

Научный журнал

ВЕСТНИК

Сибирского
государственного
индустриального
университета

№ 3 (29), 2019

Основан в 2012 году
Выходит 4 раза в год

Учредитель:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет»

Редакционная коллегия

М.В. Темлянецв
(главный редактор)
А.В. Новичихин
(отв. секретарь)

П.П. Баранов

Е.П. Волынкина
Г.В. Галевский
В.Ф. Горюшкин
В.Е. Громов
Л.Т. Дворников
Жан-Мари Дрезет
Стефан Золотарефф
Пенг Као
С.В. Коновалов
С.М. Кулаков
А.Г. Никитин
Е.Г. Оршанская
Т.В. Петрова
Е.В. Протопопов
В.И. Пантелеев
Арвинд Сингх
А.Ю. Столбоушкин
И.А. Султангузин
А.В. Феоктистов
В.Н. Фрянов
В.П. Цымбал
Си Чжан Чен

СОДЕРЖАНИЕ

Коротков С.Г., Темлянецв М.В., Стерлигов В.В. 85 лет в системе высшего образования. К юбилею кафедры теплоэнергетики и экологии СибГИУ.....	3
Павловец В.М. Использование порообразующих добавок растительного происхождения при производстве железосодержащего окискованного сырья.....	14
Темлянецв М.В., Коротков С.Г., Темлянцева Е.Н. Развитие теории и практики малоокислительных и малообезуглероживающих технологий нагрева стали.....	21
Михайличенко Т.А., Алшынбаев С.Д. Оценка возможности замены ископаемого топлива на pellets из древесных отходов (биотопливо) в условиях Кемеровской области.....	25
Павловец В.М. Обсуждение механизма порообразования зародышей, сформированных принудительным зародышеобразованием в производстве окатышей.....	29
Достов Е.С., Коротков С.Г., Анищенко И.В. Влияние фракционного состава угля на качество кокса.....	36
Медиокритский Е.Л. Решение проблемы утилизации твердых бытовых отходов в Польше и не только.....	41
Рефераты.....	46
К сведению авторов.....	50

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Свидетельство о регистрации:
ПИ № ФС77-52991 от 01.03.2013 г.

Адрес редакции:

654007, Кемеровская обл., г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42, Сибирский государственный индустриальный университет
каб. 433 М
тел. 8-3843-74-86-28
http: www.sibsiu.ru
e-mail: vestnicsibgiu@sibsiu.ru

Адрес издателя:

654007, Кемеровская обл., г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42, Сибирский государственный индустриальный университет
каб. 336 Г
тел. 8-3843-46-35-02
e-mail: rector@sibsiu.ru

Адрес типографии:

654007, Кемеровская обл., г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42, Сибирский государственный индустриальный университет
каб. 280 Г
тел. 8-3843-46-44-02

Подписные индексы:

Объединенный каталог «Пресса России» – 41270

Подписано в печать

30.09.2019 г.

Выход в свет

30.09.2019 г.

Формат бумаги 60×88 1/8.

Бумага писчая.

Печать офсетная.

Усл.печ.л. 3,06.

Уч.-изд.л. 3,3.

Тираж 300 экз.

Заказ № 226.

Цена свободная.

УДК 378.124

С.Г. Коротков, М.В. Темляцев, В.В. Стерлигов

Сибирский государственный индустриальный университет

85 ЛЕТ В СИСТЕМЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ. К ЮБИЛЕЮ КАФЕДРЫ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ И ЭКОЛОГИИ СИБГИУ

Постановлением Совета народных комиссаров и Центрального исполнительного комитета СССР от 23 июня 1930 г. принято решение о создании Сибирского института черных металлов (СИЧМ). Позже СИЧМ преобразован в Сибирский металлургический институт (СМИ), затем в Сибирскую горно-металлургическую академию (СибГТМА), а позднее в Сибирский государственный индустриальный университет (СибГИУ).

В числе первых в 1934 г. в СибГИУ была создана кафедра теплоэнергетики и экологии (ранее кафедра металлургических печей, кафедра металлургических печей и теплогазоснабжения, кафедра теплотехники печей и газоочистки, кафедра теплофизики и промышленной экологии) [1].

Первым заведующим кафедрой был доцент Михаил Семенович Спиридонов.



М.С. Спиридонов

Зав. кафедрой в 1934 – 1939 гг.

Родился М.С. Спиридонов 09.11.1893 г. в Санкт-Петербурге. Легендарный человек, он получил блестящее образование в Рижском политехническом институте, служил в царской армии с 1916 по 1918 гг., с 1918 по 1923 гг. – в Красной армии, с 1941 по 1945 гг. находился на фронтах Великой Отечественной войны. Михаил Семенович заведовал кафедрой металлургических печей в период с 1934 по 1939 гг. В эти годы кафедра была общетехнической, при ней функционировали учебно-исследовательские лаборатории по топливу и огнеупорам. Штат сотрудников составлял 7 человек: 1 доцент, 2 ассистента, 2 старших лаборанта и 1 старший препаратор [1 – 3].

Иван Савельевич Назаров сменил на посту заведующего М.С. Спиридонова.



И.С. Назаров

Зав. кафедрой в 1939 – 1962 гг.

Родился И.С. Назаров 11.06.1905 г. в Челябинске. В 1930 г. окончил Уральский политехнический институт, получив квалификацию инженера-металлурга по производству стали. С 1930 г. работал ассистентом на кафедре металлургии стали в Уральском институте стали. В 1934 г. перешел на работу в Уральское отделение Всесоюзного теплотехнического института на должность научного руководителя лаборатории промышленных печей. В 1937 г. И.С. Назаров был принят на работу в Уральский индустриальный институт на должность и.о. доцента кафедры газо-печной теплотехники. В феврале 1939 г. в Уральском индустриальном институте защитил диссертацию и ему была присуждена ученая степень кандидата технических наук. В 1939 г. по ходатайству Сибирского металлургического института (СМИ) Наркомчермет переводит И.С. Назарова в СМИ на должность заведующего кафедрой металлургических печей. В 1940 г. ему присвоено ученое звание доцента. В 1941 г. в свет выходит одна из главных его работ – книга «Основы теории промышленных печей», состоящая из двух частей: механика газов и теплопередача. Книга была составлена автором в основном по материалам лекций, читаемых им в Уральском индустриальном институте.

Во время Великой Отечественной войны И.С. Назаров вошел в группу ученых СМИ, которым было поручено решение задач по переводу КМК на оборонные заказы, по проектированию и вы-

бору печей для отжига бронелиста в термическом цехе, повышению производительности обжиговых печей для увеличения объемов производства динаса и шамота на КМК [4]. В 1943 г. И.С. Назаров назначен на должность декана металлургического факультета, а в период с 1944 по 1947 гг. работал заместителем директора по научной и учебной работе СМИ. В 1945 г. И.С. Назаров награжден медалью «За трудовую доблесть», а в 1946 г. – медалью «За доблестный труд в Великой Отечественной войне». В послевоенный период И.С. Назаров награжден орденами «Знак почета» и «Трудового Красного Знамени».

В 1951 г. в свет выходит совершенно уникальное издание того времени – учебник «Металлургические печи». Авторский коллектив в составе В.А. Баума, Д.В. Будрина, А.И. Ващенко, М.А. Глинкова, Б.Л. Грановского, Б.И. Китаева, М.А. Кузьмина, А.Я. Михайленко, И.С. Назарова, Л.А. Плотникова, И.Д. Семикина, Н.Ю. Тайца, С.Г. Тройба был сформирован из ученых ведущих научных центров металлургической теплотехники. Учебник включал в себя все последние достижения теории печей, печестроения и являлся фактически общесоюзным изданием.

Под руководством И.С. Назарова на кафедре создан мощный парк полупромышленных камерных печей скоростного нагрева, на базе которого были проведены масштабные эксперименты в активно развивающемся в то время научном направлении – скоростном нагреве стали. Уникальные эксперименты по исследованию трещинообразования, окисления и обезуглероживания стали при скоростном нагреве послужили основой кандидатских и докторских диссертационных исследований сотрудников кафедры.

Благодаря таланту ученого, педагога и администратора И.С. Назарову удалось сформировать на кафедре мощный научный потенциал, педагогические традиции, определившие ее высокий авторитет не только в СМИ, но и на всей территории Советского Союза.

В 1962 – 1974 гг. кафедрой заведовал Евгений Иванович Корочкин.



Е.И. Корочкин
Зав. кафедрой в 1962 – 1974 гг.

Евгений Иванович Корочкин родился 29.05.1923 в городе Новосибирске. В 1947 г. окончил Сибирский металлургический институт им. Серго Орджоникидзе по специальности «Металлургия черных металлов (металлургия стали)».

Вся дальнейшая жизнь Евгения Ивановича связана с кафедрой печей. В 1950 г. он был принят ассистентом на кафедру печей, в 1952 г. переведен на должность старшего преподавателя, а в 1960 г. утвержден в должности доцента кафедры металлургических печей. В 1962 г. исполнял обязанности заведующего кафедрой металлургических печей, а в 1963 г. в связи с избранием по конкурсу назначен заведующим кафедрой.

В 1968 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по теме «Исследование окисления малоуглеродистой стали при скоростном нагреве». В 1969 г. ему присуждена ученая степень кандидата технических наук, а в 1970 г. он утвержден в ученом звании доцента по кафедре «Металлургические печи».

С 1962 по 1974 гг. Евгений Иванович руководил кафедрой печей. Под его руководством были реконструированы лаборатории механики газов и теплопередачи. Началась подготовка инженеров по специализации «Улавливание и физические методы очистки газов в металлургии». Закончено строительство и оборудование лаборатории металлургических печей. Были организованы новые лаборатории гидравлики и теплоэнергетики.

С сентября 1974 г. по 1989 г. был проректором по учебной работе. Все эти годы профессиональный и педагогический опыт Евгения Ивановича был направлен на развитие образовательного процесса в институте. По его инициативе началось внедрение ЭВМ, широкое использование технических средств обучения, оборудование ими поточных аудиторий.

В 1989 г. в связи с избранием по конкурсу переведен доцентом на кафедру теплотехники печей и газоочистки, где и работал до последних дней.

За годы работы в институте Евгением Ивановичем опубликовано более 80 научных и научно-методических работ. Его основное научное направление – интенсификация работы металлургических печей, исследование технологических и теплотехнических аспектов скоростного нагрева стали. От внедрения научных разработок, выполненных под руководством Корочкина Е.И., на ЗСМК получен экономический эффект свыше 3 млн. рублей.

За время работы Е.И. Корочкин награждался Почетными грамотами, знаком МВидСО СССР. За отличные успехи в работе награжден медалью «За доблестный труд», орденом «Знак почета».

В 1975 – 2002 гг. заведующим кафедрой был Геннадий Иосифович Черныш.



Г.И. Черныш
Зав. кафедрой в 1975–2002 гг.

Геннадий Иосифович Черныш родился 14.07.1931 г. в городе Купино Новосибирской области.

В 1954 г. с отличием закончил Томский политехнический институт имени С.М. Кирова (ТПИ) на специальности «Инженер-механик по двигателям внутреннего сгорания». В 1954 г. направлен на кафедру металлургических печей Сибирского металлургического института на преподавательскую работу.

С 1954 по 1957 гг. – ассистент, 1957 – 1960 гг. – аспирант. В 1964 г. успешно защитил кандидатскую диссертацию на тему «Разработка и исследование нового топливокислородного сжигающего устройства для металлургических печей». В 1965 г. утвержден в ученом звании доцента по кафедре «Металлургические печи». С 1964 по 1970 гг. – декан вечернего механико-строительного факультета.

В 1972 – 1975 гг. командирован в качестве преподавателя в Эль-Таббинский металлургический институт (ЭТМИ) (Египет, АРЕ) для подготовки магистров наук. После возвращения из заграничной командировки Геннадий Иосифович назначен заведующим кафедрой металлургических печей и теплогазоснабжения.

В 1986 г. решением ВАК Г.И. Чернышу присвоено ученое звание профессора, а в 1996 г. – он избран действительным членом (академиком) Международной Академии Наук Экологии и Безопасности Жизнедеятельности (МАНЭБ).

Геннадий Иосифович Черныш принимал участие и руководил большим числом НИР, направленных в основном на интенсификацию теплообмена в различных тепловых агрегатах, экономию энергетических ресурсов и охрану окружающей среды. По результатам научных исследований опубликованы монография «Топливо-кислородные сжигающие устройства», 5 учебных пособий для вузов, более 170 статей и тезисов докладов, получено более 30 авторских

свидетельств на изобретения и патентов. Он награжден орденом «Знак почета», медалями «За доблестный труд в ознаменование 100-летия со дня рождения В.И. Ленина» и «Ветеран труда», знаками «Отличник социалистического соревнования ЧМ СССР», «Изобретатель СССР», «За отличные успехи в работе», «Почетный работник высшего образования РФ», «Победитель социалистического соревнования». Ему присвоено звание «Заслуженный преподаватель СибГИУ».

С 2002 г. кафедрой руководит Сергей Георгиевич Коротков.



С.Г. Коротков
Зав. кафедрой с 2002 г.

Сергей Георгиевич Коротков родился 18.11.1953 г. в г. Новокузнецке Кемеровской области.

В 1976 г. окончил Сибирский металлургический институт по специальности «Теплотехника и автоматизация металлургических печей» и оставлен на кафедре металлургических печей в качестве инженера-исследователя. С 1978 по 1984 гг. – ассистент кафедры.

В 1984 г. С. Г. Коротков поступил в очную целевую аспирантуру Московского института стали и сплавов на кафедру теплофизики и теплоэнергетики металлургического производства. В 1987 г. успешно защищена кандидатская диссертация на тему «Разработка и исследование вихревой инжекционной горелки для отопления металлургических печей низкокалорийным газообразным топливом» с присуждением ученой степени кандидата технических наук.

С февраля 1987 г. С.Г. Коротков вновь сотрудник Сибирского металлургического института, в ноябре 1987 г. он избран доцентом по кафедре теплотехники печей и газоочистки, а в 1990 г. решением ВАК присвоено ученое звание доцента. В 1996 г. избран академическим советником Кузбасского филиала РАН.

Сфера научных интересов: процессы горения, аэромеханики, теплопереноса в тепловых агрегатах, вопросы энерго- и ресурсосбережения, снижение количества вредных выбросов в

атмосферу [5]. В качестве исполнителя и научного руководителя принял участие в выполнении 28 хоздоговорных и госбюджетных НИР. По результатам исследований опубликованы 1 монография, 6 учебных пособий, более 200 статей и тезисов докладов, получено 13 авторских свидетельств на изобретения.

За время работы С.Г. Коротков награждался Почетными грамотами университета, администрации г. Новокузнецка и Кемеровской области, знаками «Изобретатель СССР» и «Почетный работник высшего образования РФ», медалями «70 лет Кузбассу» и «За служение Кузбассу».

Время. События. Люди

1930 – 1940 годы

Образование общетехнической кафедры металлургических печей с учебно-исследовательскими лабораториями по топливу и огнеупорам, общей теплотехники, гидравлики, КИП и автоматики; разработка и чтение лекций по дисциплинам «Металлургические печи», «Топливо и огнеупоры», «Общая теплотехника», «Гидравлика». Впоследствии к ним добавили курс «Контрольно-измерительные приборы (КИП) и автоматика».

В военные годы усилия сотрудников кафедры сосредоточены на потребности производства военной продукции, выплавки и термообработки броневой стали [6].

В 1938 г. ученое звание доцента присвоено заведующему кафедрой М.С. Спиридонову.

В 1940 г. ученое звание доцента присвоено заведующему кафедрой И.С. Назарову.

1950 – 1960 годы

С 1953 по 1955 гг. И.С. Назаров работал в Китае по вопросам организации высшего металлургического образования.

В 1954 г. на должность профессора кафедры металлургических печей избран П.М. Масловский.

В 1955 г. И.С. Назаровым был организован первый набор студентов по специальности «Металлургические печи», кафедра стала специальной, выпускающей. В первом выпуске было всего 14 инженеров, но впоследствии набор и, соответственно, выпуск увеличились.

В 1957 г. И.С. Назаров возглавил работу по организации редакции и типографии для выпуска нового журнала «Известия высших учебных заведений. Черная металлургия», став первым его редактором.

В 1958 г. начато внедрение на кафедре в учебный процесс элементов НИР студентов.

В 1959 г. кафедра металлургических печей выделила из своего состава часть преподавателей для подготовки специалистов по автоматизации металлургических производств, которую

возглавил, образовав новую кафедру автоматизации металлургического производства, д.т.н., профессор П.М. Масловский.

1961 г. – первый выпуск инженеров по специальности «Металлургические печи».

1961 г. – защита кандидатской диссертации Г.В. Самохваловым.

1964 г. – защита кандидатской диссертации Г.И. Чернышом.

1967 г. – защита кандидатской диссертации В.С. Стариковым.

1967 г. – защита кандидатской диссертации К.А. Черепановым.

1968 г. – защита кандидатской диссертации Е.Л. Медиокритским.

1970 – 1980 годы

1971 г. – защита кандидатской диссертации Я.П. Калугиным.

1972 г. – защита кандидатской диссертации В.В. Стерлиговым.

В 1974 г. на кафедре организована подготовка инженеров по специальности «Теплогазоснабжение и вентиляция», а в 1980 г. осуществлен первый выпуск инженеров.

1972 – 1975 г. работа Г.И. Черныша в Египте.

1974 г. – началась подготовка инженеров по специализации «Улавливание и физические методы очистки газов в металлургии».

1974 г. – переезд кафедры из старого корпуса СМИ в металлургический.

1974 г. – преобразование кафедры металлургических печей в кафедру металлургических печей и теплогазоснабжения.

1975 г. – закончено строительство и оборудование лаборатории металлургических печей, организованы новые лаборатории гидравлики и теплоэнергетики.

В 1975 – 1978 гг. В.В. Стерлигов находился в служебной командировке в АРЕ (Египет), работая профессором Эль-Таббинского металлургического института.

1980 г. – защита кандидатской диссертации Т.А. Михайличенко.

1980 г. – защита кандидатской диссертации В.И. Ливенцом.

1981 г. – защита кандидатской диссертации Ю.Е. Михайленко.

1982 г. – открыта специальность «Улавливание и утилизация пылей и газов».

1982 г. – защита кандидатской диссертации Н.И. Трофимовым.

В 1983 г. – выделение из состава кафедры специальности «Теплогазоснабжение и вентиляция».

1983 г. – переименование кафедры металлургических печей и теплогазоснабжения в кафедру теплотехники печей и газоочистки.



Сотрудники кафедры, 1984 г. (слева направо): Белоусов П.Г., Стерлигов В.В., Корочкин Е.И., Черныш Г.И., Черепанов К.А., Стариков В.С., Трофимов Н.И., Самохвалов Г.В.

1983 г. – работа Г.И. Черныша в качестве эксперта Организации Объединенных Наций по промышленному развитию в мексиканском научно-исследовательском институте черной металлургии (г. Салтилло, Мексика).

1983 г. – защита кандидатской диссертации В.М. Павловцом.

1984 г. – защита кандидатской диссертации Н.А. Драничниковым.

1986 г. – защита кандидатской диссертации А.Н. Митрофановым.

1987 г. – защита кандидатской диссертации С.Г. Коротковым.

С 1987 г. по 1990 г. Н.А. Драничников находился в заграничной командировке в Алжирской Народно-демократической Республике, где преподавал в Институте промышленной химии Университетского центра г. Беджайя.

В 1988 г. – защита кандидатской диссертации А.К. Соловьевым.

1990-2000 годы

1990 г. – защита кандидатской диссертации М.Н. Башковой.

1994 г. – защита кандидатской диссертации Н.В. Журавлевой.

1995 г. – защита докторской диссертации В.С. Стариковым.

1998 г. – переименование кафедры теплотехники печей и газоочистки в кафедру теплофизики и промышленной экологии.

2000 г. – защита докторской диссертации К.А. Черепановым.

2001 г. – защита кандидатской диссертации М.В. Темлянцевым.

В 2003 г. – произведен первый набор, а в 2008 г. первый выпуск инженеров по новой специальности «Металлургия техногенных и вторичных ресурсов».

2004 г. – защита кандидатской диссертации Е.Н. Темлянцевой.

В 2005 г. на кафедре организован впервые в России студенческий экологический отряд «ЭКОС».

2007 г. – защита кандидатской диссертации Е.П. Волынкиной.

2007 г. – защита докторской диссертации М.В. Темлянцевым.

2007 г. – защита кандидатской диссертации Н.В. Темлянцевым.

2007 г. – защита кандидатской диссертации А.Ю. Сюсюкиным.

2009 г. на кафедре функционирует аспирантура по специальностям 05.16.02 – Металлургия черных, цветных и редких металлов и 05.17.01 – Технология неорганических веществ.



Состав кафедры, конец 80-х г. (слева направо, сверху вниз): Павловец В.М., Михайленко Ю.Е., Ливенец В.И., Соловьев А.К., Стерлигов В.В., Драничников Н.А., Галицкий Ю.П., Воронцов В.Г., Зайцев В.П., Трофимов Н.И., Перфильев А.П., Михайлец С.Н., Черепанов К.А., Легаева В.В., Коровкина Г.М., Черныш Г.И., Михайличенко Т.А., Курганова Н.В., Самохвалов Г.В.

В 2009 г. организован центр консалтинговых услуг «Энергосбережение».

В 2009 г. выделена часть преподавателей кафедры теплофизики и промышленной экологии для создания кафедры экстракции и рециклинга черных металлов (в 2009 г. переименована в кафедру техногенных и вторичных ресурсов).

2010-2020 годы

2010 г. – организован центр «Экологическая безопасность» для проведения обучения по программам повышения квалификации и профессиональной переподготовки.

2010 г. – защита кандидатской диссертации О.Д. Прохоренко.

2010 г. – создан студенческий клуб «Энергосбережение».

2011 г. – начата подготовка бакалавров по направлению 20.03.01 Техносферная безопасность, направленность «Инженерная защита окружающей среды».

2011 г. – начата подготовка бакалавров по направлению 150400 Metallургия, направленность «Metallургия техногенных и вторичных ресурсов».

2012 г. – начата подготовка бакалавров по направлению 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, направленность «Промышленная теплоэнергетика».

2012 г. – начата подготовка бакалавров по направлению 22.03.02 Metallургия, направлен-

ность «Теплофизика, автоматизация и экология промышленных печей».

2012 г. – защита кандидатской диссертации И.В. Гладких.

2012 г. – защита кандидатской диссертации О.О. Титовой.

2013 г. – начата подготовка бакалавров по направлению 05.03.06 Экология и природопользование, направленность «Экология».

2013 г. – защита кандидатской диссертации Л.П. Башенко.

2013 г. – защита кандидатской диссертации М.В. Матвеевым.

2015 г. – защита кандидатской диссертации А.Е. Аникиным.

В 2015 г. на кафедре открыта Лаборатория исследования теплофизических процессов.

2015 г. – первый выпуск бакалавров по направлению 20.03.01 Техносферная безопасность, направленность «Инженерная защита окружающей среды».

2015 г. – первый выпуск бакалавров по направлению 150400 Metallургия, направленность «Metallургия техногенных и вторичных ресурсов».

В 2015 г. начата подготовка магистров по направлению 05.04.06 Экология и природопользование, направленность «Ресурсосбережение и утилизация отходов».



Кафедра теплофизики и промышленной экологии 18.01.2002 Михайленко Ю.Е., Павловец В.М., Ливенец В.И., Темлянцев М.В., Темлянцев Н.В., Динельт В.М., Михайленко А.С., Драничников Н.А., Самохвалов Г.В., Коротков С.Г. сидят: Михайличенко Т.А., Волынкина Е.П., Темлянцева Е.Н., Гладких И.В., Медведская Е.В., Мизгирева Е.Н., Коровкина Г.М., Курганова Н.В.

2016 г. – защита докторской диссертации А.В. Феоктистовым.

В 2016 г. начата подготовка магистров по направлению 20.04.01 Техносферная безопасность, направленность «Инженерная защита окружающей среды».

В 2016 г. открыта аспирантура по направлению 20.06.01 Техносферная безопасность, направленность «Охрана труда».

2016 г. – первый выпуск бакалавров по направлению 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, направленность «Промышленная теплоэнергетика».

2016 г. – первый выпуск бакалавров по направлению 22.03.02 Metallургия, направленность «Теплофизика, автоматизация и экология промышленных печей».

2017 г. – защита докторской диссертации Н.В. Журавлевой.

2017 г. – начата подготовка магистров по направлению 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, направленность «Промышленная теплоэнергетика»

2017 г. – первый выпуск бакалавров по направлению 05.03.06 Экология и природопользование, направленность «Экология».

2018 г. – защита кандидатской диссертации Е.В. Полевым.

2018 г. – первый выпуск магистров по направлению 05.04.06 Экология и природопользование, направленность «Ресурсосбережение и утилизация отходов».

2019 г. – первый выпуск магистров по направлению 20.04.01 Техносферная безопасность, направленность «Инженерная защита окружающей среды».

2019 г. – первый выпуск магистров по направлению 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, направленность «Промышленная теплоэнергетика».

В настоящее время кафедра имеет следующий состав: Коротков Сергей Георгиевич, зав. кафедрой, к.т.н., доцент; Темлянцев Михаил Викторович, д.т.н., профессор; Водолеев Анатолий Сергеевич, д.с.-х.н., профессор; Журавлева Наталья Викторовна, д.т.н., профессор; Стерлигов Владислав Викторович, к.т.н., профессор;



Действующий состав кафедры теплоэнергетики и экологии (2019 г.): слева направо сверху вниз: Домнин К.И., Водолеев А.С., Журавлева Н.В., Соловьев А.К., Кортков С.Г., Темлянцев М.В., Павловец В.М., Стерлигов В.В., Стерлигов М.В., Медведская Е.В., Прохоренко О.Д., Михайличенко Т.А., Титова О.О., Темлянцева Е.Н., Старикова Д.А., Башенко Л.П.

Михайличенко Татьяна Алексеевна, к.т.н., доцент; Павловец Виктор Михайлович, к.т.н., доцент; Соловьев Александр Кронидович, к.т.н., доцент; Темлянцева Елена Николаевна, к.т.н., доцент; Титова Ольга Олеговна, к.т.н., доцент; Савина Ирина Николаевна, доцент; Медведская Елена Васильевна, старший преподаватель; Башенко Людмила Петровна, к.т.н., старший преподаватель; Прохоренко Ольга Дмитриевна, к.т.н., старший преподаватель; Стерлигов Марк Владиславович, зав. лабораториями; Домнин Константин Игоревич, ведущий инженер; Старикова Дарья Андреевна, инженер; Григорьева Светлана Александровна, инженер.

Последние годы на кафедре плодотворно работали профессор Воынкина Е.П., профессор Павлович Л.Б., профессор Черепанов К.А., доцент Аникин А.Е., доцент Ливенец В.И., доцент Семенов С.Л., доцент Андреева О.С., заведующий лабораториями Хузеев В.В., учебный мастер Шляров В.В., учебный мастер Курганова Н.В., лаборант Водолеева Л.Н., ведущий инженер Михайленко А.С., ведущий инженер Брюхов А.Г., лаборант Мизгирева Е.М.

2010-е годы ознаменовались переходом кафедры на новые образовательные стандарты и двухуровневую систему подготовки кадров. Для

реализации учебного процесса по направлениям бакалавриата и магистратуры (Техносферная безопасность, Теплоэнергетика и теплотехника, Экология и природопользование) кафедрой разработаны основные образовательные программы, учебные планы, рабочие программы и методические комплексы учебных дисциплин. Учебный процесс реализуется по 16 учебным планам, включающим в совокупности более 200 рабочих программ учебных дисциплин. Проведена большая работа по подготовке к лицензированию новых направлений образования (бакалавриат, магистратура).

В настоящий момент по всем образовательным программам на кафедре проходят обучение более 400 человек.

Учебными планами предусматривается прохождение всех видов практики на металлургических, энергетических и специализированных предприятиях по переработке, обезвреживанию и захоронению отходов. Среди них АО «ЕВРАЗ ЗСМК»; ПАО «Челябинский металлургический комбинат»; АО «Кузнецкие ферросплавы»; Кузнецкая ТЭЦ-Сибирская генерирующая компания; Комитет охраны окружающей среды и природных ресурсов Администрации г. Новокузнецка; ЦОФ «Щедрухинская»; АО «СУЭК-

Кузбасс»; ООО «Водоканал»; Кузбасская Ассоциация переработки отходов; ОАО «Эколэнд»; ООО «Экологический региональный центр»; АО «РУСАЛ Новокузнецк»; ООО «Недра Сибири»; ПАО «Северсталь»; ФГБУ «Шорский национальный парк»; Управления Росприроднадзора, Ростехнадзора, Роспотребнадзора и др.

Обучающиеся активно занимаются научно-исследовательской работой, которая является составной частью учебных планов по всем направлениям подготовки. Ряд НИР в дальнейшем становятся выпускными квалификационными работами. Результаты по их завершении публикуются в ежегодных сборниках «Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых» и др. Обучающиеся участвуют в ежегодных Международных инженерных чемпионатах «CASE-IN» и Международных чемпионатах по технологической стратегии «Metal-Cup».

За 2015 – 2019 гг. выпуск бакалавров и магистров составил 216 человек, обучение по программе аспирантуры прошли 2 человека, получив дипломы с отличием (Осокина А.А., Коноз К.С.). Количество окончивших обучение с отличием составило 42 человека: в 2015 г. Тонкушин Я.В., Фуженкова А.А., Васькова Е.С., Васькова Н.С., Елескина Н.Ю., Царегородцева М.С., Шалаева Н.А., Шульцева О.Л.; в 2016 г.: Лойко Е.В., Андрияшина Е.А., Костина Д.Д., Сальникова Е.С., Тугынина М.С., Чекрыжова В.М., Щербакова Е.О.; в 2017 Белова Е.А., Колегова А.А., Кузьмик Н.С., Скрипкарева А.И., Чикурова И.В., Шестопалов Н.Е., Сазонова Я.Е., Обгольц Е.О., Семичева И.Р., Кононова А.С., Брызгалова А.Ю., Козлова Н.Е. (маг.); в 2018 г. Рауц Р.О. (маг.), Татарина Е.С. (маг.), Шабалина М.К. (маг.), Пушкарева Н.Ю. (маг.), Самбуракова Е.А. (маг.); в 2019 г. Александрова О.А., Воробьев В.В., Карбач Ю.С., Лобков А.Е., Стертюкова О.В., Дьяченко Е.В. (маг.), Сазонова Я.Е. (маг.), Шестопалов Н.Е. (маг.), Адыбаев Д.Е. (маг.), Мигель Р.О. (маг.).

Наиболее значимые достижения студентов: 14 дипломов за участие в Международных и Российских конференциях, конкурсах, первенствах, практических турах; 11 благодарственных писем за разработки и представление проектов, докладов на конференциях различного уровня, участия в олимпиадах; 8 почетных грамот. Обучающиеся удостоивались назначению Корпоративной стипендии АО «ЕВРАЗ ЗСМК», Стипендии Правительства РФ, Именной стипендии имени академика И.П. Бардина.

В 2015 г. прошла аккредитация бакалавриата по направлению «Техносферная безопасность»,

получена лицензия на право осуществления образовательной деятельности уровня магистратуры по данному направлению.

В октябре 2018 г. кафедрой успешно пройдена государственная аккредитация по всем уровням направлений подготовки (Техносферная безопасность, Теплоэнергетика и теплотехника, Экология и природопользование) сроком на 6 лет.

Для обеспечения качества профессиональной подготовки обучающихся за последние 5 лет сотрудниками выпущено 5 монографий, 3 учебных пособия с грифом УМО, 211 методических указаний. Среди них:

– учебные пособия:

1. Павловец В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд. Учебное пособие. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. – 345 с.

2. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы. Учебное пособие. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. – 334 с.

3. Павлович Л.Б., Титова О.О. Экологические проблемы металлургического производства. Учебное пособие. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. – 211 с.

– монографии:

1. Стерлигов В.В., Темлянец М.В. Садовые печи. Монография. – М.: Теплотехник, 2014. – 210 с.

2. Павлович Л.Б., Павлович С.И. Катализаторы и каталитические процессы глубокого окисления на основе металлургических шлаков. Монография. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. – 235 с.

3. Филиппова М.В., Перетягко В.Н., Темлянец М.В. Разработка и внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий обработки металлов давлением. Монография. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2016. – 269 с.

4. Павловец В.М. Расширение функциональных возможностей агрегатов для подготовки железорудного сырья к металлургической плавке. Монография. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. – 373 с.

5. Павлович Л.Б., Коротков С.Г., Трясунов Б.Г. Оценка экологического риска производственной деятельности коксохимического предприятия. Монография, 2019.

Для осуществления образовательной деятельности кафедра располагает 3 предметными аудиториями, 2 компьютерными классами и лабораториями «Тепломассоперенос», «Пылеулавливающие аппараты», «Рециклинг материалов», «Топливо и огнеупоры», «Механика жидкостей и газов», «Печная лаборатория», «Специализированная лаборатория исследования теплофизических процессов».

Научная деятельность является одним из приоритетов кафедры. За 85-летнюю историю коллективу приходилось решать весьма широкий спектр научных задач и проблем для многих промышленных предприятий г. Новокузнецка, Кузбасса, России и других государств.

Основные научные направления кафедры: горение, аэромеханика и тепломассоперенос в тепловых агрегатах (участие всех сотрудников); развитие теплотехнологий в производстве железорудного сырья с целью повышения его качества и производительности технологического оборудования (доц. Павловец В.М.); развитие металлургических основ теории ресурсосберегающих технологий тепловой обработки стали (проф. Темлянцев М.В.); энергосбережение в промышленности, в бюджетной и жилищной сфере (проф. Стерлигов В.В.); снижение количества вредных выбросов в атмосферу от энергетических и промышленных объектов (доц. Коротков С.Г., доц. Соловьев А.К.); разработка энергогенерирующих технологий и комплексов (проф. Стерлигов В.В., доц. Коротков С.Г.); исследование процессов и разработка технологии получения самовосстанавливающихся брикетов на основе железосодержащих и органических отходов (проф. Волюнкина Е.П., доц. Аникин А.Е.); разработка новых видов синтетических шлакообразующих материалов на основе отходов алюминиевого производства (проф. Волюнкина Е.П.); разработка новых видов альтернативного топлива на основе органических отходов (доц. Аникин А.Е.); разработка технологии утилизации накопленных отходов горнометаллургического комплекса (проф. Черепанов К.А., проф. Волюнкина Е.П.); биомониторинг и рекультивация техногенных территорий с использованием отходов (проф. Водолеев А.С.); решение проблемы устойчивого развития посредством замены природных ресурсов промышленными отходами в области металлургии, строительной индустрии и теплоэнергетике (проф. Черепанов К.А.).

За последние годы объем финансирования прикладных и фундаментальных научно-исследовательских работ, выполняемых сотрудниками кафедры, составил более 11 млн. рублей. Наиболее значимые из них: «Развитие фундаментальных основ экономически эффективной утилизации углеродсодержащих отходов на основе их использования в качестве топлива для автоматизированных теплоэнергетических установок и производства строительных материалов из зольных остатков», «Разработка новой технологии и освоение производства круглого сортового проката из стали марки 54SiCr6, 60C2XA (аналог 54SiCr6) с повышенными требованиями

к качеству поверхности, глубине обезуглероженного слоя для производства автомобильных пружин», «Исследование и анализ тепловых процессов экстракционного осаждения металла из жидких металлургических шлаков с изучением их химического состава», «Техническое перевооружение производственных цехов металлургического производства с развитием газоочистных комплексов защиты атмосферного воздуха», «Исследование тепловой работы футеровки металлургических агрегатов и изучение влияния различных факторов на охлаждающую способность газожидкостных сред», «Развитие теории тепловой работы и технологических основ ресурсосбережения в твердотопливных низкотемпературных печах», «Разработка научных и технологических основ применения бурого угольного полукокса в процессах металлизации и карбидизации техногенного металлургического сырья».

Стратегическими партнерами по этим работам выступали АО «ЕВРАЗ ЗСМК», ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», ОАО «Западно-Сибирский электрометаллургический завод», ООО «Сибстройпроект», ООО «Технологии рециклинга».

По результатам научно-исследовательских работ за последние годы коллективом кафедры организовано и проведено 7 международных научно-практических конференций, получено 52 патента, опубликовано 276 научных работ в ведущих изданиях РФ, защищены 1 докторская и 7 кандидатских диссертаций.

Некоторые наиболее значимые достижения сотрудников отмечены следующими наградами: 11 дипломов, 6 золотых, 3 серебряных и 1 бронзовая медали Выставочной компании «Кузбасская ярмарка»; 3 почетных грамоты, 14 дипломов, 22 благодарственных письма различных конференций и конкурсов.

Кафедра гордится своими выпускниками – видными учеными и организаторами производства, директорами, главными инженерами и ведущими специалистами крупных заводов, общественными деятелями, успешными бизнесменами, творческими личностями, профессорами, доцентами, докторами и кандидатами технических наук, всеми, кто верой и правдой посвящает свою жизнь служению выбранной профессии и просто достойными людьми. Среди них генеральный директор ЗАО «Калугин» д.т.н. Я.П. Калугин; заведующий лабораторией экологических проблем теплоэнергетики Института теплофизики СО РАН им. Кутателадзе, в.н.с., д.т.н. В.И. Попов; д.т.н., профессор В.С. Стариков; к.т.н., доцент В.В. Стерлигов; к.т.н., доцент Михайленко Ю.Е.; к.т.н., доцент А.К. Соловьев; к.т.н., доцент С.Г. Коротков; д.т.н., доцент Е.П.

Волынкина; к.т.н., доцент Н.И. Трофимов; к.т.н., доцент В.М. Павловец; к.т.н. Е.Н. Темлянцева; д.т.н., профессор М.В. Темлянцев; генеральный директор ОАО «Кузбассшахтострой» Ю.А. Коробкин; генеральный директор ООО «Сибирские товары» С.Г. Сидельников; директор по персоналу ОАО «РУСАЛ Новокузнецк» А.Г. Абраменко; руководитель спасательного центра по югу Кузбасса, президент городской ассоциации туристов Р.Э. Брувер; председатель комитета охраны окружающей среды и природных ресурсов Администрации г. Новокузнецка И.Н. Савина; руководитель Роспотребнадзора по Кемеровской области И.А. Климовская; главный теплотехник АО «Евраз ЗСМК» Е.А. Колотов; главный специалист по теплоэнергетике СЭМЛ ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» В.В. Семахин; начальник цеха обжига извести аглоизвесткового производства АО «ЕВРАЗ ЗСМК», член Союза писателей России С.Н. Стрельников; главный технолог прокатного производства АО «Евраз ЗСМК» В.Г. Перекопский; главный эколог ООО «Сибстройпроект» А.Г. Миролубов; главный эколог АО «Евраз ЗСМК», почетный металлург РФ, председатель экологической комиссии Совета народных депутатов г. Новокузнецка А.А. Попов; эколог разреза «Ерунаковский» ОАО «Кузбассразрезуголь» А.А. Микрюкова; генеральный директор ООО «Взлет-Кузбасс» Мельтенисов Н.М.; начальник УОТиПБ АО «ЕВРАЗ ЗСМК» Рогачев А.Н.; помощник управляющего директора АО «Евраз ЗСМК» Костерев В.Б.; генеральный директор ОАО КМК Г.В. Мохов; заместитель Главы города – руководитель администрации Центрального района Н.Ю. Маслов; генеральный директор ОАО «Амурсталь», мэр города Комсомольск-на-Амуре С.И. Сафонов и многие другие.

Славная 85-летняя история становления и развития кафедры теплоэнергетики и экологии – это добросовестный, повседневный труд ее сотрудников, тех, кто трудится сейчас и кто работал на ней в прежнее время [6].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Самохвалов Г.В., Черныш Г.И. Кафедра теплофизики и промышленной экологии // Изв. вуз. Черная металлургия. 2000. № 8. С. 5 – 6.
2. Самохвалов Г.В., Коротков С.Г. Кафедре теплофизики и промышленной экологии СибГИУ – 70 лет // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. 2004. Вып. 13. С. 9 – 12.
3. СМИ – СибГИУ – 75 лет. Хроника. Люди. События: очерки истории СибГИУ / Н.М. Кулагин, С.М. Кулаков, В.А. Воскресенский и др. – Кемерово: Кузбасс, 2005. – 304 с.
4. Берлин А.Б. Сибирский металлургический институт. Дела и люди. – Новокузнецк: изд. СМИ, 1992. – 224 с.
5. Кафедра теплофизики и промышленной экологии СибГИУ. 75 лет в образовании и науке / Под. ред. М.В. Темлянцева., С.Г. Короткова, В.В. Стерлигова. – Новокузнецк: СибГИУ, 2009. – 163 с.
6. Коротков С.Г., Темлянцев М.В. Кафедра теплоэнергетики и экологии СибГИУ: 80 лет в образовании и науке. – В кн.: Металлургия: технологии, управление, инновации, качество. Труды XVIII Всероссийской научно-практической конференции, 14-16 октября 2014 г. – Новокузнецк: СибГИУ, 2014. С. 4 – 17.

© 2019 г. *С.Г.Коротков, М.В. Темлянцев, В.В. Стерлигов*

Поступила 10 сентября 2019 г.

В.М. Павловец

Сибирский государственный индустриальный университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОРООБРАЗУЮЩИХ ДОБАВОК РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩЕГО ОКУСКОВАННОГО СЫРЬЯ

Брикетиrowание – один из способов окускования металлургического сырья. Этот способ обладает универсальностью, он применим для малотоннажного производства брикетов [1]. При окусковании промышленных отходов в брикетах сохраняются исходные свойства материалов, их оригинальный минералогический и химический состав. К достоинствам такого производства можно отнести малые площади участка брикетирования, низкую стоимость оборудования, возможность реализации безобжиговой технологии и переработки шламов широкого диапазона гранулометрического, минерального составов и влажности, возможность переработки около источника образования [1]. Для процесса брикетирования характерны экологическая чистота производства, возможность формирования структуры брикетов с заданными свойствами и применения брикетов в процессах прямого восстановления железа и в других металлургических процессах [1 – 4].

При холодном брикетировании материалы прессуются с применением связующих добавок органического или минерального происхождения. Структура брикета и пористость формируются при непосредственном контакте между зёрнами шихты или прослоек связующего материала за счет усилия прессования. Процесс брикетирования позволяет получать прочный кусковой продукт с заданными формой, размерами, плотностью, а также обеспечивает сохранение неизменными состава и свойств исходного сырья.

Холодное брикетирование отличается простотой технических и технологических решений, низкой энергоёмкостью и экологической безопасностью, возможностью размещения небольших производств в местах образования отходов. Особенностью холодного брикетирования является формирование закрытых мелких пор, размер которых не превышает 0,1 – 0,2 от среднего размера частиц шихты и достигает 20 – 100 мкм [3 – 5]. Прочность брикетов с такой структурой достаточно высокая, а реакционная способность сравнительно низкая. При такой структуре брикета затруднен диффузионный перенос технологических газов в глубину бри-

кета в ходе металлургической плавки. Для успешного протекания термохимических процессов пористость куска должна быть преимущественно открытой, необходима проницаемость для восстановительных газов, минимальная извилистость пор. На этапе сушки необходима облегченная диффузия пара из центральной части куска на его поверхность. Это требуется для предотвращения предельных структурных и термических напряжений и процесса трещинообразования. При наличии в шихте окускованных продуктов топливных и восстановительных добавок благоприятная поровая структура дает возможность протекания окислительных процессов и реакций пиролиза [3, 4].

Модельные схемы, иллюстрирующие различные варианты реакционной способности брикетов в зависимости от характера пористости, показаны на рис. 1.

В большинстве промышленных технологий для формирования пористости чаще всего применяют выгорающие добавки, используется газопенный метод [3, 6]. Таким способом может быть решена проблема повышения реакционной способности железосодержащих брикетов. Однако механическая прочность брикетов, структурно содержащих порообразующие добавки (ПД), ограничена. Это необходимо учитывать при разработке технологии брикетирования. В компромиссном варианте следует учитывать требования ГОСТ по формированию необходимой прочности (40 – 60 МПа) и применять более эффективные связки или предусматривать дополнительную упрочняющую термообработку [1 – 3].

Порообразующие добавки должны удерживаться на поверхности частиц шихты и обеспечивать необходимую холодную и горячую прочность брикетов при минимальном расходе связующего материала. Такие добавки должны обеспечивать оптимальную схватываемость и высокую пластичность прессуемой массы, содержать минимальное количество вредных, балластных и других примесей, опасных для обслуживающего персонала и снижающих качество конечного продукта. Порообразующие добавки не должны ухудшать условий плавки бри-

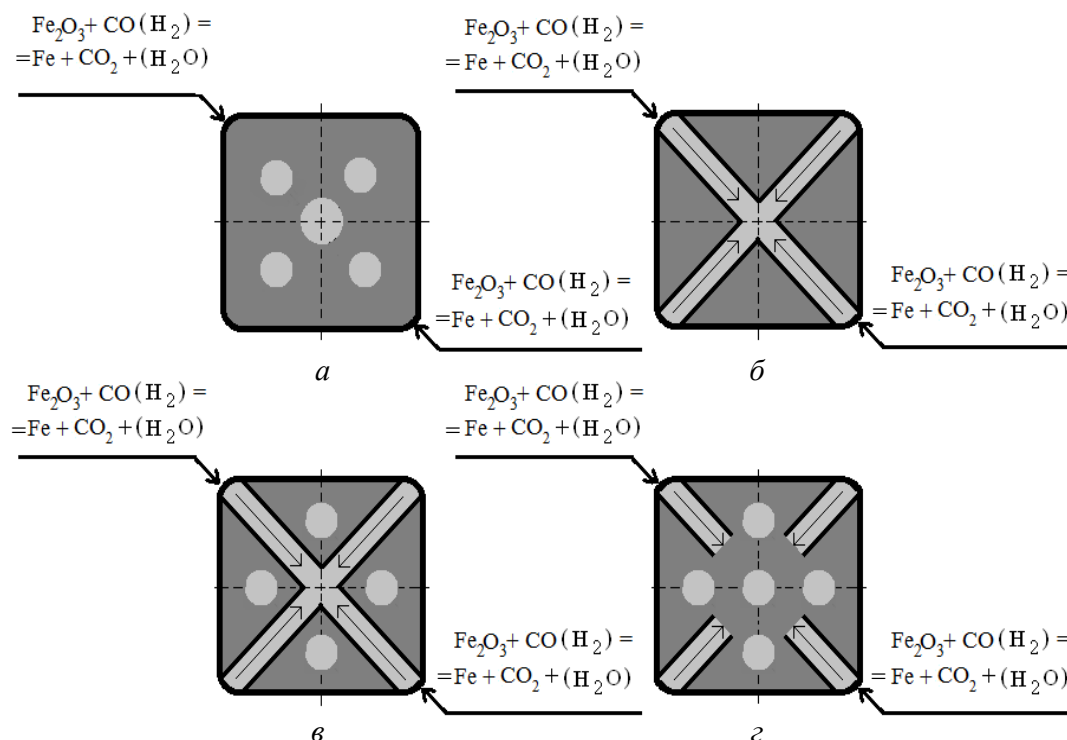


Рис. 1. Схемы различных вариантов реакционной способности брикетов в зависимости от вида пористости: *а* – закрытая труднопроницаемая для газов; *б* – открытая легкопроницаемая для газов; *в, г* – комбинированные варианты

кетов, быть распространенными и иметь невысокую стоимость и низкие транспортные затраты по их доставке на фабрику, не требовать сложных приемов и операций по их использованию. Этим требованиям во многом удовлетворяют порообразующие добавки растительного происхождения (ПД РП) – отходы сельхозпроизводства, которые широко распространены, имеют низкую стоимость и обладают многими необходимыми для порообразующих добавок свойствами [4].

Целью настоящей работы явилось исследование технологии брикетирования железосодержащих шламов металлургического производства, содержащих порообразующие добавки растительного происхождения, которые обеспечивают повышение реакционной способности окускованного продукта в ходе металлургической плавки.

На первом этапе работы была поставлена задача выбора материалов растительного происхождения, которые формируют в структуре брикетов проницаемые каналы с минимальной извилистостью. Этому критерию должны удовлетворять частицы игольчатой формы, которые после сушки и обжига формируют сквозные проницаемые поровые каналы (рис. 1, *б*) [3, 4]. В ходе экспериментов установлено, что порообразующие материалы должны обладать высокой жесткостью и минимальной крошимостью. Это необходимо, чтобы при смешивании компонен-

тов шихты формировались игольчатые частицы длиной 3 – 7 мм, с учетом того, что диаметр брикетов составляет 15 мм. После анализа макроструктуры ПД РП пришли к выводу, что такому условию удовлетворяют отходы растительного происхождения: высушенные стеблевые отходы травяных и злаковых культур, полученные после обмолота зерна.

На втором этапе работы оценена возможность различных методов измельчения продукта для получения заданной структуры ПД РП. В частности, проанализирована макроструктура частиц, полученных методом резания на многосекционном резаке, и продукты, измельченные на лабораторном дисковом измельчителе ПМ-16. Для отсева частиц на фракции применяли сита с продольными ячейками. Установлено, что измельченные способом резания стебли растительного происхождения сохраняют свой поперечный размер (диаметр частиц 1 – 3 мм), исходную трубчатую и желобчатую структуру. При этом все частицы имеют практически близкий продольный размер, который можно регулировать настройкой режущих ножей в пределах 2 – 10 мм. Недостатком этого способа измельчения является трудность получения частиц диаметром менее 1 мм.

На дисковом измельчителе в процессе механического истирания стеблевых ПД РП структура полученных частиц, напротив, сильно меняется: форма частиц – игольчатая, стержневая и

Фракционный состав и насыпная плотность измельченных ПДРП

Показатель	Размер частиц, мм					
	<0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,4	0,4 – 0,6	0,6 – 1,0	>1,0
Массовое содержание, %	12,1	24,2	36,3	18,2	6,4	3,1
Насыпная плотность, кг/м ³	760	740	710	660	650	610

частично желобчатая; фракционный состав частиц полидисперсный; диаметр частиц изменяется от 0,05 до 2,00 мм, длина частиц – в пределах 0,1 – 5,0 мм. Особенностью таких частиц является то, что продольный размер частиц увеличивается с ростом диаметра частиц. Частицы диаметром 0,05 – 0,10 мм характеризуются низкой жесткостью и крошимостью, продольные размеры составляют менее 0,1 – 0,5 мм. Частицы диаметром более 0,6 – 1,0 мм более прочные и жесткие, их продольный размер существенно выше, составляет 2 – 7 мм. Можно прогнозировать, что частицы размером менее 0,1 мм не способны формировать протяженные и пронизываемые поровые каналы в структуре брикетов. Доизмельчение этих частиц до «мучного» состояния формирует вязущие свойства [7]. Регулировать размеры частиц можно путем изменения скорости вращения диска, междискового расстояния, количества загружаемого материала и другими способами. Фракционный состав и насыпная плотность измельченных стеблевых растительных отходов приведены в таблице.

Внешний вид измельченных материалов, разделенных по фракциям, показан на рис. 2.

На следующем этапе экспериментов проведено холодное брикетирование железосодержащих шламов ККЦ-2 АО «ЕВРАЗ Западно-Сибирский металлургический комбинат». Средний размер частиц 0,068 мм. В качестве связующего использовали 50 %-ный водный раствор жидкого стекла. Такая связка обеспечивает необходимое повышение длительности схватывания массы. Брикет, полученные на лаборатор-

ном гидравлическом прессе (давление прессования 50 МПа), имели форму, близкую к форме Архимедова цилиндра (высота брикета была близка к диаметру d и составляла 15 – 16 мм). В процессе прессования визуально фиксировали схватываемость (твердение) и поведение брикетизируемой массы в процессе смешивания и прессования. Термообработку брикетов осуществляли при температурах 105 °С (режим сушки), 500 °С (режим обжига) и 800 °С (режим выгорания) ПДРП при постоянной температуре в электропечи «Термикс», время обработки – 20 мин. Для определения прочности сухих и обожженных брикетов использовали гидравлический пресс модели ИО ИК 500.01, скорость разрушающей нагрузки составляла 0,1 кН/с. Записывали диаграмму разрушения образцов $F = f(l)$ (где F – силовая разрушающая нагрузка, Н; l – деформация образца, мм). Деформация образцов перед разрушением брикетов составляла 0,8 – 2,2 мм. В качестве характеристики прочности брикетов на сжатие использовали параметр P , МПа:

$$P = F/S,$$

где $S = (\pi d^2)/4$ – площадь поверхности брикета, к которой приложена разрушающая нагрузка, м².

Установлено, что прочность брикетов уменьшается с увеличением размеров частиц $d_{\text{пд}}$ порообразующих добавок (рис. 3).

Крупные (более 0,2 мм) частицы создают в структуре брикетов сквозные пронизываемые каналы. Области образования этих каналов явля-



Рис. 2. Внешний вид частиц, полученных измельчением на дисковой мельнице, размером 0,1 – 0,4 мм (а), 0,4 – 0,6 мм (б) и 0,6 – 1,0 мм (в)

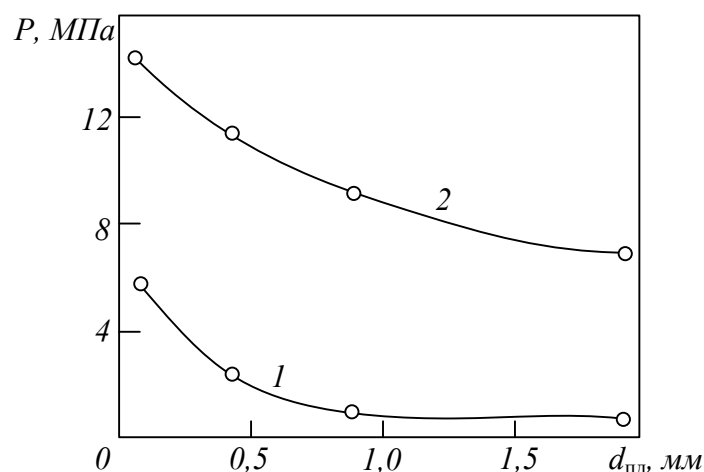


Рис. 3. Влияние размеров частиц ПД на прочность брикетов (количество связки 10 %, количество ПД РП 5 %) после брикетирования (1) и после термической сушки (2)

ются местами концентрации разрушающих напряжений. Некоторые растительные частицы, преимущественно размером 0,8 – 2,0 мм, располагаются по радиусу брикета с выходом на его поверхность; это способствует формированию пронизываемых каналов в структуре брикетов. Порообразующие добавки (диаметром более 1,0 мм) в шихте для брикетирования в количестве 3 – 5 % уже на стадии прессования дают поперечные трещины и снижают прочность сырых брикетов. Результаты экспериментов привели к выводу, что при использовании крупноразмерных частиц ПД РП необходимо увеличивать расход связующего на 10 – 20 % относительно его первоначального содержания или повышать давление прессования до 100 – 150 МПа. Хорошие результаты дает предварительное вымачивание ПД РП и насыщение их поверхности более эффективными связующими (сульфитно-дрожжевая бражка, сульфит-спиртовая бражка) при температуре более 100 °С [8] или модифицирование поверхности ПД. Такая обработка (модифицирование) направлена

на улучшение сцепления частиц шлама с растительной поверхностью путем формирования на ней армирующих элементов: нитей, полостей, цапапин и др. Это позволяет повысить прочность брикетов еще до термообработки.

Зависимость прочности брикетов (P) от количества (V) порообразующих добавок показана на рис. 4.

С увеличением количества и размеров частиц порообразующих добавок прочность брикетов существенно уменьшается. Крупные частицы ПД РП формируют недостаточно стабильную структуру брикетов, неравномерно распределяются по сечению брикетов, в результате прочность брикетов снижается. Наибольшую прочность придают частицы, измельченные до «мучного» состояния (размер менее 0,1 мм), но такие частицы не позволяют сформировать пронизываемые поры. Это обусловлено ломкостью и крошимостью сверхтонких частиц. В результате прогнозировать существенное увеличение реакционной способности брикетов проблематично,

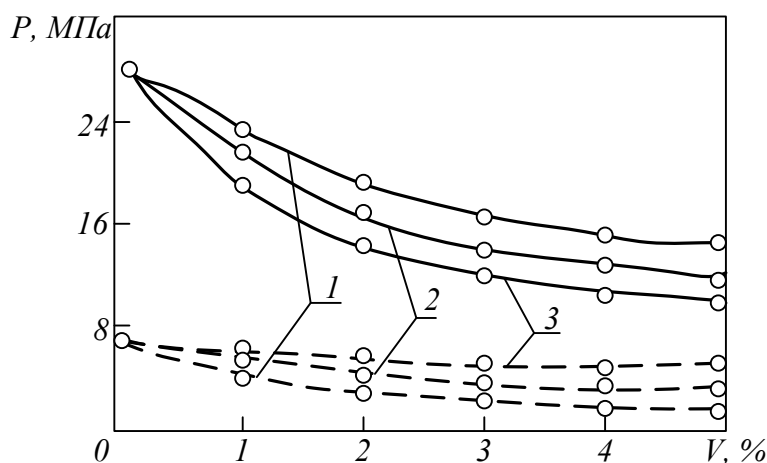


Рис. 4. Влияние количества ПД на прочность брикетов после термической сушки (—) и после холодного брикетирования (---) при размерах частиц ПД 0,1 – 0,2 мм (1), 0,2 – 0,4 мм (2), 1,5 – 2,0 мм (3)

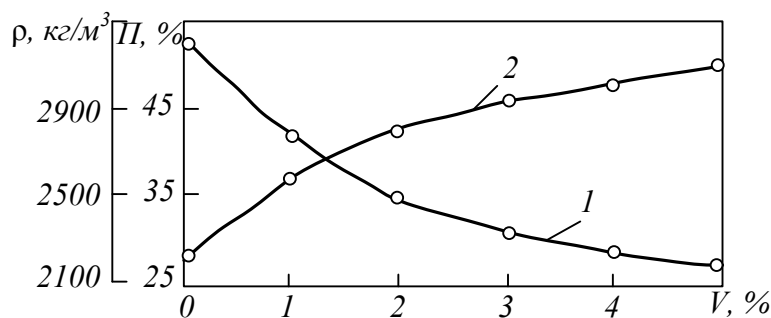


Рис. 5. Влияние количества ПД на плотность (1) и пористость (2) брикетов (количество ПДРП 5 %)

поскольку они не имеют игольчатой структуры, в них не сформированы проникаемые каналы (рис. 1, б). Таким образом, для промышленного использования можно рекомендовать фракцию частиц ПД РП 0,1 – 0,6 мм; такие частицы обладают игольчатой структурой.

Влияние количества порообразующих добавок на плотность (ρ) и пористость (Π) брикетов показано на рис. 5.

Увеличение пористости напрямую зависит от размера частиц ПД и их количества. Это объясняется тем, что частицы ПД РП обладают собственной пористостью, которая остается даже после измельчения. Желобчатая и трубчатая структура особенно крупных частиц ПД РП обуславливает низкую насыпную плотность и собственную высокую пористость. До 40 – 50 % собственной пористости сохраняется в трубчатой структуре частиц ПД РП, полученных резанием. В процессе прессования доля собственной пористости, безусловно, уменьшается. Создание устойчивого структурного каркаса брикета осуществляется в несколько стадий, характерных для любого процесса брикетирования: сначала жидкие связующие наносятся на частицы и формируются различные зерноклеевые комплексы, связующее переходит в вязкотекучее состояние; далее разнообразные зерноклеевые комплексы соединяются в процессе прессования; при сушке брикетов связующее переходит в «твердое» конечное состояние, формирующее заключительную прочность [1]. На этапе подготовки шихтовой смеси важны условия смачивания всех структурных компонентов связующим. Если схватываемость массы высокая, то коагулянты способствуют формированию неоднородного состава шихты и снижению прочности куска после брикетирования. Это свойство необходимо учитывать при выборе связующего и его количества.

Плотность брикетов уменьшается с увеличением количества порообразующих добавок, а пористость, напротив, увеличивается. Это можно объяснить тем, что крупные частицы ПД РП (особенно размером 1 – 2 мм) обладают трубча-

той структурой; такие частицы занимают большой объем в структуре брикета. Кроме этого пористость может образоваться за счет механического перекрытия пустоты крупными частицами ПД РП, образования шихтовых агломератов, хорошо заметных визуально, и раннего схватывания брикетируемой массы в процессе перемешивания. На пористость, плотность и на процесс уплотнения массы оказывает влияние негативный демпфирующий (пружинящий) эффект трубчатых частиц ПД РП.

Зависимость прочности брикетов от количества частиц ПД РП и температуры обжига (t_0) представлена на рис. 6.

При температуре 20 °С показана (рис. 6) сушка брикетов в естественных условиях в течение 24 ч. Установлено, что брикеты без добавок игольчатых частиц имеют максимальную прочность 30 МПа, которая увеличивается с ростом температуры обжига до 44 МПа ($t_0 = 800$ °С; $\tau = 20$ мин). С ростом количества частиц ПД РП размером 0,1 – 0,6 мм от 1 до 3 % прочность брикетов существенно снижается при всех режимах термообработки. Ограничить снижение прочности брикетов можно путем подбора особой формы частиц ПД РП, предварительной механической обработки сырья, модификации поверхности или предварительного вымачивания ПД [7 – 10]. Однако эти методы не в полной мере могут компенсировать снижение прочности брикетов. Можно использовать повышенное количество связующих добавок. Прочность брикетов, подвергнутых термообработке при 20 и при 100 °С, достаточно близка. При этих температурах происходит упрочнение массы за счет твердения связки. При $t = 500$ °С ($\tau = 20$ мин) происходит медленное выгорание частиц ПД РП, в результате в структуре брикетов образуются радиальные поровые каналы, снижающие прочность брикетов при количестве ПД РП 2 – 3 %. При таком количестве ПД РП при температуре обжига (800 °С) происходит интенсивное воспламенение и выгорание порообразующих добавок, образуется большое количество продуктов горения, существенно снижается прочность по-

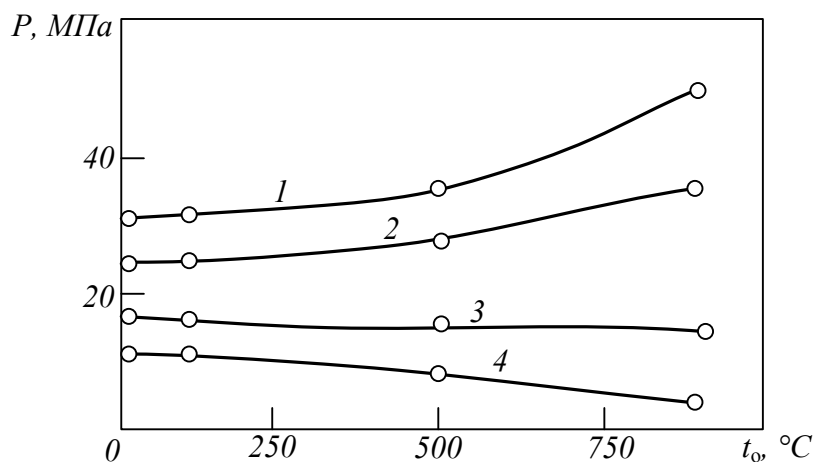


Рис. 6. Зависимость прочности брикетов от температуры обжига и количества ПД РП в шихте образцов:
1 – 0; 2 – 1,0 %; 3 – 2,0 %; 4 – 3,0 %

лученных брикетов. При содержании ПД РП 1 % процесс выгорания добавок в меньшей степени влияет на разупрочнение брикетов: происходит рост прочности при всех температурах обжига; формируется зональная структура. При $t = 800$ °C окисляется поверхность образцов, они имеют характерный бурый цвет гематита. Для устранения эффекта зональности структуры брикетов следует повысить температуру обжига выше 800 °C

и увеличить длительность термообработки до 25 – 30 мин.

На рис. 7 показана макроструктура излома брикетов после сушки и низкотемпературного обжига.

После сушки при 100 °C порообразующие добавки в шлифах и разломах имеют желтый соломенный цвет, а после обжига при 800 °C они оставляют золотой след сгоревших частиц



Рис. 7. Макроструктура излома брикетов после сушки при $t_0 = 100$ °C (а, в) и высокотемпературного обжига при $t_0 = 500$ °C (б, г) (количество ПД РП 2 %):

а, б – частицы ПД РП получены измельчением; в, г – частицы ПД РП получены способом резания

ПД РП. Расположение частиц ПД РП в структуре брикетов довольно хаотичное, но некоторые частицы располагаются по радиусу брикета и формируют слабоизвилистые проницаемые поровые каналы, расположенные между поверхностью и центром брикета. При наличии ПД РП в комбинации с собственной пористостью материала брикета возможно формирование структуры окускованного продукта, позволяющей прогнозировать повышение его реакционной способности в ходе металлургической плавки.

Выводы. При проведении эксперимента учитывали характеристики частиц ПД РП, условия подготовки отходов растительного происхождения, режим формирования брикетируемой массы по условиям схватываемости и прессуемости, прочностные характеристики брикетов после брикетирования и термообработки. В результате анализа полученных данных температуру обжига ограничили значением 500 °С, а количество ПД РП размером 0,1 – 0,6 мм установили на уровне 0,5 – 1,0 %. Такие параметры технологии брикетирования позволяют получить железшламовые брикеты прочностью более 45 МПа, общей пористостью более 40 %, в структуре которых преобладают открытые поры, позволяющие прогнозировать повышение реакционной способности брикетов в ходе металлургической плавки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ожогин В.В. Основы теории и технологии брикетирования измельченного металлургического сырья. – Мариуполь: ПГТУ, 2010. – 442 с.
2. Павловец В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. – 345 с.
3. Павловец В.М. Расширение функциональных возможностей агрегатов для подготовки железорудного сырья к металлургической плавке. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. – 373 с.
4. Павловец В.М. Развитие техники и технологии окомкования железорудного сырья в металлургии. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2019. – 386 с.
5. Павловец В.М. Капиллярная пропитка образцов, полученных напылением влажной железорудной шихты на гарнисаж окомкователя // Изв. вуз. Черная металлургия. 2010. № 8. С. 11 – 14.
6. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. – 334 с.
7. Патент № 2679853 РФ, МПК⁷ С22В 1/14. Способ получения окатышей / В.М. Павловец; заявл. 31.05.2018; опубл. 13.02.2019. Изобретения и полезные модели. Бюл. № 5.
8. Патент № 2634524 РФ, МПК⁷ С22В 1/14. Способ получения окатышей / В.М. Павловец; заявл. 28.12.2016; опубл. 31.10.2017. Изобретения и полезные модели. Бюл. № 31.
9. Патент № 2423533 РФ, МПК⁷ С22В 1/14. Способ получения окатышей / В.М. Павловец; заявл. 11.01.2010; опубл. 10.07.2011. Изобретения и полезные модели. Бюл. № 19.
10. Павловец В.М. Повышение реакционной способности окускованного железосодержащего сырья // Вестник горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии. 2019. Вып. 41. С. 62 – 72.

© 2019 г. В.М. Павловец
Поступила 3 сентября 2019 г.

Статья посвящается 85-летию кафедры теплоэнергетики и экологии Сибирского государственного индустриального университета

М.В. Темлянецв, С.Г. Коротков, Е.Н. Темлянцева

Сибирский государственный индустриальный университет

РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ МАЛООКИСЛИТЕЛЬНЫХ И МАЛООБЕЗУГЛЕРОЖИВАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ НАГРЕВА СТАЛИ

При современном уровне развития науки и техники одним из основных способов придания стали необходимой для обработки давлением пластичности и снижения сопротивления деформации является нагрев. В настоящее время наибольшее распространение получил высокотемпературный нагрев стали до 1100 – 1250 °С. Нагрев металла в камерных и методических, электрических и пламенных печах с атмосферой воздуха или продуктов сгорания неизбежно сопровождается окислением и обезуглероживанием поверхностных слоев металла. Эти явления негативно сказываются на качестве и себестоимости металлопродукции, технико-экономических показателях печей и агрегатов для обработки металлов давлением (ОМД).

В 50 – 70-е годы прошлого века в металлургии сформировалось целое научное направление – малоокислительный и безокислительный нагрев стали, ориентированный на ресурсосбережение, уменьшение потерь металла.

В Сибирском государственном индустриальном университете коллективом ученых кафедры теплоэнергетики и экологии исследования в области теории и технологии малоокислительного и малообезуглероживающего нагрева стали реализуются с начала 40-х годов прошлого века. Развитие научной деятельности сибирских теплотехников связано с приходом в 1940 г. в Сибирский институт черных металлов профессора И.С. Назарова. По его инициативе в послевоенные годы создан парк полупромышленных камерных печей скоростного нагрева, освоение работы которых поставило перед учеными целый ряд новых научных задач, в их числе – исследование особенностей окисления и обезуглероживания стали при скоростном нагреве. Следствием развития этого научного направления послужили защиты кандидатских диссертаций заведующим кафедрой, доцентом Е.И. Корочкиным, тема «Исследование окисления малоуглеродистой стали при скоростном нагреве» (1968 г.), инженером Б.И. Сельским, тема «Исследование

окисления стали в цикле производства проката» (1972 г.) и доцентом Ю.Е. Михайленко, тема «Исследование процесса обезуглероживания при скоростном нагреве под прокатку» (1981 г.) [1].

В начале XXI века в условиях жесткой конкуренции Российских и зарубежных производящих сталь компаний, при необходимости снижения себестоимости и повышения качества металлопродукции ресурсосберегающие технологии малоокислительного и безокислительного нагрева стали приобретают особую актуальность, а исследования кафедры – системный и комплексный характер. Исследования вели по пяти укрупненным тематическим направлениям:

1 – Кинетика окисления и обезуглероживания сталей, влияние на нее температурно-временного фактора и легирующих элементов стали.

2 – Особенности химического и фазового составов, строения, температуры плавления окалина, поверхности раздела окалина – сталь и влияние различных факторов на окалиноудаление при деформировании металла.

3 – Математическое моделирование процессов окисления и обезуглероживания стали.

4 – Разработка защитных покрытий для снижения интенсивности окисления и обезуглероживания сталей.

5 – Разработка и промышленное внедрение малоокислительных и малообезуглероживающих технологий нагрева стали под обработку давлением.

За последние 15 лет результатами разработок по этим пяти направлениям стали защиты М.В. Темлянецвым докторской диссертации на тему «Развитие металлургических основ теории и ресурсосберегающей технологии тепловой обработки стали» (2007 г.) и четырех кандидатских диссертаций: А.Ю. Сюсюкиным «Повышение качества рельсов на основе применения малоокислительных и малообезуглероживающих

технологий нагрева непрерывнолитых заготовок» (2007 г.), Н.В. Темлянцева «Повышение качества толстолистового проката на основе применения рациональных режимов нагрева стали в печах и деформационного окалиноудаления» (2007 г.), О.Д. Олендаренко «Разработка металлосберегающей технологии нагрева непрерывнолитых заготовок рельсовой стали в методических печах» (2010 г.), О.Л. Базайкиной «Разработка металлосберегающей технологии нагрева многогранных слитков в камерных печах» (2014 г.).

В результате проведенных исследований установлены зависимости и закономерности влияния температурно-временного фактора на кинетику высокотемпературного окисления и обезуглероживания широкого сортамента сталей: конструкционных сталей углеродистых марок 10, 3сп, 3пс, 20, 5сп, 6сп, 45, 50, 60, 70; легированных сталей – 40Х, 40ХН, 09Г2С, 12ГС, 20Г2Р, 25Г2С, 30Г1Р, 35ГС, 15ХСНД, 30ХГСА, 34ХН1М, 5ХНМ; рельсовых сталей – М54, М76, Э76Ф, Э78ХСФ, Э30ХГ2САФМ; рессорно-пружинных сталей – 65Г, 40С2, 60С2, 60С2ХА [2 – 19]. В качестве основного метода исследований окисления использованы разновидности гравиметрического: по увеличению и по потере массы образца. Процессы обезуглероживания исследовали металлографическим методом. Для стали каждой марки получены соотношения, позволяющие прогнозировать угар в зависимости от температуры и времени выдержки при постоянной температуре.

Комплекс исследований химического и фазового составов, строения, температуры плавления окалина, поверхности раздела окалина – сталь и влияние различных факторов на окалиноудаление при деформировании металла проведен для сталей марок 3пс, 40С2, 60С2, 60С2ХА, 12ГС, 20Г2Р, 30Г1Р, 25Г2С, 18Г2С, 10ХСНД, 15ХСНД, 65Г, Э76Ф, 30ХГСА, 09Г2Д, 09Г2С, ШХ15СГ, 45Г17Ю3, 12ХМ, 10КП, 40Х, 40ХН, 34ХН1М, 5ХНМ [2, 20 – 24].

Экспериментальным путем исследовано удаление окалина при прокатке с поверхности образцов из сталей марок 30ХГСА, 15ХСНД, 40Х, 3пс, 60С2. Установлено, что наилучшее отделение окалина наблюдается при прокатке стали марки 3пс, наихудшее – 60С2. Отделение окалина связано с повышенным содержанием кремния. Выявлены три характерных типа строения поверхности раздела окалина – сталь, которые по возрастанию температуры нагрева и прочности сцепления окалина со сталью можно расположить в следующей последовательности: слоевой (послойный), зернограницный, сталагмитообразный. Установлено, что наибольшее влия-

ние на снижение температуры плавления окалина оказывает кремний (образующий фаялит): в среднем 5 – 8 °С на каждые 0,1 % его содержания в стали. Медь также снижает температуру плавления, но на величину 2 – 3 °С на каждые 0,1 % ее содержания. Марганец фактически не оказывает влияния на температуру плавления окалина. Хром и никель повышают температуру плавления в среднем на 2 °С на каждые 0,1 % их содержания в стали. Для сплавов на железной основе и сталей максимальная температура плавления окалина приближается к температуре плавления вюстита 1377 °С, а хром и никель способствуют этому [2].

Для осуществления многовариантных прогнозных расчетов совместно протекающих процессов высокотемпературного окисления и обезуглероживания стали при нагреве в промышленных методических и камерных печах, совершенствования существующих и разработки новых теплотехнологий разработаны детерминированные математические модели [2, 4, 5]. Созданные математические модели позволяют рассчитывать величину угара, толщину окалина и глубину видимого обезуглероженного слоя по мере нагрева заготовок круглой и квадратной (блюмы) формы, слябов и многогранных слитков.

Применение математических моделей позволило выявить и спрогнозировать впоследствии экспериментально подтвержденные особенности параллельно протекающих и оказывающих взаимное влияние друг на друга процессов окисления и обезуглероживания, например, установить, что при повторном нагреве в методических печах непрерывнолитых заготовок рельсовой стали марки Э76Ф с исходным обезуглероженным слоем на кривой зависимости глубины обезуглероженного слоя от времени нагрева наблюдается три характерных участка. На первом участке (область температур от 20 до 700 – 800 °С) глубина обезуглероженного слоя практически не изменяется; это связано с низкой скоростью диффузионных процессов окисления и обезуглероживания стали. На втором участке, соответствующем области температур 800 – 1050 °С, процессы окисления интенсифицируются, при этом скорость диффузии углерода остается достаточно низкой. Это приводит к поглощению окалиной имеющегося обезуглероженного слоя и уменьшению его толщины. На третьем участке при температурах более 1050 °С диффузия углерода интенсифицируется, это приводит к росту глубины обезуглероженного слоя. Таким образом установлено, что в исследованных условиях, соответствующих промышленному нагреву, формирование обезуглеро-

женного слоя происходит не по принципу монотонного нарастания, а по принципу частичной замены с нарастанием [4].

В области применения защитных покрытий проработано два концептуально различающихся направления: керамические покрытия, не образующие жидких фаз и образующие жидкие фазы при нагреве.

Первый тип покрытий разработан и апробирован в промышленных условиях для нагрева непрерывно литых заготовок рельсовой стали в методических печах. Установлено, что наиболее перспективными являются покрытия на основе периклаза (фракция менее 0,15 мм) с минимальным содержанием углерода. Такие покрытия сохраняют свои защитные свойства до температур 1250 °С и обеспечивают снижение интенсивности обезуглероживания и угара стали примерно в два раза. Качество поверхности металла после высокотемпературного нагрева с применением периклазосиликатных покрытий гораздо выше, чем при использовании покрытий алюмосиликатного состава [25, 26].

Второй тип покрытий на основе силикатных стекол разработан для условий нагрева непрерывнолитых заготовок стали марки 60С2ХА в методических печах [27]. Применение покрытия обеспечило фактически полное отсутствие видимого обезуглероженного слоя в металле, при этом угар снизился почти в 1,7 раза. Лабораторные эксперименты показали, что после удаления покрытия поверхность образцов гладкая, имеет характерный металлический блеск стали. Шероховатость поверхности образцов после нагрева с покрытием значительно меньше, чем образцов, нагретых без покрытия [28].

Проведенные исследования стали основой для разработки и внедрения металлосберегающих малоокислительных и малообезуглероживающих технологий и режимов нагрева стали на различных предприятиях России [4, 27, 29 – 34].

Выводы. Рассмотрены основные результаты работы коллектива ученых кафедры теплоэнергетики и экологии Сибирского государственного индустриального университета.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Темлянцев М.В., Коротков С.Г., Стерлигов В.В. Кафедра теплофизики и промышленной экологии СибГИУ. 75 лет в образовании и науке. – Новокузнецк: СибГИУ, 2009. – 163 с.
2. Темлянцев М.В., Михайленко Ю.Е. Окисление и обезуглероживание стали в процессах нагрева под обработку давлением. Монография. – М.: Теплотехник, 2006. – 200 с.
3. Дефекты и качество рельсовой стали. Справочник / В.В. Павлов, М.В. Темлянцев, Л.В. Корнева, Т.Н. Осколкова, В.В. Гаврилов. – М.: Теплотехник, 2006. – 218 с.
4. Перспективные технологии тепловой и термической обработки в производстве рельсов / В.В. Павлов, М.В. Темлянцев, Л.В. Корнева, А.Ю. Сюсюкин. – М.: Теплотехник, 2007. – 280 с.
5. Нагрев стальных слябов / В.Н. Перетятыко, Н.В. Темлянцев, М.В. Темлянцев, Ю.Е. Михайленко. – М.: Теплотехник, 2008. – 192 с.
6. Темлянцев М.В., Стариков В.С., Журавлев Б.К., Темлянцев Н.В. Исследование окисления низколегированных кремнемарганцовистых сталей при нагреве в электрических печах сопротивления // Изв. вуз. Черная металлургия. 2004. № 4. С. 47 – 49.
7. Темлянцев М.В., Стариков В.С., Темлянцев Н.В., Журавлев Б.К. Окисление углеродистых конструкционных сталей при нагреве в атмосфере воздуха под обработку давлением // Заготовительные производства в машиностроении. 2004. № 5. С. 44 – 46.
8. Темлянцев М.В., Стариков В.С., Темлянцев Н.В., Сюсюкин А.Ю. Исследование окисления и обезуглероживания сталей для рельсов и рельсовых накладок при нагреве под прокатку // Изв. вуз. Черная металлургия. 2004. № 8. С. 36 – 38.
9. Темлянцев М.В., Темлянцев Н.В. Высокотемпературное окисление и обезуглероживание кремнистых пружинных сталей // Заготовительные производства в машиностроении. 2005. № 3. С. 50 – 52.
10. Темлянцев М.В., Сюсюкин А.Ю., Темлянцев Н.В. Металлографическое исследование поверхностного обезуглероженного слоя рельсов // Изв. вуз. Черная металлургия. 2005. № 4. С. 37 – 40.
11. Михайленко Ю.Е., Темлянцев М.В. Исследование кинетики процессов окисления и обезуглероживания высокоуглеродистой стали при нагреве // Изв. вуз. Черная металлургия. 2006. № 10. С. 44 – 47.
12. Темлянцев М.В., Колотов Е.А., Сюсюкин А.Ю. Определение угара и обезуглероживания непрерывно литых заготовок рельсовой стали при нагреве в методических печах с шагающими балками // Изв. вуз. Черная металлургия. 2006. № 12. С. 62, 63.
13. Темлянцев М.В. Исследование процессов окисления и обезуглероживания стали при нагреве // Сталь. 2007. № 3. С. 58 – 60.
14. Базайкина О.Л., Темлянцев М.В., Казимиров С.А., Запольская Е.М. Исследование высокотемпературного окисления и обезуглероживания легированных сталей марок 40ХН, 34ХН1М, 5ХН при нагреве под обработку давлением // Вестник Сибирского государственного университета. 2013. № 2 (4). С. 13 – 17.
15. Темлянцев М.В., Олендаренко О.Д. Окисление рельсовой стали Э30ХГ2САФМ при высоко-

- температурном нагреве под прокатку // Изв. вуз. Черная металлургия. 2009. № 4. С. 41 – 43.
16. Темлянцев М.В., Олендаренко О.Д. Исследование высокотемпературного окисления и обезуглероживания рельсовой стали марки Э78ХСФ // Изв. вуз. Черная металлургия. 2010. № 6. С. 60, 61.
 17. Темлянцев М.В., Коноз К.С., Горюшкин В.Ф., Живаго Э.Я., Целлермаер В.Я. Исследование процессов высокотемпературного окисления и обезуглероживания низколегированных борсодержащих сталей 20Г2Р и 30Г1Р при нагреве под прокатку // Проблемы черной металлургии и материаловедения. 2015. № 4. С. 34 – 38.
 18. Темлянцев М.В., Слажнева К.С., Дзюба А.Ю., Уманский А.А., Темлянцев Н.В. Высокотемпературное окисление и обезуглероживание рессорно-пружинной стали марки 60С2ХА // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. 2014. Вып. 33. С. 55 – 63.
 19. Темлянцев М.В., Коноз К.С., Кузнецова О.В., Живаго Э.Я., Целлермаер В.Я. Исследование высокотемпературного окисления рессорно-пружинной стали марки 40С2 и особенностей строения ее окалины // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. 2017. Вып. 38. С. 48 – 54.
 20. Темлянцев М.В., Темлянцев Н.В. Исследование химического состава окалины пружинной стали 60С2 // Изв. вуз. Черная металлургия. 2005. № 2. С. 75 – 76.
 21. Темлянцев М.В., Темлянцев Н.В. О некоторых особенностях состава окалины, образующейся на марганцовистых сталях при высокотемпературном нагреве // Изв. вуз. Черная металлургия. 2005. № 8. С. 69, 70.
 22. Темлянцев М.В. Состав окалины, образующейся на стали 45Г17Ю3 при высокотемпературном нагреве // Заготовительные производства в машиностроении. 2006. № 1. С. 55.
 23. Темлянцев М.В., Темлянцев Н.В. Исследование температур оплавления образующейся при нагреве стали печной окалины // Изв. вуз. Черная металлургия. 2005. № 9. С. 51 – 53.
 24. Перетяцько В.Н., Темлянцев Н.В. Удаление окалины с поверхности низко- и среднелегированных сталей при прокатке // Изв. вуз. Черная металлургия. 2006. № 10. С. 23 – 26.
 25. Темлянцев М.В., Темлянцева Е.Н., Олендаренко О.Д. Разработка составов защитных покрытий для снижения окисления и обезуглероживания рельсовой стали при нагреве под прокатку // Изв. вуз. Черная металлургия. 2010. № 2. С. 44 – 46.
 26. Темлянцев М.В., Олендаренко О.Д. Применение защитных покрытий для снижения угара рельсовой стали при нагреве под прокатку // Изв. вуз. Черная металлургия. 2008. № 2. С. 69, 70.
 27. Темлянцев М.В., Коноз К.С., Дзюба А.Ю., Уманский А.А., Темлянцев Н.В. Разработка металлосберегающих режимов нагрева в методических печах непрерывнолитых заготовок стали марки 60С2ХА // Изв. вуз. Черная металлургия. 2015. Т. 58. № 8. С. 545 – 549.
 28. Темлянцев М.В., Дзюба А.Ю., Темлянцева Е.Н., Коноз К.С., Живаго Э.Я., Горюшкин В.Ф. Применение покрытий для защиты рессорно-пружинной стали марки 60С2ХА от окисления и обезуглероживания при нагреве под прокатку // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. 2015. Вып. 35. С. 38 – 43.
 29. Михайленко Ю.Е., Темлянцев М.В. Разработка теплотехнологии, обеспечивающей снижение глубины видимого обезуглероженого слоя в стальном прокате // Изв. вуз. Черная металлургия. 2006. № 8. С. 32, 33.
 30. Михайленко Ю.Е., Темлянцев М.В. Снижение обезуглероживания стали при нагреве в методических печах // Заготовительные производства в машиностроении. 2006. № 8. С. 54 – 56.
 31. Темлянцев М.В., Колотов Е.А., Сюсюкин А.Ю., Гаврилов В.В. Разработка технологии нагрева рельсовых заготовок в методической печи с шагающими балками // Сталь. 2006. № 12. С. 33 – 35.
 32. Темлянцев М.В., Гаврилов В.В., Корнева Л.В., Сюсюкин А.Ю., Темлянцев Н.В. Нагрев под прокатку непрерывнолитых заготовок рельсовой электростали // Изв. вуз. Черная металлургия. 2005. № 6. С. 69, 70.
 33. Темлянцев М.В., Гаврилов В.В., Корнева Л.В., Кожеурова Л.Т. О выборе температурных режимов нагрева под прокатку непрерывно литых заготовок рельсовой электростали // Изв. вуз. Черная металлургия. 2005. № 12. С. 47 – 49.
 34. Филиппова М.В., Перетяцько В.Н., Темлянцев М.В. Разработка и внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий обработки металлов давлением. – Новосибирск: Издательство Сибирского отделения РАН, 2016. – 269 с.

© 2019 г. М.В. Темлянцев, С.Г. Коротков,
Е.Н. Темлянцева
Поступила 12 сентября 2019 г.

УДК 502.174:662.613.53

Т.А. Михайличенко, С.Д. Алишынбаев

Сибирский государственный индустриальный университет

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ЗАМЕНЫ ИСКОПАЕМОГО ТОПЛИВА НА ПЕЛЛЕТЫ ИЗ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ (БИОТОПЛИВО) В УСЛОВИЯХ КЕМЕРОВСКОГО РЕГИОНА

В энергетической стратегии Российской Федерации к числу важнейших принципов обеспечения энергетической безопасности отнесены: принцип заменимости исчерпаемого ресурса; диверсификация видов топлива и энергии; экологическая приемлемость; максимально возможное использование во всех технологических процессах и проектах отечественного оборудования; приоритетность внутреннего потребления энергоресурсов по отношению к их экспорту; рационализация структуры экспорта путем перехода от преимущественного экспорта первичных энергоносителей к более широкому экспорту продуктов их переработки; ряд других принципов.

Экологическая политика в сфере энергообеспечения предусматривает стимулирование производства и потребления топлива и энергии технологиями, направленными на улучшение здоровья населения и состояния окружающей среды; вовлечение в топливно-энергетический баланс возобновляемых источников энергии и отходов производства с целью уменьшения негативного влияния энергетической деятельности на окружающую среду и сохранения потенциала невозобновляемых энергоресурсов для будущих поколений.

Возобновляемые источники энергии, важнейшим из которых является энергия, аккумулированная в растительности, могут сыграть существенную роль в решении энергетических проблем. Именно поэтому последнее время большое внимание уделяется биоэнергетике [1].

В настоящее время использование биотоплив в энергетике Российской Федерации занимает менее 2 % и не может решить проблемы защиты окружающей среды от выбросов вредных веществ в масштабах всей страны. Однако применение биотоплив там, где это возможно, вместо невозобновляемых первичных энергоресурсов, является обязательным элементом совершенствования энергохозяйств промышленных предприятий. Производство энергии с использованием возобновляемых источников энергии становится необходимым и не имеет альтернативы. По оценке экспертов к 2020 году доля энергии, вырабатываемой с помощью возобновляемых источни-

ков энергии, должна составлять не менее 7 % в суммарном энергетическом балансе РФ.

Энергетические установки, которые обеспечивают развитие цивилизации, являются, к сожалению, одним из основных загрязнителей атмосферы оксидами серы и азота, бенз(а)пиреном, твердыми частицами, а их вклад в выбросы диоксида углерода, вызывающего «парниковый» эффект, можно признать основным.

Одним из направлений снижения количества выбросов вредных веществ в атмосферу установками топливно-энергетического комплекса следует считать замену невозобновляемых видов топлива (углей и мазутов) на возобновляемые виды (например, биотопливо).

К биотопливу относят древесину и отходы ее обработки, стружку, древесную пыль, щепу, кору, ветки, некондиционную древесину, древесные гранулы (пеллеты и брикеты); отходы сельскохозяйственного производства (подсолнечную лузгу, солому, шелуху риса, проса и др.); специальные плантации «энергетического» леса и кустарников; жидкое и газообразное топливо, получаемое из биотоплива.

При переходе на использование биотоплива резко снижается количество выбросов оксидов серы, азота, летучей золы, а выбросы углекислого газа считаются равными нулю. Так как в процессе роста растения поглощают углекислый газ и выделяют кислород, то считается, что количество выбросов стремится к нулю. В качестве одного из приоритетных направлений в области нетрадиционной энергетики государственной научно-технической программой РФ «Экологически чистая энергетика» рассматривается широкое использование энергетического потенциала биомассы [2].

На многих территориях РФ располагается огромный потенциал древесного топлива для производства тепловой энергии. В частности, почти все регионы Сибирского федерального округа, в том числе и Кемеровская область, обладают потенциалом 81 – 100 %, чтобы полностью покрыть всю тепловую нагрузку региона.

Результаты технического анализа образцов древесного топлива

Образец	W^a , %	A^a , %	V , %	Q , МДж/кг
Береза	$7,5 \pm 0,3$	$0,46 \pm 0,02$	$85,3 \pm 3,4$	$18,3 \pm 0,7$
Сосна	$14,6 \pm 0,6$	$0,41 \pm 0,02$	$85,3 \pm 3,4$	$19,1 \pm 0,8$
Ель	$13,9 \pm 0,6$	$0,33 \pm 0,01$	$83,2 \pm 3,3$	$18,7 \pm 0,7$
Пеллеты из ели	$6,7 \pm 0,3$	$0,35 \pm 0,01$	$84,6 \pm 3,4$	$18,8 \pm 0,7$
Осина	$13,7 \pm 0,6$	$0,41 \pm 0,02$	$85,9 \pm 3,4$	$18,2 \pm 0,7$
Сухостой	$7,4 \pm 0,3$	$0,31 \pm 0,01$	$85,5 \pm 3,4$	$18,9 \pm 0,7$
Пеллеты из сосны	$8,1 \pm 0,3$	$0,43 \pm 0,02$	$85,1 \pm 3,4$	$19,1 \pm 0,8$
Пеллеты из березы	$8,5 \pm 0,3$	$0,44 \pm 0,02$	$84,9 \pm 3,4$	$18,3 \pm 0,7$
Дуб	$7,2 \pm 0,3$	$0,30 \pm 0,01$	$85,3 \pm 3,4$	$17,9 \pm 0,7$
Кора дуба	$10,7 \pm 0,4$	$5,01 \pm 0,20$	$76,7 \pm 3,1$	$19,2 \pm 0,7$
Кора сосны	$8,9 \pm 0,4$	$1,05 \pm 0,04$	$80,8 \pm 3,2$	$21,8 \pm 0,9$

Анализируя климатические условия Кемеровской области, необходимо отметить, что сочетание тепла, влаги и солнечного света в вегетационный период, несмотря на короткое лето, создает благоприятные условия для роста и развития древесной и кустарниковой растительности на территории области. Превышение количества летних осадков (70 %) над зимними (30 %) является положительным фактором в отношении увлажнения почвогрунтов и способствует уменьшению пожарной опасности.

Пеллеты (топливные гранулы) – один из самых востребованных видов биотоплива как источника энергии. Применение таких гранул в энергетике серьезно повышает эффективность предприятий по переработке древесных ресурсов. Помимо прагматической стороны дела (дешевизны и высокого КПД), использование биотоплива помогает сохранять природу, улучшать экологическую обстановку. Следует, однако, отметить, что для экономики России и решения проблем экологии производство пеллет пока не является приоритетным и значимым фактором. Гораздо привлекательнее – налаженный сбыт в Европу, а заодно – решение проблемы утилизации отходов.

Пеллеты (или древесные гранулы) – это твердое насыпное топливо, которое изготавливается из высушенных измельченных древесных отходов без минеральных примесей и посторонних включений. В процессе производства отходы прессуют в плотные гранулы разной формы. В зависимости от качественного состава сырья (наличия в нем коры, присутствия гнили и т.д.) пеллеты получаются разного цвета, по которому можно ориентировочно определить их качество. Светлые (белые) пеллеты, произведенные из качественной окоренной древесины или опилок, ценятся выше черных и серых за более высокую плотность и теплоотдачу, низкое содержание пыли, меньшую зольность. Качество подтвер-

ждается сертификатами, соответствующими стандартам Евросоюза.

Пеллеты обладают преимуществами по сравнению с другими видами топлива: экологическая чистота, низкий процент угарного газа, высокая теплоотдача, минимальное количество отходов после сгорания (около 1 % массы), ценовая доступность, оптимальные характеристики для транспортировки, удобство хранения, низкая пожароопасность [3].

Одной из важнейших характеристик топлива, определяющих его тепловую ценность, является теплота сгорания, которая характеризует количество теплоты, выделяющейся при полном сгорании единицы массы топлива (для горючих газов – объемной). Результаты технического анализа (W^a – влажность; A^a – зольность; V – содержание летучих веществ; Q – низшая теплота сгорания) для образцов, характерных для Кемеровской области, приведены в таблице.

Древесное топливо по сравнению с угольным имеет более высокое содержание летучих веществ на горючую массу: находится в диапазоне 75 – 85 %. Это означает, что древесное биотопливо имеет более высокую реакционную способность. Зольность древесного топлива (за исключением коры) составляет менее 1 %.

Сравнение энергетического потенциала предлагаемых древесных пеллет и каменных углей Кемеровской области показало, что их теплота сгорания примерно сопоставима: 19 – 21 и 25 – 27 МДж/кг соответственно. Однако, даже учитывая все экологические преимущества древесного биотоплива, стоимость перевода оборудования на новое сырье высока, особенно с учетом того, что необходимы будут соответствующие затраты на создание нового производства самих древесных пеллет. Таким образом, для крупных ТЭС переход на древесное топливо не рационален. Переход на такое топливо децентрализованных мини-ТЭС удаленных поселков как региона, так и всей Сибири рационален [4].

Особенностью России, характерной в первую очередь для регионов Сибири и Дальнего Востока, является весьма низкая плотность населения на больших, но слабо освоенных в производственном отношении территориях, изолированных от централизованного электроснабжения и имеющих слабые транспортные связи с промышленно-развитыми регионами.

Проблема надежного и качественного электроснабжения такого рода регионов остается острой как в социальном, так и в техническом и экономическом аспектах. Электрообеспечение таких потребителей может быть осуществлено за счет централизованного электроснабжения или путем создания децентрализованных зон. Возможность присоединения электроприемника к энергосистеме ограничена его удаленностью в связи с потерями напряжения в питающей линии. Электрификация от централизованных электрических сетей объектов мощностью менее 250 кВт ограничивается расстоянием не более, чем 10 км [5].

Использование более высокого напряжения распределительной сети позволяет при тех же условиях несколько увеличить дальность централизованного электроснабжения, однако строительство более высоковольтных и более дорогих ЛЭП (например, 35 кВ) при малых передаваемых мощностях нецелесообразно из-за низкого коэффициента загрузки по мощности.

Соответственно, оценивать экономические характеристики высоковольтной ЛЭП, работающей в режиме, близком к холостому ходу, абсурдно.

Помимо этого, чисто технического ограничения, встает вопрос по дороговизне как самого строительства ЛЭП, так и их содержания и обслуживания.

Очевидна маловероятность электроснабжения мелких удаленных потребителей с помощью присоединения их к централизованным электрическим сетям.

При электрообеспечении малонаселенных и удаленных поселений (через создание децентрализованных зон) наиболее распространенным источником электроэнергии являются стационарные и передвижные дизельные электростанции (ДЭС), которых по России насчитывается более 5000. Они вырабатывают около 1,8 млрд. кВт ч электроэнергии при потреблении около 0,8 млн. т условного топлива ежегодно.

Основными проблемами электроснабжения малонаселенных и удаленных поселений от ДЭС являются:

- техническое состояние ДЭС;
- большие расстояния для подвоза топлива и зависимость от его поставок;

- ограниченность сроков сезонного завоза (до некоторых удаленных пунктов топливо может транспортироваться год и более, с промежуточным хранением на перевалочных базах) в наиболее труднодоступные районы;

- слабое развитие транспортной инфраструктуры;

- зависимость от бюджетного финансирования;

- высокая стоимость выпускаемой электроэнергии (в некоторых регионах до 40 руб./кВт ч).

Слабое развитие транспортной инфраструктуры в значительной мере осложняет проблему топливоснабжения. Большие расстояния перевозок, многосвязность и сезонность завоза топлива приводят к высоким потерям и многократному его удорожанию. У наиболее удаленных потребителей транспортная составляющая стоимости привозного топлива достигает 70 – 80 %.

Источники малой мощности, используемые для автономного электроснабжения, как правило, имеют низкие технико-экономические показатели. Кроме того, рост цен на топливо, увеличение транспортных тарифов, что особенно важно для удаленных регионов, приводят к высокой стоимости производства электроэнергии. Недопоставки топлива влекут за собой длительные перерывы в электроснабжении.

Существенно повысить энергетическую безопасность региона, дать значительный импульс развитию экономики, в частности, сельского хозяйства, лесопереработки и лесопользования позволяет внедрение ТЭЦ на биотопливе. Сфера производства электрической и тепловой энергии имеет объективные экономические основания для того, чтобы наращивать объемы сжигания биотоплива.

Экономическая эффективность проектов ТЭЦ на биотопливе может быть существенно улучшена при реализации каждого конкретного проекта за счет уменьшения стоимости биологического топлива, минимизации транспортных расходов на его доставку, применения прогрессивных технологий цикла генерации электроэнергии и тепла и других мероприятий. Сжигать местное биотопливо для получения электричества или тепла выгоднее, чем сжигать уголь, мазут или другое ископаемое (невозобновляемое) сырье.

Преимущества газогенераторных электростанций и мини-ТЭЦ:

- небольшие начальные капиталовложения;
- близость к потребителям, ориентированность непосредственно под нужды потребителя;
- более экономичное использование топлива для произведенных видов энергии в сравнении с

общепринятыми раздельными способами их производства;

- возможность избежать затрат на строительство дорогостоящих и опасных высоковольтных линий электропередач;

- использование тепла непосредственно в месте получения, что обходится гораздо дешевле, чем строительство и эксплуатация многокилометровых теплотрасс;

- исключение потерь при передаче энергии;

- отсутствие необходимости финансовых затрат на выполнение технических условий подключения к сетям централизованного электроснабжения;

- бесперебойное снабжение качественной электроэнергией, соблюдение заданных значений напряжения и частоты;

- реальная возможность получения прибыли.

Относительно экологической составляющей этой проблемы можно отметить следующее. Количество и концентрация загрязняющих веществ, выделяемых в атмосферу, определяются для контроля выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, планирования работ по их снижению, установления предельно допустимых и временно согласованных выбросов, утверждения нормативов удельных выбросов.

Нормативы удельных выбросов для котельных установок установлены для следующих загрязняющих веществ: зола твердого топлива, оксиды азота (в пересчете на NO_2), оксиды серы, оксиды углерода.

Содержание серы в угольном шлаке в 30 раз больше, чем в брикетной золе, а шлака, требующего утилизации, образуется в 20 раз больше. Дизельное топливо и мазут содержат в себе едва ли не все элементы таблицы Менделеева. При

их сжигании выделяется огромное количество вредных для организма человека веществ, в том числе канцерогенов.

Таким образом, анализ ситуации с энергообеспечением труднодоступных районов позволяет сделать вывод об экономической эффективности проектов энергоснабжения, в основе которых лежит использование биотоплива, особенно с учетом ожидаемых экологических преимуществ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дубиков А.Н. Предпосылки применения возобновляемых природных источников энергии в отраслях лесного комплекса. – Мытищи: Изд. центр МГУЛ, 2001. – 4 с.
2. Анискин В.И., Голубкович А.В. Перспективы использования растительных отходов в качестве биотоплив. – Санкт-Петербург: Теплоэнергетика, 2004. – 366 с.
3. Анискин В.И., Голубкович А.В., Сотников В.И. Сжигание растительных отходов в псевдоожиженном слое. – Санкт-Петербург: Теплоэнергетика, 2004. – 54 с.
4. Анискин В.И., Голубкович А.В., Курбанов К.К. Топливо из сельскохозяйственной биомассы. – Санкт-Петербург: Энергия: экономика, техника, экология, 2005. – 103 с.
5. Суржикова О.А. Проблемы и основные направления развития электроснабжения удаленных и малонаселенных потребителей России // Вестник науки Сибири. 2012. № 3 (4). С. 103 – 106.

© 2019 г. Т.А. Михайличенко, С.Д. Алишынбаев
Поступила 27 июня 2019 г.

В.М. Павловец

Сибирский государственный индустриальный университет

ОБСУЖДЕНИЕ МЕХАНИЗМА ПОРООБРАЗОВАНИЯ ЗАРОДЫШЕЙ, СФОРМИРОВАННЫХ ПРИНУДИТЕЛЬНЫМ ЗАРОДЫШЕОБРАЗОВАНИЕМ В ПРОИЗВОДСТВЕ ОКАТЫШЕЙ

Образование пористости, как правило, происходит в процессе формообразования дисперсного материала при переходе его из сыпучего состояния в сформованное или кусковое. В некоторых технологиях порообразование является сопутствующим процессом и его стараются ограничить или исключить, но в большинстве случаев образование пористости осуществляют искусственно и целенаправленно, получая сформованное тело с новыми полезными свойствами. В промышленности достаточно много сыпучих материалов, подвергаемых разным способам формообразования, причем цели и задачи структурообразования широкого класса пористых тел достаточно многообразны.

Для готовой продукции, каковой являются, например, строительные, огнеупорные и теплоизоляционные материалы, эти требования достаточно противоречивы [1]. Для этих материалов наличие пористости обязательно, поскольку поры снижают коэффициент теплопроводности изделия и определяют теплоизоляционные свойства продукции, но одновременно уменьшают прочность изделий. Чтобы исключить фильтрацию газов и жидкой фазы в этих материалах, поры должны быть преимущественно закрытыми и непроницаемыми. Для металлургического сырья (окатышей, агломератов, брикетов, кокса, железоблинов и др.), являющегося промпродуктом, предъявляются высокие требования к такой важной его характеристике, как пористость [2]. Наиболее важными для производителей являются прочностные характеристики сырья, которые с ростом пористости однозначно снижаются. Одновременно с ростом пористости увеличивается так называемая реакционная поверхность кускового сырья, на которой протекают термохимические металлургические реакции (окисление, восстановление, декарбонизация, десорбция, спекание и др.). От характера пористости зависят режим горения топливных добавок, условия минералообразования, поведение жидкой фазы, формирование упрочняющей связки и многие другие сопутствующие диффузионные процессы [3].

Способов образования пористости широкого класса сформованных тел, включая железорудные окатыши, достаточно много. Самый распространенный метод создания поровой структуры сформованных кусковых тел – использование порообразующих, вспенивающих топливных добавок и жидких, преимущественно, выгорающих связующих [1, 4]. Механизм образования пор заключается в образовании пустот за счет сгорания топливной (органической) массы и расширения внутренних полостей сформованного тела давлением вспенивающего газа, образующегося при термической обработке сырья. Регулировать процесс образования пористости кусков можно введением дополнительных шихтовых (техногенных, флюсующих, упрочняющих, минералообразующих, топливных, вяжущих) добавок, изменяя параметры прессования в процессе брикетирования [4] или режим работы окомкователя в процессе окомкования сырой массы [2, 3].

В процессе сушки и обжига также можно управлять структурообразованием, используя теплотехнические методы воздействия и подбирая влажность сырья, его минеральный и гранулометрический составы [5]. В технике плазменного и газоструйного напыления поровая структура напыленных покрытий во многом опирается на закономерности возникновения и поведения жидкого расплава [6, 7]. В последнее время предложено использовать теплосиловое воздействие газовой струи для организованного структурообразования влажных окатышей на стадии окомкования [8, 9]. Получение сырых окатышей на тарельчатом окомкователе по технологии принудительного зародышеобразования включает формирование зародышей методом напыления в холостой зоне тарели и создание оболочки окатышей их доокомкованием в рабочей зоне окомкователя в режиме переката [8, 9]. Эта технология экспериментально отработана в лабораторных условиях и позволяет получать окатыши с дифференцированным распределением пористости по их сечению, воздействовать на характер пор и организовать процесс их формообразования с более высокой удельной произво-

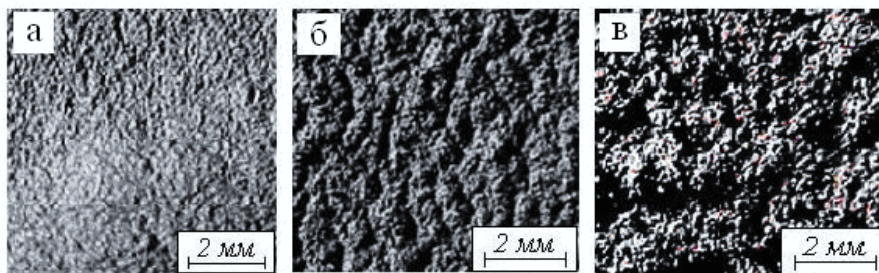


Рис. 1. Типичные макроструктуры образцов в различных зонах НС (вид сверху):
 а – центральная зона I НС ($\delta = 0$; $\beta = 90^\circ$, $L/d_{c.a} = 2,5$); б – промежуточная зона II ($\delta = 0,5$; $\beta = 90^\circ$, $L/d_{c.a} = 5,0$);
 в – периферийная зона III ($\delta = 0,8$; $\beta = 90^\circ$, $L/d_{c.a} = 10,0$); δ – относительный радиус НС

дительностью. Установлено, что в процессе принудительного зародышеобразования методом напыления шихты в центральной зародышевой зоне окатыша формируется преимущественно открытая пористость с относительно большим размером пор [10, 11]. Эта технология позволяет у обожженных окатышей повысить долю открытых пор диам. 0,02 – 0,1 мм от 25 до 35 % при общем объеме пор до 30 – 45 %.

Количество открытых пор зависит от массовой доли зародыша в окатыше, давления воздушношихтовой струи (ВШС), влажности и гранулометрического состава шихты, конструктивной схемы принудительного зародышеобразования и некоторых других факторов [8]. Повышенное содержание открытых пор в зародышевом центре облегчает массоперенос испаряющейся влаги из центральной части окатышей на периферию в процессе сушки, ускоряет диффузию газа-окислителя с поверхности гранулы в ее центральную часть в процессе обжига.

На заключительной восстановительно-тепловой стадии обработки в ходе металлургической плавки снижаются диффузионные ограничения по фильтрации газа-восстановителя через поверхностную оболочку окатыша в центр гранулы. При этом более прочная оболочка окатыша не позволяет снизить его прочность ниже допустимого уровня. Опыт лабораторных исследований позволяет дополнить список требований к пористости окатышей. В идеальном состоянии поры окускованного материала должны быть проницаемыми для водяного пара и технологических газов, равномерно распределены по сечению гранулы, обладать минимальной извилистостью, рациональной формой и размерами, снижать в минимальной степени прочность сформованного куска [9]. Это достаточно трудная технологическая задача, которая может быть решена на основе глубокого изучения механизма образования пористости окатышей в процессе принудительного зародышеобразования.

Целью настоящей работы являлось исследование механизма образования пористости зародышей в технологии производства окатышей,

основанной на технике принудительного зародышеобразования.

Методика экспериментов подробно описана в источниках [8, 9]. В экспериментах использовали шихту на основе тейского железорудного концентрата ($d_q = 0,068$ мм, влажность шихты $W_{ш}$ равнялась 5,5; 7,5 и 9,5 %), которую напыляли при расходе 0,01 кг/с на шихтовый гарнисаж (ШГ) влажностью 7,5 %. Параметр $W_{ш}$ меняли искусственным дозированием воды в состав сухой шихты, после чего готовили смесь по методике, описанной в работе [8]. После перемешивания влажную шихту протирали через сито с ячейкой 1,0 мм. Расстояние L между соплом струйного аппарата (СА) и ШГ составляло 50, 100, 200, 300 мм. Далее рассчитывали относительное расстояние $L/d_{c.a}$, которое составило 2,5; 5,0; 10,0; 15,0 (где $d_{c.a}$ – диаметр сопла СА, м).

Для уточнения механизма образования пористости напыленного слоя в некоторых опытах устанавливали значения $L/d_{c.a} = 1,5$ и $L/d_{c.a} = 20,0$. Угол атаки СА к гарнисажу (β) составлял 90 град. Напыленный слой (НС), полученный напылением шихты воздушношихтовой струей при угле атаки 90 град имел правильную круговую форму диаметром d и высотой h на его оси. Используя номограмму, разработанную в работе [8], и условия экспериментов, определяли давление ВШС, которое использовали в качестве входного параметра технологии напыления. Схема отбора проб и направление фото- и видеосъемки приведены в источнике [9].

В ходе экспериментов был проанализирован большой массив макроструктур напыленного слоя шихты, полученных для различных режимных параметров напыления и физических характеристик шихты. Типичные макроструктуры образцов в разных зонах напыленного слоя, полученного напылением шихты влажностью $W_{ш} = 9,5$ %, показаны на рис. 1.

Характерной особенностью макроструктур напыленного слоя шихты является наличие структурных изменений, образовавшихся после

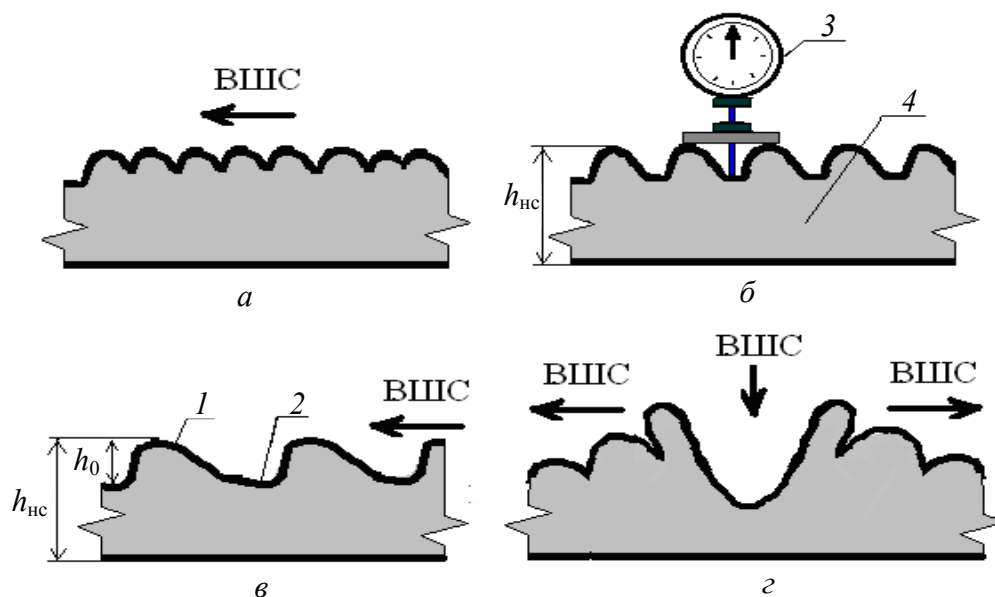


Рис. 2. Вид и схема определения размера структурных углублений на поперечном сечении напыленного слоя шихты: 1 – шихтовые напылы; 2 – структурные углубления; 3 – измерительный индикатор часового типа для определения глубины структурных углублений; 4 – напыленный слой; схемы структурных изменений: а – зона I при $P_{\text{внс}} = 1000 - 1400$ Па ($W_{\text{ш}} = 7,5$ и $9,5$ %); б – зона II при $P_{\text{внс}} = 600 - 1000$ Па; в – зона III при $P_{\text{внс}} < 600 - 800$ Па; г – зона I при $P_{\text{внс}} > 1400 - 1600$ Па ($W_{\text{ш}} > 9,5$ %)

напыления и деформации влажной шихты на поверхности и в глубине НС. Видимыми структурными изменениями являются шихтовые напылы и структурные углубления между напылами на поверхности НС. Структурные изменения являются основой для образования пористости зародышей, а особенности их зарождения на поверхности НС позволяют уточнить механизм образования открытой пористости зародышей. Схематичное изображение структурных изменений НС и методика определения размера структурных углублений в поперечном разрезе НС показаны на рис. 2.

Структурные углубления НС шихты представляют собой концентрические слабоизвилистые каналы, сформированные соседними шихтовыми напылами и располагающиеся по круговой траектории вокруг вертикальной оси НС. Эти каналы, как правило, замкнутые друг на друга, обладающие переменной извилистостью. Часть из них имеет прерывистый характер.

Наличие структурных углублений канального типа, безусловно, является причиной формирования открытой пористости. Сечение каналов имеет форму, близкую к перевернутому усеченному конусу. На фотографиях макроструктуры (рис. 1) дно каналов отображается темными линиями толщиной $0,1 - 1,5$ мм, которые по существу являются малым основанием усеченного конуса. Форма и геометрические размеры структурных углублений, по-видимому, влияют на форму и размер пор в глубине НС.

Ширина шихтовых напылов более существенная: от 1 до 3 мм. Со стороны атаки ВШС поверхность округлых напылов покатая, у противоположной (теневой) стороны сформирован крутой наклон. Эту особенность напыленных покрытий отмечают авторы работы [12], в которой напылы отождествляют со столбами, а их появление объясняют «теневым эффектом» напыленного слоя для потока частиц, ускоренных высокотемпературной плазмой. В результате формируется столбчатая структура напыленного покрытия, состоящая из столбов (напылов) и углублений. На поверхности шихтовых напылов НС также можно найти мелкие короткие впадины длиной $1 - 3$ мм и глубиной менее 1 мм, которые в расчетах не учитывали, но они играли определенную роль в формировании пористости.

В качестве параметров макроструктуры НС использовали относительную величину структурных углублений напыленного слоя θ_{h_0} и относительное количество структурных углублений θ_N , число углублений на м^2 ($1/\text{м}^2$), на его поверхности. Параметр θ_{h_0} на поверхности НС определяли по выражению

$$\theta_{h_0} = h_0/h,$$

где h_0 – среднее значение структурных углублений, мм; h – среднее значение высоты напыленного слоя на его оси, мм.

Среднее значение структурных углублений определяли по шести величинам расстояний, за-

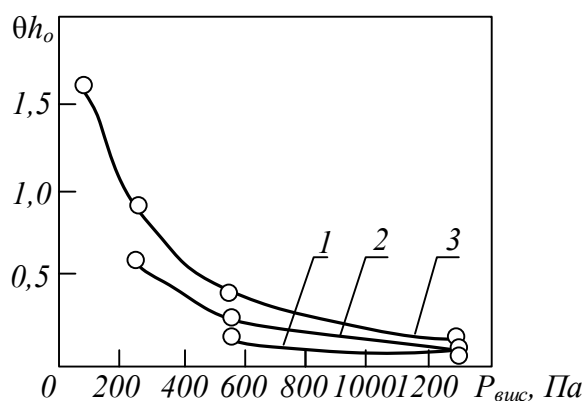


Рис. 3. Зависимость относительной величины структурных углублений от давления ВПС; уравнения регрессии для различной влажности шихты: 1 – $W_{ш} = 5,5\%$ ($y = 1,878e^{-0,0024x}$, $R^2 = 0,9884$; $y = \theta_{ho}$, $x = P_{впс}$); 2 – $W_{ш} = 7,5\%$ ($y = 0,9376e^{-0,0018x}$, $R^2 = 0,9925$); 3 – $W_{ш} = 9,5\%$ ($y = 0,3644e^{-0,001x}$, $R^2 = 1$)

меряемых в трех зонах НС во взаимно перпендикулярных направлениях, между гребнем шихтового напыля и дном структурного углубления (рис. 2). Усреднение проводили по трем опытам при фиксированных значениях $L/d_{са}$ и $W_{ш}$.

Относительное количество структурных углублений θ_N вычисляли по выражению

$$\theta_N = N/f_{нс},$$

где N – численное значение структурных углублений, определяемое по количеству концентрических теневых каналов в каждой зоне НС; $f_{нс}$ – площадь напыленного слоя шихты диам. d , m^2 .

Параметры θ_{ho} и θ_N оценивали в зависимости от давления ВПС, относительного расстояния $L/d_{са}$ и влажности напыляемой шихты. Результаты экспериментов представлены на рис. 3 и 4.

Установили, что в общем случае параметр θ_{ho} резко снижается с ростом давления ВПС до 600 – 800 Па, после чего происходит замедленное снижение его величины (рис. 3). Одновременно с ростом давления ВПС высота структурных углублений снижается, но одновременно с этим растет средний размер НС. Характер зависимости показывает, что интенсивность снижения

параметр h_o существенно выше интенсивности роста параметра h . Это объясняется геометрическими особенностями формирования напыленного слоя шихты, подробно рассмотренными в источнике [8]. Поскольку размер структурных углублений является физической основой для формирования размеров пор, то можно предположить, что с ростом давления ВПС размер пор и величина пористости в глубине НС будут уменьшаться. Большую роль на параметр θ_{ho} оказывает влажность напыляемой шихты. При $W_{ш} = 5,5\%$ и давлении ВПС менее 600 – 800 Па на поверхности формируются невысокие напылы и мелкие структурные углубления ($h_o < 0,1 - 0,2$ мм), недоступные для инструментального измерения. Их можно замерить и анализировать при достаточно большом увеличении, поэтому величину структурных углублений точно измерить практически невозможно и ее условно приняли равной 0,1 мм. Можно считать, что твердожидкостная пульпа в шихте с низкой влажностью в этом режиме напыления не образуется и не играет особой роли в сруктурообразовании [9]. Поэтому структурные углубления здесь самые минимальные и их образование почти не зависит от давления ВПС. Подобное утверждение

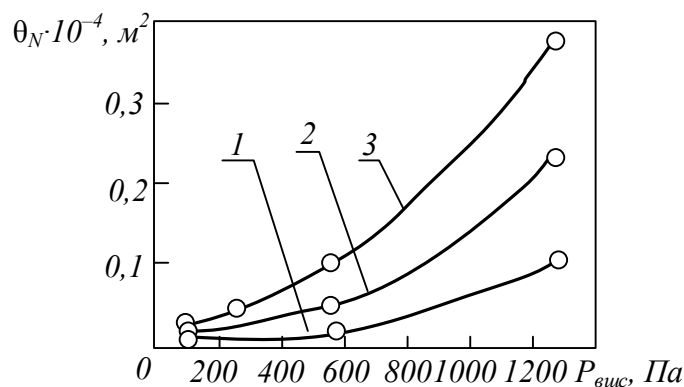


Рис. 4. Зависимость относительного количества структурных углублений напыленного слоя шихты от давления ВПС; уравнения регрессии для различной влажности шихты: 1 – $W_{ш} = 5,5\%$ ($y = 0,0237e^{0,0023x}$, $R^2 = 0,9921$, $y = \theta_N \cdot 10^{-4}$, $x = P_{впс}$); 2 – $W_{ш} = 7,5\%$ ($y = 0,0163e^{0,0022x}$, $R^2 = 0,9996$); 3 – $W_{ш} = 9,5\%$ ($y = 0,0079e^{0,002x}$, $R^2 = 0,9801$)

можно отнести к пористости НС, формируемой в глубине слоя. При влажности шихты 7,5 и 9,5 % образуется подвижная шихтовая пульпа [8], которая облегчает деформацию шихты на ее поверхности и приводит к появлению крупных шихтовых наплывов и структурных углублений, доступных для визуального наблюдения и инструментального измерения.

Параметр θ_N характеризует количество концентрических структурных углублений на поверхности напыленного слоя шихты в зависимости от давления $P_{\text{внс}}$ (рис. 4). До значения $P_{\text{внс}} = 500 - 600$ Па рост параметра θ_N происходит более медленно, чем при $P_{\text{внс}} > 600$ Па (при $W_{\text{ш}} = 7,5\%$ и $W_{\text{ш}} = 9,5\%$). Это объясняется тем, что с ростом параметра $P_{\text{внс}}$ интенсивность роста количества структурных углублений существенно превышает рост площади напыленного слоя $f_{\text{нс}}$ и его диаметра d . Причем с ростом влажности шихты с 5,5 до 9,5 % параметр θ_N возрастает почти в 4 раза при $P_{\text{внс}} = 1280$ Па. При формировании напыленного слоя шихты, полученного при $W_{\text{ш}} = 5,5\%$ и $P_{\text{внс}} < 800 - 1000$ Па, значение параметра θ_N близко к нулю.

Характер и размеры шихтовых наплывов и структурных углублений и механизм структурообразования существенно зависят от давления ВШС, оказываемого на поверхность НС. Полное давление ВШС включает динамическое (скоростное) давление движущегося потока и статическое (неподвижное) заторможенного газа на поверхности преграды [13]. Причем эпюры распределения динамического и статического давлений существенно отличаются друг от друга по диаметру НС. Динамическое давление на оси НС при $\beta = 90^\circ$ равно нулю, после чего возрастает до максимального значения примерно на половине радиуса НС (зона II), затем плавно убывает до минимума в зоне III. Динамическое давление измеряется у воздушного потока, движущегося вдоль (параллельно) поверхности НС [8, 13].

Движущийся поток газов и частиц испытывает при движении сопротивление со стороны НС за счет сил трения. По этой причине поверхностная зона НС подвергается сдвиговым нагрузкам [8, 9]. Перед напылением ровная и относительно гладкая поверхность ШГ во время напыления видоизменяется и становится шероховатой, формируются шихтовые наплывы и структурные впадины, форма НС становится конусообразной [8]. Можно утверждать с высокой долей вероятности, что давление ВШС снижается из-за повышенного сопротивления микрорельефа поверхности НС. Характер формирования макроструктуры НС в динамическом состоянии можно визуально зафиксировать при видеосмотре и при достаточном увеличении.

После снятия баронагрузки со стороны ВШС макроструктура поверхности НС в статическом состоянии может измениться, поскольку подвижная шихтовая пульпа разглаживается и выравнивается, частично заполняя структурные углубления. Этими причинами во многом можно объяснить различные особенности формирования шихтовых наплывов и структурных углублений в каждой зоне НС в зависимости от давления ВШС. Частицы и шихтовые коагулянты, внедряющиеся с высокой скоростью в поверхность жидкотекучего НС, способны сформировать волновое движение шихтовой пульпы. Если в НС внедряется массивный коагулянт, то волновое движение будет определяющим. Одновременно с этим поток газа-носителя на поверхности НС поворачивает на угол 90° и при движении вдоль поверхности НС усиливает волновое движение, формирует на ней волнообразные шихтовые наплывы и характерные структурные углубления, хорошо заметные при видеосмотре.

После снятия баронагрузки шихтовая пульпа частично растекается, макроструктура поверхности НС меняется и размер структурных углублений уменьшается. Уровень этих процессов оценить затруднительно, и анализировать макроструктуру НС можно только в статическом состоянии после снятия баронагрузки. При повышенных давлениях ВШС (свыше 1400 – 1600 Па, $W_{\text{ш}} > 7,5 - 9,5\%$) поток воздуха и ускоренные частицы шихты способны не только сформировать шихтовую пульпу, но и выдавить ее из зоны I НС в зону II НС (рис. 2, з). При этом в центре НС образуется пустотелое полусферическое углубление, которое является устранимым дефектом. В теории гидродинамики указывается на то, что наличие полости и ее форма способны усилить силовое воздействие на НС [13, 14]. Отмеченное объясняет определяющее влияние гидродинамики шихтовой пульпы на структурообразование НС.

В зоне II НС (рис. 2, б) динамическое давление газа-носителя максимальное, а статическая составляющая полного давления минимальная. Количество шихтовой пульпы в этой зоне уменьшается или отсутствует полностью при $P_{\text{внс}} < 600 - 800$ Па и $W_{\text{ш}} < 7,5\%$. Одной из причин этого является бародиффузионное влагоудаление с поверхности НС, усиливающееся с ростом температуры газа-носителя [8]. Поэтому шихтовые наплывы образуются путем сдвига поверхностных слоев НС не только подвижной пульпы, но и сдвигом влажной и пластичной шихты в направлении движения ВШС. Структурообразованию способствует создание барьеров и неровностей на пути движения частиц за счет

сил трения. На формирование размеров напылов и углублений оказывает влияние теневой эффект [9].

В зоне III НС все составляющие полного давления ВШС имеют минимальное значение. Напыленный слой шихты в этой зоне состоит преимущественно из слабосвязанных шихтовых конгломератов пониженной влажности $W = (0,85 - 0,95)W_{ш}$, которые сформированы преимущественно из разрушившихся гребней напылов, на поверхность которых налипли частицы ВШС. По этой причине прочностные параметры НС имеют минимальное значение. В источниках [8, 9] зону III НС предлагается исключить из процесса зародышеобразования технологическими способами.

Первый механизм образования пористости основан на том, что шихтовые напылы надвигаются друг на друга под динамическим давлением ВШС. Воздушная полость (пора) в наибольшей степени вероятности может образоваться в основании структурного углубления, где наиболее сильное сцепление шихтового напыла с основой. Силами, препятствующими отрыву напыла от основы, являются силы капиллярного и межчастичного взаимодействия, силы вязкого трения [8, 9]. Гребень напыла, находящийся под динамическим давлением ВШС, напротив, обладает более высокой подвижностью и деформацией в силу особой геометрической формы и потому может перекрыть пустоту в зоне, недоступной для давления ВШС. В силу разных причин он может обломиться и вклиниться всей массой в полость углубления.

Если шихтовые напылы не обладают достаточной подвижностью, необходимой для развития первого механизма порообразования, то возможен другой механизм образования пустот – путем механического перекрытия структурных углублений напыляемой шихтой. Этот механизм особенно вероятен в зоне I, где ширина углублений не превышает 0,1 – 0,5 мм и соизмерима с размерами напыляемых частиц и массивных коагулянтов. Возможность такого развития событий подтверждают результаты работ [15, 16], в которых доказана возможность создания упрочняющего каркасного перекрытия для заживления дефектов и пустот НС методом газовой напыления.

Не исключен и комбинированный механизм образования пористости по обоим указанным механизмам. Поскольку механизм напыления носит слоевой характер, то в процессе уплотнения НС в глубине слоя возможно продолжение порообразования по пути уменьшения размеров пор, их удлинения, сфероидизации и др. Ввиду сложности этих процессов, протекающих в ди-

намическом состоянии и в закрытой системе, все описанные механизмы имеют вероятностный характер.

Выводы. Предложен вероятный механизм порообразования окатышей с учетом макроперемещений шихтовой пульпы в условиях динамического воздействия воздушношихтовой струи на шихтовую массу напыленного слоя. Показано влияние характеристик шихты на структурные изменения в объеме напыленного слоя, ответственных за порообразование окатышей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2015. – 334 с.
2. Павловец В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2014. – 345 с.
3. Интенсификация производства и улучшение качества окатышей / Ю.С. Юсфин, Н.Ф. Пашков, Л.К. Антоненко и др. – М.: Металлургия, 1994. – 240 с.
4. Ожогин В.В. Основы теории и технологии брикетирования измельченного металлургического сырья. – Мариуполь: изд. ПГТУ, 2010. – 442 с.
5. Маерчак Ш. Производство окатышей. – М.: Металлургия, 1982. – 232 с.
6. Кудинов В.В., Бобров Г.В. Нанесение покрытий напылением, теория, технология и оборудование. – М.: Металлургия, 1992. – 412 с.
7. Газотермическое напыление / Л.Х. Балдаев, В.Н. Борисов, В.А. Вахалин и др. – М.: Маркет ДС, 2007. – 344 с.
8. Павловец В.М. Расширение функциональных возможностей агрегатов для подготовки железорудного сырья к металлургической плавке. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2016. – 373 с.
9. Павловец В.М. Развитие техники и технологии окомкования железорудного сырья в металлургии. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2019. – 386 с.
10. Павловец В.М. Исследование теплосиловых режимов напыления влажной шихты, предназначенных для принудительного зародышеобразования // Изв. вуз. Черная металлургия. 2009. № 6. С. 9 – 13.
11. Павловец В.М. Исследование процесса получения влажных окатышей с использованием принудительного зародышеобразования // Изв. вуз. Черная металлургия. 2010. № 6. С. 15 – 20.
12. Гнездовец А.Г., Калита В.И. Модель формирования макроструктуры покрытий при

- плазменном напылении // Физика и химия обработки материалов. 2007. № 1. С. 30 – 39.
- 13.** Павловец В.М. Прикладная механика жидкости и газа. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2009. – 216 с.
- 14.** Швыдкий В.С. Механика жидкости и газа / В.С. Швыдкий, Ю.Г. Ярошенко, Я.М. Гордон и др. – М.: Металлургия, 2003. – 464 с.
- 15.** Павловец В.М. Сравнение способов получения комбинированных окатышей путем напыления шихты низкотемпературными струями сжатого воздуха // Изв. вуз. Черная металлургия. 2005. № 6. С. 11 – 17.
- 16.** Павловец В.М. Исправление дефектов на поверхности окатышей напылением влажной железорудной шихты на слой комкуемых материалов // Изв. вуз. Черная металлургия. 2008. № 6. С. 3 – 8.

© 2019 г. *В.М. Павловец*
Поступила 3 сентября 2019 г.

Е.С. Достов¹, С.Г. Коротков², И.В. Анищенко¹

¹ООО «Прокопьевский горно-проектный институт»

²Сибирский государственный индустриальный университет

ВЛИЯНИЕ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА УГЛЯ НА КАЧЕСТВО КОКСА

Кокс является важнейшим компонентом для работы доменных печей. Сгорая в доменной печи, кокс дает тепло, т.е. является топливом, а также восстанавливающим агентом. Для получения кокса хорошего качества используют, в основном, высококачественные коксующиеся угли [1]. Качество кокса зависит от содержания в нем углерода, условий коксования и предварительной обработки, а также от качества угля. Во всем мире на многих коксовых заводах в промышленных масштабах применяются методы предварительной обработки материалов для получения кокса, такие как предварительный нагрев, смешивание брикетов, загрузка шихты с трамбованием, групповое дробление и другие [2].

К концентратам для коксования предъявляют следующие требования: спекаемость (коксующая способность) должна быть достаточной для участия данного концентрата в общей шихте; зольность – находиться в пределах, допустимых для данной марки угля; содержание серы должно быть минимально допустимым.

Коксующиеся угли в отличие от других при нагревании без доступа воздуха переходят в пластическое состояние и спекаются [3]. Поскольку угли Кузнецкого бассейна очень разнообразны по своим технологическим свойствам и генетическим характеристикам, особое внимание должно уделяться методам их предварительной обработки на различных металлургических комбинатах с целью оптимизации потребления [4, 5].

Добываемые в шахтах и разрезах угли представляют собой многокомпонентную смесь органических и неорганических частей угольных пластов и различных примесей, попадающих в эту смесь из прослоек угольного пласта вмещающих его пород в процессе добычи и транспортировки. Компоненты в составе угля имеют различную твердость, поэтому при измельчении, как правило, в мелкие фракции выделяются менее твердые компоненты, а в крупные фракции – более твердые [6, 7].

Коксуемость материала различных фракций отличается, поэтому данный фактор является одним из основных в исследовании методом

«дифференцированного (выборочного) грохочения». Метод основан на принципе селективного (выборочного) дробления и направлен на контроль степени раздробленности различных компонентов угля, а также степени раскрытия сростков полезного компонента.

Дифференцированное (выборочное) грохочение является инновационным методом, при помощи которого смешиваемый уголь подвергается нетрадиционному процессу грохочения с выделением ряда фракций. За счет улучшения свойств угольных фракций возможно улучшить качество кокса.

Для проведения исследования в качестве сырья были отобраны 6 проб угля различных угледобывающих предприятий Кузнецкого бассейна. Многообразие свойств и качественных отличий углей определяет необходимость учета и диагностики его свойств для выбора рациональных способов его подготовки и использования [8]. Для всех углей определялись зольность и содержание летучих веществ (индекс вспучивания в тигле (CSN), максимальная текучесть и температурные границы пластичности), петрографические свойства (содержание реактивных (витринит и полувитринит) и инертных компонентов) [3, 6]:

Образец угля.....	1	2	3	4	5	6
Зольность, %.....	17,9	10,1	14,1	14,2	9,8	8,8
Содержание летучих, %.....	18,57	21,90	24,60	22,71	20,78	30,90
Макс. текучесть, кд/мин.....	405	721	3420	95	54	5
CSN.....	4,5	9,0	5,0	8,0	8,0	4,5

Затем каждая проба проходила стадию дробления. После дробления уголь просеивали через сито с различными размерами ячеек: +3,2, -3,2 +1,6, -1,6 +0,8, -0,8 +0,5, -0,5 +0,2 и -0,2 мм (рис.1). Каждую пробу готовили отдельно, после чего осуществляли анализ коксуемости каждой пробы (фракции) с целью выделения фракции, имеющей наиболее высокий показатель коксуемости, с последующим добавлением ее в шихту.

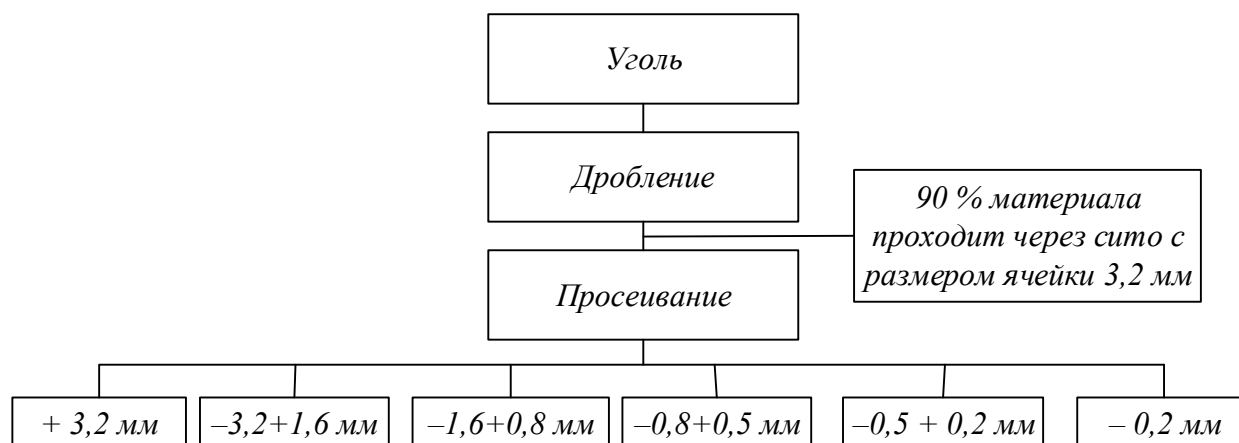


Рис. 1. Дробление и дифференцированное грохочение угля

Из каждой пробы угля выделяли по шесть фракций различной крупности, которые далее отправляли на анализ их свойств.

Технический анализ фракций проводился в соответствии с ГОСТ 33625 – 2015. Вспучиваемость углей оценивали по индексу вспучивания в тигле (CSN) по ГОСТ 20330 – 91. Текучесть определяли в пластометре Гизелера с постоянным крутящим моментом (ГОСТ 32561 – 2013). Петрографический состав определяли по ГОСТ 9414 – 74 [3, 5].

Рис. 2 и 3 показывают колебания зольности и содержания летучих веществ в зависимости от фракции проб угля. Видно, что в общем зольность уменьшается при уменьшении крупности фракции. Это объясняется сосредоточением более твердых минеральных частиц и более инертных компонентов во фракциях большей крупности. Установлено, что при увеличении крупности фракции содержание летучих веществ уменьшается.

Рис. 4 показывает изменение индекса вспучивания в тигле в различных фракциях различных типов углей. Было отмечено, что индекс CSN имеет максимальное значение в самой мелкой фракции (–0,2 мм).

В табл. 1 отражена максимальная текучесть для различных фракций шести типов углей. Установлено, что значение максимальной текучести возрастает по мере снижения крупности фракций до определенного момента, а затем начинает снижаться.

По анализам состава петрологическим методом для большинства типов углей, а именно для проб 1, 3, 4 и 6, максимальное содержание реактивных частиц достигается во фракции –0,5 +0,2 мм. Для двух других проб углей (2 и 5) это значение максимально в самых мелких фракциях. По инертным компонентам ситуация прямо противоположная. В целом сделан вывод, что по мере снижения крупности фракций (от крупных до мелких) свойства большинства типов углей улучшаются. При нагревании реактивные мацеллярные витринит и экзинит размягчаются, связывают инертные компоненты, а затем повторно затвердевают в кокс. Поскольку содержание реактивных компонентов в мелких фракциях выше, соответственно и их пластические характеристики улучшаются [7].

Ряд испытаний на коксуемость проводился в лабораторной печи (вместимостью 7 кг), работающей с трамбованием загрузочной шихты. Подготовку шихты проводили двумя способами.

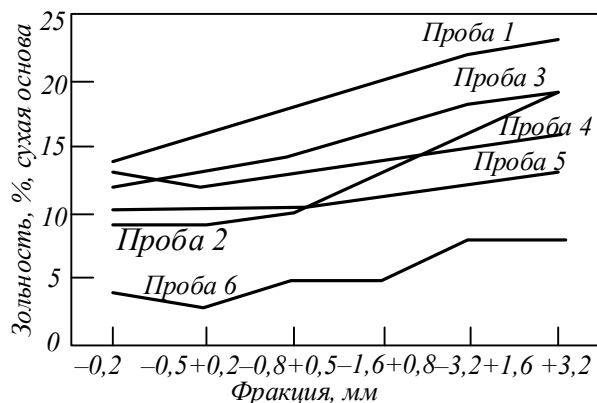


Рис. 2. Изменение зольности в различных фракциях шести проб углей

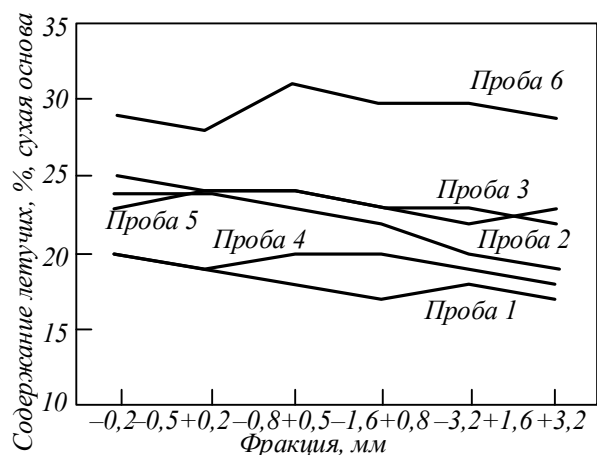


Рис. 3. Изменение содержания летучих веществ в различных фракциях шести проб угля

В первом случае использовали шихту, полученную традиционным грохочением, при котором материал дробится и затем смешивается. Во втором случае часть угля/угольной шихты заменяли определенной фракцией, полученной в ходе проведения дифференцированного (раздельного) грохочения. Воду добавляли в шихту для получения материала определенной влажности. Угольные брикеты прессовали до объемной плотности 1150 кг/м^3 . Печь разогревали до температуры $900 \pm 5^\circ\text{C}$, затем в нее загружали готовую шихту. После 5 ч коксования горячий кокс выталкивался и остужался водой. Испытания на коксование проводились для изучения влияния отдельных фракций угля в условиях загрузки шихты. Для проб кокса в основном проводился анализ на его горячую прочность (CSR) и реакционную способность (CRI). Качество полученного кокса сравнивали исходя из результатов анализа его свойств.

Индексы CSR и CRI отобранных проб кокса определяли в соответствии с ГОСТ Р 54250 – 2010 (ИСО 18894:2006). Подготовленная для испытаний порция кокса массой 200 г крупностью 19 – 22 мм нагревалась в камере реактора

до 1100°C в атмосфере азота. Для проведения испытания атмосферу азота заменяли на диоксид углерода на 2 ч. После испытания реакционную камеру остудили приблизительно до 50°C в атмосфере азота. В течение двух часов выделялся диоксид углерода со скоростью 5 л/мин.

Показателем реакционной способности является разность масс порций кокса до и после реакции с диоксидом углерода, выраженная в процентах от массы порции до реакции. Оставшийся (непрореагировавший) кокс помещали на 30 мин в барабан специальной конструкции, делающий 600 оборотов за 30 мин. После этого кокс просеивали через сито с размером ячейки 10 мм, а процентная доля фракции +10 мм принималась за показатель прочности кокса CSR.

Исходя из свойств фракций были разработаны испытания на коксуемость. При исследовании коксуемости каждый тип угля коксовался отдельно, а качество полученного кокса оценивалось по индексу прочности CSR. Затем часть угля этого же типа замещалась наиболее качественными фракциями, выделенными из него, и выполнялось коксование полученной шихты. Качество кокса анализировалось в обоих случаях.

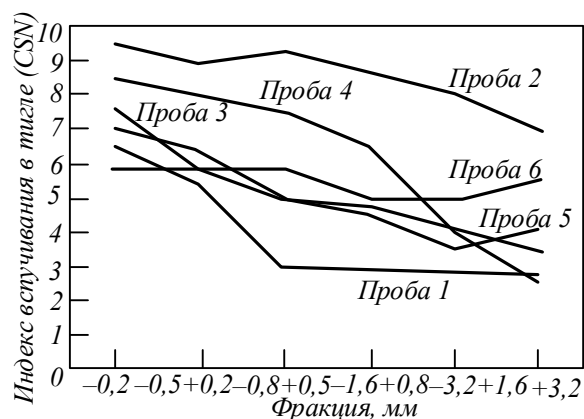


Рис. 4. Изменение индекса вспучивания в тигле (CSN) в различных фракциях шести проб угля

Текущность различных фракций углей

Крупность фракции, мм	Значение текущести, кд/мин, для пробы					
	1	2	3	4	5	6
+3,2	8	31	1602	202	3	25
-3,2+1,6	10	71	1473	178	8	30
-1,6+0,8	89	243	3105	371	10	15
-0,8+0,5	85	157	3420	275	45	28
-0,5+0,2	723	201	5437	491	349	32
-0,2	438	41	1830	131	51	7

Для проведения испытаний использовали пробы угля 1 и 6, относящегося к маркам коксовые и жирные [9]. Результаты испытаний внесены в табл. 2. Коксование пробы 1 проводилось с трамбованием загрузочной шихты (в табл. 2 шихта 1). Затем 10 % пробы 1 замещалось выделенной из угля этой пробы фракцией $-0,5 + 0,2$ мм, и полученная шихта (в табл. 2 шихта 2) коксовалась. После проведения анализа выявлено, что индекс CSR кокса шихты 2 повысился. Схожее испытание проводилось с пробой 6. Было установлено, что при замещении определенной доли угля фракцией $-0,8 + 0,5$ мм качество кокса улучшалось (в табл. 2 шихта 3 и 4).

Шихта 5 является рыночным продуктом, используемым на коксовом заводе. В его состав входит 10 % угля из пробы 1. В шихте 6 уголь пробы 1 замещался выделенной из него фракцией $-0,5 + 0,2$ мм, в результате чего наблюдалось улучшение коксуемости шихты.

Все испытания проводились неоднократно, средние значения регистрировались. Получен-

ные результаты говорят о том, что предварительная подготовка угольной шихты является важным фактором для ее гомогенизации – уменьшения степени неоднородности. Также установлено, что необходимое значение индекса прочности кокса CSR возможно достигнуть путем замещения части определенного угля выделенной из него фракцией определенной крупности, что позволяет улучшить индекс CSR той же шихты.

Выводы. Коксовый уголь является очень ценным продуктом. Он имеет определенный химический состав и свойства, что придает ему способность спекаться и коксоваться. При этом коксуемость различных фракций угля отличается, что обусловлено колебаниями содержания реактивных и инертных компонентов в составе фракций [9]. Метод дифференцированного (раздельного) грохочения позволяет улучшить качество кондиционного металлургического кокса за счет использования в шихте угольных фракций с наилучшими свойствами.

Результаты испытаний на коксуемость

Шихта	Содержание	Свойства шихты		Свойства кокса			
		Зольность, %	Содержание летучих веществ, %	CSR	CRI	Зольность (сухая основа), %	Содержание летучих веществ (сухая основа), %
1	100 % пробы 1	17,90	18,57	50,1	29,8	22,1	0,60
2	90 % пробы 1 и 10 % выделенной фракции из пробы 1 ($-0,5 + 0,2$ мм)	16,54	18,89	54,1	27,6	19,9	0,70
3	100 % пробы 6	8,80	30,90	43,8	41,1	9,3	0,3
4	90 % пробы 6 и 10 % выделенной фракции из пробы 6 ($-0,8 + 0,5$ мм)	4,85	31,50	48,7	37,9	6,88	0,11
5	Коммерческая шихта + 10 % пробы 1	17,70	21,05	54,9	33,7	19,5	0,5
6	Коммерческая шихта + 10 % выделенной фракции из пробы 1	16,90	22,10	56,8	31,2	18,3	0,52

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Техника и технология углей. Справочное руководство / В.В. Беловолов, Ю.Н. Бочков, М.В. Давыдов и др.; под ред. В.А. Чантурия, А.Р. Молявко. – М.: Наука, 1995. – 622 с.
2. Шмельцер Е.О., Лялюк В.П., Соколова В.П. Исследование влияния подготовки угольных шихт на качество металлургического кокса // Вестник Приазовского государственного технического университета. 2015. Т. 1. Вып. 30. С. 26 – 36.
3. Стандартные методы испытания углей. Классификация углей / И.В. Августкевич, Т.М. Броневец, Г.С. Головин, Е.И. Сидорук, Л.В. Шуляковская. – М.: НТК «ТРЕК», 2008. – 368 с.
4. Антипенко Л.А. Технологические регламенты обогатительных фабрик Кузнецкого бассейна. – Новокузнецк: Сибирский научно-исследовательский институт углеобогащения, 2003. – 427 с.
5. Федорова Н.И., Заостровский А.Н., Зубакина В.А., Исмагилов З.Р. Химико-технологические свойства каменных углей Кузбасса // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2015. № 5. С. 121 – 125.
6. Ерёмин И.В., Арцер А.С., Броневец Т.М. Петрология и химико-технологические параметры углей Кузбасса. – Кемерово: Притомское, 2001. – 399 с.
7. Scot A.C. Coal petrology and the origin of coal macerals: a way ahead? // International Journal of Coal Geology. 2002. No. 50. P. 119 – 134.
8. Антипенко Л.А., Кирюхин Ю.Е., Кириченко А.В., Силютин С.А. Техника и технология обогащения углей. – Прокопьевск: Прокопьевское полиграфическое производственное объединение, 2008. – 330 с.
9. Федорова Н.И., Заостровский А.Н., Исмагилов З.Р. Физико-химические свойства низкометаморфизованных длиннопламенных углей Кузбасса // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2015. № 5. С. 126 – 130.

© 2019 г. *Е.С. Достов, С.Г. Коротков,
И.В. Анищенко*
Поступила 12 сентября 2019 г.

Е.Л. Медиокритский

Представительство МАНЭБ в Польше

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ В ПОЛЬШЕ И НЕ ТОЛЬКО

В работах [1 – 3] выполнена экспертная оценка польского и российского опыта уничтожения, утилизации и захоронения твердых бытовых отходов (ТБО), которая, отражая эволюцию этой проблемы, позволила сделать ряд выводов и предложить концепцию по решению проблемы утилизации ТБО в Польше.

В странах, входящих в Европейский Союз, утилизируется более 50 % всех получаемых ТБО [4]. Проблема весьма актуальна для Польши, так как в малых городах, поселениях, селах и деревнях, объединяемых Гминами и Повятами, она решается по-разному. Каждый Повят включает 4 – 8 Гмин с населением 20 – 80 тыс. человек (в крупных городах больше). В Польше около 2500 городских и сельских Гмин, входящих в 380 Повятов, имеющих более 1000 мусорных полигонов и свалок площадью свыше 3000 га для приема ТБО. Однако только 2 % ТБО утилизируется компостированием (5 мусороперерабатывающих заводов (МПЗ) и сжиганием (совместное компостирование и сортировка на единственном многофункциональном мусоросжигающем заводе (МСЗ) в Варшаве). Новые международные директивы, касающиеся утилизации ТБО, требуют, чтобы полезные компоненты вторично использовались и полностью перерабатывались.

Известно, что проблему утилизации ТБО решали и решают по нескольким направлениям.

– Первое – сжигание. Считалось, что этот метод является решением проблемы уничтожения ТБО. Однако при эксплуатации МСЗ образуются большие количества вредных выбросов и отходов. Эксплуатационные расходы МСЗ очень высоки. Инвестиции в сооружение МСЗ мощностью 400 тыс. т ТБО/год составляют по данным фирмы «Имабе-Иберика» не менее 200 – 400 млн. евро.

– Второе – компостирование. Мусороперерабатывающие заводы (МПЗ) для компоста не получили широкого распространения и не стали экономически оправданными предприятиями в первую очередь из-за большого количества стекла в компосте. Инвестиции в строительство и эксплуатацию МПЗ на порядок меньше, чем в МСЗ, и составляют десятки млн. евро.

– Третье – традиционные свалки и полигоны, занимающие огромные площади часто плодородных земель. К этому необходимо добавить неприятные запахи, газы, загрязнение земель и водоносных слоев, присутствие птиц и грызунов, являющихся опасными разносчиками заразы и болезней.

– Четвертое – быстро развивающаяся технология утилизации ТБО путем глубокого прессования в брикеты после сортировки отходов, которое является выгодной альтернативой всем трем предыдущим. Учитывая прогрессирующее увеличение объема образуемых ТБО на душу населения (1 кг в день и более) и увеличение расстояния между крупными центрами их образования и предприятиями по их захоронению, факторы транспортировки и экономии земельных площадей становятся решающими.

В работе [1] показаны преимущества метода глубокого прессования с сортировкой. Исходя из сказанного, метод глубокого прессования с сортировкой обладает наилучшими экологическими показателями при сравнении с перечисленными выше методами утилизации ТБО. Энергоемкость этого метода намного меньше энергоемкости методов компостирования и сжигания, соотношение их энергоемкости приблизительно 1:10:100.

Во многих странах (Швеция, Швейцария, Германия, Испания, Франция, Великобритания, Португалия, Мексика, Аргентина, Чили, Марокко и т.д.) для крупных и средних городов проблема утилизации ТБО решена за счет широкого применения крупных мусоросортировочных комплексов (КМСК) и многофункциональных мусоросжигательных заводов (МСЗ). Инвестиции в такие проекты значительно уступают в сравнении с постройкой и эксплуатацией МСЗ и МПЗ равной производительности.

Для Гмины или группы Гмин наилучшим вариантом является эксплуатация малого мусоросортировочного комплекса (ММСК), использующего метод глубокого прессования с сортировкой ТБО, производительностью от 5 до 25 тыс. т в год. Инвестиции в такой проект составляют от 100 до 500 тыс. евро (в зависимости от численности населения Гмины).

Таким образом, рассматриваемая проблема утилизации ТБО в условиях Польши может быть решена путем использования ММСК и КМСК. Более конкретно эту концепцию можно выразить так: «Каждой Гмине свой ММСК, а группе Гмин – КМСК».

Большой интерес представляет опыт работы многофункционального мусоросжигающего завода (ZUSOK) [3], введенного в строй в сентябре 2001 г. в Варшаве и рассчитанного на переработку 126 тыс. т ТБО в год. Этот завод работает по технологиям западноевропейских фирм (в первую очередь, Германии), выполняет следующие функции: сортировку ТБО с частичным оборотом вторсырья, термическую переработку (сжигание) отходов, компостирование отходов органического происхождения и выработку электроэнергии. Эксплуатация Варшавского ZUSOK в течение 12 лет показала удовлетворительные результаты, хотя линия сортировки перерабатывала не более 60 тыс. т ТБО в год. Жалоб и волнений со стороны городского населения не наблюдалось. Однако в 2012 г. завод был передан частной фирме, которая, убедившись в невозможности реализации компоста для сельского хозяйства, поставила его на консервацию.

Необходимо отразить положительный опыт работы Прушковского завода коммунальных отходов [5, 6], на котором в 2009 г. был пущен в систему КМСК модуль для получения альтернативного топлива из коммунальных отходов. Ожидалось, что к 2014 г. этот завод по утилизации отходов полностью прекратит вывоз минеральных составляющих на полигон.

Уместно отметить, что к настоящему времени в ведущих странах Евросоюза путем утилизации, переработки и сжигания перерабатывается большое количество ТБО: в Швейцарии – 100 %; в Швеции – 99 %; в Германии – 90 % и т.д.

По данным работы [4] к 2011 г. Польша занимала в Евроунии последнее место по степени утилизации ТБО (92 % коммунальных отходов – захоранивались на полигонах и свалках). К настоящему времени положение улучшилось, но не намного. Не решена проблема воспитания населения в духе жесткой необходимости сегрегации ТБО.

Представленная концепция остается актуальной для большей территории Польши из-за финансовых возможностей самих Гмин. В случае финансовой поддержки со стороны Евроунии (ориентировочно в размере 600 млн. евро) возможно обеспечить всю территорию Польши перспективной технологией утилизации ТБО с получением альтернативного топлива из мусора.

По данным фирмы «ROCZNIK RECYKLING SYSTEM» (RRS) в Польше к 2019 г. функциони-

рует порядка 300 МСК; 60 из них было изготовлены этой фирмой. Польские машиностроительные заводы производят МСК любой производительности от 5 до 200 тыс. т ТБО в год.

В большинстве стран ЕС уже давно (с 1990 г.) используются различные методы утилизации ТБО: все идет на переработку. Эти методы (системы-схемы) являются не только добровольным решением отдельных частных компаний или людей, но и внедрены на муниципальном уровне. В странах Евросоюза решено, что к 2030 г. на свалках должно храниться не более 10 % отходов.

В Польше этот показатель очень высокий (более 60 %).

Несмотря на закон об утилизации и управлении ТБО (2013 г.) и изменения к нему, принятые через четыре года, согласно требованиям ЕС к 2020 г. Польша должна перерабатывать и готовить к повторному использованию не менее 50 % отходов по всей стране. Речь идет, в первую очередь, о пластиковых изделиях, металле, бумаге, картоне и стекле. По состоянию на 2017 г. Польша перерабатывала чуть более половины от необходимой нормы – 26 %, а динамика роста этого показателя слишком медленная – 0,7 % в год. Такими темпами перерабатывать 50 % отходов Польша сможет не раньше 2050 г. Вдобавок воспитание населения в духе неукоснительного соблюдения правил сегрегации ТБО по-прежнему недостаточное.

Швеция, например, с этой задачей справилась только за двадцать лет при населении 10 млн. человек и 4,5 млн. т собираемого мусора, перерабатываемого на 32 МПЗ.

В марте 2019 г. появилась информация [7] о результатах трехгодичной эксплуатации КМСК на Западе Польши в г. Жарах. Это предприятие (согласно рассмотренной концепции) забирает мусор из двух десятков сел и городков, в которых проживают около 200 тыс. человек. Завод перерабатывает 60 тыс. т отходов в год. За вывоз и переработку мусора каждый житель ежемесячно оплачивает 12,5 – 19,5 злотых (3,0 – 4,5 евро). Первый тариф – за сортированный мусор, второй – за несортированный. К 2020 г. тарифы возрастут в два раза.

Завод вблизи 40-тысячного города Жары справляется со смешанными и отсортированными отходами. Перед заездом на территорию каждый мусоровоз взвешивают, после чего он выгружает отходы на склад. Трактором мусор загружают в автоматическое устройство, которое разрывает пакеты и подает отходы на специальную линию.

Большинство процессов на заводе автоматизировано, но некоторые операции выполняются вручную. На первой линии сортировки задей-

станованы только два человека, которые забирают с конвейера крупногабаритные предметы. Далее в специальные контейнеры работники сортировочного участка отбирают большие стеклянные, металлические и деревянные отходы. Это делается для того, чтобы такие предметы не блокировали сита, которые разделяют отходы. Рабочий процесс на предприятии контролирует оператор линии с помощью системы видеонаблюдения.

В «сердце» завода расположены десятки конвейерных лент и специальные сепараторы, которые «отбирают» свой тип мусора. На данном этапе отходы сортируют на несколько фракций: бумага, картон, стекло, пластик, металл. Это сырье используется еще раз, поэтому его отправляют на предприятия по глубокой переработке ТБО. Очищенные от металла органические отходы поступают в специальные закрытые тоннели. Здесь мусор превращается в компост. Уже существуют конструкции-емкости с принудительной подачей кислорода, позволяющие резко сокращать время всего процесса компостирования.

Рядом с предприятием не ощущается неприятных запахов: отработанный воздух пропускают через специальные биофильтры, которые заменяют каждые три года. Благодаря современному оборудованию завода после обработки на полигон поступает 20 – 25 % отходов.

Жители Польши имеют возможность не сортировать мусор, но налог за его вывоз сразу увеличивается в три раза. Утилизацией в государстве занимаются Гмины – административные волости. У каждой Гмины свои правила по сортировке и вывозу отходов. В зависимости от этого у многоквартирного/частного дома устанавливается свой определенный набор контейнеров. Среди частных организаций раз в три года Гмины проводят тендеры на вывоз и утилизацию мусора. Эти компании должны обеспечить жилые дома:

- контейнерами для вторсырья;
- ежедневным экспортированием бытовых отходов машинами, оборудованными GPS для отслеживания их перемещения в режиме онлайн и электронными весами;
- контролем за добросовестностью выполнения жителями условий по сортировке мусора.

При попадании в контейнеры несортированного мусора водитель машины должен заявить о нарушении в соответствующие административные органы. Все жильцы дома, возле которого был обнаружен бак со смешанными отходами, должны будут заплатить штраф. Однако сообщений о реализации полностью перечисленных условий пока не поступало.

К середине 2019 г. появились новые сообщения о ситуации с утилизацией и управлением ТБО в России, Китае и других странах. В 2017 г.

в России функционировали 243 мусороперерабатывающих завода, 50 мусоросортировочных комплексов и 10 мусоросжигательных заводов. При этом свалками заняты семь миллионов гектаров земли. Ежегодно на них вывозят свыше 250 млн. м³ только ТБО. По статистике, за 2015 г. из жилых зон вывезли 282,3 млн. м³ твердых бытовых отходов. На мусоросжигательные заводы было направлено только 2,4 %, на перерабатывающие объекты – 7 %, остальные 90,6 % (или 255,2 млн. т) отходов захоронили на свалках и полигонах.

По данным государственной корпорации «Ростех», являющейся крупнейшим участником рынка мусоропереработки в стране, на территории России скопилось более 30 млрд. т неупотребленных отходов. И их количество ежегодно увеличивается более, чем на 60 млн. т.

По подсчетам Министерства природных ресурсов России на каждого россиянина приходится по 400 кг отходов в год. Согласно статистике, в среднем российская семья, состоящая из четырех человек, выбрасывает за год около 150 кг разного рода пластмасс, примерно 100 кг макулатуры и около 1000 стеклянных бутылок.

В ближайшие годы должны быть введены в эксплуатацию еще 131 мусороперерабатывающих комплексов в рамках нацпроекта «Экология».

Интересное заключается в том, что Кузбасс и непосредственно г. Новокузнецк обладает уникальным опытом по утилизации ТБО и является примером для всей России и многих стран мира, который начался еще в далеком 2008 г. и успешно продолжается до настоящего времени. Это КМСК «Эко-Лэнд» вместе с прилегающим к нему полигоном для неупотребляющихся отходов [8], производительность которого составляет (по проекту) 200 тыс. т ТБО в год. Однако, благодаря проведенным двум модернизациям на Новокузнецком мусороперерабатывающем заводе, мощность его поднялась до 400 тыс. т ТБО в год, а численность работников, занятой ручной сортировкой, уменьшилась с 47 до 21 человек. Завод способен обеспечить высокой утилизацией ТБО весь юг Кузбасса. Достойный пример для подражания всей России и не только!

Рассмотрим другие примеры.

Можно привести некоторые выдержки из статьи С. Санникова на портале «Строительный эксперт» [9] и рассмотреть китайские инновационные методы утилизации мусора.

Мир уверен, что Китай на сегодня является главной мировой фабрикой товаров народного потребления. Однако далеко не всем известно, что в Китае тратятся огромные средства на внедрение передовых технологий по утилизации мусора.

Твердые бытовые отходы перестали быть «мусором», они стали ценным товаром, представляющим важный сегмент сегодняшнего китайского рынка товаров. Переработка этих материалов приносит Китаю экономический эффект, заключающийся в создании дополнительных рабочих мест и добавленной стоимости – части ВВП страны, образующихся в отраслях, производящих продукцию из вторичных материалов.

Однако более важен экологический эффект, состоящий, в основном, в сохранении природных ресурсов страны и энергии, а также в уменьшении выбросов в атмосферу планеты парниковых газов, способствующих процессу глобального потепления климата Земли.

Этот процесс налажен настолько хорошо, что в 2004 г. Китай превзошел США в качестве самого крупного производителя твердых бытовых отходов. Согласно прогнозам через 15 лет годовой объем ТБО в Китае возрастет еще на 150 % – с 190 млн. т в 2004 г. до 480 млн. т в 2030 г., что подтолкнуло правительство США к решению вывозить мусор в Китай, где сегодня работают десятки тысяч компаний, специализирующихся на утилизации и переработке отходов.

За последнее десятилетие объем ввозимого в КНР мусора вырос в десятки раз. По данным, предоставленным Комиссией по международной торговле Соединенных Штатов, с 2000 по 2014 гг. доходы от утилизации отходов, импортированных из США, увеличились с 750 млн. до 13,5 млн. долларов (почти в 20 раз). Благодаря более чем 20-летним усилиям в защите окружающей среды, Китай добился впечатляющих успехов.

В Китае сложился давний и богатый рынок вторичного сырья. Система сбора, сортировки, хранения и утилизации бытовых отходов, действующая в стране до Олимпийских Игр 2008 г., в ходе подготовки к ним была в корне модернизирована и ныне соответствует самым современным санитарным требованиям.

Государство стало рассматривать в качестве своей приоритетной цели реализацию программ по воспитанию общественного сознания в области бережного отношения к окружающей среде не на словах, а на деле.

Системно организован прием у населения различных видов отходов за плату с целью стимулирования его к сортировке ТБО и передаче этих отходов для использования. Так, в Пекинском метро еще в 2012 г. появились первые автоматы-сборщики пластиковых бутылок. За каждую выброшенную в утилизатор бутылку автомат зачисляет деньги на карточку поездок. За прошедший год таким образом было обработано 50 тыс. т бутылок.

Отсортированный домашний мусор подразделяется на: 1 – стеклянные бутылки; 2 – тонкий пластик; 3 – толстый пластик; 4 – картон; 5 – смешанный мусор; 6 – железные банки; 7 – бумага; 8 – полистирол; 9 – стекло; 10 – батареи; 11 – металл; 12 – органические отходы; 13 – упаковка «Тетрапак»; 14 – ткань; 15 – туалетный мусор.

Все ценные фракции выбираются на первоначальном уровне сбора и транспортировки. Можно сказать, что первичная сортировка начинается еще на площадке у подъезда многоэтажного дома.

В настоящее время основную работу по сортировке отходов осуществляют частные лица. Они скупают мусор в городских кварталах и перепродают его лицензированным утилизаторам на вес (алюминий, бумага, картон, пластик, резина, цветные металлы). Так, кипа старых газет стоит 62 цента, сломанная оргтехника – до 40 центов за кг, пара сношенной обуви – 12 центов, картон – 15 центов за кг.

По данным газеты Guardian только в Пекине таким видом бизнеса занимаются порядка 160 тыс. человек [10]. Они трудятся по 12 – 15 часов в день, зарабатывая таким образом несколько сотен юаней в месяц.

Острый дефицит пахотной земли и перенаселенность в Китае обостряют проблему отвода территорий под полигоны ТБО. Хотя их количество ежегодно существенно сокращается, в стране имеется 372 действующих полигона с общей приемной пропускной способностью 194 700 т/день.

Утилизация свалочного газа приносит значительную пользу окружающей среде, сокращая загрязнение и выбросы парниковых газов. Свалочный газ также используется для выработки электроэнергии. Мусор, привезенный на полигон, ежедневно накрывается специальной пленкой. На территории полигонов и в его окрестностях совершенно отсутствуют запахи отходов, нет птиц.

В последнее время ученые из Нидерландов представили КНР последние разработки в сфере переработки отходов – улучшенную технологию, которая без предварительной сортировки, в рамках одной системы, разделяет и очищает все отходы, которые туда поступают, до первоначального сырья.

Система полностью перерабатывает все виды отходов (медицинские, бытовые, технические) в закрытом цикле, без остатка. Сырье полностью очищается от примесей (вредных веществ, красителей и т. д.), пакуется и может быть использовано вторично. При этом система экологически нейтральна.

В КНР построен (на базе своей индустрии) и проверен завод, который успешно работает по данной технологии уже 10 лет в тестовом режиме. Мало того, уже построено 20 и строятся более 80 таких предприятий. На данный момент правительство Китая и китайский бизнес рассматривают вопрос о строительстве таких заводов не только на территории своей страны, но и за рубежом.

Китай уже давно пришел к выводу о необходимости крупномасштабного внедрения технологий переработки в повседневность. Цены на сырье и спрос на него растут по всей Азии, создавая тем самым экономические стимулы для развития экологического бизнеса.

В КНР полагают, что отходы должны приносить существенные доходы. Например, до 50 % всех ПЭТ-упаковок из Великобритании попадает в Китай и здесь же перерабатывается. До 60 % сырья при производстве бумаги в стране берется из макулатуры. Импорт макулатуры в КНР увеличился в пять раз и более: с 3,1 млн. т (1996 г.) до 19,6 млн. т (2006 г.) и выше.

Еще в 2008 г. в маленькой Эстонии [7] предприниматель, защитник природы, спортсмен Райнер Нылвак на своем примере доказал: бизнесмены могут не только зарабатывать деньги, но и делать мир вокруг лучше. Карьера защитника природы сложилась у бизнесмена случайно параллельно с основной деятельностью. Все дело в его убеждениях: его раздражала привычка людей бросать мусор мимо специальных урн.

На проблему окружающей среды Нылвак пытался обратить внимание местных властей, но слышал лишь многообещающие слова, а на деле все оставалось так, как было. В тот момент он понял: вдохновить людей может лишь его личный пример. Нылвак объявил о совершенно безумном плане: как самый обычный житель страны может очистить всю Эстонию от мусора за один день: третьего мая 2008 г. собрав команду единомышленников из четырех друзей, затем из 20-ти, после семимесячной подготовки 650 волонтеров по всей Эстонии под руководством автора идеи осуществили задуманное.

Выводы. Выполнена экспертная оценка опыта уничтожения, утилизации и захоронения твердых бытовых отходов (ТБО) в Польше и Российской Федерации. Показана эволюция решения этой проблемы. Сделан ряд выводов и предложена концепция по решению проблемы утилизации ТБО.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Медиокритский Е.Л., Бенедьцински Г., Цесля З., Сычѳв В.В. О проблемах утилизации и захоронения твердых бытовых отходов в России и Польше // Безопасность жизнедеятельности. 2000. Вып. 4. С. 47 – 49.
2. Медиокритский Е.Л., Миссон Е., Бенедьцински Г., Цесля З., Левандовский Р. О проблемах утилизации и складирования твердых бытовых отходов в Гмине Гродзиск Мазовецкий. – В кн.: Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда и окружающей среды. Межвуз. сб. науч. тр. Вып. 5. – Ростов н/Д.: РГАСХМ, 2001. С. 24, 25.
3. Медиокритский Е.Л., Капустинский Е., Колодзейчак А. Защита окружающей среды многофункциональным мусоросжигающим заводом в Варшаве. – В кн.: Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда и окружающей среды. Межвуз. сб. науч. тр. Вып. 6. – Ростов н/Д.: РГАСХМ, 2002. С. 90 – 92.
4. Медиокритский Е.Л., Богурадски К. О концепции решения проблемы управления отходами в Польше. – В кн.: Управление отходами – основа восстановления экологического равновесия в Кузбассе. Сб. докладов Первой Международ. научно-практ. конф. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2005. С. 16 – 19.
5. Jasiński A. Obecny i perspektywiczny rynek paliw alternatywnych – rynek odbiorców paliw alternatywnych [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://www.forum-dyktorow.pl/zipy/mat,wisla, 2011/A.Jasinski_Obecny_i_perspektywiczny_rynek_paliw_alternatywnych.pdf (Дата обращения 20.08.2019).
6. Kaćki W. Produkcja paliwa alternatywnego MZO w Pruszkowie. Zegrze 10-11.03.2011 [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://www.google.com/search?q=building-tech.com&rlz=1C1GCEU_ruRU819RU819&oq=building-tech.com&aqs=chrome..69i58j69i57j0l3j69i61.42641j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8 (Дата обращения 20.08.2019).
7. building-tech.com [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://www.google.com/search?q=building-tech.com&rlz=1C1GCEU_ruRU819RU819&oq=building-tech.com&aqs=chrome..69i58j69i57j0l3j69i61.42641j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8 (Дата обращения 20.08.2019).
8. Переработка твердых бытовых отходов – ООО «ЭкоЛэнд» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ecoland-nk.ru/> (Дата обращения 20.08.2019).
9. Санников С. Строители Урала и Сибири о точках роста строительной отрасли [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ardexpert.ru/article/9971> (Дата обращения 20.08.2019).
10. Guardian. Tania Branigan. 2015. 09 января [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.theguardian.com/profile/taniabranigan> (Дата обращения 20.08.2019).

РЕФЕРАТЫ

УДК 378.124

85 лет в системе высшего образования. К юбилею кафедры теплоэнергетики и экологии СибГИУ / Коротков С.Г., Темлянцев М.В., Стерлигов В.В. // Вестник СибГИУ. – 2019. – № 3 (29). – С. 3.

Приведены сведения из истории становления и развития кафедры теплоэнергетики и экологии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет». Рассмотрены основные вехи развития кафедры, сведения об учебно-методической и научной работе, достижениях ее сотрудников, студентов и выпускников. Ил. 8. Библ. 6.

Ключевые слова: кафедра, теплотехника, теплоэнергетика, экология, металлургия, научные исследования, учебный процесс, диссертация, достижения.

85 years in higher education. On the anniversary of the Chair of thermal engineering and ecology, Siberian State Industrial University / Korotkov S.G., Temlyantsev M.V., Sterligov V.V. // Bulletin of SibSIU. – 2019. – No. 3 (29). – P. 3.

History of the Chair of Heat Power Engineering and Ecology of the Siberian State Industrial University is provided. Milestones of the Chair development, information on employees, students and graduates academic and scientific achievements is considered. Fig. 8. Ref. 6.

Keywords: chair, heat power engineering, ecology, metallurgy, scientific research, education process, dissertation, achievements.

УДК 669.162.12:622

Использование порообразующих добавок растительного происхождения при производстве железосодержащего окучкованного сырья / Павловец В.М. // Вестник СибГИУ. – 2019. – № 3 (29). – С. 14.

Проведен анализ методов формирования пористости и структуры железосодержащих брикетов металлургического производства. Обосновано применение порообразующих добавок растительного происхождения (ПДРП), необходимых для формирования проницаемых малоизвилистых поровых каналов в структуре железосодержащих брикетов. Сформулированы требования к ПДРП. Получены экспериментальные данные по влиянию режима подготовки ПДРП на их структуру. Установлено влияние количества и размеров ПДРП на прочность и структуру брикетов. В результате анализа полученных экспериментальных данных (характеристик ПДРП, технология измельчения отходов растительного происхождения, режима формирования брикетируемой массы по условиям схватываемости и прессуемости, прочностные характеристики брикетов после брикетирования и термообработки) температуру обжига ограничили значением 500 °С, а количество ПДРП размером 0,1 – 0,6 мм установили на уровне 0,5 – 1,0 % (масс.). Эти параметры технологии брикетирования позволяют получить железшламовые брикеты нормативной прочностью более 45 МПа, общей пористостью более 40 %, в структуре которых преобладают открытые каналные поры. При использовании таких брикетов прогнозируется повышение их реакционной способности в ходе металлургической плавки. Ил. 7. Табл. 1. Библ. 10.

Ключевые слова: железосодержащие брикеты, порообразующие добавки растительного происхождения, пористость, прочность, структура.

Use of pore-forming additives of plant origin in technology of iron-containing agglomerated raw materials production / Pavlovets V.M. // Bulletin of SibSIU. – 2019. – No. 3 (29). – P. 14.

Analysis of methods of porosity and structure development of iron-containing briquettes of metallurgical production is carried out. Use of pore-forming additives of plant origin (PAPO), necessary for development of permeable low sinuous pore channels in structure of iron-containing briquettes is justified. Requirements to properties and characteristics of PAPO are stated. Experimental data on influence of PAPO preparation regime on structural characteristics of pore-forming additives are obtained. Influence of PAPO number and size on strength and structural characteristics of briquettes is established. Based on obtained experimental data, taking into account specified PAPO characteristics (technology of plant origin waste debris, briquette mass formation mode under conditions of setting and compressibility, strength characteristics of briquettes after briquetting and heat treatment) firing temperature was limited to 500 °C, and the number of PAPO of 0.1-0.6 mm was set at 0.5-1.0 % (mass). These parameters

of briquetting technology make it possible to obtain iron-slurry briquettes with strength of more than 45 MPa and total porosity of more than 40%, in structure of which open channel pores predominate, which make it possible to predict increase in reactivity of briquettes during metallurgical smelting. Fig. 7. Table 1. Ref. 10.

Keywords: iron-containing briquettes, pore-forming additives of plant origin, porosity, strength and structural characteristics.

УДК 621.78

Развитие теории и практики малоокислительных и малообезуглероживающих технологий нагрева стали / Темлянцев М.В., Коротков С.Г., Темлянцева Е.Н. // Вестник СибГИУ. – 2019. – № 3 (29). – С. 21.

Представлены основные результаты работы коллектива ученых кафедры теплоэнергетики и экологии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет» в области развития теории и практики малоокислительных и малообезуглероживающих технологий нагрева стали. Библ. 34.

Ключевые слова: металлургия, нагрев, сталь, малоокислительный нагрев, малообезуглероживающие технологии, достижения.

Development of theory and practice of low-oxidizing and low-carbonizing technologies for steel heating / Temlyantsev M.V., Korotkov S.G., Temlyantseva E.N // Bulletin of SibSIU. – 2019. – No. 3 (29). – P. 21.

The main results of the work of a scientists team of Chair of Thermal Power Engineering and Ecology of the Siberian State Industrial University in theory and practice development of low-oxidizing and low-carbonizing steel heating technologies are presented. Ref. 34.

Keywords: metallurgy, heating, steel, low-oxidation heating, low-carbon technologies, achievements.

УДК 502.174:662.613.53

Оценка возможности замены ископаемого топлива на pellets из древесных отходов (биотопливо) в условиях Кемеровской области / Михайличенко Т.А., Алшынбаев С.Д. // Вестник СибГИУ. – 2019. – № 3 (29). – С. 25.

Рассмотрены принципы энергетической и экологической стратегии Российской Федерации в области теплоэнергетики. Дана оценка перспектив и возможностей (плюсы и минусы) использования биотоплива в виде pellets в условиях Кемеровской области. Табл. 1. Библ. 5.

Ключевые слова: теплоэнергетика, возобновляемые и невозобновляемые энергоресурсы, альтернативное топливо, биотопливо, pellets, выбросы вредных веществ, проблемы электроснабжения труднодоступных поселений.

Assessment of possibility of replacing fossil fuel with pellets made of wooden waste (biofuel) in Kemerovo region / Mikhaylichenko T.A., Alshinbayev S.D. // Bulletin of SibSIU. – 2019. – No. 3 (29). – P. 25.

The principles of energy and environmental strategy of the Russian Federation in field of power engineering are considered. The prospects and opportunities (pros and cons) of biofuel application in the form of pellets in the Kemerovo region are evaluated. Table 1. Ref. 5.

Keywords: power system, renewable and non-renewable energy resources, alternative fuel, biofuel, pellets, emissions of harmful substances, problems of power supply of remote settlements.

УДК 669.162.12:622

Обсуждение механизма порообразования зародышей, сформированных принудительным зародышеобразованием в производстве окатышей / Павловец В.М. // Вестник СибГИУ. – 2019. – № 3 (29). – С. 29.

Проанализированы методы образования поровой структуры различного класса сформированных тел. Рассмотрены цели и задачи порообразования окучкованного металлургического сырья. Исследован и проанализирован вероятный механизм порообразования зародышей в технологии производства окатышей, ос-

нованной на принудительном зародышеобразовании. Показаны возможности технологии принудительного зародышеобразования в организованном структурообразовании окатышей. Сформулированы новые параметры структуры напыленного слоя шихты, позволяющие обобщить многочисленные экспериментальные данные в области структурообразования окатышей для широкого интервала давлений воздушношихтовой струи и влажности напыляемого материала. Разработана методика исследования обобщенных показателей пористости напыленного слоя шихты. На основе полученных данных сформулирован вероятный механизм порообразования и показаны методы регулирования поровой структуры окучкованного сырья. Ил. 4. Библ. 16.

Ключевые слова: железорудные окатыши, принудительное зародышеобразование, пористость, структурные изменения, шихтовые наплывы, структурные углубления.

Discussion on mechanism of pore development in nuclei formed by forced nucleation in production of pellets / Pavlovets V.M. // Bulletin of SibSIU. – 2019. – No. 3 (29). – P. 29.

The paper analyzes methods of forming pore structure of various classes of molded bodies. Goals and objectives of porosity generation in agglomerated metallurgical materials. Probable mechanism of porosity generation in nuclei of pellets production technology based on forced nucleation is investigated and analyzed. Possibilities of technology of forced nucleation of pellets organized structure generation are shown. Parameters of structure of deposited layer of charge are formulated, summarizing numerous experimental data in field of pellets structure generation for a wide range of pressures of air-charge jet and moisture of sprayed material. The author developed method for sprayed charge layer porosity generalized indicators study. Based on data obtained, a probable mechanism for porosity generation is formulated and methods for regulating pore structure of agglomerated raw materials are shown. Fig. 4. Ref. 16.

Keywords: iron ore pellets, forced nucleation, porosity, structural changes, charge flows, structural cavities.

УДК 62-663.7

Влияние фракционного состава угля на качество кокса / Достов Е.С., Коротков С.Г., Анищенко И.В. // Вестник СибГИУ. – 2019. – № 3 (29). – С. 36.

В статье описывается метод разделения угля с помощью дифференцированного (раздельного) грохочения, основанного на принципе селективного (выборочного) дробления. Определялись свойства угля различных угледобывающих предприятий Кузнецкого бассейна, после чего угли подразделялись на фракции с помощью грохочения. После грохочения повторно проводился анализ свойств углей, повторные испытания на коксование проводились в условиях загрузки с трамбованием шихты, основанные на свойствах индивидуальных фракций. В результате проведенного исследования был сделан вывод, что при добавлении в шихту определенных фракций угля возможно увеличить значение индекса прочности кокса CSR. Ил. 4. Табл. 2. Библ. 9.

Ключевые слова: кокс, дифференцированное (раздельное) грохочение, коксуемость, индекс прочности кокса, зольность, витринит, экзинит, инертные компоненты

Influence of fractional composition of coal on quality of coke / Dostov E.S., Korotkov S.G., Anischenko I.V. // Bulletin of SibSIU. – 2019. – No. 3 (29). – P. 36.

This article contains description of coal enrichment method with the help of differential screening based on selective crushing principle. The coal properties of different mines of the Kuznetsk basin were determined, then coals were divided into several fractions through screening. After screening coal properties analysis was carried out again and there were coking tests under the conditions of loading with charge compaction based on individual fractions properties. The research has concluded that certain coal fraction should be added into the charge to increase values of hot coke strength (HCS). Fig. 4. Table 2. Ref. 9.

Keywords: coke, differential screening, coking ability, an index of coke strength, ash content, vitrinite, actinic, inert components.

УДК 658.567.004.82

Решение проблемы утилизации твердых бытовых отходов в Польше и не только / Медиокритский Е.Л. // Вестник СибГИУ. – 2019. – № 3 (29). – С. 41.

Выполнена экспертная оценка опыта уничтожения, утилизации и захоронения твердых бытовых отходов (ТБО) в Польше и Российской Федерации. Показана эволюция решения этой проблемы. Сделан ряд выводов и предложена концепция по решению проблемы утилизации ТБО. Библ. 10.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, утилизация, захоронение, мусоросжигающие предприятия, мусороперерабатывающие предприятия.

Solving problem of solid waste disposal in Poland and Russia / Mediokritsky E.L. // Bulletin of SibSIU. – 2019. – No. 3 (29). – P. 41.

An expert assessment of the experience of utilization, recycling and disposal of municipal solid waste (MSW) in Poland and the Russian Federation is carried out. Evolution of the approaches to solve this problem is shown. A number of conclusions are made and a concept of solid waste disposal is proposed. Bible 10.

Keywords: municipal solid waste, utilization, burial, waste incineration enterprises, waste processing enterprises.

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

В журнале «Вестник Сибирского государственного индустриального университета» публикуются оригинальные, ранее не публиковавшиеся статьи, содержащие наиболее существенные результаты научно-технических экспериментальных исследований, а также итоги работ проблемного характера по следующим направлениям:

Металлургия и материаловедение.

Горное дело и геотехнологии.

Машиностроение и транспорт.

Энергетика и электротехнологии.

Химия и химические технологии.

Архитектура и строительство.

Автоматизация и информационные технологии.

Экология и рациональное природопользование.

Экономика и управление.

Образование и педагогика.

Гуманитарные науки.

Социальные науки.

Отклики, рецензии, биографии.

К рукописи следует приложить рекомендацию соответствующей кафедры высшего учебного заведения и экспертное заключение.

Кроме того, необходимо разрешение ректора или проректора высшего учебного заведения (для неучебного предприятия – руководителя или его заместителя) на опубликование результатов работ, выполненных в данном вузе (предприятии).

В редакцию следует направлять два экземпляра текста статьи на бумажном носителе, а также на электронном. Для ускорения процесса рецензирования статей электронный вариант статьи и скан-копии сопроводительных документов рекомендуется направлять по электронной почте на e-mail: vestnicsibgiu@sibsiu.ru.

Таблицы, библиографический список и подрисуночный текст следует представлять на отдельных страницах. В рукописи необходимо сделать ссылки на таблицы, рисунки и литературные источники, приведенные в статье.

Иллюстрации нужно представлять отдельно от текста на носителе информации. Пояснительные надписи в иллюстрациях должны быть выполнены шрифтом Times New Roman Italic (греческие буквы – шрифтом Symbol Regular) размером 9. Тоновые изображения, размер которых не должен превышать 75x75 мм (фотографии и другие изображения, содержащие оттенки черного цвета), следует направлять в виде растровых графических файлов (форматов *.bmp, *.jpg, *.gif, *.tif) в цветовой шкале «оттенки серого» с разрешением не менее 300 dpi (точек на дюйм). Штриховые рисунки (графики, блок-схемы и т.д.) следует представлять в «черно-белой» шкале с разрешением не менее 600 dpi. На графиках не нужно наносить линии сетки, а экспериментальные или расчетные точки (маркеры) без крайней необходимости не «заливать» черным. Штриховые рисунки, созданные при помощи пространственных программ MS Excel, MS Visio и др., следует представлять в формате исходного приложения (*.xls, *.vsd и др.). На обратной стороне ри-

сунка должны стоять порядковый номер, соответствующий номеру рисунка в тексте, фамилии авторов, название статьи.

Формулы вписываются четко. Шрифтовое оформление физических величин следующее: латинские буквы в светлом курсивном начертании, русские и греческие – в светлом прямом. Числа и единицы измерения – в светлом прямом начертании. Особое внимание следует обратить на правильное изображение индексов и показателей степеней. Если формулы набираются с помощью редакторов формул Equatn или Math Type, следить, чтобы масштаб формул был 100 %. Масштаб устанавливается в диалоговом окне «Формат объекта». В редакторе формул для латинских и греческих букв использовать стиль «Математический» («Math»), для русских – стиль «Текст» («Text»). Размер задается стилем «Обычный» («Full»), для степеней и индексов – «Крупный индекс / Мелкий индекс» («Subscript / Sub-Subscript»). Недопустимо использовать стиль «Другой» («Other»).

Необходимо избегать повторения одних и тех же данных в таблицах, графиках и тексте статьи. Объем статьи не должен превышать 8 – 10 страниц текста, напечатанного шрифтом 14 через полтора интервала, и трех рисунков.

Рукопись должна быть тщательно выверена, подписана автором (при наличии нескольких авторов, число которых не должно превышать пяти, – всеми авторами); в конце рукописи указывают полное название высшего учебного заведения (предприятия) и кафедры, дату отправки рукописи, а также полные сведения о каждом авторе (Ф.И.О., место работы, должность, ученая степень, звание, служебный и домашний адреса с почтовыми индексами, телефон и E-mail). Необходимо указать с кем вести переписку.

Цитируемую в статье литературу следует давать не в виде подстрочных сносок, а общим списком в порядке упоминания в статье с обозначением ссылки в тексте порядковой цифрой.

Перечень литературных источников рекомендуется не менее 10. Библиографический список оформляют в соответствии с ГОСТ 7.2 – 2003: а) для книг – фамилии и инициалы авторов, полное название книги, номер тома, место издания, издательство и год издания, общее количество страниц; б) для журнальных статей – фамилии и инициалы авторов, полное название журнала, название статьи, год издания, номер тома, номер выпуска, страницы, занятые статьей; в) для статей из сборников – фамилии и инициалы авторов, название сборника, название статьи, место издания, издательство, год издания, кому принадлежит, номер или выпуск, страницы, занятые статьей.

Иностранные фамилии и термины следует давать в тексте в русской транскрипции, в библиографическом списке фамилии авторов, полное название книг и журналов приводят в оригинальной транскрипции.

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

К статье должны быть приложены аннотация в двух экземплярах объемом не менее 1/2 страницы текста, напечатанного шрифтом 14 через полтора интервала, а также ключевые слова.

В конце статьи необходимо привести на английском языке: название статьи, ФИО авторов, место их работы, аннотацию и ключевые слова.

Краткие сообщения должны иметь самостоятельное научное значение и характеризоваться новизной и оригинальностью. Они предназначены для публикации в основном аспирантских работ. Объем кратких сообщений не должен превышать двух страниц текста, напечатанного шрифтом 14 через полтора интервала, включая таблицы и библиографический список. Под заголовком в скобках следует указать, что это краткое сообщение. Допускается включение в краткое сообщение одного несложно-

го рисунка, в этом случае текст должен быть уменьшен. Приводить в одном сообщении одновременно таблицу и рисунок не рекомендуется.

Количество авторов в кратком сообщении должно быть не более трех. Требования к оформлению рукописей и необходимой документации те же, что к оформлению статей.

Корректуры статей авторам, как правило, не посылают.

В случае возвращения статьи автору для исправления (или при сокращении) датой представления считается день получения окончательного текста.

Статьи, поступающие в редакцию, проходят гласную рецензию.

Статьи журнала индексируются в РИНЦ и представлены на сайте СибГИУ (www.sibsiu.ru) в разделе Наука и инновации (Периодические научные издания (Журнал «Вестник СибГИУ»)).

Над номером работали

Темлянцев М.В., *главный редактор*

Новичихин А.В., *ответственный секретарь*

Бащенко Л.П., *ведущий редактор*

Запольская Е.М., *ведущий редактор*

Олендаренко Н.П., *ведущий редактор*

Темлянцева Е.Н., *верстка*

Олендаренко Е.В., *менеджер по работе с клиентами*