К числу крупных успехов кафедры следует отнести разработку теплового режима печей при выплавке броневых листов, работы по упорядочению теплового режима мартеновских печей, отапливаемых смешанным газом, пуску и наладке нагревательных колодцев и печей, организацию огнеупорного производства из местных материалов, автоматизацию перекидки клапанов на всех регенеративных печах, освоению гидравлических систем автоматического регулирования теплового режима, закупленных в США. Таким образом, родоначальником печной школы кафедры является днепропетровская школа печников-металлургов (хотя, впоследствии она претерпела существенную трансформацию взглядов).

В госбюджетной работе кафедры 1944-1945 гг. «Изучение и систематизация опыта работы сверхмощных мартеновских печей ММК» принимал активное участие инженер теплотехнической лаборатории «ММК» К.А. Зуц (впоследствии – заведующий кафедрой).

За выдающиеся заслуги по внедрению систем автоматизации в 1947 г. Зуц К.А. (к тому времени – зам. начальника цеха КИПиА «ММК») становится лауреатом Государственной (Сталинской) премии.

В связи с окончанием Великой Отечественной войны, в 1944-1945 гг. из состава кафедры выбывают ученые из Днепропетровска, кафедра резко уменьшается по численности и ограничивает свою научную деятельность мартеновскими печами.

В 1945 г. заведующим кафедрой становится Михин Максим Кириллович, который во время войны работал деканом металлургического факультета. Обобщив работы по автоматизации теплового режима металлургических печей, Горин В.К. и Михин М.К. пишут монографию «Технические средства автоматизации в черной металлургии».

В этот период на кафедре преподает профессор, д.т.н. Кузьмин М.И. – один из основных последователей В.И. Грум-Гржимайло – основоположника другого теоретического направления конструирования печей (гидравлической теории печей).

1949 г. демонстрирует повышение значимости работ преподавателей. Выходит книга М.К. Михина «Автоматическое регулирование мартеновских печей». Коллектив кафедры металлургических печей выполняет три госбюджетные работы, в том числе «Ускорение плавления твердой шихты в мартеновских печах за счет химического тепла ванны» (доцент Н.Г. Бурылев).

Николай Герасимович предложил для оказания научной помощи комбинату организовать совместную работу нескольких кафедр. Предполагалось обобщить опыт передовых сталеваров-стахановцев и выработать стратегию массового внедрения этого опыта. Для совершенствования тепловой работы нагревательных печей среднелистового стана «ММК» предлагалось перейти на металлические рекуператоры, отказавшись от несовершенных керамических рекуператоров фирмы «Чайман-Штейн».

В это время на кафедре совместно с цехом КИПиА «ММК» проводили работы по автоматизации теплового режима мартеновских печей на основе диагностики температуры свода. Заместитель начальника цеха КИПиА Зуц К.А. принимает активное участие в этих работах. В 1953 г. он начинает работать на кафедре в качестве совместителя и готовить к защите кандидатскую диссертацию.

В 1955 г. лауреат Сталинской премии Константин Александрович становится заведующим кафедрой, и, будучи доцентом, в 1956 г. защищает кандидатскую диссертацию на тему «Изучение и систематизация опыта работы сверхмощных мартеновских печей Магнитогорска». Заведующим кафедрой он работает до своей скоростной кончины в 1963 г.

В 1958 г. в качестве совместителя на кафедру приходит к.т.н. Гольденберг И.Б., который переходит в штат кафедры в 1961 г. и работает над проблемой перекидки клапанов мартеновских печей.

На кафедре создается современная лаборатория механики газов и теплопередачи. В создании этих лабораторий большое участие принимает Рябков В.М. (будущий ректор «МГМИ»), сначала в качестве студента, а с 1962 г. – инженера-исследователя. В этот период кафедра работает над новыми проблемами – оптимальным управлением тепловым режимом печей.

В 1963-1972 гг. и 1975-1996 гг. кафедру возглавляет д.т.н., профессор Иванов Николай Иванович. Он привнес свое видение в теорию конструирования печей, в основе которого лежала школа профессора Глинкова М.А. Под его началом выполнены многочисленные исследования по разработке и изысканию новых методов интенсификации тепловой работы существующих и принципиально новых конструкций тепловых агрегатов для различных отраслей промышленности, открыто направление применения плазменного нагрева в металлургии. При этом особое внимание было уделено разработке методов рационального использования высококалорийного топлива, применения кислорода, электроэнергии и ультразвука.

В 1967 г. кафедра переименовывается в кафедру «Теплотехники и автоматизации металлургических печей» (ТиАМП). Кафедра пополняется талантливыми выпускниками института: Сиволаповым В.Г., Баженовым Н.Л., Тороповым Е.В., Кобельковым Г.В., Блохиным А.И., Трубицыным Г.В. При кафедре появилась аспирантура, что позволило освоить новые научные направления. К наиболее крупным успехам кафедры относится создание теории блочных печей, работающих на природном газе, теории плазмотронных печей и участие в создании Центральной теплотехнической лаборатории «ММК» с уникальными стендами исследования факельных процессов.

В период 1963-1972 гг. защищены докторские диссертации Ивановым Н.И., Тороповым Е.В., Рябковым В.М., в дальнейшем – Парсункиным Б.И.

Н.И. Иванов, который работал ректором «МГТУ» в 1968-1976 гг., мыслил глобально и понимал, что ограничиваться изучением тепловой работы только печных агрегатов – бесперспективно. Будущее развитие различных производств – в системном подходе, когда рассматриваются проблемы предприятия в целом. К тому же, многие металлургические заводы обзавелись мощными собственными электростанциями, участвующими в технологических звеньях металлургических процессов. С 1968 г. он инициировал на кафедре подготовку и выпуск студентов по специальности «Промышленная теплоэнергетика».

В 1972-1974 г. руководство кафедрой осуществлялось д.т.н., профессором Рябковым В.М.

Приказом № 738/и от 10.06.74 г. кафедра переименовывается в кафедру «Теплоэнергетики и металлургических печей» (ТиМП), а из состава кафедры выделяется группа преподавателей, которая формирует отдельную кафедру «Промышленной кибернетики и систем управления» (ПКиСУ) (зав. кафедрой Рябков В.М.). До выделения из кафедры «Теплотехники и автоматизации металлургических печей» новой кафедры (ПКиСУ) подготовлено и выпущено 328 инженеров по автоматизации металлургического производства.

Исполняющим обязанности заведующего кафедрой ТиМП в период 1974-1975 гг. был д.т.н., профессор Торопов Е.В., а в 1975 до отъезда в загранкомандировку обязанности зав. кафедрой исполнял доцент, к.т.н. Сеничкин Б.К.

С 1976 г. и по 1996 г., вновь заведующим кафедрой становится д.т.н., профессор Иванов Н.И. На его плечи легли трудные годы «перестройки» 90-х годов. Огромной заслугой Николая Ивановича является то, что он сохранил «костяк» кафедры и ее традиции.

За период 1963-1996 гг. по результатам научной деятельности кафедры было получено 76 авторских свидетельств и 8 патентов, организовано 3 Всесоюзных и 4 Республиканских конференций, несколько семинаров, выпущено 12 сборников научных трудов, опубликовано свыше 500 статей, издано 11 монографий и учебников, материалы которых, безусловно, послужили развитию теплотехнической науки.

Особое значение в то время имели работы кафедры по применению низкотемпературной плазмы, ультразвука и электроимпульсной обработке материалов. Значительный вклад в это направление внес профессор, к.т.н. Вачаев А.В., который занимался разработкой и исследованием устройств на основе электрических разрядов в водной среде, в том числе водородно-дейтринных реакторов. Позже, совместно с Н.И. Ивановым они создали установку по холодной трансмутации элементов и сделали попытку теоретического осмысления полученных экспериментальных материалов (в современной аббревиатуре – LERN технологии), что встретило резкую критику со стороны научной общественности. Сейчас, спустя годы после ухода их из жизни – их имена ставят в ряд одних из основоположников этого научного направления.

Приход в состав кафедры таких специалистов как Котельников С.Ф., Сеничкин Б.К., Стульпин Е.А., Матвеева Г.Н., Марченко А.В., Лисогор А.А., Скворцов Л.А., Немудрый А.П. позволило уси-

лить подготовку инженеров в области теплоэнергетики и теории металлургических печей. В этот период на кафедре работали 41 сотрудник.

В 1974 г. на кафедре в качестве ассистента начал работать Жигалов Г.П., который под руководством Иванова Н.И. начал развивать новое направление центробежных плазменных печей и в 1975-1976 гг. привлек в группу в качестве младших научных сотрудников Пушкарева С.В. и Агапитова Е.Б. Задачей группы было изучение пределов по тепловым нагрузкам плавильных устройств для задач создания компактных металлургических комплексов.

Возвращается из аспирантуры в Институте тепло-массообмена (г. Минск) Литвинов В.К., который занимался процессами теплообмена при взаимодействии материалов с низкотемпературной плазмой. Под его руководством и на его энтузиазме, на кафедре создается первая плазменная лаборатория, где выполняются работы общесоюзного значения. В частности, именно бригадой исследователей, возглавляемой Литвиновым В.К. в этой лаборатории проводились испытания пластин тепловой защиты для космического корабля «Буран».

В это же время под руководством Котельникова С.Ф. разрабатывается технология индукционного нагрева проволоки токами промышленной частоты. Группу исследователей возглавил Тартаковский Ю.И., в состав группы входили Данилов В.Н. и Иванов В.Н.

В 1978 г. преподаватели кафедры Данилов В.Н. и Пушкарев С.В. поступили в аспирантуру «МЭИ» и «ИМет им. Байкова».

Под руководством доцента Марченко А.В. формируется направление разработки измерительных устройств для теплоэнергетики на основе левитации, а также горелочных устройств с использованием этого же эффекта. В исследовательскую группу входило 5 инженеров-исследователей: Картавец С.В., Леонов Е.И. и др.

В 1987 г. организован вычислительный центр кафедры. К 1990 г. все учебные лаборатории преобразуются в учебно-исследовательские. Плазменной лабораторией с 1980 г. руководит Литвинов В.К., лабораторией ультразвука – Вачаев А.В.

Под научным руководством д.т.н. Иванова Н.И. и к.т.н. Литвинова В.К. формируется исследовательский коллектив, в который входили: Агапитов Е.Б., Морозов А.П., Коптев А.П., Курлов В.Г., Сафонов Л.А., Беляев Д.А., Трубицина Г.Н., Семкин И.Г., Осколков С.В., Четвериков А.Н., Шутикова В.Ф., Крылов Г.М., Фисенков М.В. Этот молодежный коллектив был нацелен на освоение революционных металлургических технологий, выполнял огромное количество договорных работ для предприятий машиностроения и обо-

ронного комплекса. Выполнялись научно-исследовательские работы по общесоюзным и республиканским программам «Энергия», «Металл», «Порошковая металлургия» и договорам с «ИМЕТ АН СССР», «ИМЕТ УрО АН СССР», «ИТМО АН БССР», «ЦНИИЧЕР-МЕТом», «ЦНИИТМАШем», «ВНИИЭТ», «ММК» и др. Тесные, дружеские контакты коллектив имел с институтом «ИТМО им. Лыкова» (г. Минск), исследовательскими центрами Минрадиопрома. Члены коллектива активно работали в науке – защитили диссертации: Агапитов Е.Б. в 1984 г., Трубицина Г.Н. в 1986 г., Коптев А.П. в 1988 г., Семкин И.Г. в 1989 г., Морозов А.П. в 2003 г. Сотрудники кафедры Крылов Г.М. и Фисенков М.В. в 1986 г. поступили в аспирантуру «ИМет им. Байкова».

В 1994 г. приказом № 369/к от 17.06.1994 г. кафедра переименовывается в кафедру «Теплофизических и энергетических систем».

В 1989 г. из состава кафедры сформировалась кафедра «Теоретические основы теплотехники» (зав. кафедрой профессор, к.т.н. Котельников С.Ф.), которая просуществовала до 1996 г., и впоследствии опять интегрировалась в коллектив кафедры в 1996-1997 гг. Сергей Федорович исполнял обязанности заведующего кафедрой, будучи проректором по учебной работе ВУЗа.

Приказом № 50/0 от 06.11.1996 г. кафедра переименовывается в кафедру «Теплотехнических и энергетических систем».

В 1997 г. заведующим кафедрой на основании конкурса становится доцент, к.т.н. Сеничкин Борис Кронидович, на плечи которого легли годы дефолта и последующего становления кафедры в новых экономических условиях. По его инициативе были организованы и проведены две Всероссийские научно-технические конференции специалистов и молодых ученых. По результатам работы конференций было издано 3 сборника научных трудов. Сеничкин Б.К. инициировал, организовал и совместно с сотрудниками кафедры Скворцовым Л.А. и Осколковым С.В. провел 13 Всероссийских научно-технических конференций студентов, аспирантов и специалистов, по результатам которых было опубликовано более 350 докладов. Большую помощь в развитии теплоэнергетического направления в эти годы заведующему кафедрой оказывал старший преподаватель Скворцов Л.А. За 1997-2008 гг. на кафедре было подготовлено и издано 8 монографий, более 450 статей.

В 1999 г. кафедра выпустила первую группу инженеров-теплоэнергетиков, которую подготовила совместно с «МИСиС» в г. Новотроицке. Плодотворное сотрудничество продолжалось вплоть до 2016 г.

Доцент Картавцев С.В., который вернулся из докторантуры «МЭИ» в 2000 г., набрал группу исследователей по направлению повышения энергоэффективности металлургического производства. В 2007 г. Картавцев С.В. защитил докторскую диссертацию в «МЭИ» (г. Москва). Позже под его руководством защитили кандидатские диссертации Нешпоренко Е.Г. (2011 г.), Строгонов К.В. (2009 г.).

В 2000-2001 гг. кафедра входила в состав металлургического факультета.

В 2012 г. защитили кандидатские диссертации Иванов Д.А. (научный руководитель Сеничкин Б.К.) и Лемешко М.А. (научный руководитель Агапитов Е.Б.).

С 2009 г. и по сей день заведующим кафедрой является профессор кафедры, д.т.н. Агапитов Е.Б., защитивший докторскую диссертацию по применению низкотемпературной плазмы в технологии внепечной обработки стали в 2013 г.

С 2006 г. кафедра начала подготовку бакалавров, а с 2012 г. подготовку магистров по направлению 13.03.00 «Теплоэнергетика и теплотехника».

К сожалению, в связи с различными негативными тенденциями в промышленности, стал падать спрос на инженеров-теплофизиков, выпуск которых был завешен в 2015 г., а в связи с прекращением выпуска инженеров по Министерству образования – в 2016 г. закончился последний выпуск инженеров-теплоэнергетиков.

В настоящее время кафедра продолжает вести исследования в направлениях совершенствования работы теплотехнических агрегатов, экономии топлива и электроэнергии, разработке новых технологий XXI века.

Зав. кафедрой теплотехнических
и энергетических систем



Агапитов Е.Б.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКЗОЭФФЕКТА И РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ

Малинский А.В. — студент,
Сборщиков Г.С. — д.т.н., профессор, научный руководитель
НИТУ «Московский институт стали и сплавов»
(НИТУ «МИСиС»)

MATHEMATICAL MODELING OF THE EXOEFFECT AND REGULATION OF THE THERMOSTABILIZATION PROCESS

Malinskiy A.V. (cfyz_3030@mail.ru),
Sborshchikov G.S. (g.sborshchikov@mail.ru)

The aim of the work is to select the control parameter, response function and the definition of the mechanism for automatic adjustment of the heaters in the furnace and, as a consequence, reducing energy consumption for the production and producing of high-quality carbon fiber.

Задачей работы является выбор управляющего параметра, функции отклика и определение механизма, для автоматической регулировки режима работы нагревателей в печи и, как следствие, снижение энергозатрат на производство и получение качественно-углеродного волокна.

Ключевые слова: углеродное волокно, термостабилизация, энергозатраты, оптимизация, экзоэффект, самовоспламенение, математическая модель, неустойчивое равновесие.

Углеродные волокна (УВ) являются одним из основных видов армирующих элементов, применяемых при создании композиционных материалов, одни из которых – углепластики. Материалы отличаются высокой прочностью, жёсткостью и малой массой, часто прочнее стали, но гораздо легче.

Существующая технология производства углеродного волокна состоит из трех последовательных стадий термообработки исходного волокна: термостабилизации (ТС), карбонизации и графитации.

Операция термостабилизации заключается в нагреве исходного волокна в присутствии кислорода до температуры 300 °С. При этом изменяется структура молекул углерода, приближаясь к необходимой для получения качественного углеродного волокна, и удаляются примеси.

Сложность реализации термостабилизации углеродсодержащего волокна заключается в том, что в волокне протекает экзотермическая реакция с выделением большого количества теплоты. Это явление называют экзоэффектом. При определённых условиях производство становится неуправляемым и возникает пережог волокна.

В связи с этим, во всех существующих технологиях термостабилизации используется ступенчатый нагрев.

В соответствии с технологией происходит нагрев до определённой температуры и выдержка при этой температуре определённое время, в течение которого волокно остывает. Затем повторяется нагрев и снова выдержка и так до тех пор, пока не завершится процесс термостабилизации.

Необходимо разработать такой способ управления процессом термостабилизации, чтобы он позволил избежать явления экзоэффекта.

Разработана технология непрерывного нагрева волокна в печи нового поколения – ВУЛОН.

Особенности конструкции новой печи заключаются в том, что нагрев волокна осуществляется электрическими нагревателями, расположенными на своде и на подине рабочего пространства печи.

Созданная математическая модель (ММ) термостабилизации в печи ВУЛОН позволила рассчитать режим нагрева таким образом, что температура поверхности жгута не подвергается периодическому охлаждению. Однако в существующей модели режим работы нагревателей выбирается методом проб и ошибок.

Задачей данной работы является выбор управляющего параметра, функции отклика и определение механизма, с помощью которого можно автоматически регулировать режим работы нагревателей в печи. Решая поставленную задачу, мы исходим из экспериментально установленного факта о том, что жгут в процессе термостабилизации перед возникновением экзоэффекта ведёт себя как твёрдое топливо в момент воспламенения.

Очевидно, что необходимо создать такой режим нагрева волокна, чтобы его температура выдерживалась около температуры воспламенения. С этой целью, используя математическую модель воспламенения Н.Н. Семёнова, создали математическую модель

удерживания температуры поверхности нити в состоянии неустойчивого равновесия.

Полученное дифференциальное уравнение позволяет выразить температуру нагревателя, установленного в заданной точке печи, как функцию физических свойств обрабатываемого волокна, темпа нагрева и других параметров задачи.

По расчётной температуре нагревателя предполагается определять необходимую мощность, подаваемую на этот нагреватель.

Таким образом, будет осуществляться динамическое управление термостабилизацией полиакрилонитрильного волокна.

Список литературы

1. Подкопаев С.А. Структура, свойства и технология получения углеродных волокон. Сборник научных статей. – Челябинск: Челябинский государственный университет, 2006. – 217 с.
2. Сборщиков Г.С. Огнеупоры, топливо и металлургические печи. Раздел: Теоретические основы горения. Учебное пособие. Под ред. Кривандина В.А. Теплотехника металлургического производства, том 1 – М.: МИСиС, 2002. – 606 с.

УДК 669.04

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СТРУИ АЗОТА С ПЛОСКОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Кондрашенко С.И. — аспирант,
Прибытков И.А. — к.т.н., профессор, научный руководитель
НИТУ «Московский институт стали и сплавов»
(НИТУ «МИСиС»)

INVESTIGATION OF INTERACTION A HIGHT-TEMPERATURE NITROGET WITH A PLANE SURFACE

Kondrashenko S.I. (stas.misis@yandex.ru),
Pribytkov I.A. (temp@misis.ru)

The task of the paper is numerical simulation of the interaction of a high-temperature nitrogen jet with a flat surface. The results showed that the following parameters have a significant effect on the aerody-

dynamic characteristics of the jets when interacting with the surface: d_0 , U_0 , T , the ratio h / d_0 .

Задачей работы является численное моделирование взаимодействия высокотемпературной струи азота с плоской поверхностью. Результаты показали, что существенное влияние на аэродинамические характеристики струй при взаимодействии их с поверхностью оказывают следующие параметры: d_0 , U_0 , T , соотношение h/d_0 .

Ключевые слова: струйный нагрев, «атакующие» струи, веерный поток, конвективный нагрев, численное моделирование, конвективная теплоотдача, поля скоростей.

Для решения сложных задач аэродинамики используются пакеты прикладных программ, что позволяет проводить все большее количество различных исследований с высокой точностью и в кратчайшие сроки.

Области применения струй, взаимодействующих с поверхностью, имеют место в химической промышленности, металлургической, авиационной и других отраслях промышленности [1, 2].

В работе исследовались особенности развития одиночной свободной высокотемпературной струи азота после ее встречи с поверхностью металла. Исследования проводились на основании численного моделирования в коммерческой версии программно-вычислительного комплекса FloEFD, основанного на решении уравнений газодинамики и теплообмена. Решаемая система уравнений состояла из уравнения Навье-Стокса, уравнений энергии и неразрывности, и была дополнена k - ϵ моделью турбулентности [3].

В результате решения были получены поля скоростей и температур газа, определены схемы развития пристеночного пограничного слоя для различных начальных вариантов температуры струи азота и отношения h/d_0 . Численное моделирование показало, что аэродинамика веерного потока принципиально отличается от аэродинамики свободной струи после ее удара о поверхность.

В качестве исходных данных использовались d_0 – внутренний диаметр сопла для истечения азота, U_0 – начальная скорость истечения азота, T – температура истечения струи азота, соотношение h/d_0 – соотношение диаметра сопла к расстоянию до поверхности металла. На рисунках 1 и 2 в качестве примера приведены результаты моделирования, а именно поле скоростей при взаимодействии высокотемпературной струи азота с поверхностью и изменение скорости по сечению веерного потока.

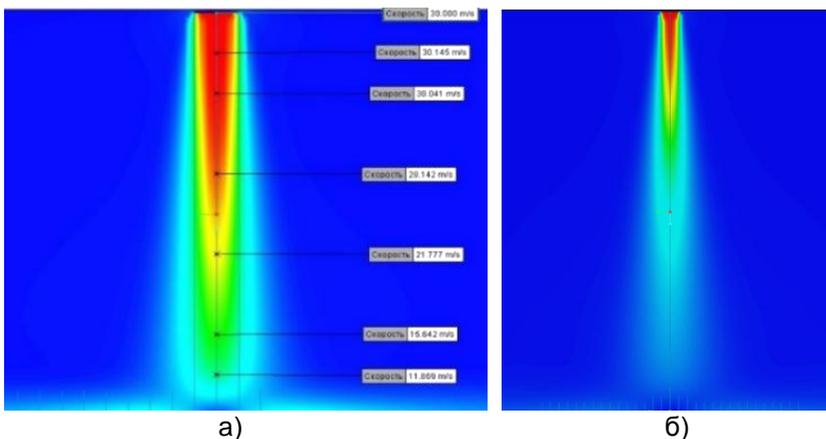


Рис. 1. Структура развития струи высокотемпературного азота при взаимодействии с поверхностью при:
 а) $U_0 = 30$ м/с, $h/d_0 = 10$, $d_0 = 50$ мм, $T = 700$ °С;
 б) $U_0 = 30$ м/с, $h/d_0 = 25$, $d_0 = 50$ мм, $T = 700$ °С

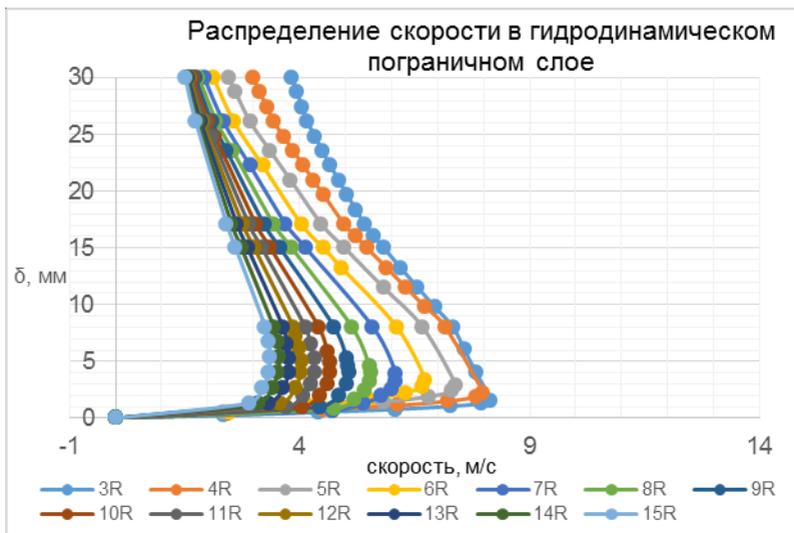


Рис. 2. Распределение скорости в гидродинамическом пограничном слое при $U_0 = 30$ м/с, $h/d_0 = 10$, $d_0 = 50$, $T = 700$ °С

Результаты показали, что после взаимодействия струи с поверхностью образуется пристеночный пограничный слой (соответствующий области изменения скорости от нуля на поверхности до

максимального значения) и свободный пограничный слой (изменение скорости от максимального значения до скорости окружающей среды).

Существенное влияние на аэродинамические характеристики струй при взаимодействии их с поверхностью оказывают следующие параметры: d_0 , U_0 , T , соотношение h/d_0 .

Список литературы

1. Прибытков И.А. Энергосберегающие способы нагрева металла на основе использования струй. М.: МИСиС, 2006. С. 375-390
2. Тимошпольский В.И., Трусова И.А., Ратников П.Э. Возможности применения струйного нагрева металла перед прокаткой. Литье и металлургия. 2007;(2): С. 63-66
3. Тимошпольский В.И., Трусова И.А., Менделев Д.В. Математическое моделирование процесса струйного нагрева цилиндрических заготовок в камерной нагревательной печи. Литье и металлургия. 2010;(3): С. 138-140

УДК 621.365.5(07)

ОБТЕКАНИЕ ТВЕРДОЙ СФЕРИЧЕСКОЙ ЧАСТИЦЫ ПОТОКОМ ИДЕАЛЬНОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ ($Re \gg 1$). ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Исянгильдина Л.Х. — студент,
Сборщиков Г.С. — д.т.н., профессор, научный руководитель
НИТУ «Московский институт стали и сплавов»
(НИТУ «МИСиС»)

FLOW AROUND A SOLID SPHERICAL PARTICLE BY A FLOW OF AN IDEAL INCOMPRESSIBLE FLUID ($Re \gg 1$). FORMULATION OF THE PROBLEM

Isyangildina L.H. (liana_isyangildina@mail.ru),
Sborshchikov G.S. (g.sborshchikov@mail.ru)

The aim of the work is to study the interaction supply of a solid spherical particle with the flow of an ideal fluid.

Задачей работы является изучение взаимодействия твердой сферической частицы с потоком идеальной жидкости.

© Исянгильдина Л.Х., Сборщиков Г.С., 2018

Ключевые слова: математическая модель, идеальная жидкость, уравнение Эйлера, уравнение Лапласа.

Большинство математических моделей теплофизических процессов, протекающих в многофазных системах, в настоящее время не имеют аналитического решения из-за своей сложности и громоздкости. В связи с этим на стадии создания математической модели необходимо стараться предельно упростить ее. В задачах, связанных с рассмотрением процессов движения многофазной системы и межфазного теплообмена, для этого используется теория пограничного слоя.

Рассмотрению подлежит омывание потоком идеальной жидкости твердого сферического тела. Так как жидкость идеальная ($Re \gg 1$), взаимодействие с потоком описывается уравнением Эйлера (1):

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= K_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x}, \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} &= K_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial y}, \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} &= K_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

и уравнением неразрывности (2):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + u \frac{\partial \rho}{\partial x} + v \frac{\partial \rho}{\partial y} + w \frac{\partial \rho}{\partial z} = 0. \quad (2)$$

Предполагаем, что омывание частицы происходит в установившемся режиме симметрично, жидкость несжимаема. В связи с этим в левой части уравнение Эйлера отпадают производные проекции вектора скорости по времени. Уравнение неразрывности принимает свой наиболее простой вид.

В результате система уравнений приобретает вид (3):

$$\left. \begin{aligned} u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= K_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x}, \\ u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} &= K_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial y}, \\ u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} &= K_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z}, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0.$$

Таким образом, определению подлежат три проекции вектора скорости u, v, w , а также давление, как функции координат.

Для того чтобы сократить число определяемых величин, введем в рассмотрение потенциал скорости, а также используем при решении сферические системы координат.

Формулы, связывающие декартовы координаты со сферическими, имеют вид:

$$x = r \cdot \sin \theta \cdot \cos \beta; \quad y = r \cdot \sin \theta \cdot \sin \beta; \quad z = r \cdot \cos \theta$$

и, с другой стороны:

$$\begin{aligned} r &= \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \\ \theta &= \arccos \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \\ \beta &= \arctg \frac{x}{y} + \begin{cases} 0, & \text{если } x > 0 \text{ и } y > 0, \\ \pi, & \text{если } x < 0, \\ 2\pi, & \text{если } x > 0 \text{ и } y < 0. \end{cases} \end{aligned}$$

Сферические координаты изменяются в следующих пределах:

$$0 \leq r < \infty; \quad 0 \leq \theta \leq 2\pi; \quad 0 \leq \beta \leq 2\pi.$$

Движение называется осесимметричным, если существует такая ось, относительно которой в плоскости, перпендикулярной к ней, параметры движения (скорость, давление и т.д.) не зависят от азимутального угла β , а зависят только от расстояния до оси симметрии. Из этого следует, что для осесимметричного движения

$w_\beta = 0$ и $\frac{\partial w}{\partial \beta} = \frac{\partial \rho}{\partial \beta} = 0$, т.е. число независимых переменных подлежащих определению, сокращается на один.

Функция потенциала скорости используется при исследовании безвихревого движения. При этом в начальный момент времени выполняется условие:

$$\text{rot}(\vec{w}) = 0 \text{ при } t \geq 0. \quad (4)$$

Если для потока выполняется условие (4), то существует скалярная функция φ , градиент которой равен скорости потока:

$$\vec{w} = \text{grad} \varphi. \quad (5)$$

Функция $\varphi(x, y, z, t)$ называется потенциалом скорости. В прямоугольной системе координат проекции вектора безвихревого течения можно записать формулами:

$$w_x = \frac{\partial \varphi}{\partial x}; w_y = \frac{\partial \varphi}{\partial y}; w_z = \frac{\partial \varphi}{\partial z}. \quad (6)$$

Подставляя в уравнение неразрывности $\frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{\partial w_y}{\partial y} + \frac{\partial w_z}{\partial z} = 0$ проекции вектора скорости, выраженные через потенциал скорости получим соотношение:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0 \text{ или } \nabla^2 \varphi = 0 \quad (7)$$

называемое уравнением Лапласа.

В сферической системе координат уравнение Лапласа имеет вид:

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \cdot \sin \theta \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} \right) = 0. \quad (8)$$

Граничные условия к уравнению (8) имеют вид:

$$\text{при } r = r_0 \quad u_n = \frac{\partial \varphi}{\partial n} = u \cdot \cos \theta;$$

$$\text{при } r \rightarrow \infty \quad \begin{cases} w_r = \frac{\partial \varphi}{\partial r} = w_\infty \cdot \cos \theta \\ w_\theta = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} = -w_\infty \cdot \sin \theta \end{cases} \quad (9)$$

Таким образом, решение поставленной задачи сводится к определению функции $\varphi(r, \theta)$ путем решения уравнения (8) с граничными условиями (9).

Список литературы

1. Сборщиков Г.С., Чибизова С.И. Современные проблемы металлургии и материаловедения: гидродинамика и массообмен в многофазных системах металлургии: учеб. пособие – М.: Изд. Дом МИСиС, 2016. – 141 с.

УДК 669.041.36/375

К ВОПРОСУ О ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИСТЕЧЕНИЯ ГАЗА, ПОДАВАЕМОГО ЧЕРЕЗ ГОРИЗОНТАЛЬНУЮ ФУРМУ ПОД УРОВЕНЬ РАСПЛАВА

Горбунова А.Н. — студент,
Сборщиков Г.С. — д.т.н., профессор, научный руководитель
НИТУ «Московский институт стали и сплавов»
(НИТУ «МИСиС»)

ON THE QUESTION OF THE GAS ESCAPE PHYSICAL MODEL SUPPLIED THROUGH THE HORIZONTAL TUYERE TO THE MELT LEVEL

Gorbunova A.N. (asya291095@gmail.com),
Sborshchikov G.S. (g.sborshchikov@mail.ru)

The aim of the work is to research and compare the data on the question of the gas transition from bubble flow into jet flow.

Целью данной работы являются исследование и сравнение данных по вопросу перехода от пузырькового режима истечения газа в струйный.

Ключевые слова: режимы истечения, фурма печи, струйный и пузырьковый режимы, газовая струя.

При подаче газа в расплав через фурму, расположенную под уровнем расплава, возможны два режима истечения газа: пузырьковый и струйный. В настоящее время довольно противоречивы сведения о переходе пузырькового режима истечения в струйный [1]. К примеру, исследователи Мори и Сано утверждают, что переход от пузырькового режима к струйному происходит при числе Маха равном единице [2, 3]. Другими словами, переход происходит при подаче в жидкость сверхзвуковой струи. Этот вопрос рассмотрен Г.С. Сборщиковым в 70-х гг. двадцатого века. На основании теории конвективной устойчивости несжимаемой жидкости им доказано, что струйный режим наступает при определенном соотношении кинетической энергии газовой струи и потенциальной энергии ванны расплава. Определяющим фактором здесь является не скорость газового потока, а соотношение физических свойств газа и жидкости: их плотностей, вязкостей и поверхностного натяжения [4]. При этом струйный режим истечения образуется в той части газового потока внутри объема ванны, в которой подавлено действие выталкивающей силы Архимеда. Г.С. Сборщиков предполагает, что необходимые для этого гармонические колебания поверхности газовой струи генерируют турбулентные пульсации, возникающие на границе раздела газовой струя-расплав. Подтверждением высказанной гипотезы являются экспериментальные данные швейцарского физика Г. Вольфа, которые с высокой степенью точности совпадают с результатами расчета по теоретической формуле Г.С. Сборщикова [5].

Список литературы

1. Manabu Iguchi, Olusegun J. Modeling Multiphase Materials Processes, Springer, 2011.
2. Iguchi M, Kondoh T, Morita Z., Nakajima K., Hanazaki K., Uemura T., Yamamoto F. Metall Mater Trans ,1995.
3. Sheng YY, Irons GA Metall Mater Trans,1992.
4. Сборщиков Г.С. // Изв. АН СССР. Металлы, 1977, № 6.
5. G. Wolf // Physik Rev. Letters, 1970, 24.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СЛАБОТОЧНОГО СИГНАЛА ПОСТОЯННОГО ТОКА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОХЛАЖДЕНИЯ СТАЛЬНОЙ ЛЕНТЫ

Селиверстов В.И. — магистрант,
Агапитов А.Е. — магистрант,
Агапитов Е.Б. — д.т.н., профессор, научный руководитель
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова»

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF A LOW-CURRENT SIG- NAL ON THE EFFICIENCY OF COOLING OF A STEEL TAPE

Seliverstov V.I., Agapitov A.E. (artagapitov@gmail.com),
Agapitov E.B. (jek_agapitov@mail.ru)

The aim of the paper is to investigate the possibility of changing the rate of heat transfer in a metallic conductor under the influence of a low-current signal from a direct current source. Practical orientation is connected with the needs in a number of cases to control the cooling regime of preheated metal products. Metal tape from medium-carbon steel was chosen by the object. A series of studies was carried out on the experimental setup and initial results are given.

Целью работы является исследование возможности изменения скорости передачи тепла в металлическом проводнике под действием слаботочного сигнала источника постоянного тока. Практическая направленность связана с потребностями в ряде случаев управлять режимом охлаждения предварительно нагретых металлических изделий. В качестве объекта была выбрана металлическая лента из среднеуглеродистой стали. На экспериментальной установке проведена серия исследований, приводятся начальные результаты.

Ключевые слова: теплообмен, электросопротивление, электрический ток, кристаллическая решетка, температура.

В металлургической практике часто возникают задачи ускорения охлаждения нагретых стальных объектов (полосы, рулонов).

Традиционные пути интенсификации теплообмена в основном реализуют варианты внешнего конвективного теплообмена и имеют ограничение по эффективности. Задачей данного исследования являлось рассмотрение возможностей интенсификации внутренних процессов, которые нельзя рассматривать без привязки к процессам теплофизики теплопроводности.

Известна связь между электросопротивлением материала и теплопроводностью. Так сталь имеет среднюю величину удельного электрического сопротивления – на уровне $0,1 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ и слабо нагревается под воздействием постоянного электрического тока. Вообще, связь удельного электрического сопротивления с температурой, имеет вид:

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t), \quad (1)$$

где ρ_0 – удельное электрическое сопротивление проводника при $0 \text{ }^\circ\text{C}$;
 α – температурный коэффициент сопротивления (для стали $6 \cdot 10^{-3}/^\circ\text{C}$).

Как известно, с физической точки зрения явление теплопроводности представляет собой перенос кинетической энергии [1]. В металлах и сплавах перенос тепловой энергии в общем случае осуществляется двумя типами носителей: электронами проводимости и колебаниями кристаллической решетки (фонами). Поэтому различают электронную ($\lambda_{\text{э}}$) и решеточную ($\lambda_{\text{р}}$) составляющие теплопроводности. Тогда $\lambda = a\lambda_{\text{э}} + b\lambda_{\text{р}}$. Надежное разделение полной теплопроводности металлов и сплавов на электронную и решеточную составляющие, т.е. определение значений a и b , возможно только экспериментальным путем.

Превалирующим механизмом теплопроводности металлов и сплавов является перенос тепла электронами проводимости. Решеточная теплопроводность чистых металлов обычно мала (приблизительно в 30 раз меньше) по сравнению с электронной. При теплопроводности суммарного переноса электронов, т.е. электрического тока нет. Поток тепла отличен от нуля вследствие того, что в одну сторону идут электроны, имеющие более высокую кинетическую энергию, а в другую – более низкую. В процессе теплопроводности избыточная энергия электронов передается решетке в результате их столкновения с ионами. Величина, обратная теплопроводности, носит название теплового сопротивления. Тепловые колебания атомов в кристаллической решетке значительно изменяют величину электросопротивления и зависят от температуры.

Температура, разделяющая характер изменения сопротивления, носит название температуры Дебая ($\theta_{\text{Д}}$) или характеристи-

ческой температуры. В отличие от температурной зависимости электросопротивления температурная зависимость величины $1/\lambda_{\text{Э}}$ не является монотонной функцией при $T \ll \theta_{\text{Д}}$ (температура Дебая). Величина $1/\lambda_{\text{Э}}$ выражается функцией вида:

$$\frac{1}{\lambda_{\text{Э}}} = \left(\frac{\beta}{T} \right) + \alpha T^2, \quad (2)$$

где β и α – постоянные величины.

Член β/T описывает тепловое сопротивление, обусловленное рассеянием электронов на примесях и дефектах решетки; член αT^2 – рассеяние на атомах решетки. Совместное действие этих слагаемых приводит к появлению максимума на кривой температурной зависимости теплопроводности. При рассмотрении теплопроводности чистых металлов необходимо обратить внимание на то, что в ряду металлических элементов теплопроводность тем больше, чем больше электропроводность. При каждой температуре t металлы и сплавы характеризуются энергетическим состоянием, которое определяет силы металлической связи в кристаллической решетке.

В твердом теле тепловая энергия повышается при нагревании благодаря увеличению как кинетической, так и потенциальной энергии атомов, колеблющихся возле своих средних положений в кристаллической решетке. Движение свободных электронов подчиняется законам квантовой механики, в соответствии с которыми, электроны в металле даже при абсолютном нуле занимают энергетические состояния вплоть до уровня энергии Ферми ϵ_{F} .

Согласно правилу Видемана-Франца [1] при комнатной температуре для различных металлов:

$$\frac{\lambda}{\gamma} = \text{const}, \quad (3)$$

где λ – теплопроводность;
 γ – электропроводность.

Лоренц, исследуя это соотношение при различных температурах, нашел, что соотношение λ/γ , деленное на абсолютную температуру металла T , является величиной постоянной, т.е. $\lambda/\gamma T = L$. Эта постоянная величина называется числом Лоренца.

Теплопроводность металлов, как и электропроводность, меняется под действием внешнего магнитного поля. При этом возможно как увеличение, так и уменьшение теплопроводности. Можно предположить, что протекание тока по проводнику вызывает

возникновение электромагнитного поля вокруг него и должно привести к изменению теплопроводности материала.

С учётом одинаковой природы явления теплопроводности металлов и их электропроводности было решено провести исследование влияния на теплопроводность стали слабого электрического тока в случае совпадения или несовпадения направления теплового потока с направлением движения электронов источника постоянного тока.

Лабораторная установка представляла собой устройство со штативом, на котором закреплялась лента из среднеуглеродистой стали, опущенная в ванну с проточной водой, а в верхней части – закреплялась газовая горелка, направленная на ленту. По длине ленты были нанесены метки для замеров температуры пирометром типа «ПИТОН» с лазерным прицелом с классом точности замера $\pm 0,2$ °С. Горелкой нагревалась область ленты фиксированного размера (выше контрольных точек) до температуры 600 - 650 °С, после чего нагрев прекращали. После достижения в верхней контрольной точке температуры 250 °С, начинали фиксировать температуры в других точках через равные промежутки времени. Напряжение от источника постоянного тока подавали на верхний и нижний конец ленты (рис. 1).

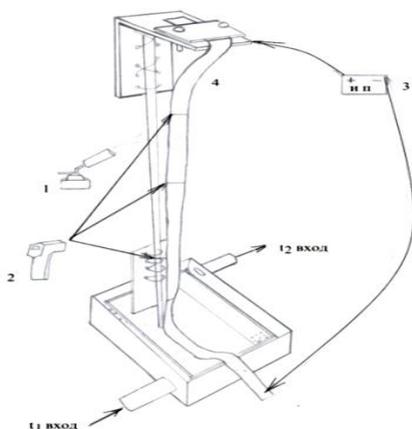


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:
1 – газовая горелка, направленная на ленту;
2 – пирометр типа «ПИТОН» с лазерным прицелом
с классом точности замера $\pm 0,2$ °С; 3 – источник постоянного
тока ($U_{xx} = 5$ В); 4 – устройство со штативом
и ванной охлаждения

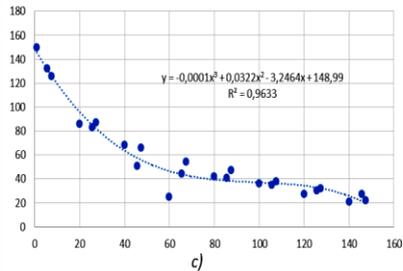
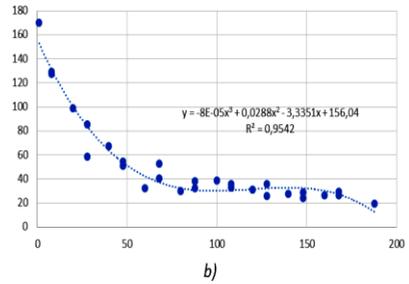
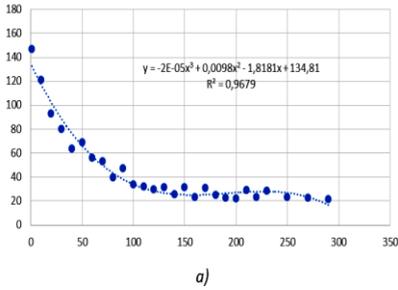


Рис. 2. Результаты замеров темпа охлаждения в точке 1 при различных вариантах наложения слабotoчного сигнала:
a – 1 (- вверху); *b* – 1 точка с напряжением (+вверху);
c – 1 точка без напряжения

Заметна разница в темпах охлаждения – примерно на 20 % (с учетом погрешности замеров), особенно в первой точке, удаленной от теплового стока. Эффект влияния заметен и на второй точке, что подтверждает стабильность наблюдаемого явления. На основании результатов эксперимента можно утверждать, что предположение о возможности изменения скорости передачи тепла в металле под воздействием слабого электрического поля подтверждается.

Полученные результаты требуют дальнейшего расширения исследований и оценки влияния параметров источника тока на наблюдаемый эффект.

Список литературы

1. Воронин С.В., Юшин В.Д., Бунова Г.З. Физические свойства металлов. Конспект лекций. Часть 2. [Электронный ресурс]: электрон. учеб. пособие. Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С.П. Королева (нац. исслед. ун-т) – Самара, 2011.

2. Байда Е.И. Электрические аппараты. 2010. №5.
3. Тутов И.А., Гольцов Б.В. Вестник науки Сибири. 2011. №1.

УДК 621.184.64:001.891

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА
В ТЕПЛООБМЕННИКЕ «ТРУБА В ТРУБЕ»
С УЧЕТОМ ВЫБОРА МАТЕРИАЛА ТРУБ**

Лыгин М.М. — магистрант,
Демиденко Л.Л. — к.т.н., доцент, научный руководитель
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова»

**MODELING OF HEAT EXCHANGE PROCESSES IN THE HEAT
EXCHANGER «PIPE IN PIPE» TAKING INTO ACCOUNT
THE CHOICE OF PIPE MATERIAL**

Lygin M.M. (eligin@ya.ru),
Demidenko L.L. (demidenkoludmila@gmail.com)

The paper describes the calculation of the heat exchanger type «pipe in pipe», describes its numerical implementation in the VBA environment, taking into account the choice of pipe material. The efficiency of the used material was determined on the basis of the mathematical model.

В работе описывается расчёт теплообменника типа «труба в трубе», описана его численная реализация в среде VBA с учётом выбора материала труб. На основе математической модели определялась эффективность используемого материала.

Ключевые слова: теплообменник типа «труба в трубе», материал, алгоритм, программа, VBA.

Теплообменные аппараты «труба в трубе» (далее теплообменники) являются наиболее распространёнными и простыми в эксплуатации. Принцип работы теплообменника основан на постоянном контакте теплоносителя с обрабатываемой жидкостью, используется в технологических системах для нагревания или охлаждения.

ждения теплоносителя с небольшой поверхностью теплообмена на предприятиях теплоэнергетической, газовой, нефтяной, химической и др. промышленности.

По сравнению с другими теплообменниками, этот вариант имеет ряд преимуществ:

- возможность использования в качестве контактной среды воды и любых вязких жидкостей, пара или газа;
- малозатратное эффективное обслуживание;
- малые габариты;
- плотность и прочность разъемных фланцевых соединений;
- многовариантные схемы компоновки.

Теплообменный аппарат проектируется на основании:

- теплового расчета с определением площадей поверхности теплообменника;
- конструктивного расчета основных геометрических параметров агрегата и его узлов;
- гидравлического расчета, определяющего потерю напора;
- расчета тепловой изоляции оборудования;
- подсчета экономической эффективности.

В данной работе для моделирования процесса теплообмена двух сред, протекающих в теплообменнике типа «труба в трубе», была создана автоматизированная программа в среде VBA (рис.1), с вложенным в неё алгоритмом расчёта таких параметров как [1]:

- количество передаваемой теплоты;
- среднеарифметические значения температур теплоносителей;
- скорости движения теплоносителей;
- числа Рейнольдса и Нуссельта;
- коэффициент теплопередачи;
- плотность теплового потока;
- площадь поверхности нагрева;
- число секций теплообменника.

Отличительной чертой расчёта является то, что при заданных одних и тех же параметрах сред можно провести исследование, как изменяются те или иные значения при изменении материала, из которого сделаны теплообменные трубы. Так же, благодаря этому, можно сделать анализ и оценку эффективности материала по соотношению «цена – передаваемая теплота». Результаты исследования при ориентировочной цене за 1 тонну показаны в таблице 1.

Исходные данные

Введите данные и выберите тип материала внутренней трубы из перечня

Температура греющей воды на входе $t'_{ж1} = 95$ °C Температура нагреваемой воды на входе $t'_{ж2} = 15$ °C

Расход греющей воды $G_1 = 2130$ кг/ч Температура нагреваемой воды на выходе $t'_{ж2} = 45$ °C

Наружный диаметр трубы $d_2 = 35$ мм Внутренний диаметр внешней трубы $D = 48$ мм

Внутренний диаметр трубы $d_1 = 32$ мм Расход нагреваемой воды $G_2 = 3200$ кг/ч

Длина одной секции теплообменника $L = 1.9$ м Тип материала внутренней трубы

Свинец
Сталь
Бронза
Олово
Платина
Латунь
Алюминий
Медь

Выход Запомнить Далее

Рис. 1. Диалоговое окно «Исходные данные»

Таблица 1

Результаты технико-экономических показателей

Материал	Коэффициент теплопередачи	Плотность теплового потока	Площадь поверхности нагрева	Цена за тонну материала
	Вт/м ² ·°C	Вт/м ²	м ²	руб/т
Свинец	1939	82370,7	1,36	90000
Сталь	1970	83921,1	1,33	45000
Бронза	1989,4	84477,6	1,32	170000
Олово	2017,1	85657,3	1,3	700000
Платина	2023,9	85943	1,3	800000
Латунь	2056,8	87343,2	1,28	140000
Алюминий	2084	88495,5	1,25	55000
Медь	2098,3	89102,9	1,25	260000
Титан	1798,5	76374,3	1,46	130000
Никель	1993,9	84671,9	1,32	600000
Нихром	1798,5	76374,3	1,46	450000
Молибден	2070,3	87915,2	1,27	500000
Ниобий	1984,4	84268	1,33	500000
Висмут	1514,7	64323,5	1,74	180000

Проанализировав результаты и соотнеся их с ценой за 1 тонну используемого материала, можно сделать вывод о том, что наиболее выгодным в использовании является алюминий, так при наименьшей цене в 55000 руб./тонну достигаются практически самый высокий коэффициент теплопередачи 2084 Вт/м²·°C, плот-

ность теплового потока 88495,5 Вт/м² и наименьшая площадь поверхности нагрева 1,25 м², что позволит сократить габариты теплообменника «труба в трубе» [2].

Список литературы

1. Решение задач в среде VBA: учеб. пособие / И.Г. Серебренникова, Г.М. Коринченко, Т.Н. Носова, Л.Л. Демиденко. Магнитогорск: ГОУ ВО «МГТУ», 2010. 162 с.
2. Заврин В.Г. Теплообменное оборудование предприятий. Учебное пособие. Томск, ТПУ, 2004. - 163 с.

УДК 66.047.4./5

СУШКА ДИСПЕРСНОГО МАТЕРИАЛА В УСТАНОВКЕ С ЦЕНТРОБЕЖНЫМ ПСЕВДООЖИЖЕННЫМ СЛОЕМ

Андреев А.Ю. — студент,
Надеев А.А. — к.т.н., ст. преподаватель, научный руководитель
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет»

THE DRYING OF DISPERSED MATERIAL IN INSTALLATION WITH CENTRIFUGAL FLUIDIZED BED

Andreev A. Yu. (aayurevich@gmail.com),
Nadeev A.A. (alekn85@mail.ru)

The paper considers results of the dispersed material drying process in an installation with a centrifugal fluidized bed experimental study. A brief analysis of the obtained data is given.

В работе рассмотрены результаты экспериментального исследования процесса сушки дисперсного материала в установке с центробежным псевдооживленным слоем. Приведен краткий анализ полученных данных.

Ключевые слова: сушильная установка, дисперсный материал, псевдооживленный слой, тепло- и массообмен.

Последние годы большое внимание в различных отраслях промышленности стало уделяться вопросам энергоэффективности и энергосбережения. Одним из самых энергозатратных теплотехнических промышленных процессов является сушка. Сушильные аппараты с псевдооживленным слоем позволяют добиться значительной интенсификации процессов межфазного теплообмена, обладая при этом незначительным гидравлическим сопротивлением, что делает способы сушки, основанные на их применении, наиболее эффективными для дисперсных материалов [1, 2].

В ВГУ была создана сушильная установка с центробежным псевдооживленным слоем и экспериментальный стенд для исследования процесса сушки дисперсных материалов с использованием данного технологического принципа. В работе [3] было приведено описание стенда и конструкции аппарата.

Суть проведенных экспериментов заключалась в сушке порций заранее увлажненного силикагеля подогретым в калорифере воздухом с постоянным расходом. На рисунке приведены некоторые полученные экспериментальные данные для трех режимов, где начальная температура сушильного агента t'_2 составляла 40, 50 и 60 °С, $v_2 = 2,2$ м/с, $u_{н1} = 0,82$ кг/кг.

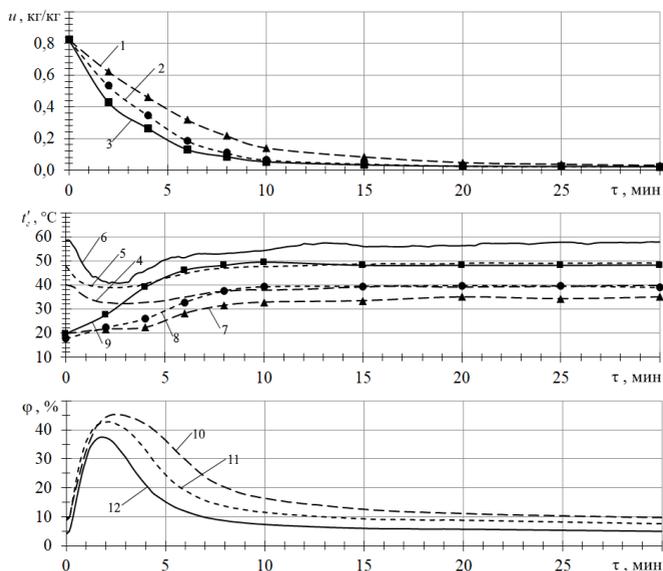


Рис. 1. Процесс сушки силикагеля:

- 1 – $u_{н(40)}$; 2 – $u_{н(50)}$; 3 – $u_{н(60)}$; 4 – $t''_{2(40)}$; 5 – $t''_{2(50)}$; 6 – $t''_{2(60)}$; 7 – $t_{m(40)}$; 8 – $t_{m(50)}$; 9 – $t_{m(60)}$; 10 – $\varphi''_{(40)}$; 11 – $\varphi''_{(50)}$; 12 – $\varphi''_{(60)}$

В ходе эксперимента контролировался и фиксировался следующий ряд параметров: температуры и относительные влажности сушильного агента (атмосферного воздуха) до калорифера (t_{z0} , φ_0), перед входом в сушильную установку (t'_z , φ') и на выходе из нее (t''_z , φ''); изменение влагосодержания (u) высушиваемого материала и его температуры (t_m).

Из рисунка 1 видно, что при увеличении температуры воздуха возрастает интенсивность процесса удаления влаги из силикагеля. Зависимости $t''_z = f(\tau)$ и $\varphi'' = f(\tau)$ демонстрируют единовременный минимум и максимум, отражающие максимальное насыщение воздуха водяным паром. Кривые сушки имеют стандартный вид и позволяют выделить два периода – первый (период постоянной скорости сушки) и второй (период падающей скорости сушки) [4].

Стоит отметить, что при максимальной начальной влажности силикагеля $u_n = 0,82$ кг/кг и минимальной температуре теплоносителя 40 °С процесс сушки занимает приблизительно 25 минут, что, с учетом рекомендуемой температуры регенерации силикагеля в промышленности, достигающей 200 °С, позволяет сделать вывод о высокой интенсивности сушки в установке и возможности осуществления процесса низкотемпературной сушки дисперсных материалов в разработанной установке.

Список литературы

1. Gibilaro L.G. Fluidization Dynamics / L.G. Gibilaro. – Butterworth-Heinemann, 2001. – 256 p.
2. Агапов Ю.Н. Оценка гидравлического сопротивления и межфазного теплообмена в центробежном псевдооживленном слое / Ю.Н. Агапов, А.В. Бараков, А.В. Жучков, А.В. Санников // Химическая промышленность. – 1986. – № 4. – С. 61.
3. Андреев А.Ю. Кинетика сушки силикагеля в установке с центробежным псевдооживленным слоем / А.Ю. Андреев, С.А. Яркова, А.А. Надеев // Сборник трудов победителей конкурса научно-исследовательских работ студентов и аспирантов ВГТУ по приоритетным направлениям развития науки и технологий «Научная опора Воронежской области». – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2017. – С. 76-77.
4. Лыков А.В. Теория сушки. - М.: Энергия, 1968. 472 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАНТОВ УТИЛИЗАЦИИ ДОМЕНННОГО ГАЗА В СХЕМЕ С ПГУ

Шибанов В.А. — студент,
Агапитов Е.Б. — д.т.н., профессор, научный руководитель
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова»

RESEARCH OPTION RECYCLING BLAST-FURNACE GAS IN THE SCHEME WITH CCGT (COMBINED-CYCLE GAS TURBINE)

Shibanov V.A. (vovashibanoff@yandex.ru),
Agapitov E.B. (jek_agapitov@mail.ru)

The problem of increasing the energy efficiency of the utilization of blast-furnace gas is considered. An original scheme of a combined-cycle gas turbine, which includes a gas turbine plant on natural gas and a steam power boiler operating on blast-furnace gas and gas turbine plant waste gases.

Рассматривается проблема повышения энергоэффективности утилизации доменного газа. Предлагается оригинальная схема парогазовой установки, включающая ГТУ на природном газе и паровой энергетический котел, работающий на доменном газе и сбросных газах ГТУ.

Ключевые слова: энергосбережение, доменный газ, парогазовая установка, газотурбинная установка.

В настоящее время перед металлургической промышленностью стоит задача снижения удельных расходов энергии на единицу производимой продукции. Одним из решений такой проблемы является использование вторичных энергетических ресурсов (ВЭР), которые являются сопутствующими продуктами во многих технологических процессах. Значительным потенциалом энергосбережения в черной металлургии является использование доменного газа – сопутствующего продукта выплавки чугуна в доменных печах.

Доменный газ содержит 28-30 % CO, 11-13 % CO₂, 0,5 % CH₄, 1,5-2 % H₂, 56-58 % N₂ и имеет низшую теплоту сгорания 4000 КДж/м³ (955 ккал/м³). Средний выход доменного газа при выплавке 1т чугуна составляет около 2000 м³. Доменный газ после очистки имеет температуру порядка 35-40 °С, а его теплоемкость составляет 0,4КДж/м³ [1].

В зависимости от структуры металлургического производства возможны несколько конкурирующих современных схем использования доменного газа для выработки электроэнергии: с паротурбиной, газотурбиной и комбинированной парогазовой установками (ПТУ, ГТУ, ПГУ соответственно). Эффективность применяемой схемы ПГУ во многом зависит от КПД ГТУ. Существует несколько путей повышения КПД ГТУ, в числе которых: повышение температуры газа перед турбиной для ГТУ простого термодинамического цикла; применение регенерации тепла; использование тепла уходящих газов в бинарных циклах [2].

Наиболее перспективным направлением считается цикл ПГТУ – совместное использование газотурбинных и паротурбинных установок (ГТУ и ПТУ) с целью повышения экономических и экологических характеристик цикла [3].

Особенностью ГТУ является использование атмосферного воздуха в качестве рабочего тела, которое поступает через фильтры и воздухоочистительные устройства в осевой компрессор.

Выходящие газы из ГТУ представляют собой продукты сгорания, близкие по составу к воздуху. Избыток воздуха в газах за ГТУ $\alpha_{yx} = 8 - 15$, объемная концентрация кислорода составляет 13-16% и температура выходных газов $T_4 = 450 - 600$ °С [4]. Это позволяет создать тепловую схему ПГУ с использованием нагретых газов ГТУ в топочной камере энергетического котла.

Выходные газы ГТУ направляются в горелки парового котла, где они используются в качестве окислителя. Это позволяет отказаться от воздухоподогревателя котла и от дутьевых вентиляторов. За счет отсутствия воздухоподогревателя, снижения сопротивления, общего количества газов, которые проходят через поверхности нагрева котла может быть увеличено на 30-40 %.

Технологическое преимущество данной схему ПГУ заключается в возможности обеспечения автономного режима работы газовой и паровой части установки. Ее электрический КПД можно определить по формуле

$$\eta_{ПГУ}^э = \frac{N_e^э + N_n^э}{Q_e^c + Q_n^c}, \quad (1)$$

где $N_e^э$ – это электрическая мощность ГТУ;

$N_n^э$ – это электрическая мощность ПТУ;

Q_e^c – теплота сгорания топлива в ГТУ;

Q_n^c – теплота сгорания топлива в ПТУ.

КПД паровых энергетических котлов на доменном газе достигается 92 %, это чуть меньше КПД котлов на природном газе, которое составляет 94 %. КПД паровых энергетических котлов называется отношение полезной теплоты, пошедшей на выработку пара, к располагаемой теплоте:

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_p} \cdot 100\%, \quad (2)$$

КПД современных парогазовых установок достигает 50 %, а КПД газотурбинных установок 40 %. КПД газотурбинных установок рассчитываются по формуле:

$$\eta_{ГТУ} = \frac{N_{эл}}{Q_{расп}}, \quad (3)$$

где $N_{эл}$ – электрическая мощность;

$Q_{расп}$ – располагаемая теплота топлива.

При одинаковых расходах ПГУ и ГТУ, можно сделать вывод, что мощность ПГУ будет больше ГТУ на величину мощности парового котла. Соответственно КПД парогазовой установки будет больше газотурбинной. Были проведены оценки, где за основу[5], были взяты технологические данные штатных отечественных и зарубежных ГТУ и ПГУ (рис. 1).

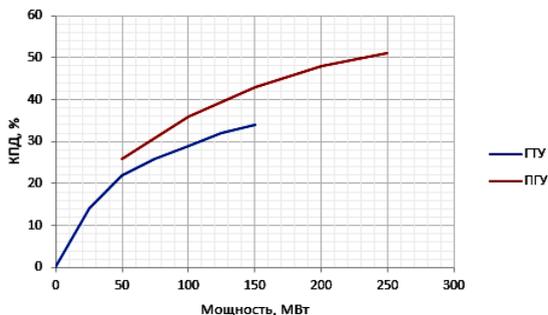


Рис. 1. Зависимость КПД схемы ПГУ от мощности

Из рисунка 1 видно, что КПД парогазовой установки существенно больше газотурбинной установки. Можно сделать вывод о том, что использование ПТУ совместно с ГТУ дает возможность увеличить КПД всего цикла из-за увеличения мощности установки без дополнительного сжигания топлива только за счет утилизации горячих продуктов сгорания после газовой турбины в котле.

Список литературы

1. Бурдаков Д.Д., Бурдаков Ю.Д., Володин С.А. Общая металлургия [Текст] / Д.Д. Бурдаков, Ю.Д. Бурдаков, С.А. Володин- М.: Металлургия, 1971. – 472 с.
2. Батенин В.М., Фаворский О.Н., Масленников В.М. Парогазовая установка с вводом пара в газовую турбину [Текст] / В.М. Батенин, О.Н. Фаворский, В.М. Масленников – М.: 1993. - 46-52 с.
3. Баринберг Г.Д., Валамин А.Е., Коган П.В., Култышев А.Ю. Теплофикационные паровые турбины для ПГУ мощностью 170-230 МВт [Текст] / Г.Д. Баринберг, А.Е. Валамин, П.В. Коган, А.Ю. Култышев - М.: Теплоэнергетика. 2008. 28-33 с.
4. Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и паротурбинные установки тепловых электростанций [Текст] / С.В. Цанев, В.Д. Буров, А.Н. Ремезов - М.: МЭИ, 2002. 584 с
5. Номенклатурный перечень АО УТЗ: Каталог. – М., 2017. – 33 с.

ПЛАВЛЕНИЕ МЕЛКОКУСКОВОЙ РУДЫ И ЛОМА В БАРБОТАЖНОМ СЛОЕ

Султанов Р.Р. — магистрант,
Екубов Д.Р. — аспирант,
Сборщиков Г.С. — д.т.н., профессор, научный руководитель
НИТУ «Московский институт стали и сплавов»
(НИТУ «МИСиС»)

MELTING OF FINE-GRAINED ORE AND SCRAP IN THE BUBBLING LAYER

Sultanov R.R. (radmir.sultanov.00@mail.ru),
Ekubov D.R. (dilmurod91.dy@gmail.com),
Sborshchikov G.S. (g.sborshchikov@mail.ru)

The article is devoted to the processing of small-piece ore and scrap in the bubbling layer. Calculations of the heating and melting time of the initial charge have been performed, and the velocities of its movement in the bubbling layer have been calculated.

Статья посвящена переработке мелкокусковой руды и лома в барботажном слое. Произведены расчеты времени нагрева и плавления исходной шихты, а также рассчитаны скорости ее движения в барботажном слое.

Ключевые слова: мелкокусковой лом, барботажный слой, время прогрева и плавления, скорость осаждения частицы, высота барботажного слоя.

Рассматривается плавление мелкокусковых частичек в барботируемом шлаковом расплаве. Целью расчета является определение оптимальной высоты барботажного слоя. Для этого сопоставляются две расчетные величины: время прогрева и плавления твердой частицы и время оседания этой частицы в барботажном слое вязкой жидкости. Для упрощения расчетов было принято, что все частицы имеют форму шара. В качестве исходного сырья принята сталь марки Ст20.

Попадая в расплав частицы должны нагреться до температуры плавления и расплавиться до состояния капли. Известно, что эти превращения сопровождаются тепловым эффектом и скачкообразным изменением плотности исходного сырья. Движущаяся поверхность раздела твердой и жидкой фаз при плавлении твердых материалов, фронт фазового превращения, определяет скорость плавления.

Плавление частиц имеет место, если количество теплоты, подводимой к межфазной границе больше теплоты, отводимой от нее вглубь частицы. При этом на границе раздела фаз возникает избыток теплоты, расходуемый на фазовое превращение, в результате чего граница раздела перемещается во внутрь твердой фазы.

Запишем условие Стефана, определяющее количественную оценку направления и скорости движения границы раздела фаз[1]:

$$\rho L \frac{d\xi}{dt} = \dot{q}' - q, \quad (1)$$

где ρ – плотность твердой фазы, кг/м³;

L – скрытая теплота плавления вещества, кДж/кг;

$(\dot{q}' - q)$ – плотность результирующего потока теплоты на границе раздела фаз, Вт/м².

Так как рассматривается процесс плавления твердой частицы в расплаве, величина $\dot{q}' - q$ имеет отрицательное значение и, следовательно, $\rho L \frac{d\xi}{dt}$ также отрицательна, в результате чего сокращается объем твердой фазы и увеличивается объем расплава.

При расчете процесса плавления частицы необходимо определить степень ее термической массивности в рассматриваемой системе.

Термическую массивность частицы в рассматриваемой системе оценим с помощью критерия Био [1]:

$$Bi = \alpha \cdot \frac{r}{\lambda}, \quad (2)$$

где α – коэффициент теплоотдачи в расплаве, Вт/(м²·К);

r – радиус твердой частицы, м;

λ – коэффициент теплопроводности твердой частицы, Вт/(м·К).

Примем предельное значение радиуса частицы – 20 мм. Коэффициент теплопроводности Ст20 – 36 Вт/(м·К), и коэффициент теплоотдачи от расплава к поверхности частицы порядка 10^3 Вт/(м²·К). Получаем значение $Bi = 0,31$. Таким образом, наиболее вероятным является нагрев твердой частицы в режиме термически тонкого тела, т.е. в процессе нагрева в объеме частицы отсутствует градиент температур. При таком режиме нагрева тела, прогретого до температуры плавления $T_{пл}$, плотность теплового потока, отводимого от поверхности шара внутрь тела $q = 0$, и вся подводимая к телу теплота расходуется на фазовое превращение. При значении $q = \text{const}$ плавление происходит с постоянной скоростью $v = q/\rho L$. В связи с этим продолжительность периода плавления определяется по формуле [3]:

$$t_n = 0,384 \cdot \frac{c_\delta^m \cdot \rho_\delta \cdot d_\delta^2}{\lambda_c^m \cdot Nu} \cdot \lg\left(1 - \frac{q}{q_{max}}\right), \quad (3)$$

где c_δ^m – удельная теплоемкость дисперсной фазы при температуре плавления кДж/кг·К;

ρ_δ – плотность дисперсной фазы, кг/м³;

d – диаметр частицы, м;

λ_c^m – коэффициент теплопроводности шлага, Вт/м·°С;

Nu – число Нуссельта;

q – количество теплоты, поглощаемой частицей при разогреве до температуры плавления, кДж;

q_{max} – максимально возможное количество теплоты, передаваемой расплавом частице при заданной температуре расплава, кДж.

При нагреве шара в режиме термически тонкого тела прогретого до температуры плавления $T_{пл}$, плотность теплового потока, отводимого от поверхности шара во внутрь тела $q = 0$, и вся подводимая к телу теплота расходуется на фазовое превращение. При значении $q = \text{const}$ плавление происходит с постоянной скоростью $v = q/\rho L$. В связи с этим продолжительность периода плавления определяется по формуле [3]:

$$t_{плав} = \frac{q_{ф.п.}}{F_\delta \cdot \alpha \cdot (T_c - T_\delta^n)}, \quad (4)$$

где $q_{ф.н.}$ – скрытая теплота фазового перехода стальной частицы из твердого состояния в жидкое, кДж;

F_{δ} – поверхность дисперсной частицы, м;

α – коэффициент теплоотдачи от несущей среды к частице, Вт/м²·°С;

T_c – температура расплава, °С;

T_{δ}^n – температура плавления дисперсной частицы, °С.

Определим далее скорость осаждения частиц в вязком расплаве. При этом принимаем, что омывание твердой частицы расплавом происходит в ползущем режиме ($Re \ll 1$). Она движется в расплаве с начальной скоростью 6,26 м/с и за счет силы сопротивления ванны (сумма выталкивающей силы Архимеда и лобового сопротивления) тормозится до значения скорости, при котором сила сопротивления уравнивает силу тяжести. Начиная с этого момента частица движется с постоянной скоростью [2]:

$$u = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2 \cdot g}{\nu_p} \cdot \left(\frac{\rho_c}{\rho_p} - 1 \right), \quad (5)$$

где ν_p – кинематический коэффициент вязкости расплава, м²/с;

ρ_c – плотность частицы, кг/м³;

ρ_p – плотность расплава, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с².

После появления на поверхности частицы расплава скорость ее движения в слое определяется по формуле[2]:

$$u = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2 \cdot g}{\nu_p} \cdot \left(\frac{\rho_c}{\rho_p} - 1 \right) \cdot \frac{\mu_c + \mu_p}{\mu_p + \frac{2}{3} \cdot \mu_c}, \quad (6)$$

где μ_c – динамический коэффициент вязкости жидкой фазы на поверхности частицы, Па·с;

μ_p – динамический коэффициент вязкости шлаковой ванны, Па·с.

Глубина ванны расплава определяется как сумма расстояний проходимых, твердой частицы и капли в процессе нагрева и плавления.

В расчете рассмотрено два варианта плавления частиц: без предварительного подогрева и с предварительным подогревом до 600 °С. Расчет вели для частиц диаметром 1-20 мм с шагом 1 мм. Определив расчетное время плавления частицы, принимали его равным времени пребывания частицы в барботажном слое и, исходя из скорости осаждения частицы, определяли необходимую высоту слоя. Результаты расчета приведены на рисунках 1-3.

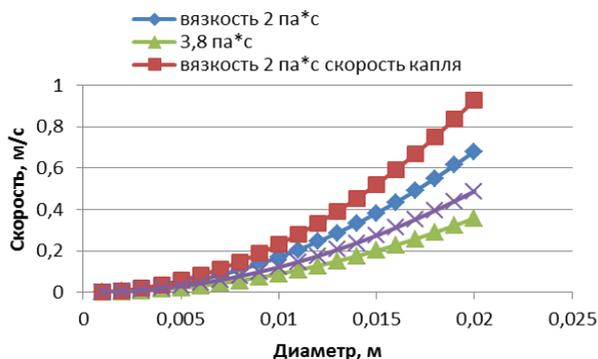


Рис. 1. Скорости витания твердой частицы и капли в шлаковом расплаве при вязкостях 2 Па·с и 3,8 Па·с

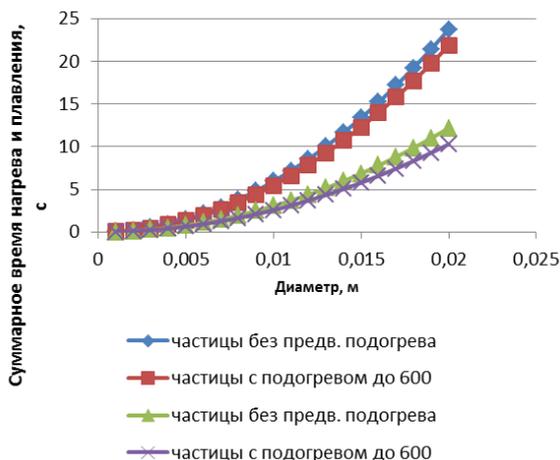


Рис. 2. Зависимость времени нагрева и плавления частиц от диаметра

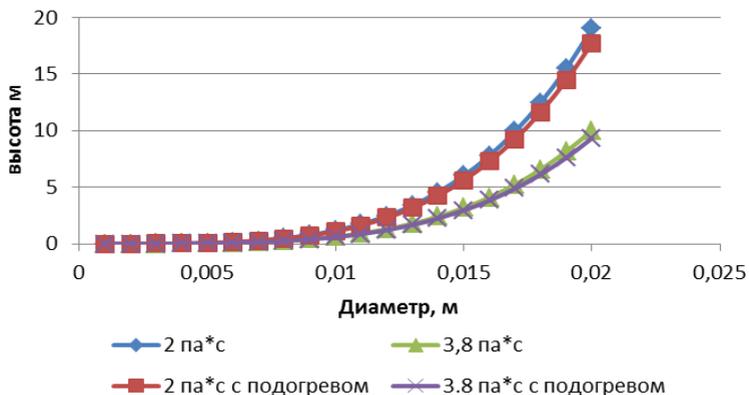


Рис. 3. Необходимая высота барботажного слоя в зависимости от диаметра частиц

Задавая высоту слоя без продувки равной 1 м, установили, что предельный размер частицы, загружаемого материала не может превышать 11 мм. При этом предварительный подогрев материала до 600 °С дает значительное сокращение времени пребывания частицы в расплаве.

Список литературы

1. Теплотехника металлургического производства / Под редакцией В.А. Кривандина. – Учебное пособие для вузов. – М.: МИСиС, 2002. – 608с.
2. Современные проблемы металлургии и материаловедения / Г.С. Сборщиков, С.И. Чибизова. – М.:Изд. Дом МИСиС, 2016. – 141с.
3. Известия Вузов. Цветная металлургия. 2004, №4.

СТЕНД ДЛЯ СУШКИ И НАГРЕВА ЛОМА

Чаймелов А.А. — студент,
Строгонов К.В. — к.т.н., доцент, научный руководитель
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
университет «МЭИ»

STAND FOR DRYING AND HEATING SCRAP

Chaymelov A.A. (Chaika-94@mail.ru),
Strogonov K.V. (strogonovkv@yandex.ru)

The task of the work is the development of a drying and heating stand for scrap to increase the efficiency of the electric steel melting process of the foundry.

Задачей работы является разработка стенда сушки и нагрева лома для повышения эффективности электросталеплавильного процесса литейного производства.

Ключевые слова: металлический лом, дуговая сталеплавильная печь, радиационная горелка, выплавка стали, высокотемпературный нагрев, бадья.

В настоящее время, ведущая роль в производстве качественной и высоколегированной стали принадлежит электросталеплавильному способу. Благодаря ряду принципиальных особенностей этот способ приспособлен для получения разнообразного по составу высококачественного металла с низким содержанием серы, фосфора, кислорода и других вредных или нежелательных примесей и высоким содержанием легирующих элементов, придающих стали особые свойства – хрома, никеля, марганца, кремния, молибдена, вольфрама, ванадия, титана, циркония и других элементов.

Но наряду с преимуществами, существует и ряд проблем, которые сдерживают развитие электросталеплавильного производства. Самой главной является высокая стоимость электрической энергии, удельный расход которой в большинстве случаев составляет 400–500 кВт·ч/т. В настоящее время большое внима-

ние уделяется снижению потребления энергии. Так, применение газообразного топлива и кислорода, а также тепла отходящих газов для предварительного подогрева лома позволило снизить удельный расход электроэнергии до 270–330 кВт·ч/т.

Однако эти методы лишь смягчили обозначенные проблемы электросталеплавильного производства [1].

Предварительный высокотемпературный подогрев шихты или же сокращенно ВПШ, на данный момент является наиболее эффективным методом для сокращения удельных затрат электроэнергии.

В настоящее время определились два направления ВПШ: модернизация собственно плавильных печей, прежде всего, электродуговых (ЭДП), путем дополнения ЭДП устройством для нагрева шихты перед ее загрузкой в рабочее пространство, пример: шахтно-дуговые печи, второе – нагрев шихты в загрузочных бадьях (корзинах).

Для того, чтобы воспользоваться первым направлением, придется полностью реконструировать плавильное отделение, системы загрузки шихты, очистки выбросов, системы КИПиА, иными словами придется строить новый агрегат.

Второе направление в свою очередь является малозатратным и универсальным, а также пригодным не только для новых цехов, но и для действующих, для всех типов электропечей, не требующих изменений в технологии и организации производства. Минусом данного направления является невозможность нагрева шихты (скрапа) в корзинах до высокой температуры (около 750°C и более), так как загрузочная бадья относится к грузонесущему оборудованию. А по установленным правилам техники безопасности, во избежание аварий из-за снижения механических свойств металла, нагрев шихты ограничивается 350 °C и менее. Корпус бадьи при этом нагревается до 500 °C и более. Эффект от использования подогрева шихты соответственно снижается, по сути превращаясь в процессе сушки. На рисунке 1 представлен стенд для нагрева лома в загрузочной бадье.

Это очевидное противоречие удалось преодолеть в результате создания нового способа – ВПШ в загрузочных «бадьях-термосах».

Новый способ и установки для его реализации позволили снять ограничения по температуре нагрева шихты, сохранив при этом его преимущества по уровню затрат и универсальности. Уже первые промышленные установки обеспечили нагрев до температур 650–750 °C, что вдвое превышает мировой уровень подобных установок подогрева шихты [2]. Но следует заметить, что при

нагреве шихты до таких высоких температур, происходит окисление металла и как следствие приводит к большому образованию шлака, что снижает эффективность сталеплавильного процесса. Отличительной особенностью предлагаемого стенда представленного на рисунке является применение радиационной горелки, что позволит осуществлять равномерный нагрев лома.

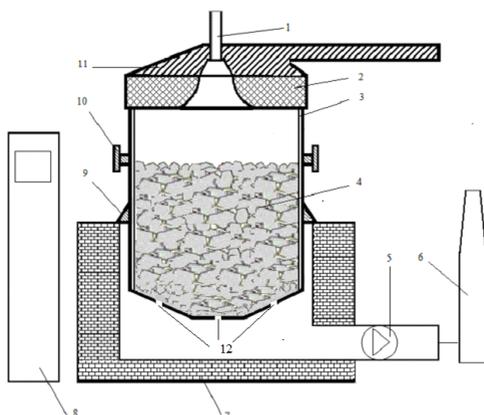


Рис. 1. Стенд для нагрева лома в загрузочной бадье (схема):
 1 – радиационная горелка; 2 – крышка; 3 – сменная обечайка;
 4 – лом; 5 – дымосос; 6 – дымовая труба; 7 – стенд;
 8 – АСУ (автоматизированная система управления);
 9 – упоры; 10 – цапфы для транспортировки бадьи;
 11 – механизм для поворота крышки; 12 – технологические
 отверстия (не плотности) мульты с донной выгрузкой лома

Работа бадьи осуществляется следующим образом. Загрузочная бадья с металлическим ломом 4 подается на стенд 7 для предварительного нагрева лома до температуры 600 °С, чтобы бадья не перегревалась в нее устанавливается сменная обечайка 3. Бадья накрывается крышкой 2 с помощью поворотного механизма 11, горелочное устройство 1 встроено в крышку. Автоматизированная система управления 8 регулирует подачу газа и воздуха, а также следит за температурой внутри бадьи. Отходящие газы удаляются из бадьи через отверстие 12 в подине и направляются в дымовую трубу 6 с помощью дымососа 5.

Эффективность использования предварительного нагрева шихты, подтверждена расчетом экономического эффекта. Суммарные затраты при использовании в качестве топлива для предварительного нагрева шихты природного газа оказались суще-

ственно ниже, чем при обычной плавке. Экономический эффект 76,5 млн. рублей в год. Экономия электроэнергии составила 8 272 506 кВт·ч в год.

Список литературы

1. Металлургия стали: учебник для вузов / Бигеев А.М. – М: Металлургия, 2000.
2. Рябов А.В. Современные способы выплавки стали в дуговых печах: учеб. пособие / А.В. Рябов, И.В. Чуманов, М.В. Шишимиров - М.: Теплотехника, 2007.

УДК 669.162.275.2:658.657

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГО-МАТЕРИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Козыкин А.В. — магистрант,
Картавцев С.В. — д.т.н., профессор, научный руководитель
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова»

INCREASE OF ENERGY EFFICIENCY OF USE OF SECONDARY ENERGY-MATERIAL RESOURCES OF PIG IRON PRODUCTION

Kozykin A.V. (alexey9532@mail.ru),
Kartavtsev S.V. (kartavzw@mail.ru)

The energy potential of blast furnace slag, as a secondary resource of blast furnace production, remains unused and irretrievably lost for today. The article considers the possibility of recycling thermal energy of a slag melt to produce a clinker semi-product.

Энергетический потенциал доменного шлака, как вторичного ресурса доменного производства, на сегодня, остаётся неиспользованным и безвозвратно теряется. В статье рассматривается возможность рециклинга тепловой энергии шлакового расплава для получения клинкерного полупродукта.

Ключевые слова: доменный шлак (ДШ), рециклинг, энергоэффективность, энергосбережение, цементный клинкер.

Черная металлургия (ЧМ) – одна из наиболее энергоемких отраслей промышленности. Внедрение энергоэффективных и ресурсосберегающих технологий выступает ключевым фактором, который определяет устойчивое развитие предприятия и обеспечивает конкурентоспособность выпускаемой продукции. Одной из важнейших проблем, стоящих в настоящее время перед отраслью, является снижение удельных расходов исходных материалов и энергии на единицу производимой продукции, то есть проблема создания и интенсивного развития энерго- и ресурсосберегающих технологий.

Доменное производство, как один из основных переделов чёрной металлургии, является наиболее крупным потребителем энергоресурсов. Здесь расходуется около 50% топлива, потребляемого отраслью. Энергоемкость производства доменного чугуна (до 1000-1100 кг.у.т./т. чугуна). Доменное производство характеризуется значительным выходом вторичных энергетических ресурсов (ВЭР), и вторичных материальных ресурсов. Источниками вторичных энергоресурсов являются: топливные ВЭР – доменный газ, и тепловые ВЭР – физическая теплота чугуна, шлака, доменного газа, тепло охлаждающей воды. Эти статьи превышают 65 % тепла, внесенного в доменную печь [1].

В среднем коэффициент использования тепловых ВЭР доменного производства составляет 30 % [2]. Из всех ВЭР на предприятиях ЧМ используется лишь энергетический потенциал доменного газа и расплава чугуна. Физическая теплота раскалённого ДШ теряется при охлаждении, между тем её можно рассматривать как источник высокопотенциальной энергии.

Доменные огненно-жидкие шлаки покидают печи при температуре 1450-1550 °С и обладают значительной теплоемкостью (до 2000 кДж/кг), при этом одна тонна выпускаемого из доменных печей шлакового расплава в среднем содержит количество тепла, эквивалентное теплотворной способности 70 кг условного топлива [3]. Выход доменных шлаков колеблется от 0,4 до 0,65 т/т чугуна. С учётом средней производительности одной доменной печи объёмом 3000 м³ – около 3500 т шлака в сутки [4].

Шлаковый расплав обладает характерными свойствами, которые позволяют использовать его прямо из летки печей, и тогда он служит ценным сырьём для производства самых разных строительных материалов и изделий. Но ценность его значительно повышается, если обогатить его специальными добавками. В этом случае можно получить шлаки с заранее заданной характеристикой. Например, если внести добавки с целью увеличения содержа-

ния окиси кальция, может быть получен расплав, состав которого сходен с составом портландцемента [5].

Наибольший интерес при переработке ДШ вызывает их грануляция. Существует три основных способа получения гранулированного шлака: мокрый, полусухой и сухой. Самым распространённым является мокрый способ. Общими недостатками мокрых и полусухих способов грануляции являются несовершенство систем оборотного водоснабжения, загрязнение окружающей среды, получение гранулированного шлака повышенной влажности, потери физического тепла шлака, которое в основном расходуется на испарение воды.

Технология сухой грануляции шлаков позволяет утилизировать тепло расплава для подогрева воздуха горения или получить, например, в случае применения котлов утилизаторов пар энергетических параметров. При этом сухой гранулированный шлак считается более ценным сырьём для производства цемента, чем шлак мокрой грануляции [4].

Производство цемента является крупнейшим в мире по объёмам выпускаемой продукции. Ежегодно в мире производится более 3 млрд. т. цемента. Обжиг клинкера является энерго- и ресурсоёмкой стадией процесса производства цемента. Мокрый способ, в настоящее время преимущественно распространённый в России, обуславливает высокий расход топлива (207,4 кг/т клинкера) и материалов; на 1 т полученного клинкера расходуется более 5 т таких материалов, как природное сырьё, топливо, вода и воздух. В связи с этим решение проблемы энерго- и ресурсосбережения в технологии цемента является важной задачей, которую возможно осуществить путем интенсификации процесса обжига цементного клинкера и использования техногенных материалов [6].

Таблица 1

Сравнительные показатели химического состава ДШ и цементного клинкера

Материал	Химический состав, %						
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Na ₂ O + K ₂ O
Доменный шлак	38-43	36-38	7-10	3,7-8	0,5-5	0,4-1,2	0,13-0,17
Цементный клинкер	63-67	21-24	4-8	0,5-5	2-4	0,3-1	0,4-1,0

Учитывая высокую энергоёмкость обжига цементного клинкера и высокое соответствие составов основных элементов (таб-

лица 1), предлагается, вместо охлаждения и безвозвратной потери тепловой энергии огненно-раскалённого шлака, использовать его начальную теплоту для декарбонизации природного компонента – известняка, который вводится в расплав, с целью повышения концентрации CaO , соответствующей составу клинкера. Расчётная добавка CaCO_3 : 432–455 кг/т полупродукта. Для снижения вязкости шлака при оптимизации состава, и для поддержания эндотермического процесса диссоциации CaCO_3 , необходимо повысить температуру расплава до 1800 °С. Производить догрев следует сразу после выпуска шлака из печи, когда его температура максимальная (1550 °С) и находится в энергетическом отношении, всего в 250 °С от необходимой для наивысшего качества продукта, температуры получения плавленного цементного клинкера (рис. 1) [7].

Полностью декарбонизированный шлаковый расплав, может служить источником высокопотенциальной энергии, которую возможно извлечь при сухой грануляции, и использовать её для предварительной сушки известняка и выработки пара.

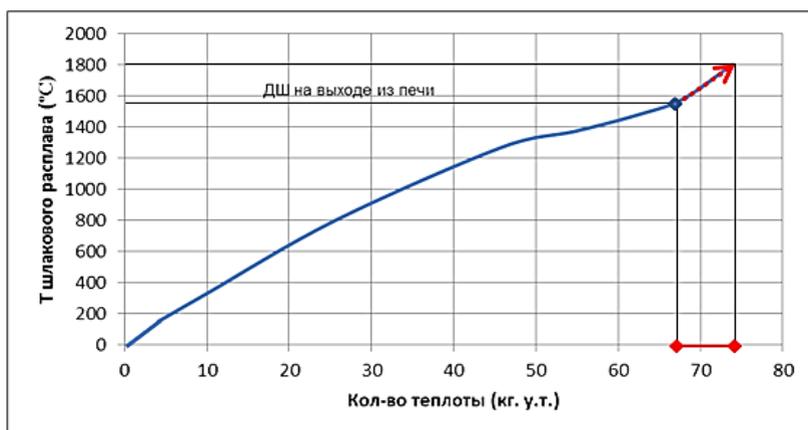


Рис. 1. Использование энергетического потенциала ДШ для получения декарбонизированного расплава

Охлаждённый гранулированный шлак (клинкерный полупродукт) транспортируется на дробильные установки, где производится его помол и смешивание с целевыми добавками и наполнителями, не требующими дополнительной термообработки.

Таким образом, задача использования ДШ для производства цементного клинкера носит комплексный межотраслевой характер, и ее решение позволит получить продукт, не уступающий по качеству и свойствам, цементам, произведённым по традиционным

технологиям, предопределяя существенный энергосберегающий эффект.

Расчётами установлено, что предельное значение энергосберегающего эффекта может достигнуть 100 кг.у.т./т чугуна, что соответствует экономии энергии на процессе обжига в производстве цемента эквивалентное 2,5 млн. руб. в сутки с одной доменной печи $V=3000 \text{ м}^3$.

Использование доменных шлаков в производстве цемента способствует значительному снижению затрат на сырьевые природные ресурсы, добыча и переработка которых, связана с большими затратами топлива и энергии. Ресурсо- и энергосберегающий эффект в целом, приведёт также к сокращению отрицательного воздействия на окружающую среду, и улучшению экологической обстановки.

Список литературы

1. Ярошенко Ю.Г., Гордон Я.М., Ходоровская И.Ю. Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии черной металлургии. Екатеринбург: ОАО «УИПЦ», 2012. 670 с.
2. Романов П.С., Романова И.П. Рециклинг отходов металлургической промышленности как способ сбережения природных ресурсов и снижения экологической напряженности / Электронный научно-практический журнал «Синергия». 2016. № 2. С 94-99.
3. Переработка шлаков и безотходная технология в металлургии. Панфилов М.И., Школьник Я.Ш., Орининский Н.В. и др. - М.: Металлургия, 1987. 238 с.
4. Элементы безотходной технологии в металлургии: Учебное пособие для ВУЗов / Шульц Л.А. – М.: Металлургия, 1991. 174 с.
5. Металлургический завод без шлаковых отвалов. Панфилов М.И. - М., «Металлургия», 1978. 248 с.
6. Борисов И.Н., Мануйлов В.Е. Энерго- и ресурсосбережение в производстве цемента при комплексном использовании техногенных материалов // Сборник докладов 3-го (XI) Международного совещания по химии и технологии цемента. ООО «АЛИ-Тинформ». 2009. С 32-36.
7. Картавцев С.В. Интенсивное энергосбережение и технический прогресс чёрной металлургии: Монография. – Магнитогорск. ГОУ ВПО «МГТУ». 2008. 311 с.

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ ПУТЕМ АККУМУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Кильмухаметов И.В. — магистрант,
Агапитов Е.Б. — д.т.н., профессор, научный руководитель
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»

ENERGY SAVING IN HEAT ENERGY THROUGH ACCUMULATION OF THERMAL ENERGY

Kilmukhametov I.V. (k.iln@mail.ru)
Agapitov E.B. (jek_agapitov@mail.ru)

The aim of the work is to survey the types of thermal accumulators, to study their advantages, disadvantages and applications.

Задачей работы является обзорное исследование видов тепловых аккумуляторов, изучение их достоинств, недостатков и областей применения.

Ключевые слова: тепловой аккумулятор, аккумулирование энергии, энергосбережение, теплоаккумулирующий материал.

Одним из перспективных направлений в области энергосбережения в теплоэнергетике является применение тепловых аккумуляторов в условиях непостоянства тепловых потоков. Процесс аккумулирования тепла происходит в устройствах, называемых тепловыми аккумуляторами [1].

На данный момент существует множество тепловых аккумуляторов, которые можно классифицировать по следующим основным признакам [2]:

1. По природе аккумулирования:

- Теплоемкостные. Принцип работы таких аккумуляторов основан на использовании теплоемкостных характеристик различных веществ. Данный вид аккумуляторов считается наиболее простым и наименее эффективным, т.к. низкая теплоемкость теплоаккумулирующих материалов (ТАМ) компенсируется увеличением объема аккумулятора. Разряд таких аккумуляторов характеризует-

ся непостоянством температуры, тем не менее, теплоемкостные аккумуляторы широко применяются в быту и в схемах различных электростанций ввиду дешевизны ТАМ и простоты конструкции.

- Фазопереходные. Данные аккумуляторы основаны на использовании тепловых эффектов обратимых фазовых переходов. Для них характерна высокая плотность теплового потока при малом объеме ТАМ и практически стабильная температура разряда. Теплообмен в фазопереходных аккумуляторах требует наличия развитой поверхности теплопередачи, что влечет за собой усложнение конструкции.

- Термохимические. Принцип работы основан на аккумуляровании энергии, поглощаемой и освобождаемой при обратимых химических реакциях. Плотность теплового потока таких аккумуляторов гораздо выше, чем у аналогов, однако, их применение вызывает затруднения, связанные с доступностью ТАМ, пригодных для данного вида аккумулятора, и выделением газа в процессе химических реакций.

2. По уровню рабочих температур:

- низкотемпературные (до 100 °С). Такие аккумуляторы широко применяются в гелиотехнике для отопления зданий и горячего водоснабжения, низкие рабочие температуры обеспечивают безопасность системы и позволяют применять данные аккумуляторы для бытовых целей.

- среднетемпературные (от 100 до 550 °С). Тепловые аккумуляторы в таких температурных диапазонах очень востребованы в системах теплоснабжения, они характеризуются большими объемами, а в качестве ТАМ используются соли и их эвтектики.

- высокотемпературные (свыше 550 °С). Аккумуляирование таких высоких температур, обычно, встречается в промышленности. В качестве ТАМ применяются сложные химические соединения, а реализация такой системы требует немалых капитальных вложений и жесткого соблюдения правил безопасности.

3. По продолжительности времени заряда/разряда:

- краткосрочные (до 3-х суток). Применяются для сглаживания теплового режима в системах, где наблюдаются частые скачки температур. Эффективность работы таких аккумуляторов достигается за счет малых тепловых потерь в период хранения энергии.

- среднесрочные (до 1 месяца). Наименее популярны и могут применяться в отдельных видах систем теплоснабжения.

- межсезонные (до полугода). Аккумуляторы такого типа применяются для сохранения тепловой энергии на долгое время. Главным недостатком таких аккумуляторов является значительная потеря энергии в период ее хранения.

При выборе аккумулятора тепловой энергии необходимо учитывать два главных фактора: конструкция и применяемый ТАМ. В качестве ТАМ ввиду удобства эксплуатации чаще всего используются жидкости. Теплофизические характеристики наиболее распространенных жидких ТАМ представлены в таблице 1 [3].

Таблица 1

Теплофизические свойства жидких ТАМ

ТАМ	Температура, К		Плотность, кг/м ³ ·10 ³	Удельная теплоемкость, кДж/кг·К	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·К
	min	max			
Вода (0,1 МПа)	273	373	1,0	4,19	0,67
Тетрахлордифенил	266	613	2,1	0,17	1000
Полиметилсилоксан	213	593	1,5	0,1-0,14	5-20
Полиэтилсилоксан	203	563	1,6	0,13-0,16	3-40
Литий	455	1600	0,48	4,36	52-66
Натрий	371	1150	0,8	1,33	52-75

В настоящее время тепловые аккумуляторы востребованы в самых различных отраслях промышленности, а исследование и усовершенствование новых способов аккумулирования тепловой энергии является одним из перспективных направлений теплоэнергетики и теплотехники [1].

Список литературы

1. Бекман Г, Гилли П.В. Тепловое аккумулирование энергии. - М.: Мир, 1987. 269 с.
2. Левенберг В.Д., Ткач М.Р., Гольстрем В.А. Аккумулирование тепла. - Киев: Техника, 1991. С. 49–74.
3. Мозговой А.Г., Шпильрайн Э.Э., Дибиров М.А., Бочков М.М., Левина Л.Н., Кенисарин М.М. Теплофизические свойства теплоаккумулирующих материалов. Кристаллогидраты. - М.: ИВТАН АН СССР, 1990. № 2 (82).

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗЛИВКИ ЖИДКОЙ СТАЛИ

Калмыкова Н.С. — магистрант,
Мурашова В.Н. — магистрант,
Картавец С.В. — д.т.н., профессор, научный руководитель
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г. И. Носова»

RESEARCHING ON THE MAIN THERMAL POWER AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF CASTING LIQUID STEEL

Kalmykova N.S. (kalmykvanatasha@rambler.ru),
Murashova V.N. (vika.blondinka2011@yandex.ru),
Kartavtsev S.V. (kartavzw@mail.ru)

The work was calculated the cooling rate and the length of the casting and rolling complex, which is related to the total metal capacity of the roller tables and the energy intensity of the sheet metal production.

В работе рассчитана скорость охлаждения и длина литейно-прокатного комплекса, которая связана с общей металлоемкостью рольгангов и энергоемкостью производства листового проката.

Ключевые слова: жидкая сталь, готовый прокат, энергосбережение, длина литейно-прокатного производства.

Производство стали в мире постоянно растет. Так, по данным всемирной ассоциации стали (World Steel Association), производство стали в мире достигло 1,67 млрд. тонн и имеет устойчивую тенденцию к увеличению [1]. Для изготовления конструкционных материалов вся сталь проходит процессы охлаждения и формообразования в машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) различных конструкций. Так порядка 96 % производимой стали в настоящее время разливается на МНЛЗ [2].

Жидкая сталь подается из сталеразливочного ковша в МНЛЗ, с температурой примерно $t_m = 1550$ °С, охлаждается, приоб-

ретаает необходимую форму, затвердевает и на выходе из МНЛЗ имеет среднюю температуру около $t_{\text{тв.ст}} = 800 \text{ }^\circ\text{C}$. В процессе охлаждения отводится порядка 800 МДж/т. Отвод теплоты от разливаемой стали осуществляется технической водой и воздухом на температурном уровне не превышающим $40 \text{ }^\circ\text{C}$ в кристаллизаторе и $100 \text{ }^\circ\text{C}$ в ЗВО в виде паровоздушной смеси. Далее сляб в печи нагревается до $1250 \text{ }^\circ\text{C}$. Нагретый сляб проходит чистовые и черновые клетки, где уменьшается до необходимой толщины. Проходя через клетки, лист остывает до $1000 \text{ }^\circ\text{C}$. Далее лист охлаждается водой до $500 \text{ }^\circ\text{C}$ и сматывается в рулон и поступает на склад, где охлаждается до наружной температуры [3]. Вся эта теплота в настоящее время практически полностью выбрасывается в окружающую среду на градирнях и в прудах охладителей.

На МНЛЗ производится разливка стали на заготовки с толщиной до 300 мм, а готовый лист имеет толщину 2–5 мм [4]. Таким образом, возникает вопрос: какова длина всего литейно-прокатного комплекса и возможно ли ее сократить?

Для решения поставленной задачи была разработана модель расчета длины литейно-прокатного комплекса для сляба толщиной 250 мм и готового листа толщиной 2,5 мм. Результаты расчетов продемонстрированы на графиках ниже.

Для построения графика зависимости температуры от времени в пределах МНЛЗ была рассчитана температура стали на поверхности и в центре сляба:

$$\theta = \sum_{n=1}^{n \rightarrow \infty} \frac{2 \cdot \sin \mu_n}{\mu_n + \sin \mu_n \cdot \cos \mu_n} \cdot \cos(\mu_n \cdot X) \cdot e^{-\mu_n^2 \cdot Fo}. \quad (1)$$

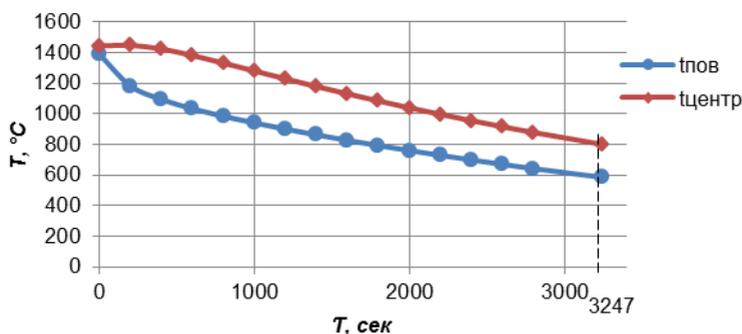


Рис. 1. График зависимости температуры от времени в пределах МНЛЗ

Тогда длина процесса будет равна:

$$L_{\text{МНЛЗ}} = \tau \cdot v = 3247 \cdot 0,016 = 52 \text{ м}, \quad (2)$$

где v – средняя скорость разливки стали, м/с.

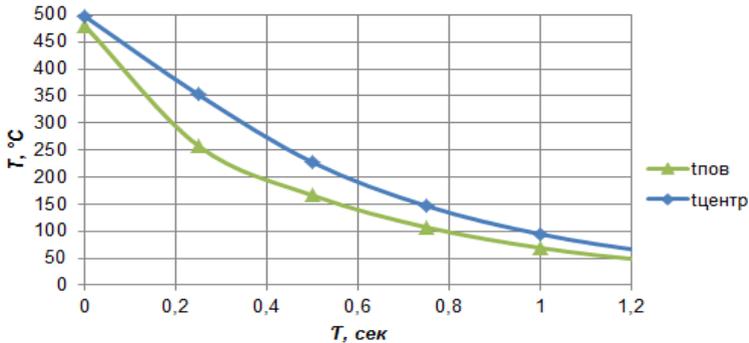


Рис. 2. График зависимости температуры от времени готового проката

Тогда длина процесса будет равна:

$$L_{\text{лист}} = \tau \cdot v = 1,2 \cdot 10 = 12 \text{ м}. \quad (3)$$

Из рисунков 1 и 2 видно, что для охлаждения жидкой стали в форме сляба, толщиной 250 мм до готового проката, толщиной 3 мм потребуются порядка 64 м. Отсюда возникает вопрос об уменьшении длины литейно-прокатного комплекса.

Таким образом, сокращение длины охлаждения металла ведет к очень большим косвенным энергосберегающим эффектам, а именно, к сокращению металлоемкости, расхода воды и расхода пара.

Список литературы

1. Ассоциация производителей стали [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.worldsteel.org/>, свободный – Заглавие с экрана. – (Дата обращения 10.04.2018 г.).
2. Батраева А.Е., Ишметьев Е.Н., Андреев С.М., Парсункин Б.Н., Салихов З.Г., Светлов А.Ю. Динамическое управление температурным состоянием заготовок МНЛЗ // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия, 2007, № 11. С. 20-25.
3. Никифиров, Г.В. Энергоснабжение и управление энергопотреблением в металлургическом производстве: учебное пособие /

- В.К. Олейников, Б.И. Заславец – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 480 с.
4. Вдовин К.Н. Непрерывная разливка стали / Точилкин В.В., Ячиков И.М. Монография – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та. – 2012. – 540 с.

УДК 662.613.1:504.5

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЖИГАНИЯ УГЛЕЙ

Шакирова А.В. — магистрант,
Картавец С.В. — д.т.н., профессор, научный руководитель
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова»

INVESTIGATION OF DIRECTIONS OF INCREASING THE EFFICIENCY OF ENERGETIC COAL COMBUSTION

Shakirova A.V. (nastena.eremenko.88@mail.ru),
Kartavtsev S.V. (kartavzw@mail.ru)

The task of the work is to identify technology for efficient combustion of energy coals and reduce the environmental load in the process of their use.

Задачей работы является выявление технологии по эффективному сжиганию энергетических углей и снижения экологической нагрузки в процессе их использования.

Ключевые слова: энергоэффективность, зола, шлак, аэрошлаковый расплав.

По данным мировой статистической организации запасы угля на конец 2016 года равны 220 млрд. тонн (хватит на 153 года), природного газа – 186,6 трлн.куб (хватит на 52,5 года), нефти 1707 млрд.баррелей (хватит на 50,6 лет) [1].

В настоящее время на большинстве ТЭЦ реализуется технология сжигания пылеугольного топлива. Процесс приготовления пылеугольного топлива связан с дроблением, сушкой и размолом угля до частиц размером несколько десятков или сотен микрон.

При сжигании углей из минеральной части вещества образуются продукты производства. Первый вид продукта это газообразные продукты сгорания и несгораемая минеральная масса (зола). Данная часть минеральной массы углей покидает топку котла с температурой равной горению, поток летучей золы движется вместе с газами по газоходу котла и отдает свою теплоту на производство пара. При этом теплота золы не теряется, а используется с той же эффективностью, что и теплота газообразных продуктов сгорания.

Доля летучей золы в уносе составляет 80-85 %, а при жидком шлакоудалении 50-60 %. По своему химическому минеральному составу летучая зола представлена преимущественно окислом кремния и алюмосиликатами. Максимальное содержание CaO в золе достигает 23,94 %, а минимальное – 0,73 % [2]. Имеющийся состав золы схож по составу с цементным клинкером в котором содержится 62-67 % CaO.

Расчетами установлено, что для приготовления 1 тонны клинкера необходимо добавить 670 кг CaO, а если использовать золу, то при максимальном значении содержания в золе CaO понадобится всего 356 кг золы, а при минимальном 434 кг, что является, безусловно, экономически выгодным.

Второй вид продукта производства – шлак. Он образуется, когда зола угля, покидая зону горения, контактирует с огнеупорной футеровкой топки, зола становится жидкой и стекает по стенкам. Шлак отводится из котла, в зависимости от способа удаления шлака, топки бывают с твердым и жидким шлакоудалением. Неизменной составляющей данного процесса является то, что шлак охлаждается в наполненной водой ванне, а вместе с этим теряется тепло, приобретенное в топке котла [3]. При этом если доля золы в уносе составляет 80-85 %, то 15-20 % удаляется в виде жидкого шлака. По расчетным данным с 20 % шлака имеющим температуру 1600 °С теряется 375,04 кДж/кг тепла.

Золошлаковый материал давно нашел применение в разных отраслях промышленности. Зола и шлак можно использовать как минеральные добавки к глине при производстве кирпича и плитки и многое другое [4]. Несмотря на это уровень использования золы и шлака ТЭС не превышает 10,3 % [5].

Перспективной технологией, которая позволит решить большинство из этих проблем, является технология сжигания угля в аэрошлаковом расплаве. Данная технология позволяет использовать энергетические угли без предварительного его измельчения, как следствие исчезают условия образования летучей золы. Процесс сжигания угля проходит в своем собственном расплаве,

что позволяет наиболее эффективно улавливать частицы золы и минимизировать количество золы уноса.

На рисунке 1 представлены действующая и перспективная технологии использования золы непосредственно с высокой температурой.

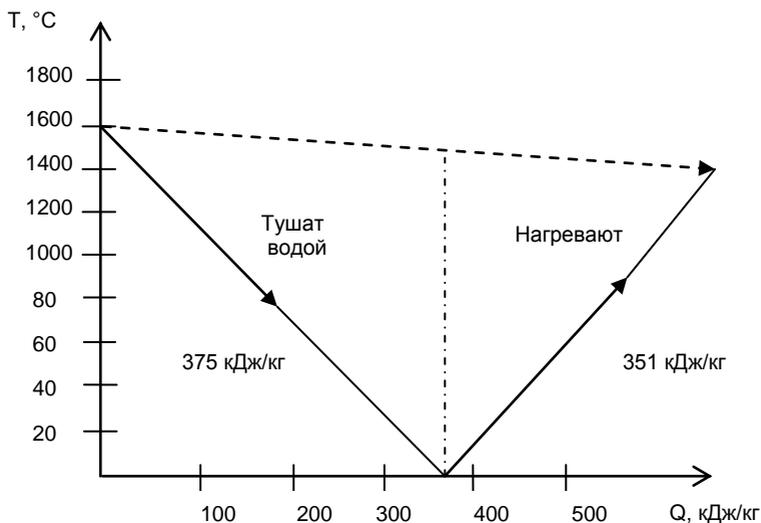


Рис. 1. Действующая и перспективная технологии использования золы непосредственно с высокой температурой

Использование одновременно теплоты и массы золы создает условия для достижения высокого энергоматериалосберегающего эффекта.

Список литературы

1. Мировая статистическая организация. <https://www.bp.com>
2. Гофтман М.В. Прикладная химия твердого топлива. 1963.
3. Теплотехника: учеб. для вузов. Под ред. Баскаков А.П., Берг Б.В., Витт О.К. и др. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: ООО «ИД» БАСТЕТ», 2010. - 328 с.: ил.
4. Кизильштейн Л.Я. Следы угольной энергетики // Наука и жизнь. 2018. №4.
5. Девяткин В.В. Отходы как вторичные материальные ресурсы // Экология производства. 2007. - №2. - С. 44-51.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАНТА УТИЛИЗАЦИИ КОНВЕРТЕРНОГО ГАЗА В СХЕМЕ С ПАРОВЫМ КОТЛОМ

Калашников А.С. — студент,
Агапитов Е.Б. — д.т.н., профессор, научный руководитель
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова»

INVESTIGATION OF A VARIANT OF UTILIZATION OF CONVERTER GAS IN A SCHEME WITH A STEAM BOILER

Kalashnikov A.S. (kalashnikov_123.1994@mail.ru),
Agapitov E.B. (jek_agapitov@mail.ru)

The problem of increasing energy efficiency of converter gas utilization is considered. An original scheme with a steam boiler is proposed, including a steam turbine and a steam power boiler operating on a mixture of Converter, blast furnace, natural gas.

Рассматривается проблема повышения энергоэффективности утилизации конвертерного газа. Предлагается оригинальная схема с паровым котлом, включающая паровую турбину и паровой энергетический котел, работающий на смеси конвертерного, доменного, природного газа.

Ключевые слова: энергосбережение, конвертерный газ, паровой котел, вторичные энергетические ресурсы.

Экономическая и экологическая ситуация требует пристального внимания к сбережению топливно-энергетических ресурсов.

Важнейшей составляющей сбережения ресурсов в промышленности представляется применение вторичных энергетических ресурсов (ВЭР), которые непременно возникают во многих энергоемких производственных процессах. Огромным запасом для энергосбережения в металлургических процессах представляет применение газов сталеплавильных конвертеров, мировые резервы которого котируются в размере 1,25 млн. т.у.т. в год.

Утилизация конвертерного газа предусматривает не только сбережение топлива, но и ускорение процессов производства, за-

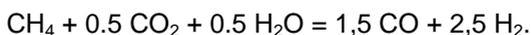
щиту атмосферы от загрязнений производственными выбросами и вредными газами, а также рост экономичности промышленного производства в целом. Продувка кислородом создает усиленное окисление углерода чугуна и других примесей шихты в конвертере. Температура газа на выходе из горловины меняется в рамках 1500–1800 °С. Количество газов колеблется в ходе плавки и зависит от режима продувки кислородом, строения фурмы, вида присадок и перерабатываемых чугунов. На данный момент в процессе конвертерного производства выбрасывается конвертерный газ в количестве 70–80 м³/т стали калорийностью 8–10 МДж/м³ [1]. Запыленность газов достигает 200 г/м³, причем основная доля частиц имеет размер, приближенный к 1мкм. По условиям защиты окружающей атмосферы неизбежна очистка газа. Так же, в сформированном конвертерном газе содержится до 90 % СО и 10 % СО₂ [2]. Целесообразно использовать не только физическое тепло газа, но и утилизировать его химический потенциал.

На многих промышленных предприятиях России методы использования конвертерных газов практически подобны. Газ осуществляет путь, пройдя котлы охладители, через газоочистку и сжигается на свечах. Главной проблемой утилизации газа является непостоянство расхода и неравномерность химического состава.

В настоящее время в действующую промышленность все больше внедряют не просто регенерацию теплоты вторичных энергетических ресурсов, а их термохимическую регенерацию. Это является новым технологическим приемом в теплосиловых установках, обеспечивающим повышение эффективности использования органического топлива (угля, нефти, природного газа). Сущность термохимической регенерации заключается в трансформации физического тепла газа в химическую энергию при проведении термохимических реакций.

Наиболее разработанной термохимической регенерацией, получившей применение, является углекислотная паровая конверсия метана. В процессе термохимического конвертирования принимает участие водяной пар и диоксид углерода. Источниками пара и диоксида углерода могут служить как продукты технологического процесса, так и специально подготовленные компоненты [3].

Процесс углекислотной конверсии метана можно описать следующим образом:



В известных схемах термохимическую регенерацию применяют после газоочистки, когда газ холодный. В предлагаемой схеме газообразные углеводороды подаются перед котлом-

охладителем. Тем самым понижается температура газа на 100–200 °С и повышается его теплотворная способность до 16–20 МДж/м³. По результатам расчетов получили, что сужается предел взрываемости с 12,6–74,5 %, до 1,1–53,7 %:

$$Z = \frac{1}{\sum_{i=0}^n \frac{r_i}{a}} = \frac{1}{\frac{80}{75}} + \frac{1}{\frac{10}{74}} + \frac{1}{\frac{10}{15}} = 53,7 \% \text{ – верхний предел};$$

$$Z = \frac{1}{\sum_{i=0}^n \frac{r_i}{a}} = \frac{1}{\frac{80}{12,4}} + \frac{1}{\frac{10}{4,2}} + \frac{1}{\frac{10}{5,4}} = 1,1 \% \text{ – нижний предел},$$

что позволяет отводить конвертерные газы через газоотводящий тракт без опасности взрыва [4].

Эффект заключается в снижении энергоемкости производства продукции в металлургической промышленности, сокращении удельных расходов топлива в котельных установках, обусловленное экономией природного газа за счет термохимической утилизации теплоты продуктов сгорания, которая в настоящее время по большей части не используется. Кроме того, реализация результатов работы приведет к существенному уменьшению отрицательно-техногенного воздействия на окружающую среду, поскольку для осуществления эндотермических реакций конверсии природного газа предполагается кроме теплоты продуктов сгорания использовать теплоту сгорания газообразных энергетических ресурсов (в первую очередь конвертерного газа).

Список литературы

1. Сеничкин Б.К. Утилизация конвертерного газа // Теория и технология металлургического производства: Межрегион. сб. науч. тр. / под ред. Колокольцева В.М. Вып. 1. – Магнитогорск: МГТУ, 2001. С. 167-169.
2. Теплотехника металлургического производства / В.А. Кривандин, В.В. Белоусов, Г.С. Сборщиков и др. – М.: МИСиС, 2001.
3. Нешпоренко Е.Г., Картавец С.В. Горение и конверсия топлив в промышленных теплоэнергетических установках/ учебное пособие / Министерство образования и науки Российской Федерации/ МГТУ им. Г. И. Носова. – Магнитогорск: 2017.
4. Алабовский А.Н., Анцев Б.В. Газоснабжение и очистка промышленных газов / Киев. – «Вища школа», 1985.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ КАК АЛЬТЕРНАТИВНОГО ТОПЛИВА В ЦЕМЕНТНОЙ ПЕЧИ

Александрова Е.Ю. — студент,
Бернадинер И.М. — к.т.н., доцент, научный руководитель
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
университет «МЭИ»

THE USE OF WASTE AS ALTERNATIVE FUEL IN A CEMENT KILN

Aleksandrova E.Y. (LenaA-1616@yandex.ru),
Bernadiner I.M. (bernadinerim@gmail.com)

The article is devoted to the research of the problem of utilization of tires and the way to solve this problem by using tires and fuel RDF as part of organic fuel for cement kilns.

Статья посвящена исследованию проблемы утилизации автопокрышек и способу решения этой проблемы путём использования автопокрышек и топлива RDF в качестве части органического топлива для цементных печей.

Ключевые слова: альтернативное топливо, утилизация покрышек, топливо RDF, цементная печь.

Проблема загрязнения окружающей среды разнообразными веществами в настоящее время приобретает глобальный характер. На сегодняшний день одной из основных задач, актуальных во всём мире, является переработка и утилизация отходов производства и потребления.

Мировой опыт показывает, что цементная промышленность является уникальным и эффективным утилизатором широчайшего спектра техногенных отходов. Практически все действующие сегодня цементные предприятия России испытывают трудности из-за постоянно растущих цен на энергоносители. Одним из мероприятий, позволяющих снизить затраты на энергоносители, может стать частичная замена традиционного топлива альтернативным.

Речь идет, прежде всего, о замене части органического топлива на вторичное топливо, производимое в процессе переработки

и обезвреживания твердых коммунальных отходов (ТКО). Оно получило название «топлива, полученного из отходов» (ТПО) или «Refuse Derived Fuel» (RDF).

Для производства RDF используются следующие фракции ТКО: бумага, текстиль, древесина, пластмасса. Основным достоинством RDF следует считать возможность хранения в течение определённого времени.

Нами также была рассмотрена проблема утилизации отработанных автомобильных покрышек и выбран способ решения этой проблемы путём использования покрышек в качестве замены части топлива во вращающейся цементной печи [1, 2].

Общемировые запасы изношенных автошин оцениваются примерно в 100 миллионов тонн. Из этого количества в мире только 23 % покрышек находят применение (экспорт в другие страны, сжигание с целью получения энергии, механическое размельчение для покрытия дорог). Остальные автопокрышки никак не утилизируются из-за отсутствия рентабельного способа утилизации.

Поскольку содержащиеся в автопокрышках компоненты, так или иначе, входят в состав цемента, то использование автопокрышек в качестве замены части органического топлива представляется целесообразным.

В ТКО содержатся компоненты с относительно высокой теплотой сгорания (бумага, картон, дерево, пластики). Их извлечение и последующее использование в качестве топлива позволило бы реализовать энергетический потенциал отходов.

Использование сортировки при получении вторичного топлива (RDF) обязательно, поскольку кроме высококалорийных фракций в ТКО содержатся компоненты, применение которых в технологии RDF снижает теплоту сгорания или просто опасно для окружающей среды (стекло, металлы, хлорсодержащие полимеры, органика, компоненты с высоким содержанием влаги).

Процесс производства RDF состоит из сепарации, измельчения и обезвоживания мусора. Зачастую применяется прессовка с целью получения пеллетов. В результате этих операций получается горячая фракция размером 20-60 мм.

Большое внимание при производстве и применении топлива RDF стоит уделять экологическому фактору. Должен проводиться серьёзный анализ компонентов, входящих в состав топлива и продуктов их горения. В процессе сепарации должны исключаться варианты попадания вредных веществ в топливо.

В работе были произведены расчёты материальных балансов горения топлива и отходов и тепловых балансов вращающейся печи для производства цемента [3]. По оценкам специалистов, без

ущерба для качества клинкера на RDF может быть заменено 35-40 % традиционного топлива, что и было принято в расчёте совместного теплового баланса сжигания альтернативного топлива RDF, покрышек и природного газа [4].

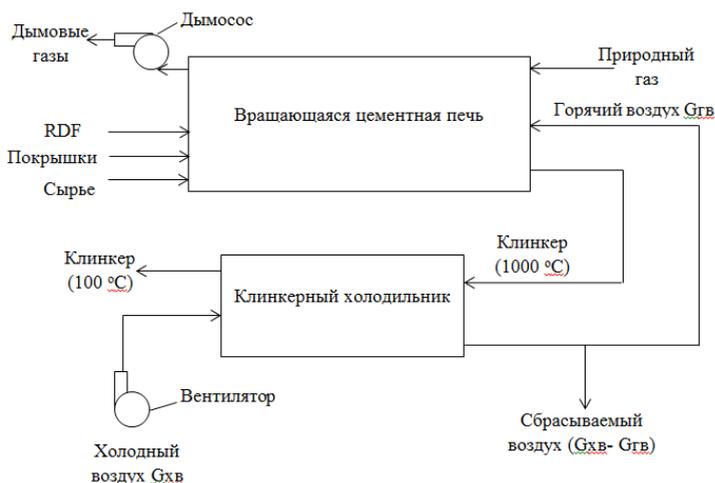


Рис. 1. Схема вращающейся цементной печи с клинкерным холодильником

Замена части органического топлива альтернативным даёт следующие результаты:

- экономия природного газа;
- нет необходимости строить специальную установку для утилизации отходов;
- утилизация отходов и уменьшение количества загрязняющих окружающую среду веществ.

Список литературы

1. Лисиенко В.Г. Вращающиеся печи: теплотехника, управление и экология. Кн. 2. - М.: Теплотехник, 2004. 688 с.
2. Холин И.И. Справочник по производству цемента. - М.: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1963. 852 с.
3. Кузнецов Н.В. Тепловой расчёт котельных агрегатов (Нормативный метод). - М.: Энергия, 1998. 296 с.
4. Научно-практический журнал «Экологический вестник России» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ecovestnik.ru>, свободный.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ГАЗИФИКАЦИИ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ С ВЫРАБОТКОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Айызан А.А. — студент,
Федюхин А.В. — к.т.н., доцент, научный руководитель,
Строгонов К.В. — к.т.н., доцент, научный руководитель
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
университет «МЭИ»

DEVELOPMENT OF A GASIFICATION SYSTEM FOR WOOD WASTE WITH ELECTRICITY GENERATION

Aiyzan A.A. (artem.aiyzan@mail.ru),
Fedyuhin A.V. (alexander2609@mail.ru),
Strogonov K.V. (strogonovkv@yandex.ru)

The task of the work is the development of an efficient technological scheme of a combined-cycle plant based on biomass gasification.

Задачей работы является разработка эффективной технологической схемы парогазовой установки на основе газификации биомассы.

Ключевые слова: генераторный газ, газогенератор кипящего слоя, парогазовая установка.

Общий запас древесины в России составляет более 80 млрд. м³, лидирует наша страна по площади лесного фонда и его количеству на одного жителя. Потенциал использования биомассы в России составляет: валовый (467 млн. тут/год), технический (129 млн. тут/год), экономический (69 млн. тут/год), включая отходы агропромышленного комплекса - до 80 млн. тут/год; отходы лесопромышленного комплекса - более 30 млн. м³ [1].

Объем образования древесных отходов в лесопромышленности составляет 32 % от исходного сырья. Количество отходов, например, на мебельной фабрике достигает около 62 % от всей использованной древесины.

В России на предприятиях, заводах, фабриках древесные отходы сжигают или выбрасывают на свалки и полигоны. В насто-

ящее время начинают внедряться программы энергосбережения, снижения вредных выбросов в атмосферу, оптимизации использования первичных ресурсов [1].

Область применения генераторного газа очень широка. Из генераторного газа можно получить электроэнергию при сжигании в паровом котле, в газопоршневых двигателях или в парогазовых установках (ПГУ). Была исследована схема ПГУ (рис. 1), т.к. эффективность ПГУ больше, чем других схем [2].

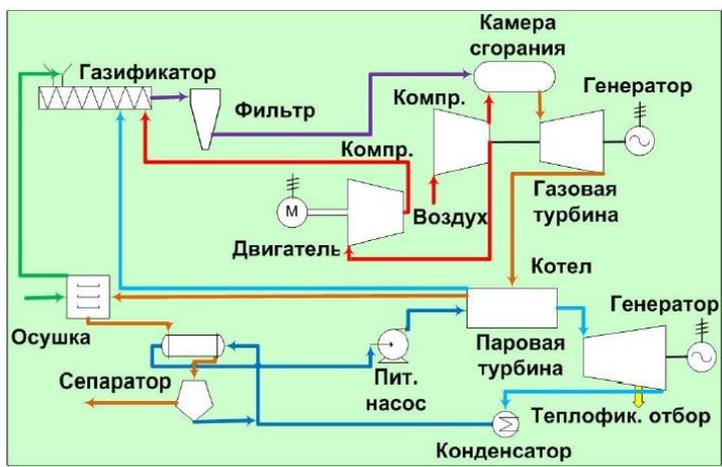


Рис. 1. ПГУ на основе газификации биомассы

Исходное сырье после осушки подается в газогенератор, куда под давлением 20 атмосфер нагнетается пар и воздух для осуществления процесса термической конверсии. Очищенный газ направляется в газовую турбину, с которой на одном валу расположен воздушный компрессор. Дымовые газы после газовой турбины направляются в котел-утилизатор.

На рисунке 2 показана разработанная технологическая схема ПГУ на основе газификации древесных отходов. Принцип действия основан на схеме, показанной на рис. 1, имеет особенности:

- отсутствие сушильной установки для биомассы;
- использование физической теплоты генераторного газа для нагрева сжатого воздуха в теплообменнике ТО;
- отсутствие дополнительного воздушного компрессора под двигателем;
- применение эжектора Э для разгона воздуха с помощью перегретого пара.

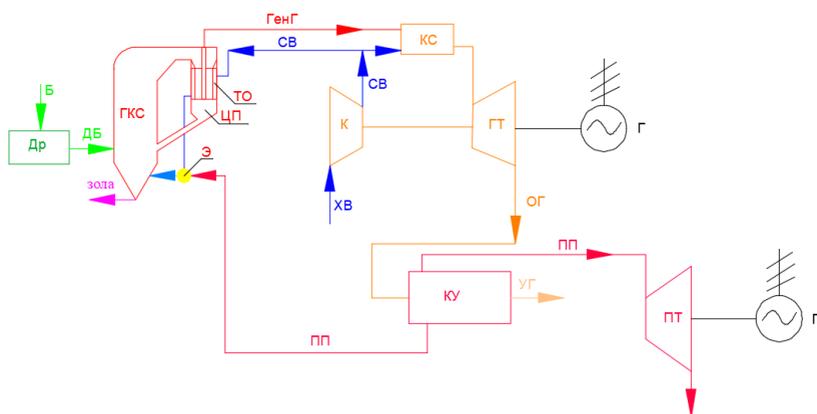


Рис. 2. Разработанная технологическая схема газификации биомассы с ПГУ

Эффективность ПГУ в разработанной схеме может достигать 53 % при удельном расходе биомассы 0,41 кг/(кВт·ч). Параметры для газификации древесных отходов: коэффициент расхода воздуха – 0,3, перегретый пар – 0,2 кг/кг(биомассы), давление в реакторе – 26,5 атм., влажность биомассы – 10 %.

Список литературы

1. Кирпичников И.М., Филь Н.С. Древесные отходы как возобновляемый источник для получения тепловой и электрической энергии/ Вестник Южно-Уральского государственного университета, Серия: Энергетика, 2012, № 16. С. 18-21.
2. Федюхин А.В. Разработка систем комбинированной выработки тепловой и электрической энергии на основе исследования процессов пиролиза и газификации биомассы: дис. канд. техн. наук / Иваново: ИГЭУ, 2014.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПАРОВЫХ ТУРБИН ЗА СЧЕТ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА¹

Голдобин Д.Д. — студент,
Бурмакина А.В. — к.т.н., ст. преподаватель,
Петин С.Н. — к.т.н., доцент, научный руководитель
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
университет «МЭИ»

INCREASE THE EFFICIENCY OF STEAM TURBINES DUE TO THE PRODUCTION OF HYDROGEN

Goldobin D.D. (goldobin.mpei@gmail.com),
Burmakina A.V. (ann-burmakina@yandex.ru),
Petin S.N. (spetin@yandex.ru)

The task of the work is the development on the basis of the steam turbine power plant of the organization of the production of hydrogen by the method of steam conversion of natural gas using the heat of industrial and heat-extraction selections.

Задачей работы является разработка на базе паротурбинной электрической станции производства водорода методом паровой конверсии природного газа при использовании тепла промышленного отбора.

Ключевые слова: производство водорода, паровая конверсия, паровая турбина, промышленный отбор.

Затраты на производство водорода действующими способами превосходят энергию получаемого водорода, поэтому базирование экологически чистой водородной энергетики на действующих способах производства водорода затруднительно [1]. Перспективными концепциями производства водорода являются атомно-водородная энергетика и возобновляемые источники энер-

¹ Статья подготовлена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ по гос. заданию в рамках конкурсного отбора научных проектов, выполняемых научными коллективами исследовательских центров и научных лабораторий образовательных организаций высшего образования (№ заявки 13.3233.2017/ПЧ).

гии [1, 2]. Дополнительно к указанным концепциям предлагается способ производства при использовании неиспользуемых вторичных энергетических ресурсов тепловых электрических станций.

При эксплуатации паротурбинной электрической станции при полном использовании теплоты промышленных и теплофикационных отборов, удельный расход топлива на производство электроэнергии снижается на 40-45 %.

На территории Москвы на данный момент не используются имеющиеся промышленные отборы паровых турбин, что приводит к конденсационной выработке электроэнергии. Использование отборов на производство водорода позволит снизить суммарные расходы топлива.

В таблице 1 представлены данные расчетов для организации производства водорода методом паровой конверсии природного газа на турбине ПТ-80/100-130/13 при номинальной мощности блока по электроэнергии. Увеличение количества водорода зависит от величины использования промышленного отбора. В качестве характеристик по производству водорода приняты данные из [3].

Таблица 1

Сравнительные характеристики производства водорода при использовании П-отборов ПТ-80/100-130/13

П-отбор, Гкал/ч	Объем производства водорода, тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$	Расход природного газа, $\text{м}^3/\text{ч}$		Снижение расхода топлива	
		Раздельная	Комбинированная	$\text{м}^3/\text{ч}$	%
30	69,0	53019	49353	3592	6,92
75	172,6	97550	88384	9016	9,40
90	207,1	112394	101394	11000	9,79
150	345,2	171768	153435	18333	10,67

Из таблицы 1 видно, что комбинированная выработка дает экономию природного газа от 6,92 до 10,67%, что показывает перспективность выработки H_2 на электростанции за счет повышения эффективности работы паровых турбин.

Список литературы

1. Полякова Т.В. Состояние и перспективы водородной энергетики в России и в мире [Электронный ресурс]. // Режим доступа: https://mgimo.ru/files/120132/polyakova_vodorod.pdf (дата обращения 30.11.2017).

2. Водород в энергетике: учеб. пособие Р.В. Радченко, А.С. Мокрушин, В.В. Тюльпа. - Екатеринбург: Изд-во урал. ун-та, 2014. -229 с.
3. Установка по производству водорода на основе парового риформинга [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mahler-ags.com/ru/hydrogen/hydroform-c.htm>

УДК 621.181.23

ГЛУБОКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОТЫ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОПАРОВЫХ СМЕСИТЕЛЬНЫХ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРОВ

Коротин С.Ю. — аспирант,
Щёлоков А.И. — д.т.н., профессор, научный руководитель
ФГБОУ ВО «Самарский государственный
технический университет»

DEEP USE OF FLUE GAS HEAT ON THE BASIS OF APPLICATION OF GAS-STEAM MIXING HEAT GENERATORS

Korotin S.U. (arro116@mail.ru),
Scholokhov A.I. (pt@samgtu.ru)

The basic aspects of application of multicomponent heat carriers received by evaporation of water at its direct contact with products of full combustion of hydrocarbon fuel are designated.

Обозначены основные аспекты применения многокомпонентных теплоносителей, получаемых путём испарения воды при непосредственном контакте её с продуктами полного сгорания углеводородного топлива.

Ключевые слова: газопаровая смесь, теплогенератор.

Энергетическая стратегия России до 2030 года определяет внедрение энергосберегающих технологий в промышленности как одну из наиболее актуальных научно-технических задач современности. Ежегодный объём потребления газового топлива в РФ за последнее десятилетие превышает отметку 450 млрд. м³. Значи-

тельная доля природного и сжиженного углеводородного газа расходуется на технологические нужды: сушку и нагрев материалов, выпаривание растворов, отопление помещений и т.п.

Использование многокомпонентных теплоносителей на основе продуктов сгорания газового топлива и водяного пара (газопаровых смесей) является относительно новым направлением в теплоэнергетике. Газопаровая смесь – теплоноситель, получаемый путём полного сжигания углеводородного топлива и ввода в высокотемпературные продукты сгорания распылённой воды, с последующим её испарением. Преимуществами использования данного теплоносителя в технологических процессах являются:

- отсутствие потерь с уходящими газами, так как последние являются одним из компонентов газопаровой смеси;
- процесс формирования теплоносителя происходит за счёт контактного теплообмена, что предопределяет компактность теплогенерирующих устройств;
- в случае, когда технологическим процессом предусматривается конденсация теплоносителя, полезно используется скрытая теплота фазового перехода водяных паров, входящих в состав продуктов сгорания газового топлива.

В настоящей работе рассматривался процесс формирования газопаровых смесей, в которых водяной пар находится выше линии насыщения. Такая смесь может рассматриваться как смесь идеальных газов. При фиксированном давлении, температура газопаровой смеси находится в зависимости от количества воды, подведённой к продуктам сгорания в камере смешения. Выражение энтальпии газопаровой смеси для определения количества впрыскиваемой воды имеет вид:

$$h = h_{\text{гпс}}\gamma_{\text{гпс}} + h_{\text{вп}}\gamma_{\text{вп}},$$

где $h_{\text{гпс}}$ и $h_{\text{вп}}$ – соответственно, энтальпии (при температуре и давлении сформировавшейся смеси) влажных продуктов сгорания до впрыска воды, и перегретого пара, полученного при испарении впрыскиваемой воды;

γ – массовые доли соответствующих компонентов смеси.

Диаграмма состояния газопаровой смеси приведена на рисунке 1. Помимо отношения массы $\Delta d_{\text{гпс}}$ подводимой воды к массе влажных продуктов сгорания, являющееся технологическим параметром процесса выработки ГПС, отображено полное влагосодержание газопаровой смеси $d_{\text{гпс}}$ с учётом влагосодержания продуктов сгорания, которое необходимо для конечного потребителя в случае конденсации водяных паров, и выражается как:

$$d_{гпс} = d_{пс} + \Delta d_{спс},$$

где $\Delta d_{спс}$ – количество влаги, подводимой при впрыске воды, в рас-

чёте на 1 кг сухих продуктов сгорания, $\Delta d_{спс} = \Delta d_{спс} \frac{m_{вл пс}}{m_{сух пс}}$.

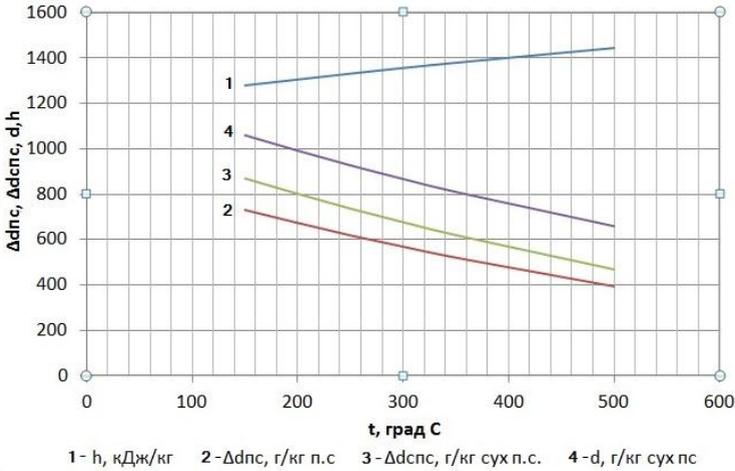


Рис. 1. Диаграмма состояния газопаровой смеси в диапазоне температур 150–500 °С

Работы по созданию компактного, высокоэффективного и надёжного генератора газопаровой смеси проводились на кафедре промышленной теплоэнергетики Самарского государственного технического университета с 2008 г. На начальном этапе были заложены теоретические основы формирования газопаровых смесей, определены их физические свойства и произведены лабораторные исследования. Далее была проведена работа по поиску конструктивных решений для промышленной установки, разработаны и научно обоснованы мероприятия по интенсификации рабочего процесса, которые привели к созданию опытно-промышленного теплогенератора. Был предложен и прошёл экспериментальную проверку метод интенсификации контактного теплообмена, заключающийся в распылении в продуктах полного сгорания газового топлива, воды, находящейся в состоянии перегретой жидкости с последующим дроблением капель жидкости на мелкие фрагменты, высокий темп испарения которых позволяет формировать газопаровую смесь в пределах камеры смешения длиной 500–1000 мм при значительных скоростях (до 100 м/с) и

расходе продуктов сгорания. Также была разработана и прошла цикл испытаний специальная короткофакельная горелка для камеры сгорания теплогенератора, позволившая минимизировать её размеры при значительной тепловой мощности устройства.

Разработанный в рамках НИОКР по созданию малогабаритного генератора газопаровых смесей, теплогенератор ТГ-2А мощностью 115 кВт представляет собой устройство, состоящее из камеры сгорания длиной 590 мм при калибре 49 мм, оснащённой горелкой с периферийной подачей газа, рассчитанной на работу под давлением 0,1...3,0 кгс/см² и имеющей водяное охлаждение, а также камеры смешения длиной 700 мм, в которой происходит тонкое распыление предварительно нагретой воды в продуктах сгорания. Размеры камеры сгорания были выбраны из соображений полного сгорания газового топлива, которое, для подобной горелки, согласно исследованиям на экспериментальном стенде ВНИИМТ достигается на длине 12 калибров [2].

Результаты испытаний подтвердили корректность методики расчёта формирования ГПС, а также позволили установить диапазон устойчивой работы горелки в пределах от 30 до 110 % номинальной нагрузки при условии поддержания избыточного давления в камере сгорания свыше 0,3 кгс/см². Коэффициент полезного действия теплогенератора составил 99,5 % на режиме номинальной нагрузки и 98,5 % при нагрузке 30 %.

Список литературы

1. Энергетический бюллетень №28. – М.: Аналитический центр при Правительстве РФ, 2015 – 30 с.
2. Арсеев А.В. Сжигание природного газа. – М.: Государственное научно-техническое издательство по чёрной и цветной металлургии, 1974 – 398 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ УМЕНЬШЕНИЯ
ПАРПОТРЕБЛЕНИЯ ТУРБОАГРЕГАТАМИ, ПУТЕМ
ПОВЫШЕНИЯ РАЗРЕЖЕНИЯ В КОНДЕНСАТОРАХ
ПАРОВЫХ ТУРБИН**

Ахметов Е.Д. — студент,
Осколков С.В. — ст. преподаватель, научный руководитель
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический
университет имени Г.И. Носова»

**RESEARCH OF METHODS OF REDUCTION OF STEAM
CONSUMPTION BY THE TURBINE, BY INCREASING THE VACUUM
IN THE CONDENSERS OF STEAM TURBINES**

Akhmetov E.D. (jeka08021982@mail.ru),
Oskolkov S.V. (oskolkov.sv@mail.ru)

Considers alternative solutions in the construction of condensers of steam turbines in order to economical steam consumption for the same initial electrical load.

Рассматриваются альтернативные решения в конструкциях конденсаторов паровых турбин в целях экономичного паропотребления при тех же первоначальных электрических нагрузках.

Ключевые слова: энергосбережение, вакуум, паровая турбина, конденсатор.

Электричество – наиболее потребляемый вид энергии, после тепловой, на крупных металлургических предприятиях. На собственные нужды на производстве электричество получают с помощью турбогенераторов больших, средних и малых мощностей, в зависимости от паровой нагрузки котельных агрегатов тепловых электростанций (в т/ч).

В основном используются как турбоагрегаты с противодавлением, так и конденсационные. На последних отработанный в турбине пар конденсируется в конденсаторах и по пароводяному циклу возвращается в котлы, где используется химическая энергия сжигаемого топлива: природного газа и вторичных доменного и

коксового газов, превращая питательную воду в пар. Охлаждающие трубки в основном изготавливают из латунных сплавов. Охлаждающим теплоносителем является прудовая вода, подаваемая насосной станцией по циркуляционным водоводам. Конденсация пара происходит в межтрубном пространстве.

Паровые нагрузки турбоагрегатов достаточно велики: к примеру, для выработки электроэнергии 30 МВт на турбинах ПТ- 29/35 среднего давления (~ 3 МПа) потребляется порядком 130 т/ч перегретого пара. Температура отработанного пара при этом 36-38 °С. Если рассмотреть турбину высокого давления, к примеру, ПТ-25-30 (~ 9 МПа), то для выработки тех же 30 МВт электроэнергии потребляется 120 т/ч пара при той же температуре отработанного пара. При длительном цикле работы турбогенератора в связи с плохим качеством охлаждающего теплоносителя трубки забиваются отложениями механического, биологического и химического происхождения, что в свою очередь влияет на сам процесс конденсации и температура отработанного пара достигает иногда критических значений 60 °С, а иногда и выше. При таких температурах кислород освобождаясь из воды и окисляет цинк (общее либо пробочное обесцинкование) входящий в состав латуни, что приводит к появлению свободных атомов меди (осаждение меди в виде рыхлых образований) и образованию сквозных повреждений поверхности охлаждающих трубок. Это влечет за собой заброс прудовой воды в паровое пространство конденсатора, ухудшению качества конденсата и сбрасыванию последнего в сливные каналы. Но самое главное с увеличением температуры отработанного пара, ухудшается разряжение в конденсаторе и увеличивается паровая нагрузка турбоагрегата для производства той же электроэнергии.

Рассчитано, что с увеличением температуры отработанного пара на 10 °С (с 30 °С до 40 °С) и связанное с этим снижение вакуума в паровом пространстве конденсатора на 3,2 % приводит к снижению термического КПД турбины на 1,4 %, что равносильно снижению мощности примерно на 2,7 % при том же расходе пара. Следовательно загрязнение трубок, либо вывод части трубок из эксплуатации, вследствие нарушения их герметичности, приводит к снижению расхода охлаждающей воды через эти трубки, что в свою очередь и влияет на увеличение температуры отработанного пара, снижение глубины вакуума в конденсаторе и КПД турбины.

Проблема коррозии решается заменой материала трубок, которая рассматривается ниже. Так же, чтобы увеличить глубину вакуума, целесообразно увеличить поверхность теплообмена. Последнее достигается заменой гладких трубок на ребристые.

Рассмотрим вариант применения материала трубок из нержавеющей стали, для того чтобы минимизировать при длительных циклах эксплуатации температурный напор – разность температуры между охлаждающей водой на выходе и отработанным паром, а также возможности избавиться от коррозии и разрушения охлаждающей поверхности.

Коэффициент теплопроводности λ латуни почти в 20 раз больше чем у нержавеющей стали. С учетом того, что нержавейка не подвержена температурной коррозии, которая и является нашей основной проблемой, сравним площади поверхностей охлаждения, зависящие от теплопроводности рассматриваемых материалов.

Площадь охлаждения конденсатора рассчитывается по формуле:

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{\text{ср}}}, \quad (1)$$

где Q – теплота, отбираемая от пара охлаждающей водой, в обоих случаях одинакова;

$\Delta t_{\text{ср}}$ – средний температурный напор между паром и водой, так же не изменяется;

k – коэффициент теплопередачи, характеризует теплообмен пара и воды и напрямую зависит от теплопроводности нержавеющей стали и латуни:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{пара}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{воды}}} + \frac{\delta_{\text{стенки}}}{\lambda_{\text{материала}}} + \frac{\delta_{\text{отложений}}}{\lambda_{\text{отложений}}}}. \quad (2)$$

В результате расчетов для обоих материалов (без учета загрязнений) отличие коэффициента теплопередачи, а, следовательно, и площади теплообмена составляет в среднем 2-4 %. С учетом отложений в трубках это отличие еще уменьшается, следовательно, целесообразно заменить латунные трубки на трубки из нержавеющей стали.

Список литературы

1. Абрамов Н.Н. Водоснабжение / Н.Н Абрамов. Стройиздат. – М.:1974. 512 с.

2. Бродов Ю.М., Савельев Р.З. Конденсационные установки паровых турбин: учебное пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1994. 288 с.
3. Бойко Е.А. Паротурбинные энергетические установки ТЭС: справочное пособие. – М.: Недра, 1991. 303 с.

УДК 629.423.1

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИ ВЫГОДНЫХ РЕМОНТНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Орёл Д.А. — магистрант,
Дубина И.А. — ст. преподаватель,
Варганова А.В. — к.т.н., доцент, научный руководитель
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова»

PLANNING COST-EFFECTIVE SCHEDULED OUTAGE CONDITIONS OF TURBINE GENERATORS INDUSTRIAL POWER PLANTS

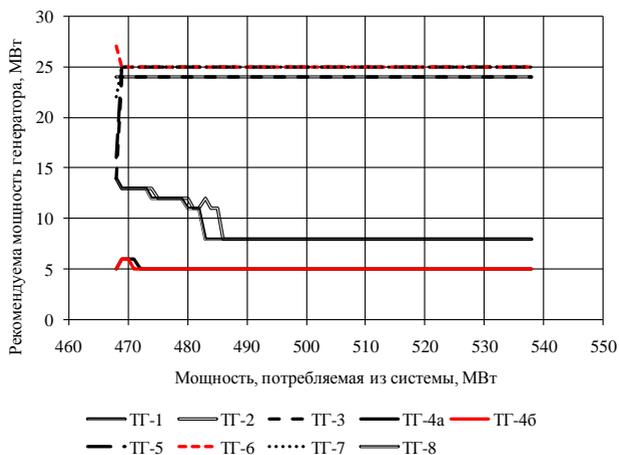
Orel D.A., Dubina I.A.,
Varganova A.V. (aleksandra-khlamova@yandex.ru)

This article is about using of blast furnace gas and coke gas requisite to generation of heat and electrical energy. The work is devoted to the calculation of optimal loads of generators of industrial thermal power plants in normal and reverse conditions. Given the optimal power diagram, representing the dependence of the power at the terminals of the generator from the steam consumption.

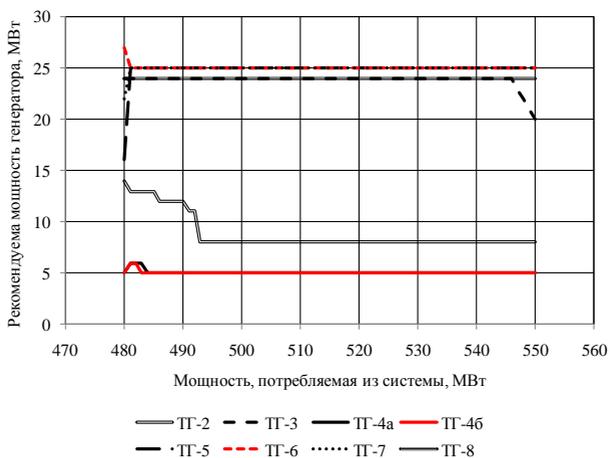
Работа посвящена расчету оптимальных нагрузок генераторов промышленных тепловых электростанций в условиях эксплуатационных режимов. Приведены оптимальные карты мощностей, представляющие собой зависимость мощности на клеммах генератора от расхода пара.

Ключевые слова: тепловая электростанция, турбогенератор, система электроснабжения, тепловая энергия, электроэнергия, вырабатываемая мощность.

Планирование экономически выгодных режимов работы турбогенераторов промышленных электростанций в первую очередь связано с необходимостью минимизировать потребление мощности из энергосистемы, что позволит сократить затраты на покупаемую мощность, тарифы на которую в разы больше стоимости собственной электроэнергии.



а)



б)

Рис. 1. Оптимальные загрузки генераторов тепловой электростанции в: а) *нормальном режиме*; б) *в ремонтном режиме (ремонт ТГ-1) в условиях крупной системы электроснабжения с собственными и внешними источниками электроэнергии*

Одним из способов решения данной задачи является использование существующего математического аппарата и программного обеспечения, позволяющего осуществлять внутростанционную оптимизацию режимов работы основного оборудования [1]. Отличительной особенностью промышленных электростанций является то, что в зимний период турбогенераторы и котлоагрегаты работают на максимальную мощность, и изменение их выработки колеблется от десятых до единицы мегаватта. Таким образом, в зимний период крайне редко осуществляется проведение ремонтов (только если это может предотвратить крупный аварийный останов оборудования). Для летнего периода характерно снижение тепловой и электрической нагрузки, таким образом, это благоприятный период для проведения ремонтов.

На рисунке 1 приведены оптимальные карты мощностей генераторов промышленной электростанции, суммарной мощностью 190 МВт, при работе по летнему графику в нормальном режиме (рис. 1, а) и при ремонте ТГ-1 (рис. 1, б). Алгоритм оптимизации основан на методе динамического программирования [2]. В качестве исходных данных используются технико-экономические модели агрегатов [3-5].

Применение разработанного подхода позволит в условиях промышленных систем электроснабжения с собственными и внешними источниками электроэнергии повысить эффективность их работы за счет сокращения затрат на первичный энергоноситель и покупки мощности из энергосистемы.

Список литературы

1. Варганова А.В. Алгоритм внутростанционной оптимизации режимов работы котлоагрегатов и турбогенераторов промышленных электростанций // Промышленная энергетика. 2018. № 1. С. 17-22.
2. Варганова А.В., Орёл Д.А. Исследование экономически целесообразных ремонтных режимов работы генераторов промышленных электростанций // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2017. № 8. С. 10-13.
3. Кочкина А.В., Малафеев А.В., Курилова Н.А., Нетупский Р.П. Построение технико-экономических моделей турбогенераторов и котлоагрегатов собственных электростанций промышленных предприятий // Электротехнические системы и комплексы. 2013. № 21. С. 247-252.
4. Варганов Д.Е., Варганова А.В., Баранкова И.И. Применение экономико-математических моделей газопоршневых установок с целью повышения эффективности работы энергоузлов с ис-

- точниками распределенной генерации // Электротехнические системы и комплексы. 2016. № 4 (33). С. 29-34.
5. Варганов Д.Е., Варганова А.В. Расчет себестоимости свежего пара на крупных тепловых промышленных электростанциях // Электротехнические системы и комплексы. 2016. № 1 (30). С. 24-28.

УДК 621.16-8:[621.675:621.165]

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПАРОВОГО ПРИВОДА ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Токарев В.С. — магистрант,
Михайловский В.Н. — к.т.н., доцент, научный руководитель
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический
университет им.Г. И. Носова»

EFFICIENCY OF THE STEAM ENGINE OF THE EQUIPMENT FOR SERVICE OF POWER PLANTS

Tokarev V.S. (vltokarev94@mail.ru),
Mikhaylovskiy V.N. (mikhaylovskiy.vn@mmk.ru)

The nutritious pump can be carried to the capital equipment of combined heat and power plant along with a copper, the steam turbine and condensation installation. Effective operation of nutritious pumps and their reliability are important factors for successful operation of combined heat and power plant.

Питательный насос может быть отнесен к основному оборудованию ТЭЦ наряду с котлом, паровой турбиной и конденсационной установкой. Эффективная работа питательных насосов и их надежность являются важными факторами для успешной эксплуатации ТЭЦ.

Ключевые слова: турбопривод, энергозатраты, энергосбережение, производство электрической энергии, питательный насос.

Питательный насос может быть отнесен к основному оборудованию ТЭЦ наряду с котлом, паровой турбиной и конденсацион-

ной установкой. Эффективная работа питательных насосов и их надежность являются важными факторами для успешной эксплуатации ТЭЦ.

Для привода питательных насосов небольших мощностей обычно используют асинхронный двигатель. Электропривод прост в эксплуатации и имеет высокий КПД. Двигатели номинальной мощности 200-8000 кВт выполняются на напряжение 6 кВ. Для всех асинхронных двигателей применяется прямой пуск от полного напряжения сети. Так как энергоблоки на ТЭЦ работают в режимах частых пусков и остановов из-за неравномерности графика нагрузки энергосистемы, то возникает необходимость в частых пусках асинхронных двигателей, на что последние не рассчитаны, особенно мощностью свыше 1000 кВт, у которых ресурс пусковых режимов весьма ограничен. Частые пуски асинхронных двигателей приводят к ускоренному износу обмоток статора и ротора, что увеличивает затраты на их ремонт и понижает надежность работы ТЭЦ [1].

Следует отметить также, что при использовании электропривода регулирование расхода питательной воды может вестись либо дросселированием, либо с помощью гидромукты. Регулирование дросселированием крайне неэкономично и ведет к быстрому износу насоса и арматуры, поэтому на крупных блоках питательная установка снабжается гидромуктой.

Регулирование с помощью гидромукты экономичнее, но и здесь при низких нагрузках блока потери велики: КПД гидромукты составляет 95-98 % при полной нагрузке (что соответственно увеличивает мощность собственных нужд на номинальном режиме) и лишь 75-80 % при нагрузке блока, составляющей 50 % номинальной [4].

Для ТЭЦ ПАО «ММК» с параметрами пара 140 ата характерно наличие турбин типа ПТ и Р, позволяющих получить пар давлением 13 ата на производственные нужды сторонних потребителей. В настоящее время, как правило, из-за снижения потребности в паре такие турбины недогружены. В этой связи при решении проблемы увеличения тепловой и электрической нагрузки ТЭЦ целесообразно использовать взамен электропривода питательного насоса турбину, пар на которую будет поступать из коллектора 13 ата, а отработанный пар подаваться в теплофикационный коллектор 1,2-2,5 ата.

Такое техническое решение экономически выгодно, т.к. кроме дополнительной выработки электроэнергии (за счет загрузки турбин) и снижения потребления электроэнергии на собственные нужды (за счет замены электропривода питательных насосов на

турбопривод) ТЭЦ получит возможность отпускать дополнительное количество тепла внешним потребителям (за счет отработанного пара приводных турбин насосов). Кроме того, турбопривод позволяет наиболее экономично регулировать производительность питательного насоса за счет изменения числа оборотов ротора [5].

На рисунке 1 приведена схема реконструкции питательной электроустановки с установкой турбопривода.

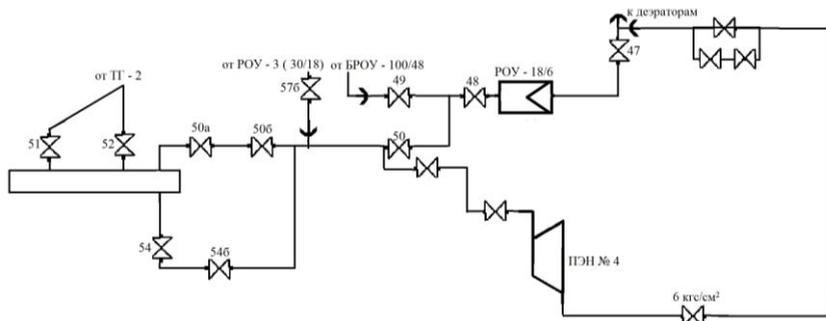


Рис. 1. Паровая схема турбопривода питательного насоса высокого давления

Как правило, цены на топливо и электроэнергию формируются по отдельным механизмам, и поэтому, при оценке эффективности замены электропривода, важно оценить разницу между стоимостью единицы мощности в тепловом и электрическом эквивалентах [3].

Пусть необходима мощность – тепловая и электрическая $Q_{НАС}$ (кВт) в течение времени T (часов). Требуемые на это затраты, в руб., можно оценить по формуле:

$$Z_{ТЕП} = C_{ТОП} \cdot \frac{0,86 \cdot Q_{НАС}}{7000 \cdot \eta_{ТЕП}}, \quad (1)$$

где $Z_{ТЕП}$ – затраты на тепловую мощность;

$C_{ТОП}$ – стоимость тонны условного топлива, руб./т.у.т;

$\eta_{ТЕП}$ – суммарный КПД при производстве и передаче тепловой энергии. При оценке эффективности турбопривода, описанного выше, $\eta_{ТЕП} = \eta_{УСТ}$.

Затраты на покупную электроэнергию в этом же объеме, в руб., можно оценить по формуле:

$$Z_{\text{ЭЛ}} = C_{\text{ЭЛ}} \cdot Q_{\text{НАС}} \cdot T, \quad (2)$$

где $C_{\text{ЭЛ}}$ – стоимость электроэнергии, руб./кВт·ч.

Соответственно, при установке турбопривода экономическо-го эффекта можно достичь при условии $\frac{Z_{\text{ЭЛ}}}{Z_{\text{ТЕП}}} > 1$.

Использование на ТЭЦ турбопривода питательного насоса вместо электродвигателя позволяет решить две основные задачи: увеличить выработку и отпуск электроэнергии и тепла на станции; реализовать возможность эффективного регулирования производительности насоса.

Первая задача решается за счет того, что в головную часть турбины типа ПТ или Р, обычно недогруженной по пару промышленного отбора, подается дополнительный острый пар в количестве, необходимом для работы турбопривода.

Решение второй задачи связано с тем, что такие механизмы регулирования производительности питательного насоса, как гидромурфта или частотный преобразователь, имеют более низкий КПД на режимах частичной загрузки [2].

Список литературы

1. Бененсон Е.И., Иоффе Л.С. Теплофикационные паровые турбины. М.: Энергоиздат, 1986.
2. Гринман М.И. Новый турбопривод питательных насосов ТЭЦ // Новости теплоснабжения. 2010. №5.
3. Кирюхин В.И., Тараненко Н.М., Огурцова Е.П. и др. Паровые турбины малой мощности КТЗ. М.: Энергоатомиздат, 1987.
4. Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции. М.: Энергоатомиздат, 1987.
5. Сухарев В.А. Экономические показатели использования турбопривода питательного насоса // Тезисы докладов [Электронный ресурс] URL: <http://rudocs.exdat.com/docs/index-435756.html> (дата обращения 16.10.2013).

РЕШЕНИЕ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ ПРИ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ МЕЖДУ КОТЛОАГРЕГАТАМИ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Храмцова В.А. — магистрант,
Дубина И.А. — ст. преподаватель,
Варганова А.В. — к.т.н., доцент, научный руководитель
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова»

OPTIMIZATION PROBLEM SOLUTION OF HEAT DISTRIBUTION BETWEEN POWER PLANT BOILERS

Khramtsova V.A., Dubina I.A.,
Varganova A.V. (aleksandra-khlamova@yandex.ru)

Optimization problem solution of heart distribution between power plant boilers using dynamic programming method is under consideration. The main criterion is minimum of heat costs.

Приведено решение задачи оптимального распределения тепла между энергетическими котлами по критерию минимума затрат на пар с использованием метода динамического программирования.

Ключевые слова: котел, тепловая электростанция, турбогенератор, энергоресурсы.

Решение оптимизационных задач в условиях энергетических объектов имеет свою специфику. Для электростанций это и распределение мощностей между основным оборудованием электростанций [1], составление оптимальных графиков вывода в ремонт оборудования, сокращение затрат на собственные нужды и энергоресурсы [2] и так далее. Решение всех вышеперечисленных задач позволит повысить эффективность работы электростанций.

Для решения оптимизационных задач в области энергетики имеется богатый математический аппарат. Одним из методов является метод динамического программирования, модифицированный для решения задач оптимизации в условиях объектов электроэнергетики [3-4].

В качестве исходных данных для оптимизации используются режимные карты котлов, причем для каждого режима рассчитаны себестоимости [4].

Предположим, на электростанции установлено три котлоагрегата, работающих на общий паропровод, с режимными картами, приведенными в таблицах 1-3.

Таблица 1

Технико-экономическая модель агрегата №1

$D_1, \text{т/ч}$	10	11	12	13	14	15	16
$B_1, \text{м}^3/\text{ч}$	3	4	5	4	6	5	4
$S_1, \text{руб./т}$	1	2	3	4	5	6	7

Таблица 2

Технико-экономическая модель агрегата №2

$D_2, \text{т/ч}$	5	6	7	8	9	10
$B_2, \text{м}^3/\text{ч}$	4	3	5	7	6	7
$S_2, \text{руб./т}$	2	1	4	3	3	4

Таблица 3

Технико-экономическая модель агрегата №3

$D_3, \text{т/ч}$	8	9	10	11	12	13	14
$B_3, \text{м}^3/\text{ч}$	5	6	4	5	7	6	8
$S_3, \text{руб./т}$	3	4	4	5	3	7	6

На основании алгоритма, приведенного в [4], получим следующую эквивалентную модель котла электростанции (таблица 4).

Таблица 4

Эквивалентная модель котлоагрегата электростанции

$D_{\text{ЭКВ123}}, \text{т/ч}$	23	24	25	...	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
$B_{\text{ЭКВ123}}, \text{м}^3/\text{ч}$	12	11	12	..	15	16	17	18	17	18	18	17	18	18	19
$S_{\text{ЭКВ123}}, \text{руб./т}$	2	1,7	2	...	2,3	2,3	2,7	3	3,3	3,7	4	4,3	4,7	5,3	5,7
$D_{\text{ЭКВ1-2}}, \text{т/ч}$	15	16	17	...	18	19	20	21	22	23	24	25	26	25	26
$B_{\text{ЭКВ1-2}}, \text{м}^3/\text{ч}$	7	6	7	...	8	9	10	11	10	11	11	10	11	10	11
$S_{\text{ЭКВ1-2}}, \text{руб./т}$	1,5	1	1,5	...	2	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	5	5,5
$D_1, \text{т/ч}$	10	10	11	...	12	10	11	11	13	13	15	16	16	16	16
$B_1, \text{м}^3/\text{ч}$	3	3	4	..	5	3	4	4	4	4	5	4	4	4	4
$S_1, \text{руб./т}$	1	1	2	...	3	1	2	2	4	4	6	7	7	7	7
$D_2, \text{т/ч}$	5	6	6	...	6	9	9	10	9	10	9	9	10	9	10
$B_2, \text{м}^3/\text{ч}$	4	3	3	..	3	6	6	7	6	7	6	6	7	6	7
$S_2, \text{руб./т}$	2	1	1	...	1	3	3	4	3	4	3	3	4	3	4
$D_3, \text{т/ч}$	8	8	8	...	12	12	12	12	12	12	12	12	12	14	14
$B_3, \text{м}^3/\text{ч}$	5	5	5	...	7	7	7	7	7	7	7	7	7	8	8
$S_3, \text{руб./т}$	3	3	3	...	3	3	3	3	3	3	3	3	3	6	6

Полученная модель содержит в себе эквивалентные паропроизводительности котлов всей электростанции ($D_{\text{ЭКВ123}}$) и соответствующие этому значения паропроизводительностей отдельных агрегатов, а также содержит себестоимости пара по эквивалентной и начальной модели котлов. Однако эквивалентное значение модели необходимо пересчитывать при условии изменения состава оборудования. Так, например, при выводе в ремонт котла №3 эквивалентная характеристика имеет вид, представленный в таблице 5.

Таблица 5

Эквивалентная расходная характеристика агрегатов №1 и №2

$D_{\text{ЭКВ1-2}}$, т/ч	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$B_{\text{ЭКВ1-2}}$, м ³ /ч	7	6	7	10	9	10	11	12	11	13	12	11
$S_{\text{ЭКВ1-2}}$, руб/т	1,5	1	1,5	2	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5
D_1 , т/ч	10	10	11	10	10	11	11	12	13	14	15	16
B_1 , м ³ /ч	3	3	4	3	3	4	4	5	4	6	5	4
S_1 , руб/т	1	1	2	1	1	2	2	3	4	5	6	7
D_2 , т/ч	5	6	6	8	9	9	10	10	10	10	10	10
B_2 , м ³ /ч	4	3	3	7	6	6	7	7	7	7	7	7
S_2 , руб/т	2	1	1	3	3	3	4	4	4	4	4	4

Использование в расчетах данного подхода позволяет достаточно оперативно по эквивалентной характеристике котлоагрегата определить экономически выгодные загрузки каждой единицы оборудования при заданной суммарной тепловой нагрузке на паропровод.

Список литературы

1. Варганова А.В. Оптимизация режимов промышленных систем электроснабжения с разнородными генерирующими источниками /Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Магнитогорск. 2016. 20 с.
2. Варганова А.В. О методах оптимизации режимов работы электроэнергетических систем и сетей // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2017. Т. 17. № 3. С. 76 - 85.
3. Малафеев А.В., Игуменцев В.А., Хламова А.В. Алгоритм оптимизации распределения активной мощности между электростанциями промышленного предприятия и узлами связи с энергосистемой с учетом потерь в распределительной сети // Промышленная энергетика. 2011. №9. С. 16-21.

4. Варганова А.В. Алгоритм внутростанционной оптимизации режимов работы котлоагрегатов и турбогенераторов промышленных электростанций // Промышленная энергетика. 2018. № 1. С. 17-22.
5. Кочкина А.В., Малафеев А.В., Курилова Н.А., Нетупский Р.П. Построение технико-экономических моделей турбогенераторов и котлоагрегатов собственных электростанций промышленных предприятий // Электротехнические системы и комплексы. 2013. № 21. С. 247-252.

УДК 621.176

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ АЭРОДИНАМИКИ ДЫМОВОГО ТРАКТА КРУПНЫХ КОТЕЛЬНЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГАЗОВЫХ ЭЖЕКТОРОВ

Хамзин Р.Р. — студент,
Матвеев С.В. — ассистент, научный руководитель
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова»

INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF MODERNIZATION OF THE AERODYNAMICS OF THE SMOKE TRACT OF LARGE BOILER UNITS WITH THE USE OF GAS EJECTORS

Khamzin R.R. (rusya.khamzin.96@mail.ru),
Matveev S.V. (serega6731@mail.ru)

In this paper, we estimate the possibility of using ejectors in a chimney, when mixing flue gases, from boilers with forced and natural draft to increase their heat output.

В данной работе оценивается возможность применения эжекторов в дымовой трубе, при смешении дымовых газов, с котлов на принудительной и естественной тяге для повышения их теплопроизводительности.

Ключевые слова: котельная, дымовая труба эжектор, кратность эжекции.

На больших котельных, где применяются сразу несколько котлов зачастую строиться одна высокая дымовая труба, для увеличения площади распространения загрязняющих веществ и снижения их концентрации. Дымовые газы, поступающие с котлов, смешиваются в дымовой трубе. Порой при неправильном их смешении происходит закирание газов, что приводит к дополнительной нагрузке дымососов, либо часть дымовых газов, вовсе не покидает дымовой тракт, если котел работает без дымососа, что снижает его теплопроизводительность. Одним из решений такой проблемы является введение перегородки в дымовой трубе для уменьшения эффекта «закирания». Однако, такое решение создает своеобразный струйный прибор (эжектор) с кратностью эжекции не более 2. Задачей данной работы является исследование возможности повышения теплопроизводительности котельной за счет модернизации эжектора дымовой трубы.

Основной характеристикой работы эжектора является кратность эжекции – отношение расходов смеси к объёмному расходу рабочей среды.

На кафедре ТиЭС ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» в лаборатории гидрогазодинамики был проведен эксперимент по исследованию кратности эжекции различных струйных приборов в зависимости от расположения сопла фазированного диаметра ($d = 20$ мм). На срезе смесителя измеряли полное и скоростное давление с применением трубки Прандтля. По полученным данным определили скорость газа на выходе из смесителя:

$$W = 1,27 \cdot \sqrt{P_{ск.ср}}, \quad (1)$$

где W – скорость, м/с.

$P_{ск.ср}$ – среднескоростное давление, Па.

При известной площади сечения среза струйного прибора была определена кратность эжекции:

$$m = \Delta \cdot \sqrt{\left(1 - \frac{1}{2} \cdot \varepsilon \cdot \Delta^2\right)}, \quad (2)$$

где m – кратность эжекции.

$$\Delta = d^3 / d^1, \quad (3)$$

где d^3 – диаметр смесителя;

d^1 – диаметр сопла.

$$\varepsilon = (P_3 - P_2) / (P_{\text{ск.ср.}} + (P_3 - P_2)), \quad (4)$$

где ε – коэффициент, характеризующий работу противодавления.

Принимаем $(P_3 - P_2) = 30 \text{ Па}$.

На рисунке 1 показаны данные, полученные в результате эксперимента. Из графика видно, что при перемещении струйного прибора на расстояние от -20 до +20 относительно сопла может позволить изменять кратности эжекции. Так, для струйного прибора $d = 70 \text{ мм}$ без конфузора кратность эжекции менялась в диапазоне от 3,6 до 4. Использование струйного прибора с конфузором, аналогичного диаметра можно получить рост кратности эжекции от 3,9 % до 16,2 %. Гораздо больший и значительный эффект возможен с увеличением диаметра смесителя: при неизменном диаметре сопла, кратность возрастает от 58,6 % до 84,8 % ($d = 90 \text{ мм}$, график 1) в зависимости от положения струйного прибора.

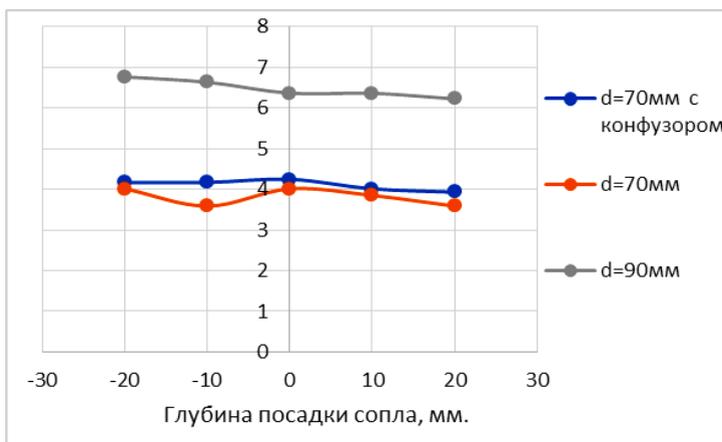


Рис. 1. Опытная кратность эжекции

Таким образом, модернизация эжектора в дымовой трубе может позволить увеличить кратность эжекции от 2 до 7 в результате изменения взаимного расположения сопла и смесителя. Такое мероприятие может позволить увеличить теплопроизводительность котельной на 20 %.

Список литературы

1. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика, Москва, 1969, 824 с.
2. Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй, Москва, 1960, 720 с.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Попов А.В. — аспирант,
Дорофеев В.Н. — к.т.н., доцент, научный руководитель,
Авдеев С.Н. — к.т.н., доцент, научный руководитель
ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича
Столетовых» (ВлГУ)

ANALYSIS OF THE RESULTS OF THE HYDRAULIC CALCULATION OF HEAT NETWORKS

Popov A.V. (mister.andrey310892@yandex.ru),
Dorofeev V.N., Avdeev S.N.

The aim of the work is a comparative analysis of the results of hydraulic calculation of several different schemes of heat networks. In the analysis, the calculation method was used both in the standard form and with the use of average hydraulic quantities.

Задачей работы является сравнительный анализ результатов гидравлического расчета нескольких различных схем тепловых сетей. В анализе использована методика расчета как по типовой форме, так и с применением средних гидравлических величин.

Ключевые слова: теплоснабжение, тепловая сеть, абсолютные и удельные потери напора, функциональная зависимость.

Для анализа закономерностей гидродинамических процессов в трубопроводах сетей рассмотрены различные способы усреднения гидравлических величин по длине сети и по другим аргументам (для упрощения расчетов).

В таблице 1 приведены итоговые результаты гидравлического расчета 14-ти различных тепловых сетей, спроектированных из стальных труб. Коэффициент эквивалентной шероховатости был принят равным 0,0005 м [1]. Обозначение и наименование величин, входящих в таблицу, соответствуют принятым в наиболее часто используемых методиках [2]: коэффициент эквивалентной ше-

роховатости – k_3 , количество участков – N , длина по трассе – L , расходы воды – $G_{\text{сум}}$, $G_{\text{гол}}$, $G_{\text{аб}}$, суммарные потери напора по одному направлению – $\Sigma\Delta H_{\text{тр}}$, суммарные удельные потери напора по одному направлению – Δh .

Таблица 1

Итоговые результаты гидравлического расчета тепловых сетей

№	k_3 , мм	N	$G_{\text{сум}}$, т/ч	L , м	$G_{\text{гол}}$, т/ч	$G_{\text{аб}}$, т/ч	$\Sigma\Delta H_{\text{тр}}$, м.в.ст	Δh , мм/м
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ИСВ	0,5	15	216,0	1400,0	27,0	1,80	6,01	4,29
СКР	0,5	9	825,6	1197,7	200,4	7,04	6,1	5,09
ГРШ	0,5	17	174,5	800,0	19,4	0,83	3,8	4,75
ДКН	0,5	16	664,1	788,0	77,4	4,35	3,69	4,68
КСТ	0,5	15	719,3	800,0	133,8	8,17	3,67	4,58
КРВ	0,5	10	186,9	537,0	35,6	2,00	2,25	4,19
ЛЕН33-1	0,5	16	1068,3	1019,0	156,5	2,88	4,57	4,48
МИХ 47	0,5	11	906,1	810,0	156,5	1,68	3,55	4,39
СУЗД 2	0,5	19	1084,6	1256,0	156,5	3,09	5,43	4,33
КАМ 29-16	0,5	12	898,6	826,0	156,5	1,00	3,70	4,47
УСТИБ	0,5	14	769,8	752,0	156,5	1,75	3,12	4,15
КЧН	0,5	17	161,9	1500,0	18,0	1,06	7,05	4,70
ЛДЩ	0,5	12	78,0	1200,0	12,0	1,00	5,57	4,64
МКС	0,5	13	684,5	535,0	115,0	8,00	2,66	4,97

Из анализа различных способов получения средних значений диаметров труб и расходов воды приняты наиболее эффективными три способа:

1. Средний диаметр труб находят как отношение суммы расходов всех участков сети к сумме отношений расхода к диаметру каждого участка, а средний расход воды определен обратным счетом по формуле Дарси-Вейсбаха (с учетом исходных данных о тепловой сети).

2. Средний диаметр труб находят как отношение суммы произведений длины и диаметра каждого участка к суммарной длине всех участков, а средний расход воды определен обратным счетом по формуле Дарси-Вейсбаха (с учетом исходных данных о тепловой сети).

3. Средний расход воды находят как полусумму расходов на головном и абонентском участках, а средний диаметр труб определен обратным счетом по формуле Дарси-Вейсбаха (с учетом исходных данных о тепловой сети).

В дальнейшем был произведен анализ взаимосвязи усредненных диаметров и соответствующих им усредненных расходов

для всех рассматриваемых тепловых сетей, который показал, что усредненный расход связан с усредненным диаметром степенной зависимостью вида:

$$G_{cp} = A \cdot d_{cp}^n \quad (1)$$

В таблице 2 приведены значения коэффициентов усреднения расходов воды $K_{уср}$, вычисленных по формуле (2); коэффициентов A (зависящих от способа усреднения и параметров тепловой сети), показателей степени n в уравнениях регрессии и корреляции R^2 для каждого из способов усреднения. Для всех трех способов значение R^2 равно 0,999, что говорит о весьма тесной взаимосвязи между рассматриваемыми величинами.

Таблица 2

Сравнительный анализ результатов трех способов усреднения диаметров труб и расходов воды

№	1				2				3			
	$K_{уср}$	A	n	R^2	$K_{уср}$	A	n	R^2	$K_{уср}$	A	n	R^2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ИСВ	0,61	5468	2,62	0,999	0,54	5509	2,62	0,999	0,53	5482	2,62	0,999
СКР	0,6				0,42				0,52			
ГРШ	0,61				0,5				0,52			
ДКН	0,62				0,55				0,53			
КСТ	0,42				0,38				0,53			
КРВ	0,6				0,34				0,53			
ЛЕНЗЗ-1	0,56				0,46				0,51			
МИХ 47	0,68				0,49				0,51			
СУЗД 2	0,51				0,34				0,51			
КАМ 29-16	0,68				0,47				0,5			
УСТИБ	0,56				0,37				0,51			
КЧН	0,59				0,52				0,53			
ЛДЦ	0,62				0,5				0,54			
МКС	0,51	0,38	0,53									

Коэффициент усреднения (для любых схем сетей и способов усреднения — в долях или процентах), по которому можно судить о конструктивной и режимной эффективности сетей был определен по следующей формуле:

$$K_{уср} = \frac{G_{cp}}{G_{зол}} \quad (2)$$

Результаты анализа позволяют оценить гидравлическую устойчивость абонентов, степень загруженности сетей, возможность подключения дополнительной тепловой нагрузки, технико-

экономическую и энергетическую эффективность сети и системы теплоснабжения.

Список литературы

1. СП 124.13330.2012 Тепловые сети. Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003.
2. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов. – 7-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МЭИ, 2001. – 472 с.

УДК 62-626

ПРЕИМУЩЕСТВА БАЗАЛТОПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ

Назаров М.Н. — студент,
Строгонов К.В. — к.т.н., доцент, научный руководитель
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
университет «МЭИ»

ADVANTAGES OF BASALT PLASTIC PIPES

Nazarov M.N. (mikhail-nazarov.1995@yandex.ru),
Strogonov K.V. (strogonovkv@yandex.ru)

The task of the work is the selection of energy – efficient material for the pipeline.

Задачей работы является подбор энергетически эффективного материала для трубопровода.

Ключевые слова: падение напора, теплопроводность, шероховатость, сопротивление.

Одно из важнейших достижений XX века – создание в крупных населенных пунктах систем централизованного теплоснабжения с десятками тысяч километров тепловых сетей. В нашей стране используется до 260 тыс. км тепловых сетей, но уже третья часть из них изношена.

Сегодня, в новых рыночных условиях, когда в стране намечется экономический подъем, крепнет понимание важности не только сохранения оставшегося или достигнутого, но и поиск путей

эффективного развития. Особенно остро эта проблема стоит перед социальной сферой, для которой проблемы теплоснабжения наиболее чувствительны. Поэтому так важно сейчас, в условиях нарастающего дефицита энергоресурсов, наиболее эффективно распорядиться теми средствами, которые направляются и будут направлены на восстановление и развитие тепловых сетей.

Разумнее и дешевле будет заменить трубопроводы полностью, обеспечив им срок безотказной «жизни», равный потребности технической и социальной инфраструктуры порядка 30–50 лет и при достаточном обосновании более 50 лет. Естественно, напрашивается вывод, что необходимо применять трубы, которые в принципе не подвержены коррозии, что позволит впредь не заботиться хотя бы о восстановлении антикоррозийных покрытий, диагностике и других дорогостоящих процедурах. Он заключается в переходе на трубы, изготовленные из коррозионноустойчивых материалов. При использовании таких труб о существовании коррозии можно просто забыть [1].

Для решения поставленной задачи было проведено сравнение тепловых и гидравлических потерь стального материала с тремя видами материалов: базальтопластик, асбоцемент, изопрофлекс.

Расчет для каждого из материалов производился по одним и тем же исходным данным (таблица 1) [2].

Таблица 1

Результаты расчета гидравлических потерь

Материал	Коэффициент гидравлического трения	Удельное линейное падение напора, м	Линейное падение напора, м	Удельное сопротивление трубопровода, $\text{мм} \cdot \text{ч}^2 / \text{м}^6 \cdot \text{м}$
Сталь	0,0246	0,00559	5,59	$0,525 \cdot 10^{-6}$
Асбоцемент	0,014	0,003	3	$0,525 \cdot 10^{-6}$
Базальтопластик	0,0088	0,002	2	$0,525 \cdot 10^{-6}$
Изопрофлекс	0,0084	0,0019	1,9	$0,525 \cdot 10^{-6}$

В результате расчета было выявлено, что гидравлические потери в асбоцементном трубопроводе меньше на ~ 46 %, чем в стальном; гидравлические потери в базальтопластиковом трубопроводе меньше на ~ 64 %, чем в стальном; гидравлические потери в изопрофлексовом трубопроводе меньше на ~ 66 %, чем в стальном.

Удельные тепловые потери в асбоцементном трубопроводе (таблица 2) оказались меньше на ~ 4,2 %, чем в стальном; удельные тепловые потери в базальтопластиковом трубопроводе на ~ 4% меньше, чем в стальном; удельные тепловые потери в изопрофлексом трубопроводе на ~ 2,2 % меньше, чем в стальном.

Таблица 2

Результаты расчета удельных тепловых потерь

Материал	$K, \text{ м}\cdot\text{К}/\text{Вт}$	$R = R_{\text{и}} + R_{\text{н}} + R_{\text{п.к.}} + R_{\text{к}} + R_{\text{гр}} + R_{\text{м}}, \text{ м}\cdot\text{К}/\text{Вт}$	$q_1 = (t_1 - t_0)/R, \text{ Вт}/\text{м}$	$q_2 = (t_2 - t_0)/R, \text{ Вт}/\text{м}$	$q = q_1 + q_2, \text{ Вт}/\text{м}$
Сталь	0,00027	1,340	70,88	41,0	111,88
Асбоцемент	0,059	1,4	67,85	39,3	107,15
Базальтопластик	0,057	1,397	68	39,4	107,4
Изопрофлекс	0,03	1,37	69,34	40,14	109,48

Так же на основании таблиц 1 и 2 был произведен экономический расчет.

В итоге на основании проведенных расчетов, наиболее эффективным материалом для трубопроводов оказался базальтопластик. Основными преимуществами данного материала являются долгий срок службы, низкий коэффициент теплопроводности.

Изопрофлекс, несмотря на хорошие показатели, оказался менее целесообразным из-за дороговизны материала.

У асбоцемента меньше срок службы, за счет чего придется чаще остальных материалов проводить замену трубопровода, соответственно затрачивать больше финансов

Список литературы

1. Соколов Е.А. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов.- 7-е изд., стереот. - М.: Издательство МЭИ, 2001. - 472 с.: ил.
2. Зингер Н.М. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем. — 2-е изд., перераб. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 320 с.: ил.

МЕТОДИКА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ВОДЯНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Попов А.В. — аспирант,
Дорофеев В.Н. — к.т.н., доцент, научный руководитель,
Авдеев С.Н. — к.т.н., доцент, научный руководитель
ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича
Столетовых» (ВлГУ)

METHOD OF HYDRAULIC CALCULATION OF WATER HEATING NETWORKS

Popov A.V. (mister.andrey310892@yandex.ru),
Dorofeev V.N., Avdeev S.N.

The aim of the work is to consider the method of hydraulic calculation of water heating networks. The results of using the calculation technique are shown in the example of a single heat network with given initial data.

Задачей работы является рассмотрение методики гидравлического расчета водяных тепловых сетей. Результаты использования методики расчета показаны на примере одной тепловой сети с заданными исходными данными.

Ключевые слова: водяная тепловая сеть, гидравлический расчет, абсолютные и удельные гидравлические величины.

Гидравлический расчет является одним из важных этапов проектирования водяных тепловых сетей. От правильного его выполнения зависит эффективность работы тепловой сети. Также важное значение (для дальнейшего проектирования, строительства и эксплуатации тепловых сетей) имеет то, как будут представлены результаты расчета и какие величины, необходимые в дальнейшем, будут в нем отображены [1, 2].

Предложена улучшенная методика оформления результатов гидравлического расчета (по структуре отображения расчетных величин), которая включает добавление в таблицу дополнитель-

ных сведений и графическое представление характера изменения параметров по длине магистрали.

В таблице 1 приведены результаты гидравлического расчета тепловой сети г. Владимира (температурный график – 130/70 °С, $k_3=2$ мм), включающей магистраль из 10-ти участков при известном распределении расходов. В таблице были добавлены графы расчета материальных характеристик (графы 16-17) по наружному и условному диаметрам труб и объема заполнения сети (графа 18), а также вспомогательные величины (графы 19-22). В строке «И» указаны суммарные по магистрали сети значения некоторых величин.

Из таблицы 1 (по итоговой строке) для рассматриваемой тепловой сети были получены усредненные значения диаметров, рассчитанные четырьмя различными способами, и усредненное значение расхода. Результаты расчета представлены в таблице 2.

В дальнейшем усредненные диаметры и расходы будут использованы при оценке гидравлических потерь напора в водяных тепловых сетях с определенной долей погрешности, не прибегая к точному гидравлическому расчету.

Таблица 1

Результаты гидравлического расчета магистрали тепловой сети

№ уч.	L, м	G, т/ч	d_y , м	d_y^*L , м*М	d_H , м	d_H^*L , м*М	w, м/с	λ	Re, $\times 10^4$	Re _{кр} , $\times 10^4$	R _н , Па/м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Магистраль											
1	68	35,6	0,125	8,5	0,133	9,0	0,84	0,039	35,6	3,6	105
2	70	32,1	0,125	8,8	0,133	9,3	0,76	0,039	32,1	3,6	86,1
3	40	29,1	0,125	5,0	0,133	5,3	0,69	0,039	29,2	3,6	71,3
4	6	26,1	0,125	0,8	0,133	0,8	0,62	0,039	26,2	3,6	57,1
5	41	20,8	0,125	5,1	0,133	5,5	0,49	0,039	20,8	3,6	36,2
6	20	13,8	0,125	2,5	0,133	2,7	0,33	0,039	13,9	3,6	16,0
7	44	13,8	0,125	5,5	0,133	5,9	0,33	0,039	13,9	3,6	16,0
8	54	11,7	0,100	5,4	0,108	5,8	0,43	0,041	14,6	2,8	36,8
9	146	2,0	0,080	11,7	0,089	13,0	0,12	0,044	3,1	2,3	3,5
10	48	2,0	0,080	3,8	0,089	4,3	0,12	0,044	3,1	2,3	3,5
И	537	187	-	57	-	61,5	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 1

№ уч.	$\Delta H_{гр}$, м.в.ст	$\Sigma \Delta H_{гр}$, м.в.ст	Δh , мм/м	МН, м*М	М, м*М	V, м ³	G/d_y , т/(ч*М)	$G/(d_y)$	$T/(ч*М^{2,625})$	$L/(d_y)^2$, м	G^*L , т*М/ч
1	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
Магистраль											
1	1,00	1,00	14,64	18,1	17	1,67	284	8346	4352	2417	
2	0,83	1,83	11,9	18,6	17,5	1,72	256	7524	4480	2244	
3	0,39	2,22	9,82	10,6	10	0,98	233	6836	2560	1165	
4	0,05	2,27	7,9	1,6	1,5	0,15	209	6132	384	157	
5	0,21	2,47	5,01	10,9	10,3	1,01	166	4881	2624	852	
6	0,04	2,52	2,22	5,3	5	0,49	111	3249	1280	277	
7	0,10	2,62	2,22	11,7	11	1,08	111	3249	2816	609	
8	0,27	2,89	5,09	11,7	10,8	0,85	117	4921	5400	630	
9	0,07	2,96	0,48	26	23,4	1,47	25	1515	22813	292	
10	0,02	2,98	0,48	8,5	7,7	0,48	25	1515	7500	96	
И	2,98	-	5,56	123,1	114,1	9,89	1537	48167	54209	8739	

Таблица 2

Результаты расчета усредненных диаметров и усредненного расхода

Наименование величины	Единица измерения	Связь с графами табл.1	Расчет	Значение
1	2	3	4	5
d_{cp}^1	м	гр.3/гр.19	187/1537	0,122
d_{cp}^2	м	$(гр.3/гр.20)^{0,38}$	$(187/48167)^{0,38}$	0,121
d_{cp}^3	м	гр.5/гр.2	57/537	0,106
d_{cp}^4	м	$(гр.2/гр.21)^{0,5}$	$(537/54209)^{0,5}$	0,100
G_{cp}	т/ч	гр.22/гр.2	8739/537	16,27

Ряд величин, приведенных в таблице 1, можно представлять в графической форме, чтобы наблюдать динамику в пределах сети или получать данные об их новых значениях при изменении некоторых параметров сети (на основе полученных аналитических уравнений регрессии). Для примера на рисунке 1 представлены графики изменения материальной характеристики (по условному диаметру) и объема заполнения по всей длине магистрали.

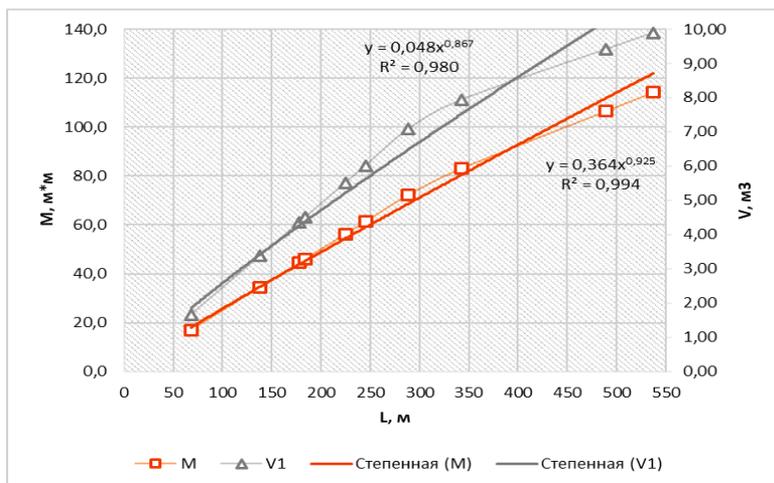


Рис. 1. График изменения материальной характеристики (по условному диаметру) и объема заполнения (с нарастанием значений) по длине магистрали

Методика позволяет наглядно отразить характер изменения важных величин гидравлического расчета по участкам и длине магистрали сети, выявить закономерности зависимостей между ними, оценить возможность усреднения диаметров труб и расходов воды для упрощения выполнения сложного гидравлического расчета. Достоверность результатов гидравлического расчета тепловых сетей позволяет рационально проектировать их конфигурацию и режимы работы, что обуславливает предпосылки для энергосбережения в системах теплоснабжения.

Список литературы

1. Теплоснабжение: учебник для вузов/ А.А. Ионин, Б.М. Хлыбов, В.Н. Братенков, Е.Н. Терлецкая; Под ред. А.А. Ионина. – М.: Стройиздат, 1982. – 336 с.
2. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов. – 7-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МЭИ, 2001. – 472 с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТОПИТЕЛЬНОЙ КОТЕЛЬНОЙ ЗА СЧЁТ ПРОИЗВОДСТВА СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА²

Шиповская Ю.И. — студент,
Петин С.Н. — к.т.н., доцент, научный руководитель
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
университет «МЭИ»

INCREASING THE EFFICIENCY OF HEATING BOILER FOR THE ACCOUNT OF LIQUEFIED NATURAL GAS PRODUCTION

Shipovskaya Y.I. (juliashipovskaja@gmail.com),
Petin S.N. (spetin@yandex.ru)

This article offers to organize a liquefaction of natural gas in order to solve problems of most boiler houses such as insufficient workload due to the lack of consumers of thermal energy. Currently there is a demand for liquefied natural gas including in the world market. Liquefied natural gas used as fuel for many cars as a backup fuel for the boiler house or for gasification of areas remote from the gas main.

Для решения проблем большинства котельных, таких как недостаточная загруженность, из-за недостающего количества потребителей тепловой энергии, предлагается организовать сжижение природного газа. Сжиженный природный газ используется как топливо для автомобилей, в качестве резервного топлива для котельной или для газификации районов, удалённых от газовой магистрали.

Ключевые слова: сжиженный природный газ, газовая котельная, установка СПГ.

Россия является безусловным лидером в газовой промышленности, но на мировом рынке сжиженного природного газа

²Статья подготовлена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ по гос. заданию в рамках конкурсного отбора научных проектов, выполняемых научными коллективами исследовательских центров и научных лабораторий образовательных организаций высшего образования (№ заявки 13.3233.2017/ПЧ).

наблюдается значительное отставание. Несмотря на огромный опыт в реализации трубопроводного газа – около 18 % мирового экспорта, Россия только выходит на рынок сжиженного природного газа. Согласно опубликованному в апреле 2015 г. прогнозу Международного Энергетического Агентства, доля России на мировом рынке СПГ к 2020 году выйдет на уровень и остановится на 4-5 %. На данный момент действует завод «Сахалин-2» – единственный завод сжижения природного газа в России мощностью 9,6 млн. т/год СПГ [1]. В связи с этим, проблема производства установок СПГ становится всё более актуальной в нашей стране.

Крупнотоннажные заводы производства сжиженного природного газа требуют больших капитальных затрат, решения вопроса о транспортировке и наличия газовых месторождений. Основная сложность дальнейшего развития российских СПГ-проектов в условиях технологических санкций заключается в отсутствии отечественных отработанных технологий сжижения природного газа. Мощное турбокомпрессорное оборудование и большие теплообменники, которые лежат в основе любого СПГ-производства, никогда не изготавливались в России, а разработать и внедрить их в короткие сроки не представляется возможным [1]. В связи с этим, имеет смысл говорить и потребности в малотоннажных установках сжижения природного газа.

Одним из вариантов малотоннажного производства сжиженного природного газа может быть котельная. Большинство из них не загружены на рассчитанные электро- и топливопотребление. Это связано с отсутствием того количества потребителей, на которое изначально проектировалась котельная. Следовательно, возникают нереализованные лимиты по топливоснабжению и электроснабжению.

В рассматриваемой котельной, мощностью 74 Гкал/ч, нереализованный природный газ составляет 6128 тыс. нм^3 . С учётом КПД из такого количества газа можно было бы получить 50139 Гкал тепловой энергии, цена за которую составляла бы около 76 миллионов рублей, при актуальной на 2018 год цене за 1 Гкал тепла 1747 руб. [2].

Сжиженный газ может использоваться и самой котельной в качестве резервного вида топлива, которое в данной котельной отсутствует из-за разрушения мазутопровода. Как известно, мазутное хозяйство требует значительных затрат. Причём на данной котельной эти затраты складываются не только из затрат на собственные нужды и закупку топлива, но и на восстановления мазутного хозяйства. Собственные нужды составляют 516 Гкал, стои-

мость которых равна 901 тыс. руб. Закупка топлива при средней цене мазута топочного М100 12000 за тонну составляет 8,9 млн. руб. [3]. Также присутствует экологический фактор: природный газ сгорает более чисто, не производя побочных продуктов за исключением углекислого газа и воды.

Сжижение природного газа возможно только при использовании криогенной техники, выбор которой зависит от наличия необходимых давлений, состава исходного газа и требований к сжижаемому, экономических возможностей на приобретения оборудования и назначения установки.

Список литературы

1. Производство и экспорт СПГ: мировые тенденции и российские перспективы [Электронный ресурс]. <http://morvesti.ru/tems/detail.php?ID=37876>.
2. США расширили санкции на Южно-Киринское месторождение Газпрома [Электронный ресурс]. <http://www.offshore-mag.ru/novosti/ssha-rasshirili-sanktsii-na-yuzhnokirinskoe-mestorozhdenie-gazproma>.
3. Тарифы на жилищно-коммунальные услуги для жителей старой Москвы с 1.07.2017 г. по 30.06.2018 г. [Электронный ресурс]. <https://www.mos.ru/depr/function/tarifnaya-politika/spravochnaya-tablica-tarifov-na-kommunalnye-uslugi-dlya-naseleniya-goroda-moskvy-na-2017>.
4. Тарифы на мазут [Электронный ресурс]. <http://www.avtobeton.ru/mazut.html>.

РАЗРАБОТКА СХЕМ УТИЛИЗАЦИИ НИЗКОПОТЕЦИАЛЬНОГО ПАРА СИСТЕМЫ ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Татлыбаев А.И. — студент,
Осколков С.В. — ст. преподаватель, научный руководитель
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова»

DEVELOPMENT SCHEMES FOR UTILIZATION LOW POTENTIAL STEAM OF SYSTEM EVAPORATIVE COOLING WITH A VIEW TO INCREASING THE EFFICIENCY OF ITS USING

Tatlybaev A.I. (tatlibaev-aidar@mail.ru),
Oskolkov S.V. (oskolkov.sv@mail.ru)

An actual problem at a multitude of enterprises is the utilization of secondary energy resources. Most of the technological processes, the operation of many mechanisms and systems is accompanied by the release of a large amount of thermal energy, which is not used, but is dispersed in the environment. The task is to consider options for the utilization of low-potential steam of the evaporative cooling system.

Актуальной проблемой на множестве предприятий остается утилизация вторичных энергетических ресурсов. Большинство технологических процессов, работа многих механизмов и систем сопровождается выделением большого количества тепловой энергии, которая не используется, а рассеивается в окружающей среде. Задачей является рассмотрение вариантов утилизации низкопотенциального пара системы испарительного охлаждения.

Ключевые слова: утилизация, система испарительного охлаждения, СИО.

Советскими инженерами С.М. Андоньевым и Г.Е. Крушелем был предложен новый способ охлаждения металлургических печей – испарительное охлаждение. В 1950 году это система внедрена на мартеновских печах Донецкого металлургического завода [1].

При испарительном охлаждении металлургических печей используется скрытая теплота парообразования для отвода тепла охлаждаемых деталей. Холодная охлаждаемая вода заменена кипящей, отвод тепла осуществляется за счет образования и отвода пара.

Тепло, отбираемое охлаждающей водой, затрачивается на её испарение. Так как скрытая теплота парообразования при атмосферном давлении составляет 2261 кДж/кг, то каждый килограмм воды, испаряясь отбирает его от стенок охлаждаемой детали. Кроме того 1 кг воды, поступая в систему с температурой 30 °С и нагреваясь до кипения, отбирает еще 293 кДж.

Таким образом, при испарительном охлаждении 1 кг охлаждающей воды отводит 2512 кДж вместо 42 кДж при водяном охлаждении, что позволяет сократить расход воды (при полном переводе печи на испарительное охлаждение) примерно в 60 раз, иногда и более [1].

Система испарительного охлаждения имеет следующие преимущества:

- увеличивается срок службы охлаждаемых деталей металлургических печей и исключаются горячие ремонты печей из-за прогара деталей благодаря применению химически очищенной воды;
- исключаются охладительные устройства (градирни, брызгательные бассейны и пруды), водоводы больших диаметров и мощные насосные станции;
- можно использовать тепло охлаждающей воды без осложнения условий эксплуатации печи благодаря независимости системы охлаждения от потребителей тепла (возможность удаления излишков пара или всего пара в случае необходимости в атмосферу);
- уменьшаются капиталовложения и упрощается эксплуатация.
- при естественной циркуляции допускаются кратковременные отключения электроэнергии.

При использовании системы испарительного охлаждения возникает проблема в виде выбрасываемого большого количества пара в атмосферу. Его утилизация важна как с точки зрения экономии энергетических ресурсов, так и с точки зрения экологической безопасности.

Одним из вопросов утилизации низкопотенциального пара, является где и для каких нужд будет использовано тепло утилизируемого пара. В настоящее время используется менее 85 % пара СИО. Параметры пара в СИО выбираются на основании анализа топливно-энергетических балансов и технико-экономических расчетов с учетом предельных параметров для данного типа устано-

вок. Так, предельные параметры пара для СИО доменных печей составляют 8 ат; мартеновских и двухванных сталеплавильных агрегатов – 25 ат; методических нагревательных – 47 ат.

Удельная выработка пара в СИО определяется для каждого агрегата отдельно. Так, например, в доменном производстве она составляет 0,2 кг/кг; мартеновском – 0,25 кг/кг; прокатном – 0,3 кг пара на 1 кг продукции, соответственно.

Из-за относительно низких параметров пар испарительного охлаждения не всегда находит потребителей. Потребители насыщенного пара самые разнообразные. На металлургическом предприятии имеется несколько паропроводов (каждый для пара определенных параметров), к которым подключены как парогенерирующие установки (котлы, КУ, СИО и др.), так и потребители пара соответствующих параметров либо непосредственно, либо через преобразующие устройства. Из паропровода насыщенного пара пар в зависимости от давления используется в технологических цехах для различных нужд. В доменном производстве паром увлажняют дутье (давление пара 4-5 ат), уплотняют засыпные аппараты доменных печей, обогревают рудные бункера и трубопроводы, а также применяют для технологических нужд в коксохимическом производстве.

В мартеновском производстве насыщенным паром подогревают мазут (давление 1,2-1,5 ат), масла и смолы в резервуарах и трубопроводах.

Насыщенный пар находит потребителей также в энергетическом хозяйстве предприятий: для водоподготовки производственных котельных ТЭЦ ПВС, паровакуумных холодильных установок, кондиционирования воздуха в горячих цехах, получения льда, в горячем водоснабжении бань, прачечных и др.

При дополнительном перегреве насыщенного пара в СИО более высокого давления (24-45 ат) его можно использовать в турбинах для выработки электроэнергии.

Низкопотенциальным паром снабжают деаэрационные, химические водоочистные и различные подогревательные установки, замещая при этом пар промежуточных отборов паровых турбин. В этом случае весь пар турбины поступает в конденсатор, теплотехнические показатели теплофикационного турбогенератора несколько ухудшаются, но в целом по предприятию удельный расход топлива на выработку единицы теплоты уменьшается на 25-30 %. Такое замещение на деаэраторах не требует затрат, создает экономию 19-24 кг на 1 ГДж пара условного топлива. При замещении на подогревателях низкого давления экономия условного топлива составляет 9,5-12 кг/ГДж.

Одним из вариантов утилизации низкопотенциального пара системы испарительного охлаждения является использование термокомпрессоров.

Термокомпрессоры предназначены для смешивания двух потоков пара с существенно отличающимся давлением для получения на выходе пара условно среднего давления.

Смешивание пара из двух паропроводов с разным давлением, когда нет возможности применить редукционный клапан для получения пара среднего давления из-за нехватки расхода пара и, однако есть паропровод пара низкого давления с достаточным расходом; в данном случае есть техническая возможность использовать эжектор для того, чтобы взять пар низкого давления с требуемым расходом и при помощи пара высокого давления получить на выходе пар с требуемым давлением для подачи его в технологический процесс [2].

Список литературы

1. Андоньев С.М. Испарительное охлаждение металлургических печей. – М.: Металлургия, 1970. - 424 с.
2. Вестник арматуростроителя. – М.: Armtorg, 2016. - 136 с. [armavest.ru]

УДК 697.341

К ВОПРОСУ О РАДИУСЕ ЭФФЕКТИВНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Диканов Е.В. — магистрант,
Колпаков А.С. — д.т.н., научный руководитель
ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина»

TO THE QUESTION OF THE RADIUS OF EFFECTIVE HEAT SUPPLY OF CONSUMERS

Dikanov E.V. (dikanov.evgeni.1994@gmail.com),
Kolpakov A.S. (a.s.kolpakov@urfu.ru)

The aim of the work is to highlight the existing problem of the lack of an approved methodology for calculating the effective heat de-

livery radius of consumers. The paper proposes consolidation of the purposes of determining the radius of effective heat supply to consumers, necessary factors have been formed, which must be taken into account in calculating the effective heat supply radius.

Целью работы является освещение существующей проблемы отсутствия утвержденной методики расчета радиуса эффективного теплоснабжения потребителей. В работе предложена консолидация целей определения радиуса эффективного теплоснабжения потребителей, сформированы необходимые факторы, которые должны учитываться при расчете радиуса эффективного теплоснабжения.

Ключевые слова: система теплоснабжения, эффективное теплоснабжение, радиус, федеральный закон, схема теплоснабжения.

Теплоснабжение потребителей является одним из основополагающих критериев комфортной жизни населения. Обеспечение, организация и контроль теплоснабжения потребителей, а также качества оказываемых услуг осуществляется в соответствии с Федеральным законом от 27 июля 2010 №190-ФЗ «О теплоснабжении» (далее – ФЗ №190) [1].

Одним из пунктов работ по организации развития систем теплоснабжения поселений, городских округов, согласно статье 32 ФЗ №190, является разработка схем теплоснабжения. Схемы теплоснабжения, в свою очередь, содержат информацию о радиусе эффективного теплоснабжения, позволяющем определить целесообразность подключения теплопотребляющих установок к системе теплоснабжения.

Статья 2 ФЗ №190 трактует радиус эффективного теплоснабжения как «максимальное расстояние от теплопотребляющей установки до ближайшего источника тепловой энергии в системе теплоснабжения, при превышении которого подключение (технологическое присоединение) теплопотребляющей установки к данной системе теплоснабжения нецелесообразно по причине увеличения совокупных расходов в системе теплоснабжения».

При этом в действующем законодательстве Российской Федерации отсутствуют утвержденные методические рекомендации расчета радиуса эффективного теплоснабжения. Как следствие, определение понятия радиуса эффективного теплоснабжения трактуется авторами предлагаемых методических рекомендаций по-разному [2]. Радиус эффективного теплоснабжения рассчиты-

ваются только для новых потребителей с перспективной нагрузкой, либо для существующей системы теплоснабжения с целью выявления потребителей, подключение которых к системе нецелесообразно. Часто рассматривается только экономическая сторона вопроса, не учитывающая гидравлический режим работы системы теплоснабжения.

Так, в схеме теплоснабжения г. Перми [3] радиус эффективного теплоснабжения источников тепловой энергии определяется по методике, изложенной советником генерального директора ОАО «Объединение ВНИПИэнергопром» к.т.н. Папушкиным В.Н. При этом в Схеме теплоснабжения уточняется, что алгоритм расчета эффективного радиуса теплоснабжения не учитывает удаленность источников тепловой энергии от основных зон теплопотребления.

В схеме теплоснабжения г. Екатеринбурга [4] отсутствуют сведения о том, какая методика использовалась для расчета радиуса эффективного теплоснабжения, но дается указание, что существующая методика не позволяет корректно выполнить расчеты без применения ряда допущений.

В схеме теплоснабжения г. Москвы [5] отмечается отсутствие единой утверждённой методики по расчету радиуса эффективного теплоснабжения.

В п. 5.2 раздела 5 схемы теплоснабжения приводится анализ проведенных ранее расчетов радиуса эффективного теплоснабжения по критерию минимальных удельных совокупных расходов и по критерию минимальных удельных совокупных расходов на транспорт тепловой энергии. Результатом анализа стал вывод о неправомерности использования этих методов для оценки уже действующих систем централизованного теплоснабжения.

В виду отсутствия единых утвержденных методических рекомендаций расчета радиуса эффективного теплоснабжения и различного подхода авторов к расчетам в предлагаемых методиках, возникает необходимость в разработке единого рабочего документа (методики), в котором должны будут учитываться максимально все возможные цели расчета радиуса в сочетании с универсальностью. Под универсальностью единой методики понимается возможность с ее помощью рассчитывать радиус эффективного теплоснабжения для существующих потребителей системы, а также для подключения новых. В единой методике должны учитываться следующие факторы:

- гидравлический режим работы системы теплоснабжения;
- экономическая целесообразность транспортировки тепловой энергии (для существующих потребителей);

- экономическая целесообразность затрат на подключение новых потребителей к системе теплоснабжения;
- экологическая и социальная безопасность теплоснабжения потребителей при реализации расчетных схем.

Список литературы

1. Федеральный закон от 27 июля 2010 №190-ФЗ «О теплоснабжении» // <http://www.consultant.ru>
2. Радиус теплоснабжения. Хорошо забытое старое. Журнал «Новости теплоснабжения» №9, 2010 г. – М. С. 44-49.
3. Обосновывающие материалы к Схеме теплоснабжения г. Перми на период до 2027 г.
4. Схема теплоснабжения Муниципального образования «город Екатеринбург» до 2033 года (актуализированная на 2018 год версия).
5. Утверждаемая часть Схемы теплоснабжения города Москвы на период до 2030 года.

УДК 620.96

МАЛАЯ ЭНЕРГЕТИКА: АУТОНОМНОСТЬ, БЫСТРАЯ ВОЗВОДИМОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

Твердохлебов С.А. — студент,
Бакрунова Т.С. — к.т.н., доцент, научный руководитель
ФГБОУ ВО «Самарский государственный
технический университет»

SMALL POWER ENGINEERING: AUTONOMY, QUICK ERECTION AND ECOLOGICAL COMPATIBILITY

Tverdokhlebov S.A. (serg2011tv@mail.ru),
Bakrunova T.S.

This article examines the merits of small power engineering, as well as the prospects for its development in Russia.

В данной статье рассматриваются достоинства малой энергетики, а также перспективы ее развития в России.

Ключевые слова: малая энергетика, автономность, экологичность.

Нередко затраты на производство энергии достигают 70 % стоимости товара. Возникает вопрос: как экономить на производстве энергии? Один из вариантов – развивать альтернативную энергетику. Уже более 30 лет во многих странах мира активно развивают малую энергетику. Это наиболее правильное решение энергетических проблем в условиях возрастающей потребности в энергоресурсах.

Общепринятого термина «малая энергетика» в настоящее время нет. В электроэнергетике наиболее часто к малым электростанциям принято относить электростанции мощностью до 30 МВт с агрегатами единичной мощностью до 10 МВт. Обычно такие электростанции разделяют на три подкласса:

- микроэлектростанции мощностью до 100 кВт;
- миниэлектростанции мощностью от 100 кВт до 1 МВт;
- малые электростанции мощностью более 1 МВт.

В малой (альтернативной) энергетике используют возобновляемые источники энергии, которые не зависят от централизованных сетей тепла и электричества. Это могут быть солнце, ветер, отходы производства и др. Энергию от них получают с помощью специального оборудования – солнечных батарей, ветряных мельниц, маленьких гидроэлектростанций, газогенераторов, турбогенераторов и т.д.

Значение малой энергетике заключается в повышении устойчивости, эффективности функционирования энергетике, сдерживании роста цен на электроэнергию, и, в конечном счете, лучшем удовлетворении потребностей потребителей энергии.

Важной функцией малой энергетике является создание резервных источников питания (электроснабжения), что позволяет обезопасить потребителя от перебоев в основной сети. Это особенно важно для электроснабжения медицинских, военных, торговых и производственных комплексов. Как отмечают специалисты, малая энергетика наиболее востребована сегодня в промышленности. Не секрет, что значительная часть себестоимости продукции и услуг приходится на энергетические расходы. Значит, вложенные средства в строительство объектов малой энергетике не только быстро окупаются, но и делают предприятие независимым от роста цен на электроэнергию и углеводородное сырье.

Среди преимуществ малой энергетике наиболее важными являются автономность и быстрая возводимость. Новые технологии и материалы позволяют сегодня делать энергетические установки доступными для производств и населенных пунктов. Массовое производство генераторов дает возможность создавать на их

основе новые, интересные решения, используя при этом тот источник энергии, который всегда был рядом, но ещё вчера не приносил никакой «энергетической пользы». Характерной чертой установок в малой энергетике являются компактные размеры генераторных блоков и, как правило, мобильность конструкций. Её можно организовать, например, в отдаленных районах, и население будет платить за электричество по обычным тарифам и даже меньше. Еще один важный плюс – экологичность. Отходы производства не утилизируют (сжигание попутного нефтяного газа), а направляют на производство и народное хозяйство.

В Самарской области есть примеры использования малой энергетики. Это ветряки в Жигулевске, успешный проект «РуссГидро» в селе Федоровка. На полигоне «Преображенка» специальное оборудование собирает биогаз от мусора, чтобы он не уходил в атмосферу, и перерабатывает его в энергию. Завод «Перспектива» производит газовые генераторные установки, которые для получения энергии используют твердое топливо: опилки, крышки и т.д. Установки могут перерабатывать лузгу от семечек, которой остается много, например, на маслоэкстракционном заводе или куриный помет на птицефабриках.

Сейчас в России из всех возобновляемых источников энергии активно используют только гидроресурсы мощностью до 25 МВт. В целом, малая энергетика составляет малую долю общероссийской выработки. Однако российский рынок обладает большим потенциалом в области ее развития. Но для того, чтобы малая распределенная энергетика наиболее успешно развивалась, выдерживая конкуренцию с предприятиями большой энергетики, потребуются новые законодательные решения, совершенствование механизмов финансирования соответствующих проектов, осуществление ряда других первоочередных мер. Это возможно только при дальнейшей целенаправленной государственной поддержке малой энергетики.

Список литературы

1. Безруких П.П. Малая и возобновляемая энергетика России сегодня. Интерсоларцентр, 1997, № 1.
2. Шимова О.С. Основы экологии и энергосбережения: учеб. пособие / О.С. Шимова, Н.К. Соколовский, О.В. Свицерская / под ред. О.С. Шимовой. – Минск: БГЭУ, 2011. – 227 с.
3. Павлов А. Независимая малая энергетика. Бизнес-журнал, 2013, №12.

СОЛНЕЧНЫЕ КОНЦЕНТРАТОРЫ И ИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Балде М.С. — студент,
Лукьяненко В.И. — к.т.н., доцент, научный руководитель
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет»

SOLAR CONCENTRATORS AND THEIR EFFICIENCY

Balde M.S. (saidobalde25@gmail.com),
Lukyanenko V.I. (lukyanenko1@yandex.ru)

Conversion of solar energy into thermal energy solar concentrators.

Преобразование солнечной энергии в тепловую энергию солнечными концентраторами.

Ключевые слова: солнечная энергия, тепловая энергия концентраторы.

В настоящее время, когда стало очевидно, что запасы топлива на планете не бесконечны, а использование топливных электростанций является источником повышенной опасности для окружающей природной среды, все большее внимание стали уделять развитию альтернативных источников энергии.

По принципу работы солнечные концентраторы сильно отличаются от фотоэлектрических преобразователей. Мало того, солнечные электростанции теплового типа намного эффективней фотоэлектрических в силу ряда особенностей.

Задача солнечного концентратора – сфокусировать солнечные лучи на емкости с теплоносителем, которым могут выступать, например, масло или вода, хорошо поглощающие солнечную энергию. Методы концентрации бывают разными: параболоцилиндрические концентраторы, параболические зеркала, или гелиоцентрические установки башенного типа.

В одних концентраторах излучение солнца фокусируется вдоль фокальной линии, в других – в фокусной точке, где и расположен приемник. Когда солнечное излучение отражается с большей поверхности на меньшую поверхность (на поверхность при-

емника), достигается высокая температура. Теплоноситель поглощает тепло, двигаясь через приемник

Эффективность концентраторов сильно снижается в период облачности, поскольку фокусируется лишь прямое солнечное излучение. Именно по этой причине такие системы достигают самого высокого КПД в регионах, где уровень инсоляции особенно высок: в пустынях, в районе экватора. Для повышения эффективности использования солнечного излучения, концентраторы оснащаются специальными трекерами, следящими системами, обеспечивающими максимально точную ориентацию концентраторов в направлении солнца.

Поскольку стоимость солнечных концентраторов высока, а следящие системы требуют периодического обслуживания, их применение в основном ограничено промышленными системами генерации электроэнергии.

Такие установки могут использоваться в гибридных системах в совокупности, например, с углеводородным топливом. Тогда аккумулирующая система, входящая в установку, обеспечит снижение себестоимости получаемого электричества. Это станет возможным, так как генерация будет происходить круглосуточно.

Параболоцилиндрические солнечные концентраторы бывают в длину до 50 метров, они имеют вид вытянутой зеркальной параболы. Такой концентратор состоит из массива вогнутых зеркал, каждое из которых собирает параллельные солнечные лучи, и фокусирует их в конкретной точке. Вдоль такой параболы, располагается труба с теплоносителем так, что на нее и фокусируются все отраженные зеркалами лучи. Чтобы снизить потери тепла, трубу окружают стеклянной трубкой, которая протянута вдоль линии фокуса цилиндра.

Такие концентраторы располагаются рядами в направлении север-юг, и они, безусловно, оснащаются системами слежения за солнцем. Сфокусированное в линию излучение, нагревает теплоноситель почти до 400 градусов, он проходит через теплообменники, вырабатывая пар, который и вращает турбину генератора.



Стоит отметить, что на месте трубы может быть расположен и фотоэлемент. Несмотря на то, что с фотоэлементами, размеры концентраторов могут быть меньшими, это чревато уменьшением КПД и проблемой перегрева, для ре-

шения которой требуется разработка качественной системы охлаждения.

В пустыне штата Калифорния в 80-е годы было сооружено 9 электростанций на параболических концентраторах, суммарной мощностью 354 МВт. Эта же компания (Luz International) возвела еще и гибридную станцию SEGS I в Дегетте, мощностью 13,8 МВт, которая включала в себя дополнительно печи на природном газе. В общем, по состоянию на 1990 год, компанией было построено гибридных электростанций на суммарную мощность 80 МВт.

Развитие солнечной генерации на параболических электростанциях ведется в Марокко, Мексике, Алжире и других развивающихся странах при финансировании Всемирного банка.

Специалисты в итоге заключают, что сегодня параболические электростанции уступают как по рентабельности, так и по эффективности солнечным электростанциям башенного и тарельчатого типа.

Солнечные установки тарельчатого типа – это, похожие на спутниковые тарелки, параболические зеркала, которыми солнечные лучи фокусируются на приемник, расположенный в фокусе каждой такой тарелки. При этом температура теплоносителя при данной технологии нагрева достигает 1000 градусов. Жидкий теплоноситель сразу подается к генератору или двигателю, который совмещен с приемником. Здесь используются, например, двигатели Стирлинга и Брайтона, что позволяет значительно повысить производительность таких систем, поскольку оптическая эффективность высока, а начальные затраты невысоки.

Мировым рекордом по эффективности гелиоустановки параболического тарельчатого типа является 29 % КПД, достигнутый при преобразовании тепловой энергии в электрическую, на тарельчатой установке, совмещенной с двигателем Стирлинга на Ранчо Мираж.

Благодаря модульному проектированию, солнечные системы тарельчатого типа очень перспективны, они позволяют легко добиваться требуемых уровней мощности как для гибридных потребителей, подключенных к коммунальным электросетям, так и для автономных.

Примером может служить проект «STEP», состоящий из 114 зеркал параболической формы, имеющих диаметр 7 метров, расположенный в штате Джорджия.



Безусловно, тарельчатые солнечные концентраторы, объединенные с двигателем Стирлинга, интересуют владельцев крупных энергетических компаний. Так корпорация «Science Applications International Corporation», в сотрудничестве с тройкой энергетических компаний, разрабатывает систему с использованием двигателя Стирлинга и параболических зеркал, которая сможет производить 25 кВт электроэнергии.

В солнечных электростанциях башенного типа с центральным приемником, солнечное излучение фокусируется на приемник, который расположен в верхней части башни. Вокруг башни в большом количестве расставлены отражатели-гелиостаты. Гелиостаты снабжены двуслойной системой слежения за солнцем, благодаря которой они всегда повернуты так, что лучи неподвижно сконцентрированы на теплоприемнике. Приемник поглощает тепловую энергию, которая потом вращает турбину генератора.

Жидкий теплоноситель циркулируя в приемнике, передает пар тепловому аккумулятору. Обычно работает водяной пар с температурой 550 градусов, воздух и другое газообразное вещество с температурой до 1000 градусов, органические жидкости, обладающие низкой температурой кипения – ниже 100 градусов, а также жидкий металл – до 800 градусов.

В зависимости от назначения станции, пар может вращать турбину для выработки электроэнергии, или непосредственно использоваться в производстве. Температура в приемнике варьируется в диапазоне от 538 до 1482 градусов.

Башенная электростанция «Solar One» в Южной Калифорнии, одна из первых станций такого типа, изначально производила электроэнергию посредством водно-паровой системы, выдавая 10 МВт. Затем она претерпела модернизацию, и усовершенствованный приемник, работающий теперь на расплавленных солях, и теплоаккумулирующая система стали значительно эффективней.

Это позволило башенным электростанциям с теплоаккумулятором сделать прорыв в технологиях солнечных концентраторов. Электроэнергия в такой электростанции может производиться по мере надобности, так как теплоаккумулирующая система может хранить тепло до 13 часов.



Технология расплавленной соли дает возможность сохранять солнечное тепло при температуре 550 градусов, и электроэнергия теперь может производиться в любое время суток и при любой погоде. Башенная

станция «Solar Two» мощностью 10 МВт, стала прототипом промышленных электростанций такого типа. В перспективе – строительство промышленных станций мощностями от 30 до 200 МВт для крупных промышленных предприятий.

Перспективы открываются колоссальные, однако развитие тормозится из-за потребности в больших площадях, и немалой стоимости возведения башенных станций промышленных масштабов. Например, для того, чтобы разместить 100 МВт башенную станцию, нужно 200 га, в то время как для атомной электростанции, способной производить 1000 МВт электроэнергии, нужно всего 50 га. Параболоцилиндрические станции (модульного типа) на небольшие мощности, в свою очередь, рентабельней башенных.

Таким образом, башенные и параболоцилиндрические концентраторы подходят для электростанций мощностью от 30 МВт до 200 МВт, которые соединены с сетью. Модульные тарельчатые концентраторы подойдут для автономного электроснабжения сетей, которым требуется всего несколько мегаватт. Как башенные, так и тарельчатые системы дороги в производстве, однако дают весьма высокий КПД.

Из выше изложенного можно сделать вывод, что параболоцилиндрические концентраторы занимают оптимальное положение в качестве наиболее перспективной из технологий солнечных концентраторов на ближайшие годы.

Список литературы

1. Батенин В.М., Баранов Н.Н. Создание новых видов автономных энергоустановок на основе методов прямого преобразования энергии // Изв. РАН. Энергетика. 1997. №2. С. 3-28.
2. Волков Э.П., Поливода А.И., Поливода Ф.А. Перспективы применения солнечных фотоэлектрических станций с теплоутилизующим паросиловым циклом // Изв. РАН. Энергетика. 1997. №3. С. 61-91.

ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНОЙ СОЛНЕЧНОЙ ЧЕРЕПИЦЫ

Миляева А.В. — студент,
Мартыненко Г.Н. — к.т.н., доцент, научный руководитель
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет»

APPLICATION OF HYBRID SOLAR TILES

Milyaeva A.V. (n.milya@bk.ru),
Martynenko G.N. (glen2009@mail.ru)

The aim of the work is to determine the field of application of hybrid solar tiles as an alternative energy source, the conditions defining the most effective work of solar tiles.

Задачей работы является определение области применения гибридной солнечной черепицы в качестве альтернативного источника энергии, сформулированы условия, определяющие наиболее эффективную работу солнечной черепицы.

Ключевые слова: гибридная солнечная черепица, возобновляемые источники энергии.

В настоящее время повышение энергоэффективности является серьезной задачей. Для экономного расходования ресурсов рационально использовать возобновляемые источники энергии [1, 2, 3]. В первую очередь – это солнечная энергия. Этот вид энергии лишен всех недостатков сырьевой системы: ресурс безграничен и не приносит вреда экологии. Одним из преобразователей энергии солнца является гибридная солнечная черепица.

Компанией ООО «Инноватикс» была разработана солнечная черепица, которая объединяет в себе 3 функции: 1) генерирует электрическую энергию; 2) подогревает холодную воду; 3) является современным кровельным материалом. Температурный режим работы черепицы составляет от -40 °С до +90 °С. Гарантированный срок эксплуатации составляет 45 лет, КПД — 55 %. Корпус черепицы изготавливается экструзивным методом из песка (80 %) и вторичных отходов полимерной продукции (20 %). Такой вид кро-

вельного покрытия (рис. 1) не испортит экстерьера частного дома, а также будет с пользой служить своему владельцу.



Рис. 1. Гибридная кровельная солнечная панель

Установку солнечной черепицы следует проводить с учетом расположения здания относительно сторон света и возможных преград, окружающих его. Не допускается проводить монтаж рядом с деревьями, так как на этом месте солнечная черепица должна эксплуатироваться не один год. Важна ориентация самой крыши при выборе площадки для установки гибридной солнечной черепицы. При оптимальных условиях элементы солнечной кровли должны быть ориентированы на юг. Если это невозможно на 100%, то действует принцип: чем ближе к южному направлению, тем выше производительность системы.

Эффективность такого покрытия зависит от наклона крыши. Наибольшая выработка электроэнергии кровлей будет тогда, когда солнечные лучи попадают на солнечные элементы под прямым углом. Оптимальный угол наклона для фотоэлектрических панелей для умеренных широт находится в пределах 30–40°. В теневой части крыши монтируется обычная черепица без фотоэлементов, для обеспечения единого архитектурного замысла кровельного покрытия. Неверно спроектированная или изготовленная установка может стать причиной снижения производительности или необратимого повреждения. Поэтому очень важно профессионально отнестись к выбору месторасположения солнечных элементов для их результативной работы.

Черепица в состоянии подогреть водопроводную воду до +65°C. Горячая вода через трубопровод попадает в бак-аккумулятор и используется для нужд ГВС, отопления (рис. 2). Зимой такая кровля самостоятельно растапливает снег, и фотоэлектрические элементы продолжают вырабатывать энергию даже в холодное время года.

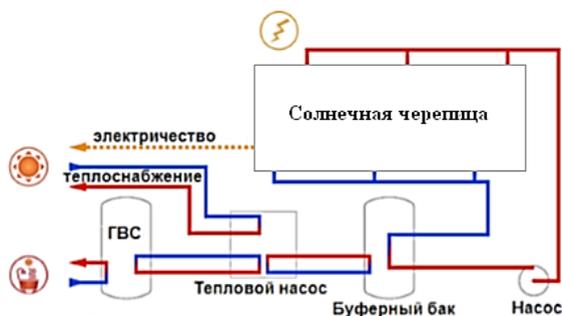


Рис. 2. Вариант использования гибридной солнечной черепицы

Преимуществами установки гибридной солнечной черепицы является отсутствие платы за электроэнергию, процесс преобразования энергии, происходит без шума, вредных выбросов и отходов, долговечность оборудования, эстетичный внешний вид кровельного покрытия, для размещения требуется небольшая площадь, корпус черепицы выполняется из вторичных отходов полимерной продукции.

Использование энергетических солнечных систем в качестве кровельного материала имеет огромную перспективу. Производство черепицы также решает проблему утилизации полимерных отходов. Масштабная реализация солнечной кровли в ближайшем будущем сделает наш быт экономичнее, проще и удобнее.

Список литературы

1. Лукьяненко В.И., Чуйков А.М. Биогаз как альтернативный безотходный источник топлива // Сборник: Комплексные проблемы техносферной безопасности / под. ред. В.А. Небольсина. 2014. С. 93-99.
2. Базыкин Д.А., Мартыненко Г.Н., Лукьяненко В.И. Современные проблемы внедрения биогазовых и пиролизных установок в Российской Федерации // Сборник: Энергетики и металлургии настоящему и будущему России. Материалы 17-й Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и специалистов / под. ред. Е.Б. Агапитова. 2016. С. 99-101.
3. Мартыненко Г.Н. Возможности использования экологически опасных отходов жизнедеятельности в биогазовых установках // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2014. Т.2. №4(17). С. 119-122.

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА РОССИИ: ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Персидская Д.С. — студент,
Бакрунова Т.С. — к.т.н., доцент, научный руководитель
ФГБОУ ВО «Самарский государственный
технический университет»

ALTERNATIVE ENERGY IN RUSSIA: PROSPECTS FOR DEVELOPMENT

Persidskia D.S. (madam.persidskaya@yandex.ru),
Bakrunova T.S.

The task of this work is to identify the prospects for the development of energy in Russia based on alternative energy sources.

Задачей данной работы является выявление перспектив развития энергетики в России на основе альтернативных источников энергии.

Ключевые слова: энергетика, энергия, эффективность, альтернативные источники, перспектива.

В наше время людям требуется все больше и больше энергии, поскольку они придумывают много новых изобретений, для которых требуется энергия. Россия занимает одно из ведущих мест в списке мировых лидеров в области добычи энергоресурсов, но в будущем эффективность российской экономики зависит еще и от использования альтернативных источников энергии. Альтернативная энергетика является одним из наиболее интересных сегодня видов генерации. Однако перспективные способы получения энергии распространены не так широко, как традиционные, имеют существенные ограничения и обладают рядом недостатков.

Популяризацией последнего десятилетия является экологичность в энергетике, как во всем мире, так и в России. Пессимистическая гипотеза 80-90-х гг. XX в. о критическом сокращении запасов углеводородного сырья и глобальном дефиците нефтепродуктов, резкое возрастание цен на энергоносители в начале XXI в.,

общий рост техногенной и антропогенной экологической нагрузки, изменение климата отразились в изменении приоритетов развития мировой энергетики в сторону увеличения важности возобновляемых источников энергии (ВИЭ), добычи альтернативных видов топлива и ускорения темпов роста энергоэффективности.

На начало 2016 года совокупная установленная мощность в России по всем видам генерации составляла 225 ГВт, из них лишь 1 % приходится на долю ВИЭ, в том числе 0,6 % – биомасса, 0,3 % – малые ГЭС, 0,1 % – ветряная, солнечная электроэнергетика и геотермальные источники.

В 2020 году, согласно прогнозу Министерства энергетики России, в стране должно вводиться ежегодно не менее 6 ГВт генерации на ВИЭ. Благодаря этому к указанному сроку доля альтернативных источников вырастет в 2,5 раза.

Примеры использования альтернативных источников в России:

- Выработка энергии с использованием древесных отходов вместо угля, г. Онега (Архангельская область). Целью данного проекта является модернизация имеющихся отопительных котлов и введение в действие теплоэлектроцентралей, использующих древесные отходы.

- Проект по выработке энергии из биоотходов, г. Братск (Иркутская область), реализованный на базе промышленной площадки филиала группы «Илим». Цель проекта заключается в повышении эффективности выработки тепловой и электрической энергии на основе использования пищевых отходов. Ожидалось, что модернизация местного производства электрической и тепловой энергии и улучшение использования пищевых отходов позволят сократить выбросы парниковых газов приблизительно на 1,4 трлн. тонн в пересчете на CO₂ за пять лет.

- Одна из первых в мире гибридных дизель-солнечных энергоустановок мощностью 100 кВт (с. Яйлю, Республика Алтай). Гибридная установка мощностью 100 кВт расположена в поселке Яйлю взамен устаревшего дизельного генератора и предназначена для автономного бесперебойного снабжения населенного пункта электроэнергией. Ее эксплуатация дает возможность сократить на 50 % ежегодное потребление дизельного топлива.

Российский рынок обладает колоссальным потенциалом в области развития альтернативных видов энергетики и в будущем может стать одним из ключевых игроков на мировом рынке альтернативной энергетики.

Список литературы

1. Безруких П.П. Малая и возобновляемая энергетика России сегодня. Интерсоларцентр, 1997, № 1.
2. Шимова О.С. Основы экологии и энергосбережения: учеб. пособие / О.С. Шимова, Н.К. Соколовский, О.В. Свидерская / под ред. О.С. Шимовой. – Минск: БГЭУ, 2011. – 227 с.
3. Павлов А. Независимая малая энергетика. Бизнес-журнал, 2013, №12.

УДК: 628.477.2+662.707.2.

ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК В РОССИИ

Михеев В.В. — студент,
Дудкин С.С. — студент,
Лукьяненко В.И. — к.т.н., доцент, научный руководитель
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет»

PERSPECTIVES OF USAGE OF BIOGAS INSTALLATIONS IN RUSSIA

Mikheev V.V. (mixvladim@mail.ru),
Dudkin S.S. (ser61958598@Gmail.com),
Lukyanenko V.I. (lukyanenko1@yandex.ru)

Use of renewable energy. Production of biogas from organic waste, using modern biogas plants.

Использование возобновляемой энергетике. Получение биогаза из органических отходов, при помощи современных биогазовых установок.

Ключевые слова: биогаз, биогазовая установка.

На сегодняшний день в связи с ориентацией современной экономики на развитие энерго- и ресурсосберегающих технологий наиболее перспективным направлением в производстве биотоплива является производство биогаза [6, 7].

Биогаз – это газ, получаемый с помощью анаэробного метанового брожения биомассы.

В настоящее время в мире ведется активное внедрение систем биогазовой энергетики, и если в древности биогаз использовали лишь в теплых климатических условиях, то современные технологии позволяют эффективно применять биогазовые энергетические системы в условиях континентальных климатических зон, преобладающих и на территории России [1].

Например, в предложенной 10 января 2015 года «Биогазовой установке с внешним автономным теплоаккумулятором большой теплоемкости», возможна выработка биогаза в «холодных» климатических условиях [2].

Увеличение эффективности работы БГУ за счет экономии энергоресурсов путем нагрева теплоаккумулятора через использование разных источников возобновляемой тепловой и электрической энергии, также увеличение объемов перерабатываемой биомассы путем присоединения к автономному внешнему теплоаккумулятору нескольких метантенков.

Так же существует «Биогазовая установка», разработанная 10 февраля 2015 года [3]. Отличительными признаками устройства являются наличие лопастных мешалок сетчатой конструкции и обмотка резервуара нагревательной лентой, которая позволяет ускорить процессы брожения в резервуаре.

Существуют и другие установки получения биогаза, например:

- «Анаэробный реактор» – патент, опубликованный 10 июня 2014 года [4]. Предлагаемое изобретение относится к биоэнергетике и может быть использовано в составе метантенков разных конструкций для увеличения их производительности.

- «Блочно-модульная биогазовая установка» – патент, опубликованный 27 декабря 2013 года [5]. Обеспечение устойчивой работы при широком диапазоне изменения температур окружающей среды, снижение затрат на транспорт сырья, снижение затрат на эксплуатацию и повышение эксплуатационной надежности, создание комфортных условий для обслуживающего персонала даёт возможность использования данной технологии в России, особенно в удалённых районах от магистральных газопроводов [7, 8].

Список литературы

1. Арбузова Е.В., Щеклеин С.Е. К проблеме энергетической эффективности биогазовых технологий в климатических условиях России. //Альтернативная энергетика и экология. 2011, № 7, с.108-110.

2. Патент № 2539100 С1 РФ. МПК С02F3/28, С02F11/04, С12M1/107, С12M1/00. Биогазовая установка. С.Е. Щеклеин и др. Заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» Заявл. 2013132095/10, от 10.07.2013. Оpubл. патента 10.01.2015.

3. Патент № 2540326 С1 РФ. МПК С02F11/04, А01С3/00 Биогазовая установка. С.С. Ямпиров и др. Заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления» (RU) Заявл. 2013159076/04, от 30.12.2013. Оpubл. патента 10.02.2015.

4. Патент № 2518307 С1 РФ. МПК С02F3/28, С12M1/00, С12M1/10, С05F3/00, С05F3/06 Биогазовая установка. А.И. Попов и др. Заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Центр новых энергетических технологий» (ООО «ЦНЭТ») (RU), Общество с ограниченной ответственностью «Гильдия М» (RU) Заявл. 2013106985/10, от 18.02. 2013 Оpubл. патента 10.06.2014.

5. Патент № 2502684 С1 РФ. МПК А01С 3/00, А01К 1/01, С02F 11/04 Блочно-модульная биогазовая установка Н.Ф. Кокарев и др. Заявитель Кокарев Николай Федорович (RU), Садчиков Алексей Викторович (RU), Соколов Виталий Юрьевич (RU), Никоноров Илья Николаевич (RU), Идигенов Анет Борисович (RU). Заявл. 2012114887/05, от 13.04.13. Оpubл. патента 10.06.2013.

6. Мартыненко Г.Н. Возможности использования экологически опасных отходов жизнедеятельности в биогазовых установках // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. –2014. Т.2. – №4(17). С. 119-122.

7. Прокопенко А.А., Козлов А.В., Мартыненко Г.Н. Физические и био-химические процессы при переработке мусора // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2016. – №2(3). – С. 34-39.

8. Базыкин Д.А., Мартыненко Г.Н., Лукьяненко В.И. Современные проблемы внедрения биогазовых и пиролизных установок в Российской Федерации // Сборник: Энергетики и металлургии настоящему и будущему России. Материалы 17-й Всероссийской научно-практической конференции студентов аспирантов и специалистов. Под общей редакцией Е.Б. Агапитова. – 2016. – С. 99-101.

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОТЫ ЖИДКОЙ СТАЛИ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ПАРОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ

Петракович М.А. — магистрант,
Матвеев С.В. — ассистент, научный руководитель
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова»

DEVELOPMENT OF ENERGY SCHEME OF USE OF HEAT OF LIQUID STEEL BY APPLICATION OF THE STEERING PLANT

Petrakovich M.A. (petrakovichmariya@gmail.com),
Matveev S.V. (serega6731@mail.ru)

This paper is concerned with generating electricity using the heat of the liquid steel.

В данной статье рассматривается вариант производства электроэнергии с использованием тепла жидкой стали.

Ключевые слова: теплота жидкой стали, парогазовая установка, энергосбережение, генерация электрической энергии.

Черная металлургия для российской экономики – это ключевая отрасль: она держит 12 % промышленного производства и генерирует почти 10 % валютных поступлений от внешнеэкономической деятельности [1]. В 2017 г. металлургические предприятия России произвели 71,3 млн. тонн стали – на 2,4 % больше, чем в 2016 г., когда было выпущено, по данным World Steel Association, 69,6 млн. тонн [2].

Металлургия является одной из наиболее энергоемких отраслей промышленности (энергоемкость стали составляет около 1000 кг.у.т./т готовой продукции) [3, 4]. Так, с каждой тонны разливаемой стали в процессе охлаждения и формообразования отводится порядка 1400 МДж тепловой энергии в окружающую среду, на температурном уровне не превышающем 100 °С [5].

Предложен способ разливки стали на жидкометаллический теплоноситель (сплав свинец-висмут) с возможным вариантом использования теплоты разливаемой стали. В зависимости от теплотехнического принципа организации теплообмена между разлива-

емой сталью и теплоносителем автором обозначена теоретическая возможность получения температурных уровней нагрева теплоносителя от 150 до 200 °С и от 1500 до 1593 °С. Использование теплоты разливаемой стали в предложенном методе не было четко обозначено [6]. Известно, что в температурной области от 200 до 1500 °С работает энергетическое оборудование для генерации электроэнергии (ПТУ, ГТУ, ПГУ). Ранее в работах исследовались возможности использования ГТУ и ПТУ для генерации электроэнергии на теплоте разливаемой стали [7, 8], при этом использование ПГУ в данном цикле не рассматривалось.

Задачей данной работы является разработка энергетической схемы использования теплоты разливаемой стали в теплотехнологии черной металлургии для генерации электроэнергии в ПГУ замкнутого цикла с прямым контактным подводом теплоты в теплообменном аппарате к рабочему телу ПГУ.

При построении и расчете схемы проводились следующие рассуждения: сталь выплавленная в ЭСПЦ, с температурой 1600 °С поступает в литейно-прокатный модуль (ЛПК), где проходит технологическую цепь разливки, охлаждения и формообразования, а далее покидает модуль в виде готовой заготовки с температурой 150 °С. Жидкометаллический теплоноситель (ЖМТ) воспринявший теплоту стали направляется в теплообменное устройство (ТО) для передачи теплоты рабочему телу ГТУ – гелию, который циркулирует в замкнутом цикле. Гелий сжимается в компрессоре (К), при сжатии нагревается до температур порядка 150 °С, дальше поступает в теплообменник (ТО), где нагревается от ЖМТ до температуры 1500 °С. Нагрев осуществляется в теплообменнике до температуры, которая необходима в ГТУ, при этом принято, что теплообмен протекает в термодинамически идеальных условиях. Далее рабочее тело ГТУ совершает работу расширения в газовой турбине. Остаточная теплота рабочего тела отводится в паровой котел утилизатор (КУ). Выработанный перегретый пар далее срабатывает в паровой турбине (ПТ). Сгенерированная электроэнергия с данного бинарного цикла отправляется в электрические сети промышленного предприятия для питания электросталеплавильного процесса (рис. 1).

Важным узлом схемы является прямым контактный теплообменный аппарат (ТО). В основе определения величины интенсивности теплообмена была принята модель обтекания круглой капли ЖМТ противоточным потоком гелия. В результате расчетов коэффициент теплоотдачи составил $\alpha = 10121 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°С}$. Геометрические размеры теплообменника, при диаметре капли в 5 мм, составили: диаметр корпуса 7,42 м и высота 7,11 м. Скорость охлаждения капли 0,93 с.

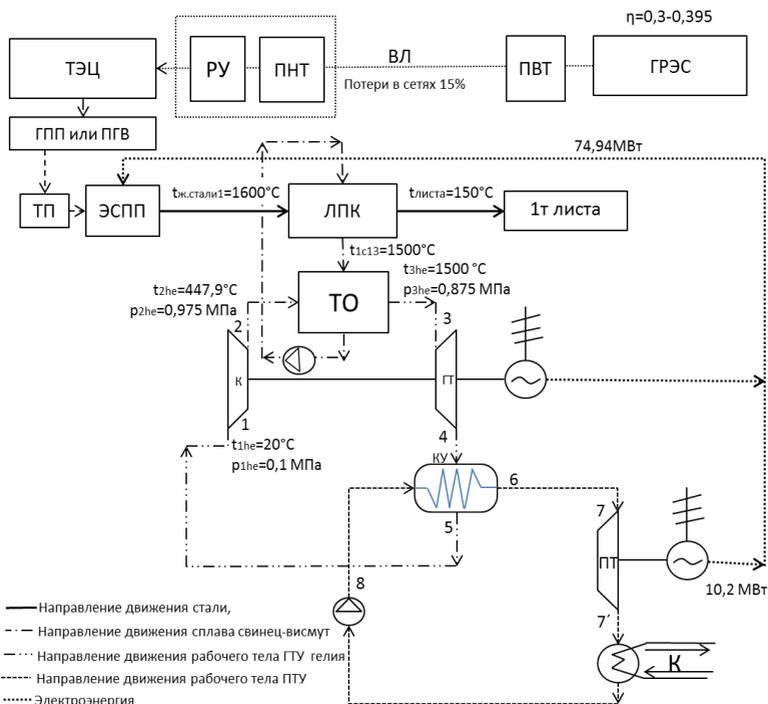


Рис. 1. Схема использования теплоты разливаемой стали с использованием ПГУ:

*К – компрессор; ГТ – газовая турбина;
 ТО – контактный теплообменный аппарат;
 ЛПК – единый литейно-прокатный комплекс;
 КУ – котел утилизатор; ПТ – паровая турбина*

По предварительным результатам такая схема при КПД ПГУ порядка 39 % может позволить сгенерировать около 169 кВт·ч электроэнергии на тонну разливаемой стали.

Список литературы

1. Девальвация рубля компенсировала финансовые потери металлургических компаний // Исследовательский центр компании «Делойт» в СНГ [Электронный ресурс]. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ru/Documents/manufacturing/russian/steel-and-iron-market-report-2016-ru.pdf> (flaTa обращения: 05.09.2017).
2. Всемирная ассоциация стали [Электронный ресурс]. <http://www.worldsteel.html>.

3. Строганов К.В., Картавец С.В. Жидкая сталь. Использование теплоты. Скоростная разливка: Монография. - Магнитогорск, МГТУ, 2006.-147 с.
4. Картавец С.В. Современные проблемы теплоэнергетики: учебное пособие. – Магнитогорск, МГТУ, 2012. – 59 с.
5. Топливо-энергетические ресурсы в черной металлургии проблемы и тенденции. Н.И. Новикова // Энергия: экономика, техника, экология. №5, 2013. С. 34
6. Строганов К.В., Картавец С.В. Жидкая сталь: использование теплоты и скоростная разливка: Монография. - Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. – 147 с.
7. Петракович М.А., Матвеев С.В. Бестопливная ГТУ на теплоте жидкой стали. X Международная молодежная конференция «Тинчуринские чтения». Казань, 2015.
8. Петракович М.А., Матвеев С.В., Картавец С.В. Бестопливная ПТУ на теплоте жидкой стали. Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: сборник статей по результатам: Всерос. науч.-практич. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. Екатеринбург: 16-19 декабря, УрФУ, 2014. С. 183-185.

УДК 621.311.22:[662.994:669.015.7]

АНАЛИЗ РАБОТЫ КОТЛОВ ПВЭС ПАО «ММК»

Васильева А.Ю. — студент,
Соколова М.С. — ассистент, научный руководитель
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова»

ANALYSIS OF BOILER OPERATION AT THE STEAM-BLOWING POWER PLANT OF PJSC «MAGNITOGORSK IRON AND STEEL WORKS»

Vasileva A.Y. (sahenka_18@mail.ru),
Sokolova M.S. (margo88k2017@mail.ru)

The article presents statistical data processing, the purpose of which is to identify the most significant ratios in a mixture of supplied combustible gases to determine the factors that affect the amount of

steam produced at the steam-blowing power plant of PJSC «Magnitogorsk Iron and Steel Works».

В статье представлена статистическая обработка данных, целью которой является выявление наиболее значимых соотношений в смеси подаваемых горючих газов для определения факторов, влияющих на величину производимого пара на ПВЭС ПАО «ММК».

Ключевые слова: доменный газ, коксовый газ, газовая смесь, вторичные энергетические ресурсы.

Целью исследования является выявление закономерностей влияния количества сжигаемой газовой смеси, состоящей из природного и вторичных (коковского и доменного) газов металлургического производства, применяемых на ПВЭС ПАО «ММК».

Обработка проводилась с использованием программы Excel. Выборкой служили данные ежедневного потребления сжигаемой смеси газов и вырабатываемого пара на ПВЭС ПАО «ММК».

Расчетные коэффициенты корреляции по формуле Пирсона показали, что производство пара Y довольно слабо коррелирует с любым из газов в газовой смеси, т.е. совершенно неважно, в какой пропорции и в каких соотношениях находятся исходные горючие газы: доменный газ (ДГ), коксовый газ (КГ) и природный газ (ПГ). Но проявляет существенную связь с показателем $ГО = ГД+ГК+ГП$ (суммарная теплотворная способность всей смеси газов, в т.у.т.).

Это позволяет сделать предположение, что эффективность работы ПВЭС в плане производства пара зависит только от суммарной теплотворной способности подаваемых к сжиганию газов, независимо от их удельного количества. То есть – это может быть смесь из трех газов, или смесь из двух газов, или один из трех газов.

Показатель ($ГО$) и был выбран в качестве аргумента X для построения линейной регрессии зависимости $Y = aX + b$.

Достаточно устойчивая корреляция зафиксирована в так называемые «холодные» месяцы. И менее акцентирована в теплые.

Линейная зависимость между вырабатываемым паром и затрачиваемым топливом (газовой смесью) практически не зависит от приводящих факторов, описываемых свободным членом линейного уравнения b . Этот член уравнения настолько мал, что для инженерных расчетов вполне справедливо им пренебречь.

Таким образом, имеется прямая зависимость $Y = (0,30...0,36) \cdot X$ или среднегодовая $Y = 0,33 \cdot X$, где большие значения соответствуют холодному времени года, меньшие – тепловому.

То есть, для того, чтобы получить значения в показателях т.у.т пара нужно сжечь в три раза больше топлива в этих условных единицах.

Соответственно, возможно использование и обратной зависимости. А именно – возможно рассчитать соотношение необходимого объема конечного продукта и исходной горючей смеси. Так наличие в газовой смеси какого-либо из трех газов (КГ, ДГ, ПГ) не является значимым, следовательно, возможно свести долю природного газа в этой смеси к минимуму (или к нулю).

Соотношение ДГ/КГ/ПГ варьируется в пределах от 40/30/30 (холодное время) до 45/30/25 (теплое время), что связано с отопительным сезоном. Учитывая при этом, что наименьшая корреляция между подачей тепла в котлы и выработкой пара имеет существенно меньшие значения именно в более теплый период (март-август), можно сделать вывод о том, что скорее всего, часть подводимого тепла после стадии получения пара просто сбрасывается в окружающую среду.

В таблице 1 представлены данные по среднемесячным абсолютными величинам (выработка пара и потребление горючей смеси на ПВЭС ПАО «ММК» в течение года).

Таблица 1

Данные по среднемесячным годовым абсолютными величинам (выработка пара и потребление горючей смеси на ПВЭС ПАО «ММК» в течение года)

Месяц	Выработка пара	Потребление горючей смеси
Январь	1236	3376
Февраль	1185	2954
Март	1089	3100
Апрель	937	2916
Май	880	3017
Июнь	860	2854
Июль	900	2992
Август	912	2947
Сентябрь	890	2788
Октябрь	997	3129
Ноябрь	1124	3174
Среднее	1001	3022

Разделим данные на холодный теплый сезоны. В случае примерно равных тепловых затрат, в теплый период недопроизводится (теряется) до 20 % учтенного пара.

Таким образом, в теплый сезон можно сжигать на 20 % меньше топлива для достаточной выработки пара котлами ПВЭС.

Это дает возможность варьировать составом подводимых газов, конечной целью которого является уменьшение доли покупного природного газа и повышения доли вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) – газов доменного и коксового. Принципиальных препятствий к этому нет. Техническим (инженерным) препятствием может стать подача физических объемов. Так, если физический объем самого экономичного природного газа (ПГ) имеют долю объема к 1 тонне условного топлива 0,87, то уже коксового газа – 1,75·ГП, а доменного газа ГД – 7·ГП.

Если при ныне применяемых соотношениях ДГ/КГ/ПГ 40/30/30 (зимнее) мы имеем превышение физического объема для 45/35/25 (летнее) в 12 %, то для предположительного экономного соотношения 47/33/20 повышение физического подаваемого объема будет уже 14 %; для 50/35/15 – 22 %; 53/37/10 – 28 %.

Самый большой прирост по физическому объему естественно дает повышение доли доменного газа как имеющего самую низкую теплотворную способность.

Для примера сравним увеличение физического объема в зимнее и в летнее время, снизив существующую долю природного газа на 10 %:

- зимнее время: вместо соотношения 40/30/30 примем 47/33/20. Тогда повышение физического объема составит 13 % (по доменному газу также 13 %);

- летнее время: вместо соотношения 45/30/25 примем 50/35/15. Тогда повышение физического объема составит 9 % (по доменному газу 11 %).

Максимальное же увеличение физического объема нагрузки на подающую инфраструктуру между летним и зимним периодами при 10 %-м снижении доли природного газа составит, как показано выше, не более 15 %.

В результате статистической обработки установлено, что удельное соотношение различных газов в газовой смеси - принципиально. Имеет значение лишь общая теплотворная способность смеси, безотносительно ее составляющих. Выведена прямая регрессионная зависимость между количеством сжигаемой газовой смеси и получением конечного продукта на выходе из котлов (пара) как для условно-летнего, так и для условно-зимнего периода эксплуатации. Она составляет 0,30-0,36 полезного выхода в единицах условного топлива, где нижнее значение для летних месяцев, а верхнее – для зимних.

Так же установлено, что в летние месяцы сжигается порядка 20 % лишнего топлива. Что может являться резервом для снижения расхода сжигаемых газов. В первую очередь – природного.

Список литературы

1. Агапитов Е.Б., Картавец С.В., Михайловский В.Н., Каблукова М.С., Миков В.Ю. Техничко-экономические подходы к оценке эффективности использования доменного газа на металлургическом предприятии. Промышленная энергетика, 2016, № 3, С. 15-22.
2. Агапитов Е.Б., Михайловский В.Н., Даутов Р.Н., Каблукова М.С., Агапитов А.Е. Повышение эффективности ПВЭС металлургического предприятия в решении многоцелевых задач. Электротехнические системы и комплексы, 2016, № 3 (32), с. 48-53.
3. Агапитов Е.Б., Михайловский В.Н., Агапитов А.Е., Каблукова М.С. Математическое программное обеспечение системы оценки эффективности модульного модуля для электростанций на металлургическом предприятии. Электротехнические системы и комплексы, 2015, № 4 (29), с. 25-30.
4. Agapitov E.B., Mikhaylovskiy V.N., Nikolaev A.A., Kablukova M.S., Agapitov A.E. The study of the influence of the volume use of the secondary energy resources for electricity generation at TBS power plant of metallurgical enterprise. IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), 2017, pp. 1467-1470.
5. Рыжков А.Ф., Левин Э.И., Филиппов П.С., Абаимов Н.А., Гордеев С.И. Повышение эффективности использования доменного газа на металлургических предприятиях России. Металлург, 2016, № 1, с. 26-34.
6. Мунц В.А. Энергосбережение в энергетике и тепловых технологиях. Екатеринбург, Уральский государственный технический университет, 2006, 136 с.
7. Махмудов С.А., Яковлев В.К., Никифоров Г.В., Мережкин В.Ф. Повышение эффективности и надежности котлов ТЭЦ – ПВЭС металлургических предприятий при максимальном использовании доменных и коксовых газов. Промышленная энергетика, 2006, № 5, с. 17-20.
8. Сушон С.П., Завалко А.Г., Мунц М.И. Вторичные энергетические ресурсы промышленности СССР. Энергия, 1978, 320 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАГРЕВА ИЗВЕСТКОВЫХ И СИДЕРИТОВЫХ РУД

Жукова М.П. — студент,
Панова Д.А. — студент,
Нешпоренко Е.Г. — к.т.н., доцент, научный руководитель
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова»

A STUDY OF THE PROCESS OF HEATING LIMESTONE AND SIDERITE ORES

Zhukova M.P. (mariya-zhukova31@yandex.ru),
Panova D.A. (panova_dashulya@list.ru),
Neshporenko E.G. (neshporenkoeg@mail.ru)

The aim of this work is to study the processes of heating and firing of lime and siderite ores in the laboratory and to determine the resulting carbon dioxide.

Задачей данной работы является изучение процессов нагрева и обжига известковых и сидеритовых руд в лабораторных условиях и определение выделившегося в результате процесса углекислого газа.

Ключевые слова: природный газ, сидерит, известняк, металлургическое производство, процесс обжига, нагрев, углекислый газ.

На сегодняшний день остро стоит проблема экономии энергетических ресурсов. Одними из самых важных ресурсов является природный газ.

Природный газ широко используется в промышленности, в сельском хозяйстве и многих других областях, что ведет к скорому истощению его запасов.

Наравне с ним железная руда является не менее важным природным ресурсом. В настоящее время увеличиваются объемы производства металлургической продукции, что так же ведет к сокращению запасов не только железной руды, но и известняка. Именно в металлургической отрасли известняк нашел одно из своих главных направлений использования. Здесь он применяется для очищения металла от фосфорных, серных или кремниевых

примесей, образующихся при введении кислорода в расплавленный чугун или сталь.

Поэтому металлургические предприятия испытывают растущую потребность в высококачественной извести и ищут возможности расширения железнорудной базы [1, 2].

Одним из таких месторождений является Бакальское месторождение сидеритов и бурых железняков в Саткинском районе Челябинской области. Бакальский сидерит характеризуется высокой стабильностью химического состава, низким содержанием вредных примесей, а также малым содержанием серы и фосфора.

Обжиг извести и сидерита осуществляется на известково-обжиговых участках металлургических предприятий в шахтных или вращающихся печах, работающих на газообразном топливе. Процесс обжига сопровождается выделением углекислого газа и повышенным расходом топлива на организацию процесса [2, 3].

В рамках лабораторного эксперимента для изучения процесса обжига материала и определения объёмов выделяющего CO_2 была создана модель печи для обжига, представленная на рисунках 1, 2.

Лабораторная модель печи обжига представляет собой полную металлическую камеру сгорания 4, которая обтянута изоляцией для предотвращения потери тепла и улучшения процесса обжига. Она непосредственно соединена с горелочными трубами и трубой для подсоса воздуха. Работа печи осуществляется следующим образом: к горелочным трубам подцепляется две горелки и подается газ. Далее газ поджигается, и пламя направляется в камеру сгорания. Отходящие газы поднимаются вверх, где на выходе из трубы установлена термопара, которая позволяет определить температуру отходящих газов. Разогрев печи осуществляется в течение 10–15 минут, затем на металлическую сетку уставляется керамический стакан, с помещенным в него куском обжигаемого материала. В центр исследуемого материала установлена вторая термопара для определения температуры нагрева. Кусок обжигаемой руды предварительно был взвешен. Засекается время и каждые 30 секунд фиксируется температура отходящих газов и температура материала на мультиметре.

Эксперимент состоял из 2 отдельных опытов – моделировались процессы обжига сидерита и известняка. Каждый кусок обожженного материала после охлаждения взвешивается. В первом случае эксперимент считается законченным при достижении материала температуры в центре $700\text{ }^\circ\text{C}$, при этом продолжительность опыта составила 30 минут. Во втором случае эксперимент завершился при достижении материала температуры $990\text{ }^\circ\text{C}$, при этом продолжительность опыта составила 45 минут. Результаты экспериментов представлены в таблице 1 и 2 соответственно. По полу-

ченным данным были построены графики нагрева сидерита и известняка (рисунок 3, 4).

Проведенные эксперименты позволили наглядно посмотреть процесс обжига сидеритовой руды и известки, а также определить убыль массы материала. Согласно источникам [1, 4] при обжиге 1 тонны сидеритовой руды и известки выделяется около $193 \text{ м}^3 \text{ CO}_2$. Было определено количество двуоксида углерода, выделившегося в результате обжига сидерита и известки. Результаты представлены в таблице 3.

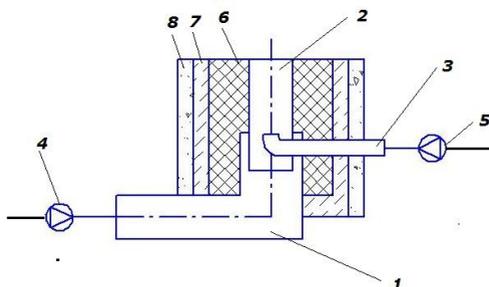


Рис. 1. Схема лабораторной установки:

- 1 – труба для подсоса воздуха; 2 – камера сгорания;
- 3 – горелочные трубы; 4 – вентилятор; 5 – горелка;
- 6 – шамотная засыпка; 7 – каолиновая вата;
- 8 – базальтовая вата

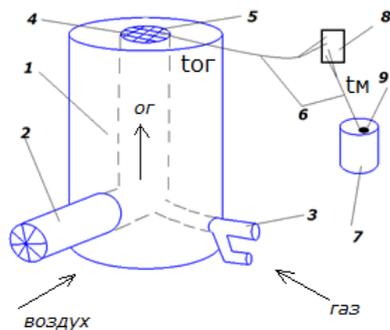


Рис. 2. Модель печи обжига:

- 1 – металлический корпус печи; 2 – труба для подсоса воздуха;
- 3 – горелочные трубы; 4 – камера сгорания;
- 5 – металлическая сетка; 6 – термопары типа К;
- 7 – керамический стакан; 8 – мультиметр;
- 9 – обжигаемый материал

Таблица 1

Экспериментальные данные

Время, мин	Температура отходящих дымовых газов, °С	Температура нагрева сидерита, °С	Масса сидерита до обжига, гр.	Масса сидерита после обжига, гр.
0	905	28	39	32
2	913	317		
4	915	523		
6	911	611		
8	915	643		
10	909	654		
12	922	661		
- // - // -	- // - // -	- // - // -		
24	915	694		
26	920	698		
28	918	702		
30	915	704		

Таблица 2

Экспериментальные данные

Время, мин	Температура отходящих дымовых газов, °С	Температура нагрева известняка, °С	Масса известняка до обжига, гр.	Масса известняка после обжига, гр.
0	850	28	31	28
2	909	259		
4	819	515		
6	1069	660		
8	1084	775		
10	1148	848		
12	1170	903		
14	1180	922		
16	1204	940		
18	1215	952		
20	1173	948		
- // - // -	- // - // -	- // - // -		
40	1365	992		
42	1366	991		
45	1320	990		

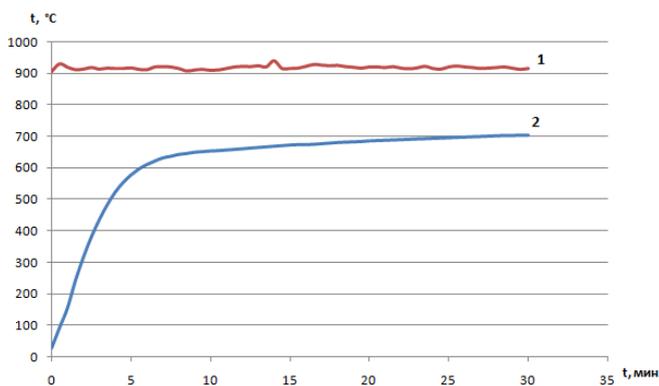


Рис. 3. График нагрева сидерита:
 1 – линия роста температуры отходящих дымовых газов;
 2 – линия нагрева сидерита

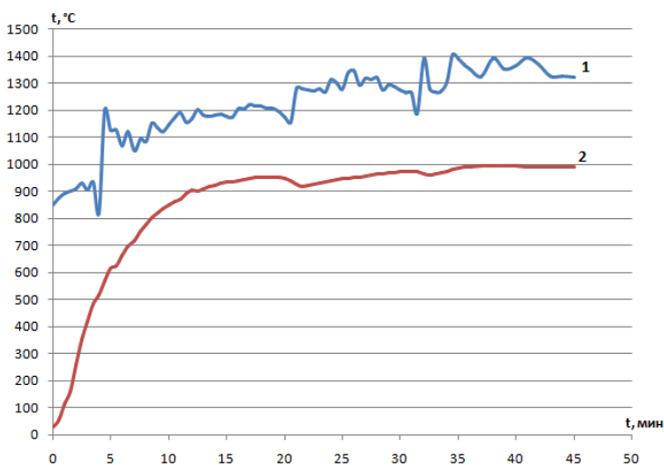


Рис. 4. График нагрева известняка:
 1 – линия роста температуры отходящих дымовых газов;
 2 – линия нагрева известии

Таблица 3

Количество двуокси углерода, выделившегося в результате обжига сидерита и извести

Обжигаемый материал	Убыль массы после обжига, гр.	Убыль массы после обжига, %	Количество выделившегося CO ₂ , л
Сидерит	7	18	0,01351
Известняк	3	9	0,00579

Таким образом, проведено опытное исследование процесса нагрева и разложения сидеритовой руды и известняка.

Список литературы

1. Бигеев В.А., Колесников Ю.А., Сергеев Д.С. Состояние и перспективы использования сидеритовых руд Бакальского месторождения в черной металлургии. Теория и технология металлургического производства. 2013. №1 (13). С. 6-8.
2. Нешпоренко Е.Г., Картавец С.В., Гордеева И.С. Повышение энергетической эффективности тепловой технологии процесса сухого тушения кокса // Энергетик. 2018. № 2. С. 44-48.
3. Мурзадеров А.В., Картавец С.В., Нешпоренко Е.Г. Совершенствование энергетики теплотехнологии переработки сидеритовых руд // Промышленная энергетика. 2017. № 10. С. 42-50.
4. Табунщиков Н.П. Производство извести. М.: Химия, 1974. 240 с.

УДК 666.1.031:662.993

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОТЫ РАЗЛИВАЕМОГО FLOAT-СТЕКЛА ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Шерстнева А.И. — студент,
Матвеев С.В. — ассистент, научный руководитель
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова»

THE STUDY OF THE POSSIBILITY OF USING THE HEAT OF THE FLOAT-GLASS TO GENERATE ELECTRIC ENERGY

Sherstneva A.I.,
Matveev S.V. (serega6731@mail.ru)

The option of using the heat of float glass during casting is presented for generation of electric energy.

Представлен вариант использования теплоты float-стекла при разливке для генерации электроэнергии.

Ключевые слова: float-стекло, генерация электроэнергии, тепловая энергия, жидкометаллический теплоноситель.

В настоящее время стекольная промышленность является одной из важнейших подотраслей производства строительных материалов. С 2003 по 2014 год объем производства стекла в России вырос от 82,3 млн м² до 254 млн. м². Одним из таких материалов является листовое стекло, порядка 26 % от общего его производства [1, 2]. В настоящее время самым востребованным способом является метод получения листового стекла float, отличающийся высокой производительностью и наиболее качественной продукцией [3].

После варки в электрической печи стекло при температуре $t_{\text{стекла}}^{\wedge} = 1050$ °С поступает во float ванну, где формообразуется и охлаждается до 600 °С, при этом ванне отводится порядка 315 МДж/т тепловой энергии, которая в последующем отводится в окружающую среду с водой и воздухом на температурном уровне порядка 40-50 °С. Количество теплоты, которое выделяется при разливке стекла, МДж/т:

$$Q_{\text{разл.}}^{\text{стекла}} = m \cdot \overline{c_{\text{ст.}}} \cdot (t_{\text{стекла}}^{\wedge} - t_2) = 1000 \cdot 0,7 \cdot (1050 - 600) = 315 ,$$

где $m = 1000$ – масса стекломассы, кг;

$\overline{c_{\text{ст.}}}$ – средняя теплоемкость стекла, кДж/кг·°С;

$t_{\text{стекла}}^{\wedge}$ – температура стекла на входе в ванну расплава, °С;

t_2 – температура стекла на выходе из ванны расплава, °С.

Для производства стекла из энергосистемы потребляется электроэнергия по различным данным от 780 до 2000 кВт·ч/т [4, 5].

Задачей данной работы является исследование возможности использования теплоты float-стекла для генерации электрической энергии в стекловаренные печи.

Известны работы по использованию теплоты технологического продукта для генерации электроэнергии в металлургии с применением жидкометаллических теплоносителей (ЖМТ) и элементов атомной энергетики (насосы, парогенераторы, турбины) [6, 7]. Для подобного решения поставленной задачи в стекольном производстве необходима разработка принципа подвода теплоты от float ванны к жидкометаллическому теплоносителю и организации работы ЖМТ в температурном интервале, обусловленном современном уровне техники и технологическими особенностями float метода (поддержание температуры ванны в заданном режиме).

Возможным вариантом решения такой задачи может быть внедрение во float ванну рекуперативного теплообменного аппарата поддерживающего термостатическое состояние ванны от 600 °С в конце ванны до 1100 °С в начале.

Внедрение такого мероприятия по энергетической модернизации с учетом КПД паротурбинного цикла 40% может позволить сгенерировать при отводе теплоты float стекла порядка 35 кВт·ч/т электроэнергии, которую можно направить на собственные нужды электропечи.

Список литературы

1. Кутовая А.С. Тенденции развития стекольной промышленности. Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. 2013. № 2 (46). С. 54-57.
2. Информационно-аналитическая компания «VVS» (VladVneshService) по анализу экспорта и импорта в России.
3. Артамонова М.В., Асланова М.С., Бужинский И.М. Химическая технология стекла и ситаллов: учебник для студентов вузов. Москва: Изд-во «Стройиздат», 1983. - 432 с.
4. Будов В.М., Саркисов П.Д. Производство строительного и технического стекла. М.: Высшая школа, 1991. - 319 с.
5. Аппен А.А. Химия стекла. - Л.: Химия, 1974. - 352 с.
6. Аловадинова Х.Н. Повышение энергетической эффективности процесса непрерывной разливки стали / Х.Н. Аловадинова, Ю.К. Демин, С.В. Матвеев, С.В. Картавцев. Промышленная энергетика. 2015. № 2. С. 8-11.
7. Kartavtsev S.V., Nikolaev A.A., Neshporenko E.G., Demin Yu.K., Matveev S.V. Analysis of its own energy independence electric steelmaking process. Proceedings of the 2016 IEEE North West Russia Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference, EIconRusNW, 2016, pp. 587-589.

СОДЕРЖАНИЕ

Вступительное слово главного редактора	3
Малинский А.В., Сборщиков Г.С. Математическое моделирование экзoeffекта и регулирование процесса термостабилизации	11
Кондрашенко С.И., Прибытков И.А. Исследование взаимодействия высокотемпературной струи азота с плоской поверхностью	13
Исянгильдина Л.Х., Сборщиков Г.С. Обтекание твердой сферической частицы потоком идеальной несжимаемой жидкости ($Re \gg 1$). Постановка задачи.....	16
Горбунова А.Н., Сборщиков Г.С. К вопросу о физической модели истечения газа, подаваемого через горизонтальную фурму под уровень расплава	20
Селиверстов В.И., Агапитов А.Е., Агапитов Е.Б. Исследование влияния слабotoчного сигнала постоянного тока на эффективность охлаждения стальной ленты.....	22
Лыгин М.М., Демиденко Л.Л. Моделирование процессов теплообмена в теплообменнике «труба в трубе» с учетом выбора материала труб.....	27
Андреев А.Ю., Надеев А.А. Сушка дисперсного материала в установке с центробежным псевдооживленным слоем.....	30
Шибанов В.А., Агапитов Е.Б. Исследование вариантов утилизации доменного газа в схеме с ПГУ	33
Султанов Р.Р., Екубов Д.Р., Сборщиков Г.С. Плавление мелкокусковой руды и лома в барботажном слое	37
Чаймелов А.А., Строгонов К.В. Стенд для сушки и нагрева лома ..	43
Козыкин А.В., Картавец С.В. Повышение энергетической эффективности использования вторичных энерго-материальных ресурсов доменного производства	46
Кильмухаметов И.В., Агапитов Е.Б. Энергосбережение в теплоэнергетике путем аккумуляирования тепловой энергии	51
Калмыкова Н.С., Мурашова В.Н., Картавец С.В. Исследование основных теплоэнергетических и механических характеристик разливки жидкой стали.....	54

Шакирова А.В., Картавец С.В. Исследование направлений повышения эффективности энергетического сжигания углей.....	57
Калашников А.С., Агапитов Е.Б. Исследование варианта утилизации конвертерного газа в схеме с паровым котлом	60
Александрова Е.Ю., Бернадинер И.М. Использование отходов как альтернативного топлива в цементной печи	63
Айызан А.А., Федюхин А.В., Строгонов К.В. Разработка системы газификации древесных отходов с выработкой электроэнергии ..	66
Голдобин Д.Д., Бурмакина А.В., Петин С.Н. Повышение эффективности работы паровых турбин за счет организации производства водорода.....	69
Коротин С.Ю., Щёлоков А.И. Глубокое использование теплоты дымовых газов на основе применения газопаровых смесительных теплогенераторов	71
Ахметов Е.Д., Осколков С.В. Исследование методов уменьшения паропотребления турбоагрегатами, путем повышения разрежения в конденсаторах паровых турбин	75
Орёл Д.А., Дубина И.А., Варганова А.В. Планирование экономически выгодных ремонтных режимов работы турбогенераторов промышленных электростанций	78
Токарев В.С., Михайловский В.Н. Эффективность парового привода вспомогательного оборудования электростанций.....	81
Храмцова В.А., Дубина И.А., Варганова А.В. Решение оптимизационной задачи при распределении тепловой нагрузки между котлоагрегатами тепловых электростанций	85
Хамзин Р.Р., Матвеев С.В. Исследование возможности модернизации аэродинамики дымового тракта крупных котельных с применением газовых эжекторов	88
Попов А.В., Дорофеев В.Н., Авдеев С.Н. Анализ результатов гидравлического расчета тепловых сетей.....	91
Назаров М.Н., Строгонов К.В. Преимущества базальтопластиковых труб	94
Попов А.В., Дорофеев В.Н., Авдеев С.Н. Методика гидравлического расчета водяных тепловых сетей	97
Шиповская Ю.И., Петин С.Н. Повышение эффективности отопительной котельной за счёт производства сжиженного природного газа.....	101

Татлыбаев А.И., Осколков С.В. Разработка схем утилизации низкопотенциального пара системы испарительного охлаждения с целью повышения эффективности его использования.....	104
Диканов Е.В., Колпаков А.С. К вопросу о радиусе эффективного теплоснабжения потребителей	107
Твердохлебов С.А., Бакрунова Т.С. Малая энергетика: автономность, быстрая возводимость и экологичность.....	110
Балде М.С., Лукьяненко В.И. Солнечные концентраторы и их эффективность.....	113
Миляева А.В., Мартыненко Г.Н. Применение гибридной солнечной черепицы.....	118
Персидская Д.С., Бакрунова Т.С. Альтернативная энергетика России: перспективы развития	121
Михеев В.В., Дудкин С.С., Лукьяненко В.И. Перспективность использования биогазовых установок в России	123
Петракович М.А., Матвеев С.В. Разработка энергетической схемы использования теплоты жидкой стали для генерации электрической энергии путем применения парогазовой установки	126
Васильева А.Ю., Соколова М.С. Анализ работы котлов ПВЭС ПАО «ММК»	129
Жукова М.П., Панова Д.А., Нешпоренко Е.Г. Исследование процесса нагрева известковых и сидеритовых руд	134
Шерстнева А.И., Матвеев С.В. Исследование возможности использования теплоты разливаемого float-стекла для генерации электроэнергии.....	139

Научное издание

ЭНЕРГЕТИКИ И МЕТАЛЛУРГИ НАСТОЯЩЕМУ И БУДУЩЕМУ РОССИИ

Материалы 19-й Всероссийской
научно-практической конференции
студентов, аспирантов и специалистов
22 – 24 мая

Под общей редакцией Е.Б. Агапитова

Издается полностью в авторской редакции

Подписано в печать 23.05.2018. Рег. № 94-18. Формат 60x84¹/₁₆. Бумага тип. №1.
Плоская печать. Усл.печ.л. 9,25. Тираж 50 экз. Заказ 213.



Издательский центр ФГБОУ ВО «МГУ им. Г.И. Носова»
455000, Магнитогорск, пр. Ленина, 38
Участок оперативной полиграфии ФГБОУ ВО «МГУ им. Г.И. Носова»