

ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

2018

ВЫПУСК 2 (1418)
МОСКВА

БЮЛЛЕТЕНЬ
научно-технической
и экономической
информации

ISSN 0135-5910

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением
законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия
Регистрационный номер ПИ № 77-18479

СОДЕРЖАНИЕ

Шевелев Л.Н., Бродов А.А. Энергосбережение, повышение энергоэффективности и снижение выбросов парниковых газов в черной металлургии России

НА ПРЕДПРИЯТИЯХ И В ИНСТИТУТАХ Горнорудное производство

Синицын В.А., Меньшиков П.В., Шеменев В.Г. Эффективность применения смесительно-зарядных машин, предназначенных для транспортирования, изготовления и зарядания взрывчатых веществ

Коксохимическое производство

Полях О.А., Пономарев Н.С., Журавлев А.Д. Сравнительный анализ современных направлений использования промышленных отходов коксохимии

Аглодомненное производство

Фролов Ю.А., Каплун Л.И., Мищенко И.Ф., Асламова Я.Ю. Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 11. Технологические методы защиты окружающей среды от вредных выбросов агломерационных фабрик

Тимофеева А.С., Кожухов А.А., Никитченко Т.В., Пивикова М.С. Влияние процесса формирования шихты на прочностные свойства железорудных окатышей

Близнюков А.С., Садррадинов М.Р., Макавецкас А.Р., Фищенко Ю.Ю. Исследование футеровки горна доменной печи (Сообщение 2)

Сталеплавильное производство

Бирюков А.Б., Иванова А.А. Современные подходы к диагностике теплотехнических параметров работы литейно-прокатных агрегатов на участке МНЛЗ – нагревательное устройство

Меркер Э.Э., Крахт Л.Н., Степанов В.А., Еришов Е.В., Королькова Л.Н. Разработка метода распределенного режима дожигания горючих газов в дуговой сталеплавильной печи с применением железорудного металлизированного сырья

CONTENTS

Shevelev L.N., Brodov A.A. Energy Saving, Increase of Energy Usage Efficiency and Decrease of Emissions of Greenhouse Gases in Steel Industry of Russia

AT ENTERPRISES AND IN INSTITUTES Ore-Mining Industry

Sinitsin V.A., Menshikov P.V., Shemenyev R.V. Efficiency of Mixing-Charging Machines Application, Used for Transporting, Production and Charging of Explosives

Coking and By-products Process

Polyakh O.A., Ponomarev N.S., Zhuravlev A.D. Comparative Analysis of Up-to-date Ways of Industrial Wastes of Coke Production Utilization

Sintering and Blast Furnace Process

Frolov Yu.A., Kaplun E.I., Mischenko I.F., Aslamova Ya.Yu. The Status and Prospects for the Development of the Technology for Manufacturing the Sinter. Part 11. Technological methods of environment protection from hazardous emissions of sintering plants

Timofeeva A.S., Kozhukhov A.A., Nikitchenko T.V., Pivikova M.S. Influence of the Blend Forming Process on Mechanical Properties of Iron Ore Pellets

Bliznyukov A.S., Sadradinov M.P., Makavetskys A.R., Fischenko Yu.Yu. Study of Blast Furnace Hearth Lining (Report 2)

Steelmaking

Biryukov A.B., Ivanova A.A. Up-to-date approaches to Diagnostics of Thermal and Technical Parameters of Casting-Rolling Aggregates Operation at the section Caster – Heating Facility

Merker E.E., Krakht L.N., Stepanov V.A., Ershov E.V., Korol'kova L.N. Development of a Method of Distributed Conditions of Fuel Gas Afterburning in an Arc Steelmaking Furnace with a Charge of DRI

Столяров А.М., Бунеева Е.А., Мошкунев В.В., Потапова М.В. Исследование влияния различных факторов на загрязненность непрерывнолитой заготовки неметаллическими включениями

Рыбенко И.А. Разработка оптимальных технологических режимов процессов получения металлов с использованием методов математического моделирования и инструментальных систем

Прокатное производство

Козырев Н.А., Шевченко Р.А., Усольцев А.А., Крюков Р.Е., Князев С.В. Современные технологии сварки железнодорожных рельсов

Метизное производство

Шубин И.Г., Шубина М.В. Разработка конструкции канатов с учетом их эксплуатационных характеристик

Металлургическое оборудование и литейное производство

Зайнуллин Л.А., Калганов М.В., Калганов Д.В., Спирин Н.А. Исследование эффективности охлаждения вращающегося вала печного вентилятора при использовании устройств однодискового типа

Экономика, управление и организация производства, инвестиции

Бахтурин Ю.А. Планирование сменной производительности карьерного железнодорожного транспорта на основе имитационного моделирования

Модернизация оборудования и реконструкция заводов черной металлургии за рубежом

Новости зарубежной периодики

ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ

Статистика

52

57

62

69

73

77

85

92

94

105

Stolyarov A.M., Buneeva E.A., Moshkunov V.V., Potapova M.V. Study of the Different Factors Influence on Continuously-casted Bar Impurity by Nonmetallic Inclusions

Rybenko I.A. Development of Optimal Technological Modes of Metal Production Processes Using Mathematic Modelling Methods and Instrumental Systems

Rolling Mill Practice

Kozyrev N.A., Shevchenko R.A., Usol'tsev A.A., Kryukov R.E., Knyazev S.V. Up-to-Date Technologies of Railway Rails Welding

Wire Products Manufacturing

Shubin I.G., Shubina M.V. Development of a Design of Ropes Taking into Account their Operational Characteristics

Metallurgical Equipment and Foundry Practice

Zajnullin L.A., Kalganov M.V., Kalganov D.V., Spirin N.A. Study of Furnace Fan Rotating Shaft Cooling Efficiency Using Facility of Single Disc Type

Economics, Management, and Organization of Production, Investments

Bakhturin Yu.A. Planning of Shift Productivity of Open-Pit Railway Transport Based on Simulation Modelling

Modernization of Equipment and Reconstruction of the Steel works abroad

News of the Foreign Periodicals

EXPRESS INFORMATION

Statistics

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ РОССИИ*

Л. Н. ШЕВЕЛЕВ, д-р экон. наук;

А. А. БРОДОВ, канд. экон. наук, economy@chermet.net

(ФГУП “Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина”)

Рассмотрены проблемы регулирования выбросов парниковых газов. Предложено предусмотреть в национальном углеродном регулировании выбросов парниковых газов возможность формирования углеродных фондов на уровне металлургических предприятий. Приведены сведения о новых разработках по повышению энергоэффективности производства чугуна.

Ключевые слова: выбросы парниковых газов; национальное углеродное регулирование; энергоэффективность производства чугуна; рециклинг доменного газа.

ENERGY SAVING, INCREASE OF ENERGY USAGE EFFICIENCY AND DECREASE OF EMISSIONS OF GREENHOUSE GASES IN STEEL INDUSTRY OF RUSSIA

L. N. SHEVELEV, Higher Doctorate (Econ); A. A. BRODOV, PhD (Econ), economy@chermet.net

(FGUP “Central Research Institute of Steel Industry after I.P. Bardin”)

Items of control of greenhouse gases emissions considered. It was proposed to envisage in the national carbon control pattern of greenhouse emissions carbon funds at the level of steel-works. Information about new developments for increase of energy usage efficiency during hot metal production quoted.

Key words: greenhouse emissions, national carbon control pattern, energy usage efficiency during hot metal production, recycling of blast furnace gases.

“Экология является одной из важнейших составляющих нашей работы”, — так заявил Президент России Владимир Путин в ходе своей ежегодной пресс-конференции (2017 г.). Глава государства подчеркнул, что Россия намерена соблюдать свои обязательства, принятые в рамках Парижского соглашения по климату. При этом он отметил, что нам еще предстоит понять, каким образом “технологически будут осуществляться договоренности” по реализации положений этого документа на практике.

Сейчас они прорабатываются в межправительственной группе ООН по климату и планируется их закончить к концу 2018 г. Если они устроят Россию, то Парижское соглашение будет ратифицировано, или мы будем добиваться его изменения с учетом интересов России. Международные обязательства по снижению выбросов парниковых газов следует выполнять, иначе будут применены большие финансовые санкции. Возможно введение регулярного пересмотра обязательств государств (каждые 5 лет) с увеличением уровня их снижения. Если предприятия не будут их выполнять, то вводятся принудительные квоты их снижения вплоть до закрытия предприятий.

Особое внимание следует обратить на углеродное регулирование выбросов парниковых газов, которое вводится в России с 2019 г. В частности, углеродный налог вводится как платеж за выбросы парниковых газов: на первом этапе (до 2021 г.) — 15 долл/т стали, на втором этапе (после 2021 г.) — 35 долл/т стали. Для черной металлургии это обременительный налог в сумме 205–300 млн долл/год, вся отрасль может стать нерентабельной.

Несмотря на хорошие результаты по энергосбережению (снижение выбросов парниковых газов в 2016 г. по сравнению с 1990 г. в размере 36 %), ситуация с удельной энергоемкостью стали в России сохраняется напряженной: Россия — 1,6 т CO₂/т стали, ЕС — 1,4 т CO₂/т стали, США — 1,2 т CO₂/т стали, т. е. отставание в среднем на 15–30 %.

Такое отставание в уровне энергоемкости стали грозит черной металлургии России потерей рынков стали в ЕС и США. С вводом нового глобального соглашения по сохранению климата (декабрь 2015 г., г. Париж) страны ЕС и США предусматривают прекращение доступа на свои национальные рынки экспорта металлопродук-

* По материалам обсуждения выступлений участников круглого стола в рамках 23-й Международной промышленной выставки “Металл-Экспо 2017” (15.11.2017 г.).

ции из других стран с удельной энергоемкостью выше, чем их уровень на национальном рынке. Выход из этой ситуации — переход на прорывные энергосберегающие технологии.

Повышение энергоэффективности черной металлургии России — это прежде всего снижение энергозатрат в доменном производстве.

Теоретические основы энергосбережения в доменном производстве разработали российские ученые-доменщики А.Н. Рамм, В.Г. Воскобойников, Ю.И. Гохман, Ю.С. Юсфин и другие [1–5]. Современное состояние и перспективные направления энергосбережения в черной металлургии нашли отражение в работах [6–11].

ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина» совместно с консорциумом проектных и учебных организаций (ООО «Метпромпроект», ФГАОУ ВО «НИТУ «МИСиС», ООО «Гринсол») в рамках Ассоциации финансово-промышленных групп России разработал новую прорывную высокоэнергоэффективную технологию вдувания горячих восстановительных газов (ГВГ) в доменную печь (рециклинг доменного газа). Данная технология обеспечивает: снижение расхода кокса на 30–40 %, полный вывод из доменной плавки природного газа, замену воздушного дутья кислородом, снижение себестоимости чугуна на 12–15 %, сокращение выбросов парниковых газов в России на 40–50 %, повышение производительности доменной печи на 25–30 %.

При этом имеется возможность значительного увеличения энергоэффективности производства чугуна путем ввода в эту технологию нового агрегата — газогенератора. Данный агрегат позволит произвести столько восстановительного газа (СО), сколько потребуется металлургическому предприятию, чтобы полностью исключить потребление покупных энергоресурсов (природного газа и электроэнергии). С использованием технологии рециклинга доменного газа и газогенератора себестоимость чугуна в совокупности снизится на 2000 руб/т, срок окупаемости такого проекта (ГВГ + газогенератор) составит три года (капитальные затраты сохранятся на уровне 3,5 млрд руб.).

Капитальные затраты на газогенератор в сумме 0,2 млрд руб. окупятся за счет замены каупера на теплообменник. Государство получит ежегодный налог на прибыль от реализации данного проекта в сумме $2000 \times 0,2 = 400$ руб/т чугуна.

При реализации проекта «ГВГ + газогенератор» на всех 40 доменных печах черная металлургия сэкономит в год около 30 млрд м³ природного газа, 32,5 млрд кВт·ч покупной электроэнергии и 8,8 млн т условного топлива для производства данного количества покупной электроэнергии. При этом Минэнерго России сэкономит капитальные вложения в добычу нового объема

природного газа, аналогичного сэкономленному, в размере 7,3 руб/м³. Экономические выгоды от реализации такого проекта очевидны и для предприятий, и для государства, и для всей мировой черной металлургии в целом.

Пилотный проект предполагается реализовать в ПАО «Тулачермет», однако у данной компании в настоящее время отсутствуют финансовые средства в связи со строительством конвертерного и прокатного цехов.

Учитывая уникальность проекта, а также отсутствие мировых аналогов таких проектов, предлагается профинансировать реализацию пилотного проекта в условиях ПАО «Тулачермет» путем субсидирования займа за счет средств государственного бюджета. Госбюджет вернет заемные средства через систему налогообложения в течение 10 лет. Это и будет реальной мерой государственной поддержки высокоэнергоэффективного пилотного проекта сокращения выбросов и самообеспечения собственными энергоресурсами.

Предлагается предусмотреть в национальном углеродном регулировании выбросов парниковых газов возможность формирования углеродных фондов на уровне металлургических предприятий. В частности, формировать фонд следует путем отчисления инвестиционных нормативов (с включением их в себестоимость продукции) в размерах штрафных санкций на уровне 900 руб/т стали сроком на три года. Эти средства должны накапливаться на специальных счетах предприятий в банках и использоваться исключительно для финансирования прорывных энергосберегающих технологий, а также для стимулирования инженерно-технического, бухгалтерского и экономического персонала за содействие внедрению данных технологий. Такой порядок углеродного регулирования представляет собой государственную поддержку реализации прорывных энергосберегающих технологий, стимулирует переход металлургических предприятий отрасли на энергообеспечение за счет собственных энергоресурсов взамен дорогостоящих углеродоемких покупных энергоресурсов. Необходимо также проработать вопросы финансирования фондом торговых операций при передаче сокращенных единиц выбросов парниковых газов из заводских реестров в национальный реестр Минприроды России. В частности, предусмотреть данную передачу по устойчивым согласованным ценам для вторичных энергоресурсов между государством и бизнесом, т. е. в рамках государственно-частного предпринимательства. Продажу сокращенных единиц выбросов парниковых газов из национального реестра Минприроды России для международных углеродных фондов следует осуществлять по ры-

ночным ценам, в зависимости от спроса и предложения на мировом рынке углеродных квот.

В ФГАОУ ВО «НИТУ «МИСиС» разработан и с положительными результатами экспериментально опробован новый газогенератор в Мценске. При использовании этого газогенератора топливную составляющую можно снизить за счет использования на металлургических заводах отходов производства, таких как колошниковая пыль, промпродукты углеобогащения и др.

Представляет интерес новая технология компании «ОРИЕН-Технолоджи», заключающаяся в использовании электроплавки для переработки железорудного концентрата, сбрикетированного с энергетическим углем. При переработке рудно-угольных брикетов в электроплавке исключаются офлюсованные окатыши, железорудный агломерат, кокс, покупная электроэнергия.

Технология «ОРИЕН» представляет собой новую схему переработки железорудного сырья: концентрат – сталь – энергия. При такой схеме электроплавка становится одновременно и до-

менной плавкой, и конвертером, и газогенератором. По сравнению с конвертером при электроплавке с применением технологии «ОРИЕН» на 40 % снижаются выбросы парниковых газов, а себестоимость электростали уменьшается на 30 %. Электроплавку по технологии «ОРИЕН» можно применять и на заводах прямого восстановления железа, и в электроплавках со 100 % стального лома.

Вместе с тем для сохранения климата необходимо не только сокращение выбросов парниковых газов, но и обустройство территории, насаждение лесов, увеличение их поглотительной способности. Металлурги должны участвовать в новых посадках молодых лесов, особенно в санитарной зоне предприятий, устраивать регулярные чистки лесов и парков от сгнивших и упавших деревьев. Такие проекты разрабатываются Всероссийским обществом охраны природы, и участие в них металлургов повысит их имидж в снижении выбросов парниковых газов.

Заключение

Для оценки состояния отрасли по выбросам парниковых газов, разработки рамочных условий концепции устойчивого низкоуглеродного развития черной металлургии России и основных направлений ее реализации на предприятиях отрасли в 2020–2030 гг. необходимо создать рабочую группу из представителей заинтересованных министерств, включая специалистов научных, проектных и учебных институтов отрасли и Российской академии наук, некоммерческой организации «Русская Сталь».

Компании «ОРИЕН-Технолоджи» целесообразно проработать вопросы снижения выбросов CO₂ с использованием различных видов некоксующихся углей в рудно-угольных брикетах.

Необходимо обратить особое внимание на существующие риски Парижского соглашения и настаивать на недопустимости любой поддержки участниками делегации от России углеродного налога на переговорах ООН по модальностям и процедурам этого соглашения. Профильным ве-

домствам, включая Минпромторг России, следует серьезно относиться к опасности введения для российской металлургии квот на выбросы парниковых газов, перспектива которых реальна в случае пассивной позиции участников делегации от России на переговорах по так называемой «глобальной инвентаризации», чреватой пересмотром договоренностей, достигнутых в рамках Парижского соглашения.

Следует считать важным развитие такого направления климатической политики, как компенсация выбросов парниковых газов металлургическими компаниями путем лесопосадок и создания плантаций управляемых лесов. В этой связи целесообразно поддерживать Российско-Евразийскую климатическую инициативу Всероссийского общества охраны природы, направленную на создание и развитие механизма секвестра углерода на основе технологий лесоразведения и лесовосстановления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рамм, А. Н. Современный доменный процесс [Текст] / А. Н. Рамм. — М.: Металлургия, 1980. — 304 с.
2. Воскобойников, В. Г. Технические показатели доменной плавки при дувании горячих восстановительных газов на холодном технологическом кислороде (без атмосферного дутья) [Текст] / В. Г. Воскобойников, Ю. И. Гохман, Б. Л. Жураковский // Сталь. — 1971. — № 4. — С. 303–308.
3. Бузоверя, М. Т. Влияние технологических условий плавки на расход углерода при выплавке чугуна [Текст] / М. Т. Бузоверя, В. М. Бузоверя // Там же. — 2002. — № 2. — С. 13–15.
4. Юсфин, Ю. С. Металлургия чугуна [Текст] / Ю. С. Юсфин, П. И. Черноусов [и др.]. — М.: Академкнига, 2004. — 774 с.
5. Внедрение энергоэффективной стратегии: прогресс и задачи в странах-членах МЭА [Текст]. — МЭА, 2011. — С. 70–73.
6. Сосковец, О. Н. Применение технологии «Горячих восстановительных газов» для повышения энергоэффективности производства чугуна [Текст] / О. Н. Сосковец, Л. Н. Шевелев, В. А. Шатлов // Сталь. — 2014. — № 5. — С. 103–107.

7. Ван дер Стел, Я. Доменная печь с рециклингом колошникового газа для минимизации выбросов CO₂ [Текст] / Я. Ван дер Стел, Г. Гоуверсс [и др.] // Steel Times International. — 2013. — № 31. — С. 36–38.
8. Smith, T. Энергоэффективность и сокращение выбросов парниковых газов в черной металлургии [Текст] / T. Smith // Там же. — 2011. — № 35. — С. 33–40.
9. Шевелев, Л. Н. Оценка энергоэффективности черной металлургии России [Текст] / Л. Н. Шевелев, А. А. Бродов // Металлург. — 2012. — № 8. — С. 7–13.
10. Шевелев, Л. Н. Анализ энергоэффективности черной металлургии России и основные направления ее повышения на период до 2020 г. [Текст] / Л. Н. Шевелев, А. А. Бродов // Электromеталлургия. — 2012. — № 10. — С. 2–10.
11. Сосковец О. Н. Потенциал энергосбережения и сокращения выбросов парниковых газов в черной металлургии России [Текст] / О. Н. Сосковец, Л. Н. Шевелев, А. А. Бродов // Сталь. — 2012. — № 10. — С. 81–87.

УДК 622.215

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СМЕСИТЕЛЬНО-ЗАРЯДНЫХ МАШИН, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ, ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ЗАРЯЖАНИЯ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ*

В. А. СИНИЦЫН, канд. техн. наук;

П. В. МЕНЬШИКОВ, menshikovpv@mail.ru;

В. Г. ШЕМЕНЕВ, канд. техн. наук

(ФГБУН “Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук”)

Показано, что смесительно-зарядные машины, обеспечивающие экологически чистое безотходное производство, полную механизацию заряжания скважин, сравнительно невысокую газовую вредность и относительно недорогую сырьевую базу, являются важным звеном в технологии производства эмульсионных взрывчатых веществ. Рассмотрены проблемы эффективности их применения.

Ключевые слова: горное предприятие; смесительно-зарядные машины; эмульсионные взрывчатые вещества; механизация заряжания скважин.

EFFICIENCY OF MIXING-CHARGING MACHINES APPLICATION, USED FOR TRANSPORTING, PRODUCTION AND CHARGING OF EXPLOSIVES

V. A. SINITSIN, PhD (Tech); P. V. MENSNIKOV, menshikovpv@mail.ru;

V. G. SHEMENEV, PhD (Tech)

(FGBUN “Institute of Mining, Ural Department of Russia Academy of Sciences”)

It was shown, that mixing-charging machines provide environmentally clean wasteless technology, complete mechanization of the holes charging, comparatively low gas harmfulness and comparatively cheap raw materials base, are an important element in the technology of emulsion explosives production.

Key words: mining enterprise, mixing-charging machines, emulsion explosives, mechanization of holes charging.

Проблема подготовки горной массы к выемке с наименьшими затратами остается одной из важнейших проблем горного производства.

С ростом глубины карьеров увеличивается крепость и обводненность горных пород, что приводит к повышению затрат на подготовку горной массы в связи с увеличением удельного расхода и потребления водостойчивых взрывчатых веществ (ВВ), в качестве которых в отечественной практике широко используются дорогостоящие и опасные в обращении тротилсодержащие ВВ. Обеспечение качественного дробления горных пород на карьерах без увеличения затрат возможно за счет совершенствования как самих ВВ, так и технологии взрывного разрушения.

Одним из перспективных направлений является снижение стоимости ВВ, поскольку затраты на них в общих затратах на взрывное разрушение горных пород достигают 70–75 %.

Важным направлением повышения эффективности взрывных работ на горных предприятиях является внедрение прогрессивных технологий разрушения горных пород, основанных на применении водосодержащих ВВ в виде обратной эмульсии и ВВ на ее основе [1, 2].

В зависимости от компонентного состава эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ) на основе обратных эмульсий для их приготовления и заряжания скважин могут применяться смесительно-зарядные машины (СЗМ) различных конструкций [3–5].

Одной из главных составляющих эмульсионных технологий являются самоходные механизмы, предназначенные для транспортирования, смешивания (изготовления) и заряжания в скважины как компонентов, так и приготовленных ЭВВ [6, 7].

* Госзадание 007-01398-17-00. Тема № 0405-2015-0013.

В зависимости от функционального назначения эти машины можно разделить на несколько основных типов.

Машины-транспортировщики предназначены для доставки компонентов (эмульсии, газогенерирующей добавки и раствора водяного орошения) или готового ЭВВ со стационарного пункта на достаточно удаленное место ведения взрывных работ, где на площадке, отвечающей специальным требованиям, осуществляется перегрузка доставленного продукта в СЗМ [8].

Использование для указанных целей дорогостоящих СЗМ, основной функцией которых является не столько транспортирование, сколько зарядание ЭВВ в скважины, экономически неразумно.

Доставочные машины должны быть недороги, иметь максимальную для конкретного тягача грузоподъемность (обычно двух-трехкратную по отношению к грузоподъемности СЗМ) и отвечать требованиям передвижения по дорогам общего пользования.

Перегрузка эмульсии из машины-доставщика в СЗМ обычно осуществляется путем перекачивания с помощью специального эмульсионного насоса, а растворов газогенерирующей добавки и водяного орошения — как при помощи насосов, так и путем пневмопередавливания. Блок емкостей доставочной машины теплоизолирован.

Машины-доставщики в своем классическом исполнении применяются в ЮАР, США, Канаде и Австралии [6, 7].

Широко известны машины-транспортировщики SMS, которые помимо транспортирования компонентов (горячие растворы солевой и масляной фаз) также выполняют операцию эмульгирования, т. е. изготовления эмульсии, применяются на карьерах АК АПРОСА. Машина SMS заправляется на растворном узле растворами указанных компонентов и транспортирует их к месту ведения взрывных работ, где изготавливает эмульсию с одновременной загрузкой ею СЗМ. Данная технология была поставлена АК АПРОСА фирмой «Дино Нобель», США, и впервые начала применяться в России на карьере «Удачный» в 1996 г.

СЗМ в зависимости от типа ЭВВ и осуществляемых технологических операций при его приготовлении и зарядании также подразделяются на ряд типов.

Первыми были разработаны СЗМ, которые и в настоящее время являются наиболее широко применяемыми, предназначенные для транспортирования невзрывчатых компонентов ЭВВ (эмульсии, газогенерирующей добавки и раствора водяного орошения) и смешивания их в процессе зарядания скважины для придания ЭВВ взрывчатых свойств [9].

Вполне понятно, что СЗМ, предлагаемые различными отечественными и зарубежными производителями, имеют свои конструктивные особенности, однако принципиальные основы их компоновки, а также технологии смешивания компонентов и зарядания скважин остаются общими [7].

Такие машины имеют следующее основное оборудование:

- теплоизолированные емкости для эмульсии, газогенерирующей добавки и раствора водяного орошения (горячей воды);
- насосное оборудование, узлы дозирования и смешения эмульсии с газогенерирующей добавкой, впрыска раствора водяного орошения и подачи ЭВВ в скважину по шлангу;
- системы контроля (весовые, по числу оборотов насоса или др.) и управления процессом дозирования компонентов и зарядания ЭВВ в скважину;
- систему управления процессом опускания зарядного шланга в скважину и его подъема.

СЗМ комбинированного типа «мультитраки» дополнительно оснащены бункером для аммиачной селитры, небольшим баком для дизельного топлива или другого нефтепродукта, насосом для его впрыска, а также системой шнеков (дозирующим, перемешивающим и подающим).

Обычно грузоподъемность таких машин составляет от 6–8 до 20 т (в отдельных случаях несколько больше) при производительности зарядания 200–300 кг/мин. Чаще всего применяется зарядный шланг с внутренним диаметром 50 мм, реже 75 мм.

Технология зарядания для СЗМ подобного типа выглядит следующим образом. После опускания зарядного шланга в скважину включаются насосы, дозирующие эмульсию и газогенерирующую добавку, перемешивание которых осуществляется при прохождении через статический смеситель. Далее поток через барабан шлангоизвлекателя направляется по зарядному шлангу в скважину. При этом для снижения сопротивления перемещению ЭВВ по зарядному шлангу после статического смесителя перед входом в барабан в тракт подачи при помощи насоса впрыскивается раствор водяного орошения (или горячая вода), выполняющий роль смазки.

Для обеспечения сплошности колонки заряда необходимо синхронизировать производительность эмульсионного насоса, подающего ЭВВ в скважину, и скорость подъема зарядного шланга.

При изготовлении в СЗМ смесевых ЭВВ в шнек, дозирующий аммиачную селитру, при помощи насоса через форсунки подается дизельное топливо, после чего АСДТ (смесь аммиачной селитры с дизельным топливом) в смесительном

шнеке перемешивается с эмульсией, вышедшей из статического смесителя.

Смесь АСДТ либо закачивается при помощи насоса в скважину по зарядному шлангу “под столб воды”, либо подается в нее сверху при помощи подающего шнека. При этом для обеспечения нормальных режимов перекачивания смеси содержание АСДТ в ней не должно превышать 30 % по весу. При содержании АСДТ, превышающем эту величину, используют шнековый способ подачи смеси в скважину.

Все СЗМ должны эксплуатироваться согласно Правилам безопасности при взрывных работах [10].

СЗМ типа “мультитрак” имеют достаточно широкое распространение за рубежом. Применение СЗМ такого типа в России пока не слишком оправдано из-за отсутствия эффективных смесевых ВВ на основе высококачественной отечественной пористой аммиачной селитры.

Тем не менее некоторые российские горные предприятия, обладающие эмульсионными производствами, начинают использовать “мультитраки”. СЗМ указанного типа применяются на Лебединском и Качканарском ГОКах, на горных предприятиях ОАО “Ураласбест”, АК АПРОСА и других для изготовления и заряжания смесевых ЭВВ, таких как “Гранэмит”, “Эмулан”, “Тован” и др. [11, 12].

В настоящее время на российском рынке присутствуют СЗМ различного типа, изготовленные как зарубежными компаниями (“Дино Нобель”, ETI, MSI), так и российскими производителями (КНИИМ, НИПИГОРМАШ, ЗАО “Нитро Сибирь” и Белгородский завод сельскохозяйственного машиностроения).

Эти машины работают на угольных разрезах центрального и южного Кузбасса, в карьерах ОАО “Ураласбест”, ОАО “Апатит”, ГУП “Якут-уголь”, на Лебединском, Качканарском, Ковдорском ГОКах и других горных предприятиях.

При выборе типа СЗМ для условий конкретного горного предприятия учитывают ее функциональную совместимость с той или иной технологией производства и применения ЭВВ, объе-

мы и расстояние перевозок, необходимость передвижения по дорогам общего пользования, ресурс оборудования и соотношение начальных и эксплуатационных затрат, включающих затраты на содержание ремонтной базы для оперативного проведения текущего ремонта, главным образом шасси.

Поскольку, как показал опыт применения на карьерах АО “ЕВРАЗ Качканарский ГОК”, каждый час простоя СЗМ обходится в 200–300 долл., надежность и ремонтпригодность навесного оборудования и шасси СЗМ служат определяющими факторами.

К сожалению, по ряду показателей, таким как ресурс насосов, точность дозирования компонентов и контроль расходования ВВ, плавность извлечения зарядного шланга, и по некоторым другим, отечественные СЗМ пока уступают зарубежным. Эти недостатки практически исключают возможность использования их в сложных условиях, например, при зарядании скважин в сложноструктурных породах с переменной прочностью, когда необходимо 3–4 раза изменять плотность ЭВВ по высоте скважин или при зарядании глубоких скважин. Причем в этих случаях высокая точность зарядания определяет эффективность взрыва.

Несмотря на то что зарубежные шасси на базе автомобилей “Вольво”, “Скания” или “Петтербилт”, бесспорно, по многим показателям превосходят широко распространенные в России шасси на базе автомобилей типа КраЗ и БелАЗ, их применение весьма проблематично не только из-за существенно большей цены, но и из-за отсутствия на горных предприятиях соответствующей ремонтной базы.

Исходя из этого оптимальным представляется сочетание лучшего зарубежного навесного оборудования, включающего насосы, системы дозирования, контроля, управления и др., с шасси на базе автомобилей КраЗ, БелАЗ и МАЗ, успешно применяемых на отечественных горных предприятиях и обеспечивающих высокую эффективность и надежность в работе при умеренной стоимости. Основные технические данные СЗМ представлены в таблице.

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЗМ

Технические данные	Марка СЗМ				
	“Нитро Нобель”	СЗМ-8	МЗВ-8	МЗГ-10	BCZH-25
Масса перевозимого груза, т	8,75	8,75	10,50	10	25
Объем емкости для эмульсии, м ³	6,0	6,0	7,3	4,14	12,5-загр.-17,5 т
Объем емкости для ГГД, м ³	0,25	0,25	0,25	0,2	0,15-загр.-0,15 т
Объем емкости для воды, м ³	0,50	0,50	0,40	0,23	П.Е.-9,2 м ³ -7,5 т

Технические данные	Марка СЗМ				
	“Нитро Нобель”	СЗМ-8	МЗВ-8	МЗГ-10	BCZH-25
Транспортная база	КрАЗ-256Б1	КрАЗ-256Б1	КрАЗ-256Б1	КрАЗ-65055	БелАЗ-7548А
Масса снаряженной машины, т	13,4	14,4	13,6	13,1	15,0
Полная масса машины, т	22,15	23,15	24,10	23,0	40,8
Привод исполнительных органов	Гидравлический	Гидравлический	Гидравлический	Гидравлический	Гидравлический
Производительность винтового насоса по закачке порэмита в скважину, кг/мин	250	300	300	300	250–300
Зарядный рукав: внутренний диаметр, мм длина, м	50	50	65	70	310
	30	30	30	30	
Габаритные размеры, мм: длина ширина высота	8000	7890	8400	8400	9280
	2630	2640	2623	2500	4400
	3800	3900	3300	3200	4400
Контроль загрузки порэмита в скважины	Динамометрический датчик, точность $\pm 4\%$	По числу оборотов винтового насоса, точность $\pm 4\%$	По числу оборотов винтового насоса, точность $\pm 4\%$	По числу оборотов винтового насоса, точность $\pm 4\%$	Динамометрический датчик, точность $\pm 2\%$
Число обслуживающего персонала, чел.	2	2	2	2	2
Разработчик	Фирма “Нитро Нобель”, Швеция	НИИ механизации (г. Красноармейск, Московская обл.)	Институт НИПИГОРМАШ (г. Екатеринбург)	Институт НИПИГОРМАШ, ИГД УрО РАН (г. Екатеринбург)	Пекинская горно-металлургическая корпорация, Китай
Завод-изготовитель	Фирма “Нитро Нобель”, Швеция	Абаканский комбинат “Сибирь” (г. Черногорск)	Опытный завод института НИПИГОРМАШ	Опытный завод института НИПИГОРМАШ	Пекинская горно-металлургическая корпорация, Китай

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Викторов, С. Д. Эффективная взрывная подготовка при освоении пластовых месторождений [Текст] / С. Д. Викторов // Вестник Российской академии наук. — 2015. — Т. 85. — № 2. — С. 138–141.
2. Сеницын, В. А. Повышение эффективности подготовки горной массы на карьерах с применением ВВ на основе обратных эмульсий [Текст] / В. А. Сеницын: дис. ... канд. техн. наук. — Екатеринбург, 2017. — 147 с.
3. Ткачев, В. Б. Модернизация зарядной техники в ОАО “Ураласбест”. Технология и безопасность взрывных работ [Текст] / В. Б. Ткачев. — Екатеринбург: изд-во АМБ, 2014. — С. 41–45.
4. Шеменев, В. Г. Смесительно-зарядные машины для изготовления и заряжания эмульсионных ВВ на карьерах Урала [Текст] / В. Г. Шеменев, А. В. Глебов, В. А. Сеницын, В. Б. Ткачев // Горное оборудование и электромеханика. — 2014. — № 5. — С. 42–45.
5. Сеницын, В. А. Смесительно-зарядные машины, предназначенные для транспортирования, изготовления и заряжания взрывчатых веществ [Текст] / В. А. Сеницын, В. Г. Шеменев, П. В. Меньшиков [и др.] // Технологическое оборудование для горной и нефтяной промышленности: сб. статей XIII Междунар. научно-технич. конф. Сер. “Чтения памяти В.Р. Кубачека”. — 2015. — С. 157–160.
6. Корнилов, М. В. Промышленные испытания эмульсионного взрывчатого вещества “Фортис” [Текст] / М. В. Корнилов, Х. Лохни, В. Г. Шеменев [и др.] // Изв. вузов: Горный журнал. — 2015. — № 6. — С. 40–44.
7. Сеницын, В. А. Техническая оценка конструкций и производительности смешительно-зарядных машин для заряжания эмульсионных взрывчатых веществ на горных предприятиях [Текст] / В. А. Сеницын, П. В. Меньшиков,

- В. Г. Шеменев // Технологическое оборудование для горной и нефтяной промышленности: сб. трудов XV Междунар. научно-технич. конф. — 2017. — С. 453–456.
8. Соколов, И. В. Обоснование оптимальных параметров буровзрывных работ при отбойке кварца [Текст] / И. В. Соколов, А. А. Смирнов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2016. — № 7. — С. 337–350.
9. Шеменев, В. Г. Методика экспериментального определения основных характеристик взрывчатых веществ [Текст] / В. Г. Шеменев, В. А. Сеницын, П. В. Меньшиков // Горный журнал Казахстана. — 2014. — № 2. — С. 44–46.
10. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. Правила безопасности при взрывных работах / Утверждены приказом Технадзора от 16.02.2013 г. — 2014. — № 605. — 332 с.
11. Тимофеев, И. Н. Практика применения эмульсионных взрывчатых веществ на Олимпиадинском ГОКе [Текст] / И. Н. Тимофеев, Э. В. Гуленков. Взрывное дело. Вып. 107/64. — М.: ЗАО “МВК по взрывному делу при АГН”, 2012. — С. 191–198.
12. Шеменев, В. Г. Смесительно-зарядные машины для изготовления ЭВВ на карьерах Урала [Текст] / В. Г. Шеменев, А. В. Глебов // Горное оборудование и электротехника. — 2014. — № 5. — С. 41–45.

Коксохимическое производство

УДК 662.74:504.06

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ КОКСОХИМИИ

*О. А. ПОЛЯХ, канд. техн. наук; Н. С. ПОНОМАРЕВ, А. Д. ЖУРАВЛЕВ, kafcmet@sibsiu.ru
(ФГБОУ ВО “Сибирский государственный индустриальный университет”)*

Представлен обзор основных видов отходов коксохимического производства, использования жидких и твердых отходов в технологических процессах. Рассмотрены экологические аспекты утилизации и применения отходов.

Ключевые слова: промышленные отходы; отходы коксохимического производства; утилизация; коксовая пыль; смолистые отходы; коксовый газ.

COMPARATIVE ANALYSIS OF UP-TO-DATE WAYS OF INDUSTRIAL WASTES OF COKE PRODUCTION UTILIZATION

*O. A. POLYAKH, PhD (Tech); N. S. PONOMAREV, A. D. ZHURAVLEV, kafcmet@sibsiu.ru
(FGBOU VO “Siberian State Industrial University”)*

A review of main kinds of coke production wastes presented, as well as liquid and hard wastes utilization in the technological processes. Environmental aspects of the wastes utilization considered.

Key words: industrial wastes, coke production wastes, utilization, coke dust, tar wastes, coke gas.

Использование отходов коксохимического производства (КХП) является достаточно актуальным вопросом, широко обсуждаемым в литературе [1–28]. При коксовании каменных углей образуется значительное количество отходов, которые до настоящего времени не находят эффективного применения. Кроме того, ужесточение экологических требований к процессам производства коксохимических продуктов диктует необходимость поиска решений по утилизации и применению различного рода отходов. Одной из насущных проблем коксохимической промыш-

ленности является проблема расширения сырьевой базы коксования путем привлечения в шихту для коксования угля низкого качества взамен дефицитного.

Целью настоящей работы является сравнительный анализ современных направлений использования промышленных отходов коксохимии.

Среди отходов КХП выделяются жидкие (фусы, кислая смола, полимеры и др.) и твердые (коксовая пыль) отходы.

Смолистые отходы

Фусы — тяжелые остатки каменноугольной смолы, содержащие 40–50 % угольной и коксовой пыли, выносимой газом из коксовых печей. Они оседают на дно механических отстойников и осветлителей и представляют собой тяжелую вязкую массу [1].

Фусы используют в качестве топлива или в составе шихты для коксования и газификации. Их смешивают и окомковывают с основными компонентами и другими видами горючих отходов. На многих заводах из-за отсутствия оборудования значительная масса фусов не используется и направляется в накопители.

Вторая область применения фусов — строительная индустрия. На основе фусов изготавливают материалы для защитных покрытий бетонных, железобетонных и металлических изделий. Такие составы получают при растворении фусов в уайт-спирте и других растворителях с добавлением поливинилхлоридной смолы и последующим отстаиванием. Покрытия обладают устойчивой гидрофобностью, высокой прочностью и водостойкостью.

Кислая смолка — остатки конденсации легкой смолы из коксового газа и продукты полимеризации непредельных соединений, присутствующих в коксовом газе, под действием серной кислоты в процессе очистки газа от аммиака.

Кислую смолку добавляют к шихте при коксовании и используют при производстве битумов разных марок, для получения диоксида серы с последующей переработкой его в серную кислоту [2].

Смолку также используют как добавку к цементному клинкеру для интенсификации помола и активизации твердения цемента, как вспучивающие добавки к шихте при производстве керамзита. После нейтрализации ее можно использовать для производства дорожных дегтей. Нейтрализацию осуществляют с помощью щелочных отходов и реагентов. Возможно использование кислой смолки вместо столярного клея.

Таким образом, смолистые отходы КХП находят применение в строительной индустрии и могут быть возвращены в основной цикл в составе шихт для коксования.

Коксовая пыль

Коксовая пыль улавливается с установок сухого тушения кокса при продувке инертными газами разгруженного кокса, а также с установок беспылевой выдачи кокса с коксовых батарей. Применения практически не находит из-за сложности разгрузки и транспортировки, поэтому обычно возвращается в шихту коксования в количестве 1 % от массы шихты или перерабатывается «на месте» с использованием разных методов уплотнения и фасовки, либо запаковывается в тару (мешки). В целом из-за тонкодисперсного состояния и высокой зольности коксовая пыль мало пригодна к прямому использованию [11, 12].

Объемы коксовой пыли весьма велики, в среднем на одном коксохимическом предприятии образуется около 18–20 тыс. т/год коксовой пыли. Традиционно пыль накапливалась в хранилищах (которые уже заполнены) или добавлялась в шихту без предварительной технологической подготовки. Другие способы уничтожения отходов (захоронение, сжигание, биоразложение) также были неэффективны.

В настоящее время значительно изменилась сырьевая база коксования, и замена коксующихся марок угля на слабоспекающиеся марки требует изменений в технологии подготовки шихты, в том числе с привлечением коксовой пыли.

Современная угольная сырьевая база очень непостоянная по марочному составу и техно-

логическим свойствам, уголь неравномерно поставляется на заводы, а шихта для коксования является многокомпонентной. Колебания качественных показателей шихты не могут быть ликвидированы только путем организационных мероприятий в угольной промышленности. Представляется, что проблема получения доменного кокса из шихты современного марочного состава может быть решена путем внедрения новых эффективных технологических процессов подготовки этой шихты с повышением плотности загрузки [11, 12].

Эффективность всех новых методов подготовки угольной шихты перед коксованием, в том числе и брикетирования, в значительной мере обусловлена повышением плотности угольной загрузки в печных камерах. При этом повышение плотности не только служит средством увеличения производительности печей, но и улучшает условия спекания продуктов деструкции угольных зерен разной крупности и степени метаморфизма, а следовательно, механической прочности кокса.

Для расширения сырьевой базы коксования используют разные методы подготовки угольной шихты для коксования, в частности — уплотнение угольной загрузки с добавлением жидкотекучих отходов КХП. Рядом авторов предлагается использовать такие отходы в качестве связующего вещества при частичном брикетировании угольной шихты для коксования, что позволит не

только увеличить число слабоспекающихся марок угля при коксовании, но и утилизировать отходы производства. Увеличение плотности шихты при этом составляет 800–870 кг/м³, что приводит к повышению прочности кокса [13, 14].

Брикетиrowание коксовой пыли, включающее смешивание измельченного твердого топлива со связующим компонентом, рассмотрено в работах [13, 14]. В качестве измельченного твердого топлива используют предварительно обогащенную методом масляной агломерации коксовую пыль, а в качестве связующего компонента применяют предварительно разогретый карбамид. Также возможно использование в качестве добавок (после нейтрализации) к шихте для коксования (газификации) гудронов, образующихся в качестве отхода при взаимодействии смолистых продуктов коксового газа с серной кислотой в процессе получения сульфата аммония.

Таким образом, показана возможность использования коксовой пыли совместно с другими отходами производства в шихте для коксования угля (см. рисунок).

Использование в качестве сырья высокодисперсных материалов техногенного происхождения, не представляющих ценности и имеющих большие объемы накоплений, является относительно новым, перспективным и отвечающим требованиям ресурсосбережения направлением в электротермических процессах, в частности технологии производства карбида кремния [15, 16].

Согласно существующим термодинамическим представлениям, процесс карботермического восстановления кремнезема протекает с активным участием газообразных оксидов кремния. Размерный эффект, возникающий в однокомпонентной системе газ – дисперсная кристаллическая фаза, заключается в изменении давления насыщенного пара над поверхностью кристаллических частиц в зависимости от степени дис-

персности твердой фазы. Предполагается возможность повышения скорости взаимодействия за счет увеличения поверхности испарения SiO₂ и применения углеродистого восстановителя с высокой адсорбционной способностью и развитой поверхностью [17]. В качестве такого восстановителя и может быть предложена коксовая пыль.



Принципиальная схема подготовки шихты из отходов КХП

Для реализации электротермического процесса на основе микрокремнезема и коксовой пыли разработана технология печного синтеза высокодисперсного карбида кремния, позволяющая получать продукт с удельной поверхностью 3000–4000 м²/кг и содержанием карбида 90–92 % (мас.) [16].

Таким образом, коксовая пыль совместно с другими отходами КХП может достаточно успешно применяться в составе шихт для коксования и в некоторых электротермических процессах.

Сточные воды КХП

КХП является источником значительного количества высокотоксичных вторичных продуктов (отходов). Наибольшая часть из них (около 99 %) приходится на фенольные сточные воды, образующиеся в процессе коксования каменноугольных шихт; доля других отходов (кислых смол, фусов, масел и т. п.), образующихся в цехах улавливания и переработки продуктов коксования, составляет около 1 %. Сточные воды содержат различные масла, взвешенные вещества и прочие примеси органического и неорганического происхождения, большинство из которых являются вредными, затрудняющими использование сточных вод в производстве.

Количество сточных вод и концентрация в них загрязнений зависят от качества коксуемых углей, условий эксплуатации и состояния химической аппаратуры и составляет обычно 0,25–0,3 м³/ч на 1 т коксуемой шихты, абсолютное количество — до 150–170 м³/ч [18–21].

Фенольные воды нарушают естественные процессы самоочищения. Поверхностные водоемы, особенно небольшие, превращаются в сточные каналы без животного и растительного мира. Их невозможно использовать для культурно-оздоровительных и хозяйственно-бытовых нужд. Кроме того, поверхностные водоемы, загрязненные фенольными сточными водами, спо-

способствуют ухудшению качества воды подземных источников.

В настоящее время существует целый ряд экологически приемлемых технических решений, позволяющих существенно сократить вредное воздействие отходов КХП на окружающую среду, учитывающих специфику их физико-химических свойств. Обесфеноливание осуществляется с

помощью механических, экстракционных и биохимических методов [22].

Очищенные и обезвреженные сточные воды КХП используются в оборотных циклах данного и смежного производств. В работе [3] отмечена возможность применения надсмольной воды в качестве ингибитора отложения карбонатных солей при соблюдении оптимальных концентраций.

Коксовый газ

Коксовый газ образуется при коксовании угля в результате термического разложения и является побочным продуктом при производстве кокса. Примерный состав коксового газа, % (объемн.): 1,6–3 % CO₂; 0,4–0,8 % O₂; 2–3,5 % N₂; 2–2,5 % C_mH_n; 5–6,5 % CO; 24,5–26,5 % CH₄; 58–62 % H₂ [3].

Прямой коксовый газ проходит обязательную обработку, в процессе которой конденсируются пары смол и воды, а также улавливаются аммиак и бензолные углеводороды. После такой обработки газ называется обратным и его используют в основном для сжигания в качестве топлива как самостоятельно, так и в смеси с доменным.

Выводы

Проведен обзор основных видов отходов КХП на основе современных литературных источников. Установлено, что одной из актуальных экологических задач представляется необходимость утилизации промышленных отходов. Про-

анализированы современные направления использования отходов коксохимии, в том числе в качестве шихтовых материалов электротермических процессов (производство карбида кремния).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фусы, переработка [Электронный ресурс] // URL: <http://ru-ecology.info/term/43173>.
2. Экология города. Отходы коксохимического производства [Электронный ресурс] // URL: <http://portaleco.ru/>.
3. Управление отходами — основа восстановления экологического равновесия в Кузбассе [Текст]: сб. докладов Второй междунар. научно-практич. конф.; под ред. Е. П. Волынкиной. — Новокузнецк: СибГИУ, 2008. — 313 с.
4. Фенолы [Электронный ресурс] // URL: <http://www.eurolab.ua/encyclopedia/3863/34232/>.
5. Полях, О. А. Применение отходов коксохимического производства в электротермии карбида кремния [Текст] / О. А. Полях, А. Е. Аникин, Н. Ф. Якушевич, Г. В. Галевский // Современные проблемы производства кокса и переработки продуктов коксования: сб. материалов II Всерос. научно-практич. конф.; отв. ред. В. Ю. Блюменштейн. — Кемерово, 2014. — С. 10–15.
6. Пономарев, Н. С. О возможности применения высокодисперсных техногенных отходов как сырья электротермических процессов [Текст] / Н. С. Пономарев, О. А. Полях // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: сб. трудов Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых; под общ. ред. М. В. Темлянцева. — Новокузнецк: СибГИУ, 2015. — С. 246–248.
7. Терентьева, И. М. Особенности процесса коксования угольных шихт с использованием отходов коксохимического производства [Текст] / И. М. Терентьева, О. А. Полях // Там же. Под общ. ред. Л. П. Мышляева. — Новокузнецк: СибГИУ, 2012. — С. 26–29.
8. Коновалова, Х. А. Экологические аспекты утилизации и применения промышленных отходов коксохимии [Текст] / Х. А. Коновалова, О. А. Полях // Там же. Под общ. ред. М. В. Темлянцева. — Новокузнецк: СибГИУ, 2016. — С. 330–334.
9. Пономарев, Н. С. Особенности использования жидких отходов коксохимического производства в составе угольных шихт [Текст] / Н. С. Пономарев, О. А. Полях // Там же. — Новокузнецк: СибГИУ, 2016. — С. 339–342.
10. Браун, Н. В. Перспективные направления развития коксохимического производства [Текст] / Н. В. Браун, И. М. Глушенко. — М.: Металлургия, 1989. — 271 с.
11. Ухмылова, Г. С. Освоение прогрессивных процессов расширения сырьевой базы коксования за рубежом [Текст] / Г. С. Ухмылова. — Обзор. информ. ин-та “Черметинформация”. Сер.: Коксохимическое производство. — Вып. 1. — М., 1987. — 45 с.
12. Глушенко, И. М. Исследование частичного брикетирования угольной шихты и связующих материалов для заводов Приднестровья [Текст] / И. М. Глушенко, Н. В. Браун, В. Ж. Цвенишвили, О. Ф. Долгих // Кокс и химия. — 1988. — № 6. — С. 24–27.
13. Дюканов, А. Г. Брикетирование угольных шихт перед коксованием и перспективы его совершенствования [Текст] / А. Г. Дюканов, Ю. С. Васильев, Ю. И. Гречко, Т. Е. Никитина // Там же. — 1990. — № 6. — С. 12, 13.
14. Полях, О. А. Производство микро- и нанопорошка карбида кремния на основе техногенного микрокремнезема [Текст] / О. А. Полях, В. В. Руднева, Н. Ф. Якушевич, Г. В. Галевский. — Вестник горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии: сб. науч. трудов. — Вып. 32. — М.–Новокузнецк: СибГИУ, 2013. — С. 112–131.

15. Полях, О. А. Наноматериалы и нанотехнологии в производстве карбида кремния [Текст]: монография: в 3 т. Т. 1. Микрокремнезем в производстве карбида кремния / О. А. Полях, В. В. Руднева; науч. ред. Г. В. Галевский. — М.: Флинта: Наука, 2007. — 248 с.
16. Якушевич, Н. Ф. Взаимодействие углерода с оксидами кальция, кремния, алюминия [Текст] / Н. Ф. Якушевич, Г. В. Галевский. — Новокузнецк: СибГИУ, 1999. — 250 с.
17. Жуков, А. И. Методы очистки производственных сточных вод [Текст] / А. И. Жуков. — М.: Стройиздат, 2008. — 114 с.
18. Комарова, Л. Ф. Использование воды на предприятиях и очистка сточных вод в различных отраслях промышленности [Текст]: учебное пособие / Л. Ф. Комарова, М. А. Полетаева. — Барнаул: АлтГТУ, 2010. — 174 с.
19. Родионов, А. И. Защита биосферы от промышленных выбросов. Основы проектирования технологических процессов [Текст] / А. И. Родионов, Ю. П. Кузнецов, Г. С. Соловьев. — М.: Химия, КолосС, 2005. — 392 с.
20. Сабирова, Т. М. Проблемы и перспективы технологии очистки и утилизации сточных вод коксохимических предприятий [Текст] / Т. М. Сабирова, М. А. Зайденберг // Кокс и химия. — 1999. — № 10. — С. 35–38.
21. Жищенко, В. В. Экологические аспекты очистки сточных вод коксохимического производства [Текст] / В. В. Жищенко, О. А. Полях // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: сб. трудов Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых; под общ. ред. М. В. Темлянцева. — Новокузнецк: СибГИУ, 2016. — С. 321–324.
22. Забродина, М. В. Эколого-экономические проблемы переработки отходов коксохимического производства [Текст] / М. В. Забродина: сб. материалов III молодежного экологического форума. — Кемерово: Кузбасский гос. технич. ун-т им. Т.Ф. Горбачева, 2015. — С. 20, 21.
23. Сокур, А. А. Особенности гранулирования дисперсной составляющей отходов коксохимического производства [Текст] / А. А. Сокур, П. В. Третьяков, А. И. Кутняшенко // III Междунар. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых по химии и химической технологии. — Киев, 2010.
24. Производство кокса [Электронный ресурс] // URL: <http://metalspace.ru/education-career/osnovy-metallurgii/koks.html>.
25. Кулькова, Т. Н. Опыт утилизации смолосодержащих отходов коксохимического производства ОАО НКМК [Текст] / Т. Н. Кулькова, Н. В. Яблочкин, А. И. Гальченко [и др.] // Металлург. — 2007. — № 4. — С. 17–20.
26. Пат. 2178440 Российской Федерации, МПК С 10 В 57/12, С 10 В 57/06. Способ утилизации отходов коксохимического производства / А. В. Салтанов, Л. Б. Павлович, В. Е. Яхнис [и др.]. — № 2000123687/12. Заявл. 14.03.2000. Оpubл. 20.01.2002.
27. Зайцев, В. А. Промышленная экология [Электронный ресурс]: учебное пособие / В. А. Зайцев. 2-е изд. (эл.). — Электрон. текстовые дан. (1 файл pdf: 385 с.). — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015.
28. Усик, А. Ф. Использование отходов коксохимического производства [Текст] / А. Ф. Усик, В. Т. Баришполец. — Обзор. информ. ин-та “Черметинформация”. Сер.: Коксохимическое производство. — Вып 1. — М., 1981. — 20 с.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА АГЛОМЕРАТА

Часть 11. Технологические методы защиты окружающей среды от вредных выбросов агломерационных фабрик

Ю. А. ФРОЛОВ¹, д-р техн. наук, uaf.39@mail.ru; Л. И. КАПЛУН², д-р техн. наук, проф.;
И. М. МИЩЕНКО³, канд. техн. наук, проф.; Я. Ю. АСЛАМОВА³
(¹ ООО “НПП “Уралэлектра”, ² ФГАОУ ВО “Уральский федеральный университет
им. первого Президента России Б.Н. Ельцина”,
³ ГОУ ВПО “Донецкий национальный технический университет”)

Рассмотрены технологические методы борьбы с выбросами вредных веществ в агломерационном производстве. Описаны технологические методы профилактики, контроля и минимизации вредных выбросов, а также повторного использования материалов и энергии.

Ключевые слова: агломерационное производство; защита окружающей среды; выбросы вредных веществ; минимизация вредных выбросов; повторное использование материалов и энергии.

THE STATUS AND PROSPECTS OF SINTER PRODUCTION TECHNOLOGY DEVELOPMENT

Part 11. Technological methods of environment protection from hazardous emissions of sintering plants

Yu. A. FROLOV¹, Higher Doctorate (Tech), uaf.39@mail.ru; L. I. KAPLUN², Higher Doctorate (Tech), Professor;
I. M. MISCHENKO³, PhD (Tech), Professor; Ya. Yu. ASLAMOVA³
(¹ OJSC “NPP “Uralelectra”, ² FGAOU VO “Ural Federal University after the first President of Russia
B.N. El'tsin”, ³ GOU VPO “Donetsk National Technical University”)

Technological methods of sinter production hazardous emissions control considered. Technological methods of prevention, control and minimization, as well as repeated materials and energy described.

Key words: sinter production, environmental control, hazardous substances emissions, minimization of hazardous substances, repeated utilization of materials and energy.

В продолжение и развитие серии статей, посвященных технологии агломерационного процесса [1–10], преимущественно по материалам Института перспективных технологических исследований Объединенного исследовательского центра Европейского бюро ИРПС (Бюро комплексного предотвращения и контроля загрязнений) для зарубежных аглофабрик [11], а также по отечественным материалам, рассмотрены тех-

нологические методы борьбы с выбросами вредных веществ, профилактики, контроля и минимизации вредных выбросов, а также повторного использования материалов и энергии.

Для сравнения методов борьбы с выбросами вредных веществ специалистами Института перспективных технологических исследований предложена стандартная структура, представленная в табл. 1 [11].

ТАБЛИЦА 1. СТАНДАРТНАЯ СТРУКТУРА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИЯ ПО МЕТОДАМ ВАТ

Описание	Техническое описание аглофабрики (АФ) и технологии
Достижимый природоохранный эффект	Основное воздействие на окружающую среду (включая энергию, воду, сырье, экономию шихтовых материалов и пр.) конкретной технологией и техникой
Побочные эффекты	Подробная информация о природоохранном эффекте в сравнении с другими оперативными данными и побочные эффекты и недостатки методов при их внедрении. Эта информация может включать в себя следующие данные: расход сырьевых материалов и воды; потребление энергии;

Описание	Техническое описание аглофабрики (АФ) и технологии
	увеличение кислотности в результате выбросов в атмосферу; выбросы твердых частиц в атмосферу (в том числе микрочастиц и металлов); зарастание водоемов водорослями в результате выбросов в атмосферу или в воду; выбросы стойких токсичных компонентов в воду или на землю; накопление или сокращение отходов/побочных продуктов; возможность использования или переработки отходов/побочных продуктов; шум и/или запах; риск несчастных случаев
Эксплуатационные данные	Данные об уровне выбросов АФ, использующих ту или иную технологию. Любая другая информация об эксплуатации, обслуживании и управлении
Применимость технологии и техники	Указания об АФ, на которых метод может быть применен с учетом мощности и сроков их эксплуатации, технологии и техники, которые используются, а также характеристика продукта
Экономика	Информация о затратах (капитальных и текущих) и о любой возможной экономии (например, уменьшении расхода сырья, энергии, использовании отходов)
Целесообразность, необходимость осуществления	Местные условия или требования, которые обуславливают или могут стимулировать реализацию. Информация об иных причинах, кроме экологических (например, увеличении производительности АФ, условий безопасности)
Пример аглофабрик	АФ, на которых метод применяется и от которых получена информация
Справочная литература	Литература, которая использована при написании раздела

Технологические методы защиты окружающей среды

Аглофабрики стран СНГ в составе предприятий с полным циклом металлургической продукции выбрасывают в атмосферу больше половины общей массы CO и SO₂ (соответственно 78 и 61 % [12]). Эти выбросы в основном происходят вследствие сжигания твердого топлива в слое, а также других причин, перечисленных ниже. Для их снижения применяются следующие основные технологические методы:

- повышение степени обогащения железных руд;
- улучшение показателей усреднения компонентов агломерационной шихты;
- повышение точности дозирования шихтовых материалов;
- уменьшение массовой доли классов менее 0,5 и +3 мм в твердом топливе (например, с использованием грохотов “Флип-Флоп” [1]);
- повышение физической и химической однородности агломерационной шихты за счет ее интенсивного смешивания (например, в интенсивных смесителях “Айрих” [2]);
- повышение степени окомкования и прочности гранул агломерационной шихты путем оптимизации увлажнения шихты и режимов работы барабанов-окомкователей с преобразователями частоты для приводов, а также упрочнения гранул в конце барабанов с помощью специальных вставок [2];
- совершенствование операции загрузки шихты на агломашины (в частности, за счет возвращения двухслойной загрузки, оптимизации режима работы челнокового распределителя шихты, увеличения частоты вращения барабан-

ного питателя, установки стабилизатора и удлинения загрузочного лотка с защитой его от налипания шихты) [3];

- применение защитной постели фракции 10–20 или 15–25 мм [5];

– увеличение (оптимизация) высоты слоя спекаемой шихты при одновременном повышении его газопроницаемости за счет подогрева и известкования шихты и внедрения мероприятий, рассмотренных выше;

- рециркуляция 25–35 % токсичных отходящих газов с агломашин с возможной утилизацией тепла с охладителей агломерата;

– поддержание газоотводящего тракта и газоочистных установок герметичными для минимизации подсосов воздуха;

- стабильная работа агломашин, минимальное число их остановок;

– снижение содержания летучих углеводородов в агломерационной шихте;

- снижение содержания серы в шихте и агломерате;

– утилизация отходов металлургического производства, содержащих горючий углерод, металлическое и недоокисленное железо (колошниковая пыль, шламы, прокатная окалина, мелкая чугунная и стальная стружка, сепарированные сталеплавильные шлаки с содержанием железа 50–60 %).

Согласно работе [11], ни один метод не может обеспечить пониженные выбросы ПХДД/Ф, а только их комбинация, но прежде всего стабильная работа агломашин (АМ).

Стабильная работа агломашин

Минимизация числа остановок и краткосрочных колебаний в работе АМ сопровождается снижением пика выбросов твердых частиц и ощутимым воздействием на выбросы, сопровождающие цикл производственных операций. При стабильной работе АМ, как правило, снижаются

пылегазовые выбросы. Превышение допустимого уровня выбросов твердых частиц возникает во время пуска АМ после остановок в результате подсушки шихты и неупорядоченного расширения зоны горения твердого топлива в слое.

Снижение содержания летучих углеводородов в агломерационной шихте

Поступление с шихтой углеводородов должно быть сведено к минимуму, особенно масел. Большая часть содержащих масла углеводородов испаряется из шихты при температуре от 100 до 800 °С и выбрасывается в атмосферу с отходящими газами. Низкое содержание масла в пыли, окалине и других отходах, используемых на аглофабриках, необходимо по нескольким причинам, например, для предотвращения возгорания и отложений в электрофильтрах или закупоривания тканевого фильтра. Высокое содержание масла в окалине создает благоприятные условия для формирования ПХДД/Ф. Сни-

жение содержания масла в шихте сопровождается сокращением выбросов летучих органических соединений (ЛОС). Использование антрацитов, содержание летучих у которых меньше, чем у кокса, также позволяет снизить выбросы ЛОС.

В отходящих газах может быть достигнута концентрация менее 2,0 мг/м³ неметановых летучих органических соединений (НМЛОС). Этот высокий показатель является особенно важным для АМ, работающих с применением одних электрофильтров.

Методы обжига и обезжиривания окалины в ЕС и странах СНГ не применяются.

Снижение содержания серы в шихте и агломерате

Низкие выбросы оксида серы достигаются за счет использования сырья с небольшим содержанием серы и сведения к минимуму расхода топлива. Соединения серы поступают на аглофабрики в основном с коксовой мелочью и реже с рудами. Содержание серы 0,8 % в коксовой мелочи и 0,08 % в железных рудах может рассматриваться как приемлемое и напрямую коррелируется с более низкими выбросами SO₂. Потребление коксовой мелочи на аглофабриках ЕС и в странах СНГ за последние 30 лет сократилось примерно на 50 % (до текущего уровня 39–60 кг/т агломерата).

Помимо содержания серы в шихте есть и другие факторы, которые влияют на количество выбрасываемого SO₂. Одним из них является степень перехода серы в агломерат, зависящая от основности шихты. При основности до 1,0 улетучивается более 90 % сульфидной серы. Это со-

держание уменьшается при основности выше 1,5. При основности 2,8 вновь удаляется ~90 % серы. Увеличение основности агломерата до 1,7–1,8 в Европе привело к уменьшению выбросов SO₂, но все же незначительному. Кроме того, усвоение серы агломератом за счет высокой основности агломерата возможно только при использовании CaCO₃, но не MgCO₃. При этом, кроме снижения выбросов серы, могут быть уменьшены выбросы ПХДД/Ф. При лабораторных спеканиях шихты получили снижение последних на 60–65 %, но промышленные данные отсутствуют.

Вместе с тем положительному эффекту влияния CaCO₃ на выбросы SO₂ противодействует его негативное воздействие, вызываемое увеличением удельного электрического сопротивления пыли с ростом основности. Это приводит к снижению эффективности работы электрофильтра.

Утилизация отходов металлургического производства

Утилизация колошниковой пыли, незамасленной прокатной окалины, богатых железом высокоосновных сталеплавильных шлаков всегда эффективна и не вызывает существенных затруднений при реализации. Однако при утилизации уловленных в газоочистных аппаратах тонких пылей и шламов возникают значительные проблемы. Влажные шламы склонны образовывать крупные (до 25 мм) гранулы и комки, которые не спекаются в слое и являются очагами

формирования пылевых потоков. Поверхностные свойства тонких частиц пылей, особенно уловленных в электрофильтрах, препятствуют смачиванию их водой и препятствуют окомкованию шихты.

Показательными являются результаты опытно-промышленных исследований [13] влияния трудно утилизируемых шламов на основные показатели агломерации в условиях Енакиевской агломерационной фабрики на Украине, которые

проведены в 1995 г. и в июне–июле 2017 г. — в ДНР при работе на ковдорском концентрате и металлургических отходах, преимущественно

шламах доменного и сталеплавильного производства (табл. 2).

ТАБЛИЦА 2. ВЛИЯНИЕ РАСХОДА ШЛАМА НА ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ АГЛОМАШИН ЕНАКИЕВСКОЙ АГЛОМЕРАЦИОННОЙ ФАБРИКИ

Показатель агломерации	Удельный расход шлама, кг/т агломерата					
	1995 г.					2017 г.
	30	200–250	400	600	800	281
Удельная производительность агломашин, т/(м ² ·ч)	1,0–1,1	1,0–1,05	0,85	0,65–0,7* ¹	0,62* ¹	0,56* ²
Содержание мелочи класса 0–5 мм в агломерате, %	18,5	18,5–21	20–22	22–25	26,5–28	15,5
* ¹ Показатели зимнего периода работы. * ² Низкая производительность агломашин обусловлена в основном низкой скоростью спекания, “торможением” агломашин в связи с небольшой потребностью в агломерате единственной доменной печи, задутый после длительной стоянки в условиях блокады.						

Химический состав шламов следующий (1995/2017 г.), %: 48,7/50,33 Fe; 10,6/14,84 FeO; 8,8/4,8 SiO₂; 7,8/10,0 CaO; 1,10/1,87 MgO; 1,35/1,83 Al₂O₃; 0,45/нет св. (K₂O + N₂O); 0,04/0,027 P; 0,17/нет св. Zn; 0,28/0,357 S; 4,0/нет св. Cr; 8,5/8,31 п.п.п., нет св./4,37 C_r.

Как следует из данных табл. 2, в 1995 г. при увеличении расхода шлама от 30 до 250 кг/т агломерата наблюдалось незначительное уменьшение производительности и снижение прочности агломерата. Увеличение расхода шлама до 400–800 кг/т сопровождалось снижением производительности на 17–39 % и прочности агломерата на 13,5–27,5 %.

В лабораторных условиях аналогичная замена 40 % аглоруды и концентрата шламом, что соответствует удельному расходу последнего 360 кг/т агломерата, приводила к снижению производительности процесса на 5–6 %, а прочности — на 1 % (абс.). Увеличение расхода шлама до 570–810 кг/т сопровождалось, как и в промышленных условиях, резким ухудшением показателей: производительность уменьшалась до 23 %, а выход фракции 0–5 мм — на 20 %.

Таким образом, при недостаточной подготовке шламов несколько сниженные, но приемлемые результаты процесса спекания можно получить при их удельном расходе до 150–200 кг/т агломерата. Сохранение удельной производительности АМ и показателей качества агломерата представляется достижимым, если шламовая смесь имеет высокую сыпучесть, представлена мелкозернистой (не более 5–6 мм), но хорошо окомкованной массой, и ее расход не превышает 150–200 кг/т агломерата.

В мае–июле 2017 г. железорудная часть шихты была представлена более богатым по железу, но плохо комкуемым ковдорским концентратом при расходе 640 кг/т агломерата и металлургическими отходами, преимущественно влажными шламами (281 кг/т), а также отсевами

агломерата и окатышей (21,1 кг/т), окалиной и металлической фракцией — продуктом магнитной сепарации сталеплавильных шлаков (29,8 кг/т), остатками мелкого железорудного сырья соседних предприятий (50 кг/т), колошниковой и аспирационной пылью (15 кг/т).

Подготовка отходов проходила в две стадии: вначале влажные и сухие, тонкодисперсные и крупные отходы проходят цикл послойного перемешивания, так называемой простейшей гомогенизации, с помощью экскаваторов и бульдозеров при добавке в состав смеси конвертерного шлака крупностью 0–15 мм (61,4 кг/т) и агломерационной извести (30,4 кг/т). Затем грубо перемешанные отходы проходят наравне с концентратом цикл дозирования и более тщательно смешиваются с предварительно увлажненным концентратом в барабанах-смесителях 2,8×8 м. Спекание шихты осуществляется в слое высотой 300 мм. Показатели прочности агломерата по выходу классов 0–5 мм в 2017 г. на 3–5 % (абс.) выше, чем в 1995 г., при прочих равных условиях и равных расходах трудно спекаемых шламов. Невысокая производительность АМ в основном обусловлена низкой потребностью в агломерате ввиду необходимости поддерживать четыре АМ в рабочем состоянии.

Показатели работы АМ при больших расходах шламов и пылей можно улучшить путем установки в цикл подготовки шихты интенсивных смесителей “Айрих”. Эти смесители не только эффективно перемешивают компоненты аглошихты, равномерно распределяя в ней влагу, но и формируют зародышевые центры из шламов, пылей и концентратов, служащие центрами при последующей грануляции шихты.

Количество сырьевых материалов при утилизации отходов экономится пропорционально сумме расходов последних. Вместе с тем использование отходов, содержащих значительное количество тяжелых металлов в летучих (напри-

мер, Hg, Pb, Cd), приводит к увеличению выбросов последних. Рециркуляция некоторых отходов может способствовать увеличению содержания этих металлов в отходящих газах. Щелочи и хлориды могут накапливаться в агломерационном процессе, что может увеличить их выбросы

с газами и нагрузку на газоочистное оборудование. Утилизация пыли электрофильтров может приводить к увеличению выбросов ПХДД/Ф в атмосферу за счет рециркуляции диоксинов и хлора и De Novo синтеза.

Утилизация тепла агломерата

Существует два варианта использования потенциальной энергии на аглофабриках:

а. Использование тепла отходящих газов АМ.

б. Использование тепла горячего воздуха с охладителя агломерата.

Вариант а. Единственным вариантом использования тепла отходящих газов АМ является их частичная рециркуляция.

Вариант б. Горячий воздух с охладителя агломерата может использоваться одним или сочетанием нескольких способов:

б1. С получением пара для металлургического завода.

б2. С получением горячей воды для централизованного теплоснабжения жилого района.

б3. С подачей воздуха для горения топлива в зажигательный горн и в слой за горном.

б4. С подогревом агломерационной шихты.

б5. С подачей горячего воздуха в систему рециркуляции отходящих газов. Для этого воздух с температурой ~350 °С совместно с рециркулянтom используется для тепловой обработки слоя спекаемой шихты после зажигательного горна.

Применение вариантов утилизации тепла агломерата

- Комбинированный вариант (а + б) утилизации тепла. Применяется на аглофабрике № 4 Sumitomo Heavy Industries Wakayama на АМ с охлаждением агломерата на аглоленте. Отходящие газы с АМ и горячий воздух из зоны охлаждения смешивают, пропускают через паровые котлы и возвращают на АМ.

- Горячие газы с охладителя агломерата и отходящие газы с АМ используют раздельно (вариант б1). Отходящие газы с АМ и горячий воздух с охладителя раздельно пропускают через паровые котлы и возвращают на АМ (аглофаб-

рика № 3 Sumitomo Heavy Industries Kokura).

- Утилизацию тепла с охладителя агломерата применяют для централизованного теплоснабжения (вариант б2). С этой целью горячий воздух с охладителя агломерата продают партнерам, которые используют это тепло для подогрева воды до 105 °С и поставляют по трубопроводам в город для теплоснабжения (аглофабрика № 3 ArcelorMittal Dunkirk).

- Тепло с охладителя агломерата используют в традиционном варианте спекания шихты в сочетании с частичной рециркуляцией отходящих газов по методу EOS (Emission Optimized Sintering — оптимизированный по выбросам процесс спекания).

- Тепло воздуха с охладителя агломерата используют для производства пара (вариант б1) и для подогрева воздуха горения для зажигательного горна (вариант б3).

- Совместное использование тепла с охладителя агломерата и тепла отходящих газов при их рециркуляции (вариант б1 с б3). На аглофабрике № 5 Voestalpine, Linz, Австрия, тепло воздуха с охладителя агломерата используется по методу EPOSINT (Environmental Process Optimized Sintering — экологически оптимизированный процесс спекания). При рециркуляции отходящих газов горячий воздух с охладителя агломерата подают вместо атмосферного воздуха для повышения содержания кислорода в теплоносителе. Небольшая часть горячего воздуха с охладителя также может быть использована в качестве воздуха горения топлива в зажигательном горне.

Полученные результаты от утилизации тепла агломерата приведены в табл. 3.

ТАБЛИЦА 3. ЭКОНОМИЯ ЭНЕРГИИ ОТ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА АГЛОМЕРАТА

Вариант	Достигнутая экономия энергии
a + b	Используется 30 % располагаемого тепла. Производится 120 кг пара/т агломерата при давлении 25 атм и температуре 375 °С. АМ площадью спекания 360 м ² производит 10 тыс. т/сут агломерата, но если АМ должна работать при максимальной производительности, то она при данной технологии может снижаться
b1	Используется 23,1 % располагаемого тепла, производится 120 кг пара/т агломерата при давлении 9 атм и температуре 273 °С

Вариант	Достигнутая экономия энергии
b2	Экономится примерно 15 кВт·ч/т агломерата
b1 + b3	18 % от располагаемого тепла используется для парового котла и 2,2 % — в качестве воздуха горения топлива в зажигательном горне
b1 + b3	На аглофабрике Voestalpine, Linz снижен расход твердого топлива на 2–5 кг/т агломерата
b5	Экономится примерно 10 % коксовой мелочи. Улучшается качество агломерата

Системы утилизации тепла из зоны охлаждения агломерата АМ применяются в ЕС часто, например, в Нидерландах, Италии (Riva, Taranto), Германии (Thyssen Krupp Stahl, Duisburg).

Системы утилизации тепла с автономных охладителей агломерата применяются на аглофабрике № 3 ArcelorMittal Dunkirk, Франция, с 1991 г. Три АМ используют эту систему на заводе Corus, Великобритания.

На аглофабрике № 5 Voestalpine, Linz утили-

зация тепла с охладителя агломерата реализована как часть процесса EPOSINT с апреля 2005 г.

В 1995 г. 64 % японских аглофабрик применяли системы утилизации тепла с охладителей агломерата и тепла из зоны охлаждения агломерата АМ, а 43 % — системы рециркуляции отходящих газов.

Две агломерационные установки в Европе используют технологию b5.

Рециркуляция отходящих газов

В промышленных масштабах разработаны и применяются различные способы рециркуляции газов, схемы которых представлены на рис. 1.

При этом предусматривается, что они не должны негативно сказаться на качестве агломерата и производительности АМ.

Технологическая операция	Название технологии	Пример установки
а) Рециркуляция части всех отходящих газов с агломашины	Оптимизированный по выбросам процесс – EOS (Emission Optimized Sintering)	Corus Ijmuiden, Нидерланды
б) Рециркуляция отходящих газов с последних вакуум-камер агломашины	Низкие выбросы и оптимизированное по энергозатратам производство агломерата – LEEP (Low emission and energy optimized process)	НКМ, Германия
в) Рециркуляция отходящих газов совместно с утилизацией тепла с охладителя агломерата	Экологически оптимизированный процесс агломерации – EPOSINT	Voestalpine, Linz, Австрия
г) Зональная рециркуляция отходящих газов и их посекционная подача в слой		NSC, Tobata АФ № 2, Япония

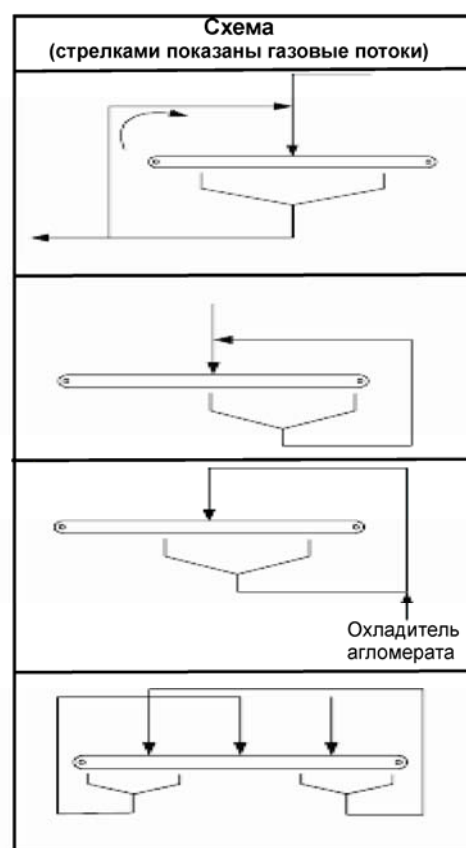


Рис. 1. Технологические методы частичной рециркуляции газов

Важными факторами при определении применимости этих методов являются:

- конструкция АМ (например, с одним или двумя патрубками вакуум-камер, доступное для нового оборудования пространство);
- первоначальный проект существующего

оборудования (например, типы вентиляторов, газоочистного оборудования, сортировки и охлаждения агломерата);

- начальные технологические условия (например, сырьевые материалы, высота слоя шихты, разрежение в системе, расход извести,

количество возврата);

– существующие показатели с точки зрения производительности АМ и потребления твердых видов топлива;

– основность агломерата и состав шихты доменной печи (например, доля агломерата в доменной шихте, содержание железа в агломерате и окатышах).

Необходимо иметь в виду, что внедрение представленных методов может снизить гибкость работы АМ. Значительное изменение состава шихты или условий эксплуатации может существенно изменить профили выбросов вредных веществ по длине АМ и тем самым нарушить принятые условия для рециркуляции газов. Кроме того, хотя эти методы могут способство-

вать снижению общей массы выбросов аглофабрики, концентрация определенных веществ в рециркулируемых и отработанных газах может повыситься (например, кислотных соединений). Что касается последних, то для предотвращения коррозии металлоконструкций и дымовой трубы должен быть осуществлен жесткий контроль температуры и влажности отходящих газов и кислотной точки росы. В конкретных случаях использования рециркуляции отходящих газов все упомянутые ограничения аглофабрикам удалось преодолеть применением контрмер.

Данные об экологическом и технологическом эффектах рециркуляции отходящих газов приведены в табл. 4 и 5.

ТАБЛИЦА 4. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТЫ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ

Основной экологический эффект	Общий производственный эффект
Частичное разрушение NO _x	В зависимости от основности агломерата его качество может быть снижено из-за уменьшения концентрации O ₂ в газе на входе в слой. Холодная прочность агломерата может снизиться до 10 %. Содержание FeO в агломерате может возрасти. Возможно снижение производительности агломашин
Частичное разрушение диоксинов	
Удаление SO _x из отходящих газов	
Утилизация пыли из отходящих газов	
Дожигание СО отходящих газов в слое, снижение до 10 % расхода твердого топлива	В зависимости от основности агломерата производительность АМ может быть снижена до 10 %

ТАБЛИЦА 5. КОЛИЧЕСТВО ВЫБРОСОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИСТЕМЫ EOS НА АГЛОФАБРИКЕ CORUS IJMUIDEN

Параметр	Традиционная технология		Оптимальная технология с EOS	
	июль 1994 г.	октябрь 1994 г.	июль 1994 г.	октябрь 1994 г.
Общий расход отходящих газов, нм ³ /ч	394000	372000	328000	328000
Расход рецикулянта, нм ³ /ч	0	0	153000	120000
Расход выбрасываемого в атмосферу отходящего газа, нм ³ /ч	394000	372000	175000	208000
Температура отходящего газа, °С	164	114	155	149
Влажность отходящего газа, %	10	11	16	19
Температура точки росы, °С	46±5	Нет св.	71±5	Нет св.
Выбросы пыли в атмосферу*, г/т агломерата	500	То же	170	То же
Состав отходящих газов:				
O ₂ , %	15	15	11,5	12,1
CO ₂ , %	7,5	7,0	11,7	11,2
SO ₂ , г/т агломерата	1430	890	840	680
NO _x , г/т агломерата	630	570	300	410
C _x H _y , г/т агломерата	200	145	95	83
PCDD/F, mg I-TEQ/r sinter	2,0	Нет св.	0,6	Нет св.

* В этот период для очистки отходящих газов применялись только батарейные циклоны.

Исследование рециркуляции отходящих газов агломашин на математической модели

В работе [14] выполнен расчетный анализ процесса спекания шихты на АМ площадью спекания 224 м² с рециркуляцией отходящих газов, поставленной в Индию фирмой Outotec. Рассмотрены варианты совместной подачи в слой отходящих газов и атмосферного или горячего воздуха с охладителя агломерата в разных соотношениях.

В газоотводящем тракте АМ планируется установить рукавные фильтры за существующими электрофильтрами. Было предусмотрено организовать рециркуляцию отходящих газов в сочетании с принудительной подачей в них атмосферного воздуха по схеме, показанной на рис. 2.

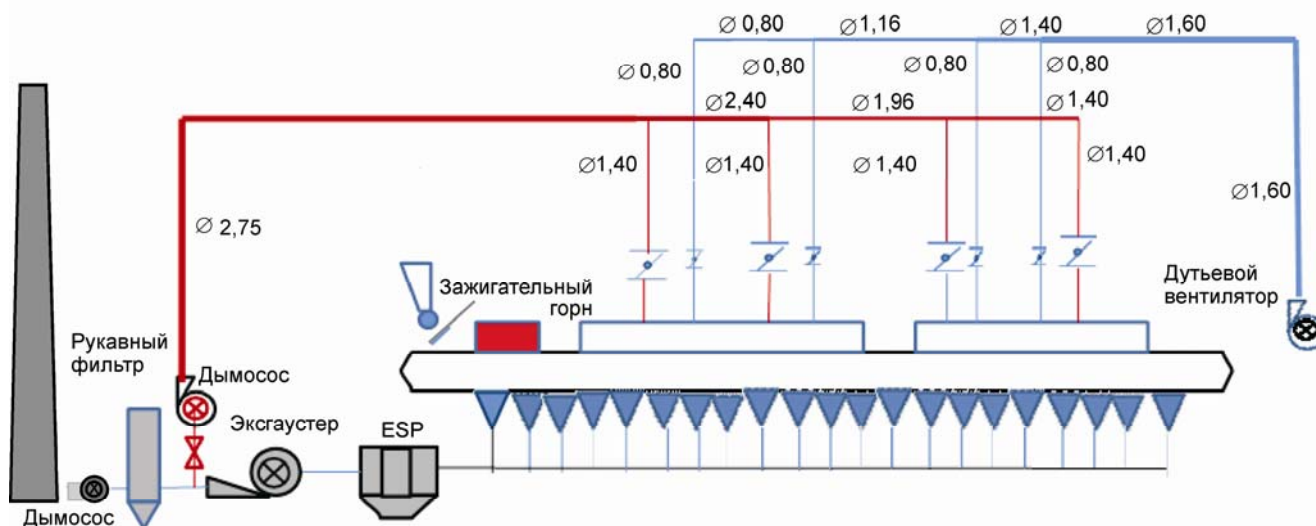


Рис. 2. Принципиальная схема рециркуляции и очистки от пыли отходящих агломерационных газов в сочетании с принудительной подачей атмосферного воздуха

Концентрация пыли в отходящих газах после электрофильтров на АМ в настоящее время находится на уровне 100 мг/м^3 . Установка рукавного фильтра обеспечит ее снижение до $10\text{--}15 \text{ мг/м}^3$, а рециркуляция более 30 % отходящих газов позволит существенно сократить капитальные и текущие затраты на рукавные фильтры меньшего размера, снизить выбросы СО в атмосферу и расход твердого топлива.

Предварительный анализ возможной схемы рециркуляции показал, что необходимость в принудительной подаче атмосферного воздуха в линию рециркуляции отсутствует. Расход воздуха через слой в отсутствие дутьевого вентилятора регулируется автоматически в зависимости от количества подаваемых на АМ отходящих газов. Это позволяет снизить затраты на внедрение и обслуживание системы рециркуляции, упростить управление ею и обезопасить с точки зрения соблюдения мер техники безопасности. Дымосос потребуется только в случае подачи горячего воздуха с охладителя агломерата взамен атмосферного.

Задачей расчетного анализа, выполненного на трехмерной математической (динамической) модели процесса спекания [15], являлось определение условий, обеспечивающих максимальный расход рециркулянта при сохранении, по возможности, производительности АМ и снижении расхода топлива на производство агломерата.

Получено, что подача отходящих газов в слой сразу же после зажигательного горна приведет к существенному замедлению горения твердого топлива, что обусловлено малым временем за-

жигания шихты (зона горения топлива под горном не успевает сформироваться на полную высоту) и пониженным содержанием кислорода в отходящих газах. Поэтому во всех вариантах расчета предусмотрена естественная фильтрация окружающего воздуха над двумя вакуум-камерами за горном или подача горячего воздуха в эту область. Рециркулянт также не подается в слой над последней вакуум-камерой.

На математической модели выполнены расчеты для следующих вариантов:

1. С естественной фильтрацией воздуха через слой над первыми двумя вакуум-камерами после горна перед рециркуляцией отходящих газов на остальной площади АМ.
2. То же, что и по п. 1, но с фильтрацией горячего воздуха (300°C) с охладителя агломерата.
3. То же, что и по п. 1, но с рециркуляцией смеси из 70 % отходящих газов и 30 % окружающего воздуха.
4. То же, что и по п. 4, но с рециркуляцией смеси из 70 % отходящих газов и 30 % воздуха с температурой 300°C .
5. То же, что и в варианте 4, но с подачей смеси 50 % рециркулянта и 50 % атмосферного воздуха.
6. То же, что и в варианте 5, но с подачей 50 % рециркулянта и 50 % воздуха с температурой 300°C .

Получено, что в варианте 1 (рис. 3) среднее содержание кислорода в газе на входе в слой составляет 10,6 %, а на выходе из него — 3,17 %, при этом твердое топливо в конце зоны спекания АМ не успевает догореть на высоте

слоя 55 мм. Содержание FeO в агломерационном спеке на сходе с аглоленты составило 16,9 %, а не закристаллизовавшийся расплав занимает 175 мм высоты слоя. Поэтому данный вариант рециркуляции газов не может быть рекомендован, а отходящие газы должны быть разбавлены воздухом для повышения содержания в них O₂.

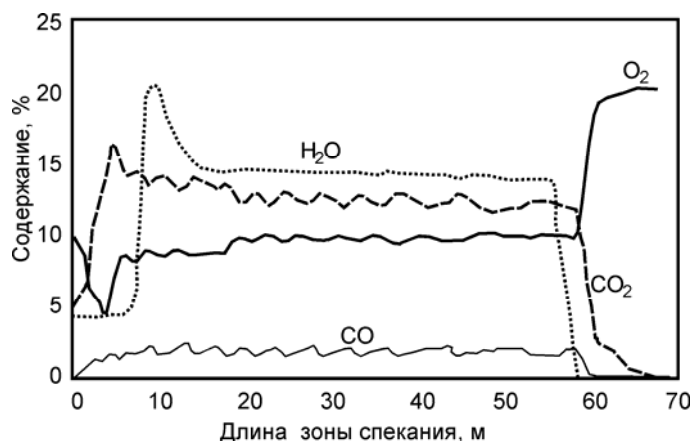


Рис. 3. Распределение по длине агломашины состава газа на выходе из слоя спекаемой шихты

Для нормального протекания процесса спекания шихты содержание кислорода в газе должно быть не менее 16 %. На ряде аглофабрик СНГ содержание кислорода в отходящих газах “на трубе” еще выше. Это обусловлено конструкцией и состоянием уплотнений АМ и газоотводящего тракта, включая подсосы воздуха в батарейные циклоны. На современных зарубежных аглофабриках содержание O₂ в газе перед эксгаустером не превышает 14–15 %.

Исследования на модели показали, что наиболее приемлемыми из рассмотренных являются варианты 4 и 5 с рециркуляцией 70 % отходящих газов в смеси с 30 % воздуха. К реализации рекомендован вариант 4. По этому варианту процесс завершается на АМ, расход газа через рукавный фильтр снижается на 35 %, выбросы СО в атмосферу сокращаются на 8136 т/год, а расход твердого топлива — на 5600 т/год.

Вместе с тем прогнозируется некоторое увеличение содержания FeO в агломерате, неизбежное при рециркуляции газов (с 9,9 до 10,8 %), что может повлиять на рост расхода кокса в доменной плавке. Кроме того, ожидается снижение скорости процесса спекания на 4 %, которое может быть скомпенсировано увеличением выхода годного агломерата.

Примеры применения различных схем рециркуляции отходящих газов

А. Рециркуляция части всех отходящих газов с АМ (способ EOS)

Концепция технологии состоит в том, чтобы вернуть часть отходящих с АМ газов на максимально возможную площадь ее спекания.

Аглофабрика ЧелМК, на которой внедрен способ, имеет в своем составе четыре АМ площадью по 240 м², у зоны спекания шихты — 138 м², у зоны охлаждения агломерата — 102 м².

Результаты измерений в системе рециркуляции приведены в табл. 6^{*1} [16]. Подача воздуха в слой осуществлялась для тарировки системы при ее наладке.

При работе АМ с рециркуляцией газов в слой подается 28 % от общего количества газов. Содержание СО в газе возросло, O₂ — уменьшилось на 2 % (абс.), концентрация NO и SO₂ увеличилась до 0,20 и 0,52 г/нм³ сухого газа соответственно. Концентрация NO₂ в газе в обоих случаях близка к нулю. Валовые выбросы в атмосферу пыли и СО сократились пропорционально расходу рециркулянта, т. е. на 28 %. Валовые выбросы CO₂, NO и SO₂ остались практически без изменения.

^{*1} Проект системы рециркуляции выполнен ОАО “Уралмеханобр”, а ее наладка и исследования выполнены сотрудниками института ВНИИМТ под руководством канд. техн. наук Л.К. Герасимова.

ТАБЛИЦА 6. ПАРАМЕТРЫ ГАЗОВОГО ПОТОКА В ГАЗООТВОДЯЩЕМ ТРАКТЕ АМ ЧелМК ПРИ ПОДАЧЕ В СЛОЙ ДЫМОСОСОМ ВОЗДУХА И РЕЦИРКУЛЯНТА

Параметр	Воздух	Рециркулянт
Параметры газа на всасе нагнетателя:		
разрежение, кПа	10,2	10,4
температура, °C	189	174
расход, нм ³ /с	104,9	97,5
состав, %:		
CO ₂	3,60	5,6
O ₂	17,2	15,2
CO	0,6	0,6
концентрация, г/нм ³ сухого газа:		
NO	0,13	0,20
SO ₂	0,35	0,52
влажностное содержание, кг/нм ³ сухого газа	0,05	0,08
Параметры газа на дымо-сосе:		
разрежение, даПа	220	85
температура, °C	32	180
расход, нм ³ /с	39,8	27,5
состав, %:		
CO ₂	0	1
O ₂	20,6	5,2

Параметр	Воздух	Рециркулянт
CO	0	0,6
влагосодержание, кг/нм ³ сухого газа	0,005	0,079
Количество газа, выбрасываемого в атмосферу, нм ³ /с	104,9	70,0
Валовые выбросы в атмосферу, кг/ч:		
CO ₂	25100	25265
CO	2663	1772
NO	46,2	45,9
SO ₂	124,3	119,4

По зарубежным данным, в процесс спекания при рециркуляции газов возвращается до 45 % от общего расхода, а на ЧелМК — 28 %. Эту разницу можно объяснить меньшим количеством подсосов воздуха в газоотводящий тракт АМ на современных зарубежных аглофабриках.

Б. Рециркуляция отходящих газов из последних вакуум-камер АМ (метод LEEP)

В данной технологии отходящие газы отбираются со второй половины АМ (рис. 4).

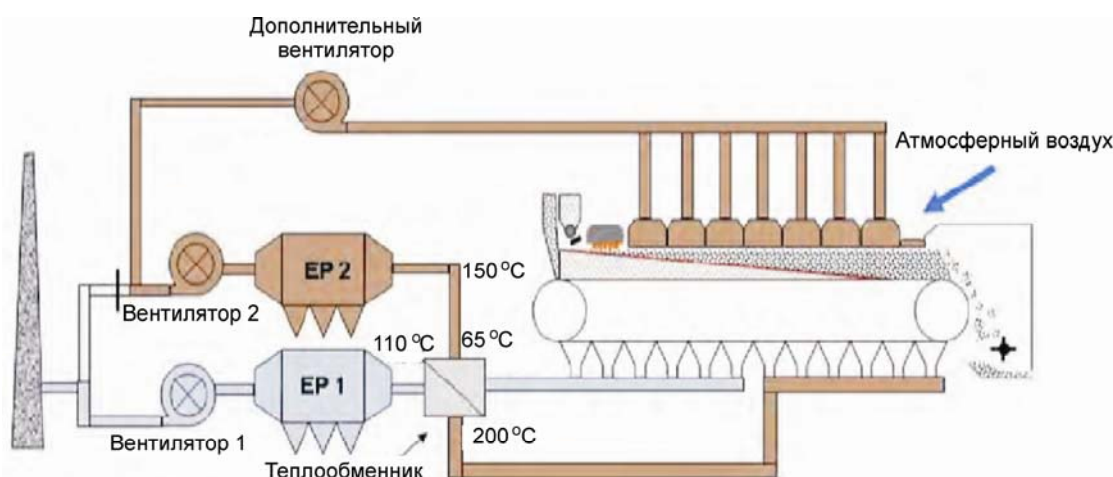


Рис. 4. Схема метода рециркуляции LEEP

Эти газы возвращают в процесс, распределяя их по всей длине аглоленты. Когда рециркулянт с пылью фильтруется через слой, ПХДД/Ф частично разрушаются, а оксиды серы и соединения хлора поглощаются. Окисление монооксида углерода рециркулянта в зоне горения топлива позволяет дополнительно сократить расход твердого топлива.

Благодаря рециркуляции отходящих газов из второй части аглоленты остаются только отходящие газы из первой ее половины с низкой концентрацией пыли, ПХДД/Ф, оксидов серы и соединений хлора. Это значительно сокращает количество отходящих газов и выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Концентрации вредных веществ в выбросах определяются эффективностью усвоения пыли в слое спекаемой шихты, адсорбции хлоридов и оксидов серы и окисления некоторых веществ (в частности, СО и ПХДД/Ф), когда рециркулянт проходит через зону горения топлива.

Перед выходом обоих потоков газа к электрофильтрам они проходят через рекуперативный теплообменник. После него происходит выравнивание температуры газовых потоков (до теплообменника — 200/65 °С, после него — 150/110 °С). Это позволяет эксгаустерам работать при тех же температурных условиях, что и при обычном процессе спекания. Кроме того, площадь, с которой отбирается холодный газ из первой части АМ, выбирается таким образом, чтобы температура не опускалась ниже кислотной точки росы. После того как отходящие газы проходят через электрофильтры и эксгаустеры, рециркулянт поступает обратно на АМ с помощью дополнительного дымососа с регулируемой частотой вращения. Отходящие газы выбрасываются в атмосферу через дымовую трубу первым эксгаустером.

Эффект от снижения удельных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу с использованием технологии LEEP приведен в табл. 7.

ТАБЛИЦА 7. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ МЕТОДА LEEP

Уменьшение/снижение	Количество	
	%	концентрация, мг/м ³
Объема выбрасываемых газов “на трубе”	До 50	
Выбросов пыли с АМ	50–55	50
Удельных выбросов SO ₂	27–35	350
Удельных выбросов NO _x	25–50	400
Удельных выбросов CO	50–55	12
Выбросов HCl	50	30
Выбросов HF	50	5
Удельных выбросов диоксинов/фуранов	75–85	2,4* ¹
Расхода твердого топлива, кг/т агломерата	5–7* ²	

*¹ Концентрация в мг/м³.

*² За счет тепла газов и дожигания CO в CO₂ в слое; для работы дополнительного дымососа требуется 10 МДж/т агломерата, в результате экономия энергии составляет 213 МДж/т, или 12,5 %.

При использовании данной технологии происходит незначительное увеличение расхода электроэнергии от дополнительных дымососов. Снижения производительности АМ не наблюдается.

АМ аглофабрики Hüttenwerke Krupp Mannesmann имеет площадь спекания 420 м² и два параллельных газоотводящих тракта. Для того чтобы выделить две зоны отходящих газов, в коллекторе установлена перемычка, гарантирующая, что коллектор отбирает газ только из первой части АМ. По условиям эксплуатации 4 вакуум-камеры средней части АМ из 29 могут подсоединяться к той или иной части коллектора, изменяя соответственно количество рециркулирующих газов.

Эта технология также применяется с декабря 2001 г. на заводе Hüttenwerke Krupp Mannesmann, Duisburg-Hückingen, Германия.

В. Рециркуляция отходящих газов со второй части АМ совместно с утилизацией тепла с охладителя агломерата

Селективная рециркуляция отходящих газов, используемая в методе EPOSINT, основана на том, что покидающие слой пылевые частицы и другие вещества имеют тренд к росту концентрации в газе в конце АМ, где резко возрастает температура отходящих газов. Поэтому для селективной рециркуляции используются вакуум-камеры, над которыми завершается процесс спекания, а также расположенные рядом. Чтобы избежать коррозии и не допустить, чтобы температура газа с первой части АМ опускалась ниже кислотой точки росы, температура рециркулянта должна быть такой же, как и газа в дымовой трубе. На аглофабрике завода Voestalpine Stahl, Linz для рециркуляции газа выбраны вакуум-ка-

меры от 11-й до 16-й. Схема газопотоков показана на рис. 5.

Из-за пониженной концентрации O₂ в отходящих газах (согласно работе [11], негативных последствий для обеспечения производства и качества агломерата не существует, если для процесса горения топлива минимальная концентрация O₂ в рециркуляционном газе составляет 13 %)*² в укрытие подается горячий воздух с охладителя агломерата.

Второй дымосос установлен параллельно существующему эксгаустеру для того, чтобы уровень разрежения при спекании шихты был сохранен. Он отбирает газы из выбранных вакуум-камер и возвращает их под укрытие АМ.

Особенностью процесса является возможность переброски отходящих газов с индивидуальных вакуум-камер независимо друг от друга, в диапазоне от 11-й до 16-й в дымовую трубу или под укрытие для рециркулянта. Это обеспечивает процессу высокую степень гибкости. Для исключения дефицита кислорода в систему рециркуляции отходящих газов дополнительным вентилятором подается горячий воздух с охладителя агломерата. При этом растет тепловой потенциал газов для снижения расхода кокса за счет увеличения температуры газа, а также сокращаются выбросы тонкодисперсной пыли с охладителя агломерата в атмосферу. Боковые стенки укрытия выполнены герметично по отношению к бортам паллет с помощью бесконтактных лабиринтных уплотнений, что предотвращает выбивание газов, содержащих CO, и частиц пыли на рабочую площадку.

*² По обобщенным научно-исследовательским данным, необходимая концентрация кислорода составляет 15–16 % [16].

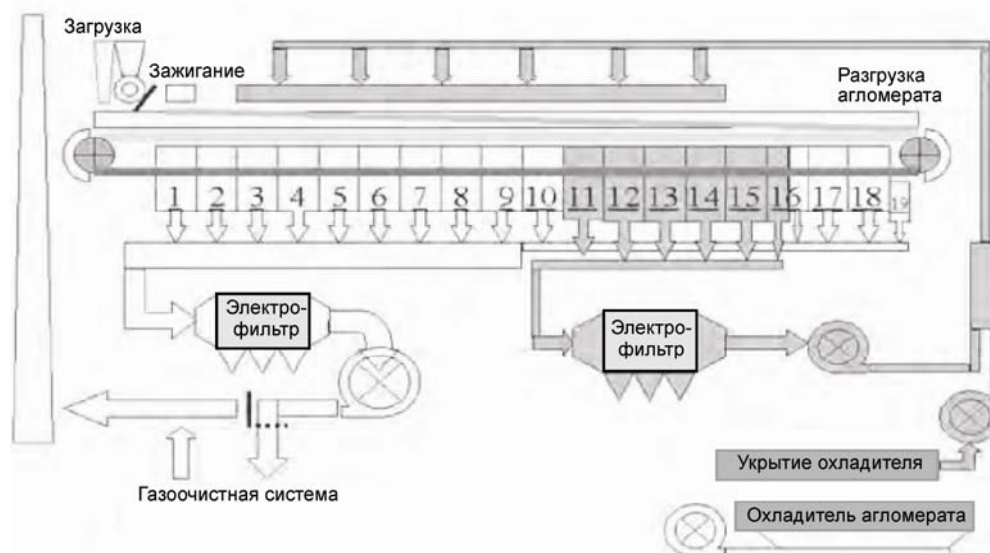


Рис. 5. Схема газопотоков по методу EPOSINT на аглофабрике Voestalpine, Linz

Так как паллеты АМ находятся вне укрытия, это предотвращает попадание пыли в подшипники роликов и устраняет износ уплотнений. Укрытие не закрывает всю АМ по длине, и на последних вакуум-камерах через слой просасывается холодный воздух. Это способствует нормальному охлаждению агломерата и обеспечивает условия для замены паллет.

Так как рециркуляция отходящих газов происходит в области повышенных температур, где концентрация CO , NO_x , SO_2 , хлоридов, диоксинов, тяжелых металлов и других загрязняющих веществ максимальная, способ оптимизирует борьбу с выбросами и сокращает потребление коксовой мелочи.

При использовании этой технологии уменьшается потребление энергии, до 40 % сокращается объем отходящих газов и уменьшается расход коксовой мелочи. Снижаются выбросы оксидов азота и диоксинов в атмосферу в связи с их разложением в слое спекаемой шихты. SO_x также частично поглощается в слое, а CO используется в качестве газообразного топлива. Метод позволяет достичь снижения выбросов, согласно данным табл. 8. Также снижаются выбросы тонкодисперсной пыли с охладителя агломерата. Затраты электрической энергии от установки дополнительного дымососа окупаются за счет увеличения производства и снижения расхода коксовой мелочи на 2–5 кг/т агломерата.

ТАБЛИЦА 8. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА EPOSINT

Параметр	Снижение, %
Выход отходящих газов на 1 т агломерата	25–28 “на трубе”
Уменьшение выбросов пыли* ¹	30–35
Уменьшение выбросов пыли с охладителя	85–90
Уменьшение выбросов частиц тяжелых металлов	30–35
Уменьшение удельных выбросов SO_2	25–30* ⁵
Уменьшение удельных выбросов NO_x * ²	25–30
Уменьшение удельных выбросов фуранов/диоксинов* ³	До 30
Уменьшение удельных выбросов CO * ⁴	До 30
Сокращение расхода твердого топлива* ⁵ , кг/т агломерата	2–5

*¹ Степень очистки газов от пыли выше, чем сокращение объема газов, так как концентрация пыли в рециркулянте гораздо выше средней и его очистка в электрофильтре высокоэффективна.
*² Рециркулируемый газ имеет повышенную концентрацию NO_x , в то время как газ с последних вакуум-камер АМ с высоким содержанием O_2 и низким NO_x выбрасывается в атмосферу из дымовой трубы.
*³ Относится к концентрации в отходящих газах в последней четверти АМ (части потока газа в дымовую трубу).
*⁴ Без ухудшения качества агломерата и производительности АМ.
*⁵ Пропорционально снижению выбросов пыли.

Аглофабрика № 5 Voestalpine Stahl работает с применением этого метода с апреля 2005 г. Данные по его использованию приведены в табл. 9. Система спроектирована таким образом, чтобы

сохранить существующие газоотводящие тракты (коллектор, системы газоочистки, эксгаустеры и дымовую трубу). Установка очень экономичная, так как не понадобились минимальные измене-

ния в существующей схеме газопотоков. Характеристики качества агломерата не изменились. Расход коксовой мелочи снизился с 45 до 40 кг/т

агломерата. Проблемы, связанные с процессом спекания, отсутствуют.

ТАБЛИЦА 9. ДАННЫЕ ПО РАБОТЕ АГЛОФАБРИКИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ЗАВОДА VOESTALPINE STAHN ДО И ПОСЛЕ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ СЕЛЕКТИВНОЙ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ГАЗОВ

Параметр	До расширения АМ	После расширения АМ и внедрения селективной рециркуляции газов
Скорость паллет, м/мин	1,6–1,7	2,2–2,4
Удельная производительность, т/(м ² ·сут)	37,6	36,6 (38,8 макс.)
Суточная производительность, т	6350	8300 (8500 макс.)
Расход топлива, кг/т агломерата	45	41
Расход газа на зажигание шихты, МДж/т	50	40
Общий расход электроэнергии (включая очистку газов), кВт/т агломерата	40	40
Выбросы загрязняющих веществ после очистки газов		
Пыль:		
мг/нм ³	46	38
г/т агломерата	104	66
SO ₂ :		
мг/нм ³	420	390
г/т агломерата	952	677
NO _x :		
мг/нм ³	240	240
г/т агломерата	544	416
HF:		
мг/нм ³	1,0	0,6
г/т агломерата	2,3	1,0
Холодная прочность по ISO (+6,3 мм), %	78–82	79–82
RDI <3,15 мм, %	18–20	19–20
Восстановимость агломерата, Dr/dt (40)	0,9–1,0	0,95–1,05
<i>Примечание.</i> В августе 2007 г. мокрая газоочистная установка была заменена на рукавный фильтр.		

Г. Зональная рециркуляция отходящих газов и их секционная подача в слой

Концепция селективной рециркуляции основана на локальном отборе отходящих газов из нескольких вакуум-камер и секционной подаче в слой спекаемой шихты. Такое избирательное использование газов является основным отличием между этим методом и процессом EOS. На рис. 6 показана схема такого способа рециркуляции газов, которая осуществляется на аглофабрике Японии. По этому методу площадь спекания АМ, равная 480 м², разделена на четыре зоны.

1. Газ отбирается из зоны, соответствующей предварительному нагреву шихты при ее зажигании, и подается в середину аглоленты (в газе высокое содержание O₂, низкое — H₂O, низкая температура).

2. Газ с низким содержанием SO₂ выбрасывается в атмосферу после обеспыливания (низкое содержание O₂, высокое — H₂O, низкая температура газа).

3. Газ с высоким содержанием SO₂ выбрасывается в атмосферу после обеспыливания и десульфурации — промывается в скруббере раствором гидроксида магния (низкое содержание

O₂, высокое — H₂O, низкая температура).

4. Газ с высоким содержанием SO₂, соответствующий высокотемпературной зоне АМ, подается в слой сразу после зажигания шихты (высокое содержание O₂, низкое — H₂O, высокая температура).

В этом методе концентрация O₂ в рециркулянте очень высокая (19 %), а влажность газа низкая (3,6 %). Степень рециркуляции, равная ~25 %, достигается без отрицательного влияния на качество агломерата (RDI остается практически постоянным, а Shatter Index растет на 0,5 %). Экономия твердого топлива составляет 6 %.

Отходящие газы от различных зон обрабатываются автономно, в зависимости от состава газа. Как следствие, инвестиции и эксплуатационные расходы очистки газа могут быть значительно ниже по сравнению с обычным спеканием и даже в сравнении с системой EOS.

Характеристики газопотоков в системе зональной рециркуляции отходящих газов на аглофабрике Tobata № 3, Японии, внедренной в 1992 г., приведены в табл. 10, а в табл. 11 сравниваются выбросы до и после применения селективной рециркуляции отходящих газов.

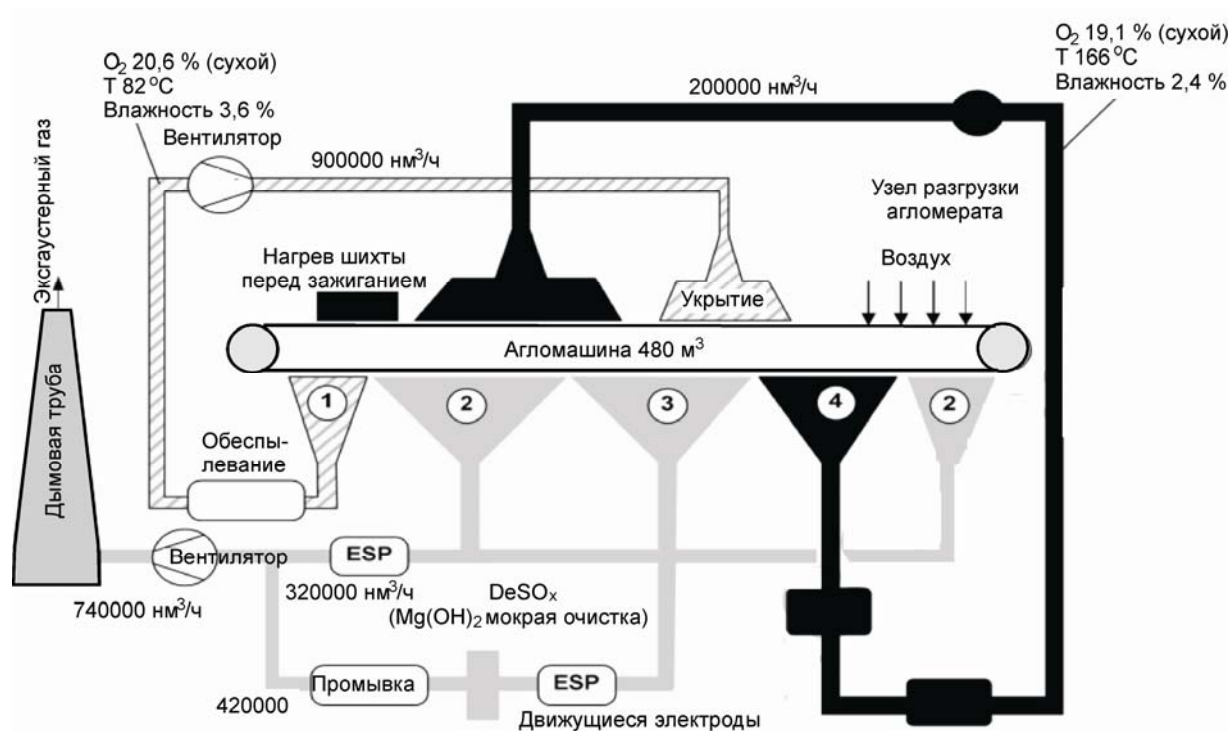


Рис. 6. Схема селективной рециркуляции отходящих газов (Nippon Steel Corp., Yawata Works, Tobata, Япония)

ТАБЛИЦА 10. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОТОКОВ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИСТЕМЫ ЗОНАЛЬНОЙ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ НА АГЛОФАБРИКЕ ТОВАТА № 3

Секции вакуум-камеры	Параметры отходящих газов					Распределение потоков отходящих газов
	расход, тыс. м³/ч	температура, °C	O ₂ , %	H ₂ O, %	SO ₂ , мг/нм³	
1–3	62	82	20,6	3,6	0	Возвращается на АМ
4–13	290	99	11,4	13,2	21	В дымовую трубу после электрофилтра
14–25	382	125	147,0	13,0	1000	В дымовую трубу после электрофилтра
26–31	142	166	19,1	2,4	900	Возвращается на АМ
Дымовая труба	672	95	12,9	13,0	15,0	Выбрасывается в атмосферу

ТАБЛИЦА 11. СРАВНЕНИЕ КОНЕЧНОГО СОСТАВА ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ ДО И ПОСЛЕ ВНЕДРЕНИЯ ЗОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ

Параметр	Типовая агломерация, но с установкой для десульфурации газов	Селективная рециркуляция отходящих газов	Достигнутые улучшения (снижение)
Расход отходящих газов, нм³/ч	925000	665000	28 %
Концентрация пыли* ¹ , мг/нм³	50	30* ²	56 % (мас.)
SO _x * ³ , мг/нм³	26	14	63 % (мас.)
NO _x , мг/нм³	408	559	3 % (мас.)
Расход энергии, ГДж/т агломерата	1662	1570	6 %* ⁴

*¹ Отходящие газы обрабатываются в электрофилтре.

*² Снижение выбросов пыли частично достигнуто за счет ремонта электрофилтра.

*³ Часть отходящих газов обрабатывается в сероочистке.

*⁴ Снижение затрат полезной энергии рассматривается на основе сравнительной производительности и качества агломерата, соответствующего требованиям в Японии и аглофабрикам ЕС.

В борьбе с выбросами достигнуты следующие улучшения: существенное снижение количества отходящих газов, выбрасываемых в атмосферу (до 28 %), выбросов пыли (около 56 %, однако эта цифра включает и эффект реконструкции электрофильтра с системой движущихся электродов) и выбросов SO₂ (около 63 %, включающих очистку газов от серы, выходящих из зоны 3). Также отмечено незначительное снижение выбросов оксидов азота (около 3 %) и сокращение расхода коксовой мелочи на 6 %.

Система работает устойчиво, и рециркуляция отходящих газов не влияет на качество агломе-

рата. Однако работа этой системы должна быть дополнительно проанализирована в связи с низкой производительностью японской аглофабрики по сравнению со многими аглофабриками ЕС. Кроме аглофабрики № 3 Tobata пять заводов Японии применяют этот метод.

В заключение можно отметить, что для действующих аглофабрик СНГ единственно возможным для применения является способ рециркуляции А с отбором части отходящих газов с АМ. При строительстве новых аглофабрик и спекании сернистого сырья подходит способ Б с отбором газов из последних вакуум-камер АМ.

Снижение удельного расхода твердого топлива

Как отмечалось выше, важнейшим фактором, влияющим на выбросы вредных веществ, является расход и свойства подготовленного агломерационного топлива. Помимо его природных свойств, таких как содержание золы, летучих веществ и реакционной способности, важнейшей и единственной характеристикой топлива, на ко-

торую можно влиять в процессе его подготовки, является гранулометрический состав.

Обобщенные и полученные при исследованиях на математической модели [15] данные о влиянии основных технологических факторов на расход топлива на агломерацию приведены в табл. 12 [16].

ТАБЛИЦА 12. ВЛИЯНИЕ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАСХОД ТОПЛИВА НА АГЛОМЕРАЦИЮ

Фактор	Величина фактора	Рост расхода (+), экономия (–)	
		кг/т агломерат	%
Зола топлива, %	+1		+1,40
Летучие топлива, %	+1		+0,35
Фракция >3 мм в топливе, %	+1		+0,55
Фракция <0,5 мм в топливе более 10 %, %	+1		+0,34
Возврат, кг/т агломерата	+10	+0,30	
Известняк, кг/т агломерата	+10	+0,50	
Доломит, кг/т агломерата	+10	+0,30	
Известь, как заменитель известняка, кг/т агломерата	+10	–0,72	
Колошниковая пыль, кг/т агломерата	+10	–1,0	
Окалина, кг/т агломерата	+10	–1,0	
Высота слоя шихты*, мм	+100		–(1,3–3,0)
Начальная температура шихты, °С	+10	–0,40	
Максимальная температура в слое, °С	+10	+0,15	
Оптимизация распределения топлива по высоте слоя			До –6

* 3,0 % относится к увеличению слоя от 220 до 330 мм, 1,3 % — от 440 до 550 мм.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фролов, Ю. А. Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 1. Подготовка компонентов агломерационной шихты к спеканию [Текст] / Ю. А. Фролов // Черная металлургия: Бюл. ин-та "Черметинформация". — 2017. — № 4. — С. 33–40.
2. Фролов, Ю. А. Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 2. Смешивание и окомкование агломерационной шихты [Текст] / Ю. А. Фролов // Там же. — 2017. — № 5. — С. 40–48.
3. Фролов, Ю. А. Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 3. Загрузка шихты и постели на агломерационную машину [Текст] / Ю. А. Фролов // Там же. — 2017. — № 6. — С. 22–31.
4. Фролов, Ю. А. Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 4. Внешний нагрев слоя спекаемой агломерационной шихты [Текст] / Ю. А. Фролов // Там же. — 2017. — № 7. — С. 31–41.
5. Фролов, Ю. А. Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 5. Газодинамическая работа агломерационных машин [Текст] / Ю. А. Фролов // Там же. — 2017. — № 8. — С. 21–32.
6. Фролов, Ю. А. Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 6. Тепловая работа агломерационных машин [Текст] / Ю. А. Фролов // Там же. — 2017. — № 9. — С. 29–39.
7. Фролов, Ю. А. Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 7. Качество агломерата [Текст] / Ю. А. Фролов // Там же. — 2017. — № 10. — С. 40–53.

8. Фролов, Ю. А. Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 8. Охлаждение агломерата на агломерационной конвейерной машине [Текст] / Ю. А. Фролов // Там же. — 2017. — № 11. — С. 32–42.
9. Фролов, Ю. А. Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 9. Анализ процесса охлаждения агломерата на линейном охладителе. Текущие выбросы агломерационных фабрик [Текст] / Ю. А. Фролов // Там же. — 2017. — № 12. — С. 18–27.
10. Фролов, Ю. А. Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 10. Борьба с вредными выбросами агломерационных фабрик. Текущие выбросы агломерационных фабрик [Текст] / Ю. А. Фролов // Там же. — 2018. — № 1. — С. 37–48.
11. Integrated Pollution Prevention and Control. Draft Reference Document on Best Available Techniques for the Iron and Steel Production. Part 3. Sinter plants. European commission Directorate-general JRC. Joint research Centre. Institute for Prospective Technological Studies Sustainable Production and Consumption Unit European IPPC Bureau. April. 2010.
12. Мищенко, И. М. Черная металлургия и охрана окружающей среды [Текст] / И. М. Мищенко. — Донецк: ДонНТУ, 2012. — 446 с.
13. Падалка, В. П. Технология использования в агломерации частично подготовленных шламов металлургического производства [Текст] / В. П. Падалка, Ю. В. Дембицкий, Н. Т. Демура // Металл и литье Украины. — 1997. — № 2. — С. 6–8.
14. Фролов, Ю. А. Исследование процесса агломерации с рециркуляцией отходящих газов [Текст] / Ю. А. Фролов, N. Aggarwal, Л. И. Полоцкий // Металлург. — 2017. — № 8. — С. 25–32.
15. Фролов, Ю. А. Трехмерная математическая (динамическая) модель агломерационного процесса [Текст]. Часть 1 / Ю. А. Фролов, Л. И. Полоцкий // Там же. — 2014. — № 12. — С. 42–47.
16. Фролов, Ю. А. Агломерация. Технология. Теплотехника. Управление. Экология [Текст] / Ю. А. Фролов. — М.: Металлургиздат, 2016. — 672 с.

УДК 669.191.24

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ШИХТЫ НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ

*А. С. ТИМОФЕЕВА, канд. техн. наук, uked@yandex.ru; А. А. КОЖУХОВ, д-р техн. наук;
Т. В. НИКИТЧЕНКО, канд. техн. наук; М. С. ПИВИКОВА
(Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал)
ФГАОУ ВО “Национальный исследовательский технический университет “МИСиС”)*

Представлены результаты исследования влияния связующего материала на качественные характеристики окатышей, полученных из магнетитового концентрата.

Показано, что для повышения эффективности процесса окомкования окатышей необходимо определенное время выдержки шихты, обеспечивающее процесс взаимодействия бентонита с влагой концентрата. Установлено, что бентонит играет важную роль в процессе термической обработки окатышей, обеспечивая их целостность в ходе сушки.

Ключевые слова: железорудные окатыши; процесс окомкования окатышей; связующий материал; бентонитовая глина; фракционный состав бентонита; качественные характеристики окатышей.

INFLUENCE OF THE BLEND FORMING PROCESS ON MECHANICAL PROPERTIES OF IRON ORE PELLETS

*A. S. TIMOFEEVA, PhD (Tech), uked@yandex.ru; A. A. KOZHUKHOV, Higher Doctorate;
T. V. NIKITCHENKO, PhD (Tech); M. S. PIVIKOVA
(Stary Oskol Technology Institute after A.A. Ugarov (subsidiary)
FGAOU VO “National Research Technological University “MISiS”)*

Results of study of binding material influence on pellets quality characteristics, made of magnetite concentrate, presented.

It was shown, that to increase the efficiency of pelletizing, a definite time of the blend exposure is required for bentonite and concentrate moisture proper interaction. It was established, that bentonite plays an import role in the pellets thermal treatment process and provides their integrity during drying.

Key words: iron ore pellets, pelletizing process, binding material, bentonite clay, bentonite breakup, pellets quality characteristics.

В настоящее время производство железорудных окатышей развивается быстро в различных странах мира и превышает 300 млн т/год. Высокое соперничество на рынке металлургического сырья заставляет крупные организации уменьшать производственные расходы и уделять пристальное внимание качеству выпускаемого продукта.

На качество железорудных окатышей влияет большое количество факторов: химический, фракционный состав концентрата и бентонита, влажность компонентов шихты, однородность железорудной смеси, условия окомкования, первичная прочность сырого окатыша, термическая обработка и т. д. Одним из главных факторов является качественная связующая добавка, которой чаще всего при производстве окатышей является бентонит.

Известно, что роль связующих состоит в обеспечении прочности не только сырых окатышей, но и сухих (крайне важно для ускорения процесса сушки при обжиге). Кроме того, при получении окатышей бентонит играет важную роль в формировании оптимальной структуры окатышей, что влияет на их качество и металлургические свойства [1].

Влияние связующего вещества на прочностные свойства окатышей достаточно весомо, при недостаточной прочности окатышей происходит истирание, дробление, отсеб (просыпи), пылеобразование и уменьшение годного. Связующий материал оказывает большое влияние на комкуемость шихты. В научно-исследовательской литературе нет данных по влиянию выдержки смеси перед окомкованием на комкуемость. Влияние влажности шихты, количества и типа связующего материала не является однозначным. При увеличении влажности до определенного значения наблюдается упрочнение сырых окатышей, после превышения этого значения прочность окатышей снижается. Увеличение количества связующего материала до экономиче-

ски и технологически приемлемого значения способствует упрочнению сырых окатышей [2].

В данной работе проведены исследования по влиянию бентонитовых глин на комкуемость шихты и прочностные свойства окатышей из магнетитового концентрата.

Расход бентонитового порошка зависит от его качества, которое в основном определяется величинами набухаемости и эффективной вязкости. Для улучшения природных показателей сырой бентонитовой глины перед подачей на переработку ее активируют кальцинированной содой, в дальнейшем качество порошка зависит от технологии его получения [3].

Расход бентонитовой глины составляет 0,5–1,2 % от массы шихты, по химическому составу она характеризуется повышенным содержанием кремнезема (46–48 %) и глинозема (10–15 %). Кроме этих компонентов в бентонитовых глинах содержится 6–7 % оксида магния, до 8 % оксида кальция и связанной воды.

При определении минерального состава бентонита главным показателем является содержание монтмориллонита — глинистого минерала подкласса слоистых силикатов, $\text{Na}(\text{Mg}, \text{Al})_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, который представляет собой светлые плотные массы, сильно набухающие при увлажнении. Если содержание монтмориллонита ниже 70 %, то заранее можно сказать, что глина будет иметь невысокие технологические свойства. Важно также установить, не содержит ли монтмориллонит в решетке минерала примеси гидрослюда или иллита.

Химический состав бентонитовой глины важен при дальнейшем использовании окатышей в металлургическом производстве для определения содержания в окатышах оксидов железа и основности (CaO/SiO_2) окатышей.

В табл. 1 представлены данные по химическому составу бентонитовых глин различных месторождений.

ТАБЛИЦА 1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ БЕНТОНИТОВЫХ ГЛИН [2]

Бентонит	Химический состав, %					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
Хакасский	63,9	15,69	1,47	2,39	1,41	3,05
Юргомышский	59,4	16,92	1,25	1,66	0,75	1,90
Азербайджанский	62,5	13,77	1,90	2,72	2,84	0,73
Индийский	51,9	16,93	2,91	3,18	0,89	1,81
Греческий	50,7	15,65	8,57	3,09	0,61	2,25
Болгарский	52,0	14,63	4,18	3,90	1,38	2,86
Даш-Сахалинский	59,9	15,45	1,47	1,95	2,55	1,82
Дашуковский	56,2	15,57	2,22	1,73	0,26	2,18

Связывающая способность бентонита определяется его тиксотропными свойствами. Если концентрат переувлажнен, то бентонит погло-

щает воду, т. е. регулирует содержание воды в системе. Кроме осушения железорудного концентрата бентонит играет роль зародышеобра-

зования. При механическом воздействии бентонитовая глина способна уменьшать вязкость, поэтому для обеспечения зародышеобразования окатышей необходимо, чтобы бентонит обладал повышенной вязкостью. Основные рекомендуемые показатели бентонитов для окомкования [1] даны ниже:

Показатель	Величина
Набухаемость, раз	15–30
Эффективная вязкость, МПа·с	30–60

Показатель	Величина
Содержание монтмориллонита, %	70–85
Число Енслина (сорбционная способность), %	400–700
Концентрация обменных катионов, мг-экв/100 г	68–93

Для исследования был использован магнетитовый концентрат (табл. 2) и индийский бентонит (табл. 3), влажность концентрата составляла 9,8 %, влажность бентонита перед окомкованием была тоже одинакова.

ТАБЛИЦА 2. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ИСПОЛЗУЕМОГО КОНЦЕНТРАТА, %

Fe _{общ}	Fe _(mag)	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	S	P	K ₂ O + Na ₂ O	П.п.п.
68,3	63,6	27,7	4,5	0,16	0,17	0,32	0,045	0,013	0,14	0,49

ТАБЛИЦА 3. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ИСПОЛЗУЕМОГО БЕНТОНИТА, %

Fe _{общ}	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	S	P	K ₂ O	Na ₂ O	П.п.п.
11,0	51,9	16,93	2,91	3,18	0,27	0,014	0,89	1,81	10,34

Влажность концентрата и бентонита соответствовала реальным условиям на производстве. Определение влажности шихты проводили на влагомере “Элвис”. Шихта тщательно перемешивалась и окомковывалась в барабанном лабораторном окомкователе в течение 20 мин (рис. 1).



Рис. 1. Получение окатышей в лабораторных условиях

Гранулометрический состав окатышей определялся с помощью вибросита. Измеряли массу окатышей диаметром более 5 мм. Комкуемость определялась как отношение массы окатышей более 5 мм к массе шихты. Во всех эксперимен-

тах сырые окатыши проверяли на прочностные свойства: сброс и сжатие.

После окомкования отбирали окатыши диаметром более 5 мм и помещали в печь, разогретую до 100 °С, до полного высыхания. После определялась прочность сухих окатышей на сжатие на гидравлическом измерительном прессе.

В данной работе определяли влияние времени выдержки шихты перед окомкованием, содержания бентонита в шихте, фракционного состава бентонита на окомкование и прочностные свойства сырых и сухих окатышей.

Влияние времени выдержки смеси перед окомкованием на прочностные свойства и комкуемость шихты определяли сравнением комкуемости и прочностных свойств сухих и сырых окатышей при различном времени выдержки шихты перед окомкованием (рис. 2): 1 — 20 мин; 2 — 30 мин; 3 — 40 мин; 4 — 50 мин.

Концентрат и бентонит в четырех пробах тщательно перемешивали, затем смесь выдерживали перед окомкованием различное время и окомковывали в течение 20 мин. Результаты определения влияния времени выдержки на комкуемость и прочностные свойства окатышей представлены на рис. 2. В целях совместимости показателей на одной диаграмме все значения приведены в относительном виде, в качестве отношения принимался максимально достигнутый в эксперименте показатель.

Как видно из рис. 2, все максимальные значения показателей были получены при выдержке шихты 30 мин.

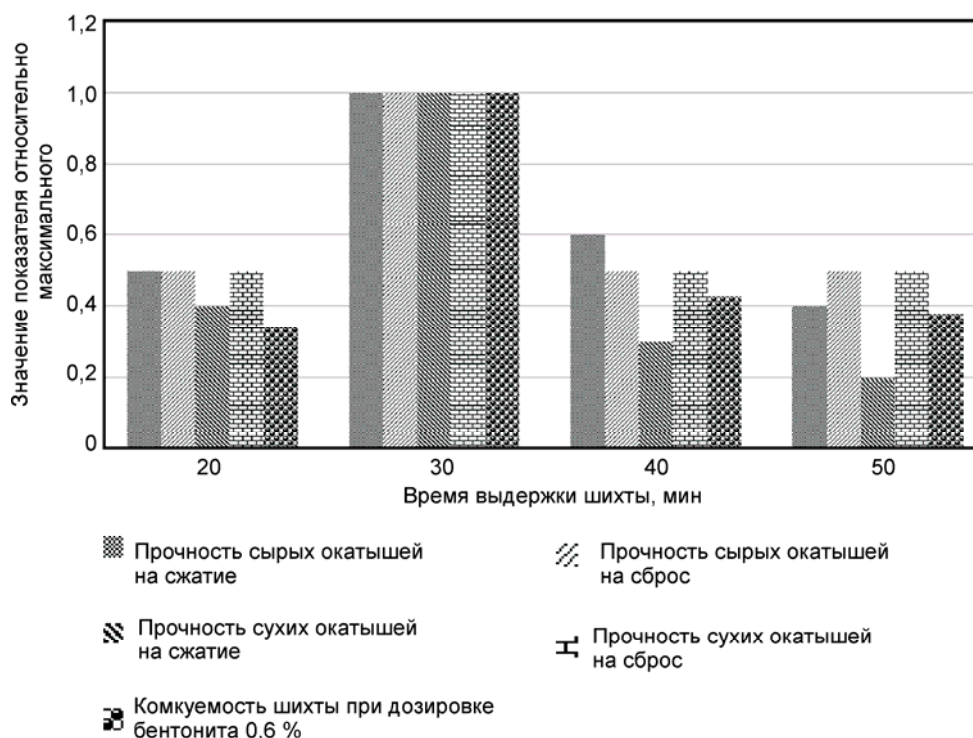


Рис. 2. Влияние времени выдержки шихты на показатели процесса окомкования

Определение влияния дозировки бентонита в шихте проводили на четырех пробах, в которых содержание бентонита в шихте составляло 0,3; 0,5; 0,7 и 0,8 % от массы шихты. Эксперименты проводили в равных условиях. В данных экспериментах влажность концентрата составляла 9,8 %, бентонита — 7,5 %. Время выдержки шихты в данном эксперименте составляло 30 мин. Были получены окатыши, определены комкуемость шихты и прочностные свойства сырых и сухих окатышей (рис. 3). Значения показателей также представлены в относительном виде.

Анализ полученных результатов испытаний показал, что оптимальная дозировка бентонита составила 0,7 %, при снижении дозировки бентонита в большей степени ухудшаются прочностные свойства сухих окатышей. Это подтверждает, что бентонит является носителем прочностных свойств окатышей прежде всего в процессах сушки. Комкуемость шихты снижается примерно на 20 %.

В эксперименте на определение влияния фракционного состава бентонита на комкуемость

шихты и прочностные свойства окатышей использовали следующие классы бентонита:

- 1 — класс $(-0,1+0,071)$ мм;
- 2 — класс $(-0,071+0,045)$ мм;
- 3 — класс $(-0,045)$ мм;
- 4 — классы: $(-0,1+0,071)$ мм — 15 %; $(-0,071+0,045)$ мм — 45 %; $(-0,045)$ мм — 40 %.

Для всех фракционных составов бентонита была составлена одинаковая шихтовка окатышей. Дозировка бентонита составляла 0,7 %. После выдержки шихты в течение 30 мин окатыши были получены на лабораторном окомкователе, в результате были определены комкуемость и прочностные свойства как сырых, так и сухих окатышей (рис. 4).

Наилучшая комкуемость шихты и максимальные показатели прочностных свойств сырых и сухих окатышей были получены при использовании бентонита с фракционным составом менее 0,071 мм, но более 0,045 мм. Измельчение бентонита до крупности частиц менее 0,045 мм не привело к улучшению комкуемости шихты, и прочностные свойства окатышей также ухудшились.

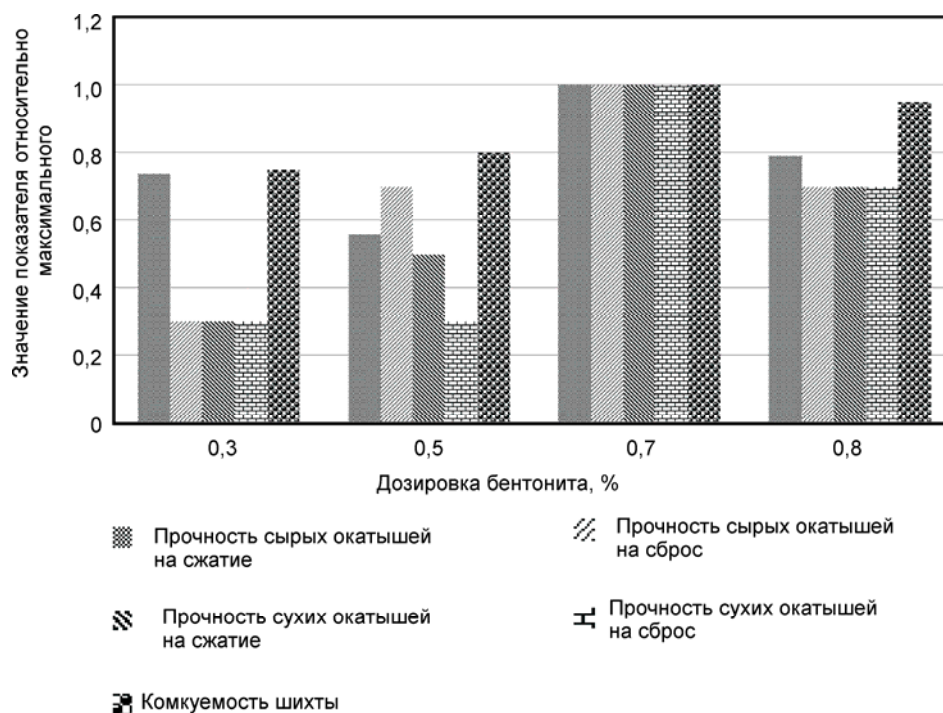


Рис. 3. Влияние дозировки бентонита на показатели процесса окомкования

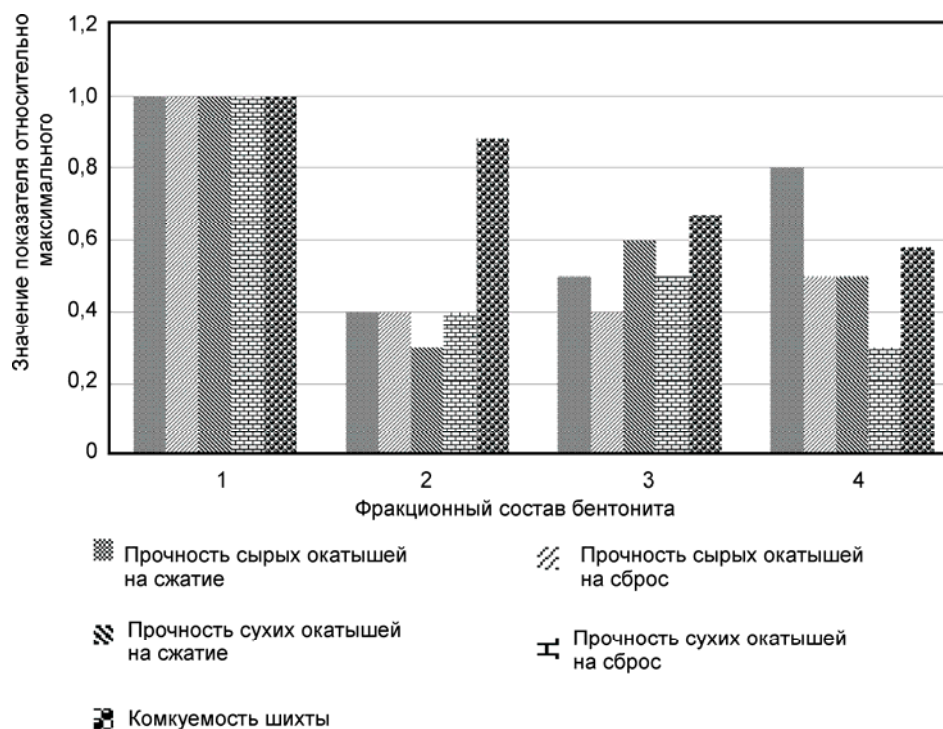


Рис. 4. Влияние степени измельчения бентонита на показатели процесса окомкования:

1 — класс $(-0,1+0,071)$ мм; 2 — класс $(-0,071+0,045)$ мм; 3 — класс $(-0,045)$ мм; 4 — классы: $(-0,1+0,071)$ мм — 15 %; $(-0,071+0,045)$ мм — 45 %; $(-0,045)$ мм — 40 %

Таким образом, по результатам экспериментов можно ожидать, что наилучшие показатели процесса окомкования могут быть достигнуты

при использовании бентонита в количестве 0,7 % с фракционным составом менее 0,071 мм и более 0,045 мм при выдержке шихты около 30

мин. В производственных условиях данные параметры могут изменяться при изменении влажности концентрата, его гранулометрического и минералогического состава.

Однако практическая значимость выполненных экспериментов заключается в следующем:

1. Для повышения эффективности процесса окомкования необходимо определенное время выдержки шихты, обеспечивающее процесс взаимодействия бентонита с влагой концентрата. При использовании концентрата с влажностью 9,8 % и бентонита с влагосодержанием

7,5 % наиболее оптимальное время выдержки составило 30 мин.

2. Для осуществления эффективного процесса окомкования не требуется слишком высокая степень измельчения бентонита — ниже 45 мкм, крупность частиц менее 71 мкм обеспечивает достаточно эффективный процесс взаимодействия бентонита с концентратом.

3. Бентонит играет важную роль в процессе термической обработки окатышей, обеспечивая их целостность в ходе сушки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Евстюгов, С. Н. Сравнительный анализ использования различных видов связующего при производстве окатышей в ОАО «Михайловский ГОК» [Текст] / С. Н. Евстюгов, Д. Ю. Усольцев, В. И. Минеев [и др.] // Сталь. — 2005. — № 2. — С. 12–15.
2. Тимофеева, А. С. Экстракция черных металлов из природного и техногенного сырья [Текст]: учебное пособие / А. С. Тимофеева, Т. В. Никитченко, Е. С. Тимофеев [и др.]. — Старый Оскол: ТНТ, 2012. — 304 с.
3. Вайнштейн, Р. М. Исследование и разработка технологии производства железорудных окатышей с целью замены бентонита органическим связующим [Текст] / Р. М. Вайнштейн: дис. ... канд. техн. наук. — М., 2004. — 124 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУТЕРОВКИ ГОРНА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

(Сообщение 2)

*А. С. БЛИЗНЮКОВ¹, канд. техн. наук, a.s.bliznjukov@mail.ru; М. Р. САДРАДИНОВ¹,
А. Р. МАКАВЕЦКАС², Ю. Ю. ФИЩЕНКО²*

*(¹ ТД “КАРБОН ШУНГИТ”,
² ФГАОУ ВО “Национальный исследовательский технический университет “МИСиС”)*

Представлены материалы исследования химического и минералогического состава гарнисажа доменной печи, в которой выплавлялся ферромарганец. Показано, что в составе гарнисажа присутствуют тугоплавкие фазы, образовавшиеся при кристаллизации шлака и ферромарганца, а именно: графит, ферромарганец, алюмосиликаты кальция и магния.

Ключевые слова: доменная печь; стойкость футеровки горна; химический и минералогический состав гарнисажа.

STUDY OF BLAST FURNACE HEARTH LINING

(Report 2)

*A. S. BLIZNYUKOV¹, PhD (Tech), a.s.bliznjukov@mail.ru; M. R. SADRADINOV¹,
A. R. MAKAVEZKAS², Yu. Yu. FISCHENKO²*

(¹ TD “KARBON SHUNGIT”, ² FGAOU VO “National Research Technological University “MISiS”)

Materials of study of chemical composition and mineralogy of blast furnace scull after producing ferromanganese presented. It was shown, that scull composition contains refractory phases, namely graphite, ferromanganese, calcium aluminosilicate and magnesia aluminosilicate generated during crystallization of slag and ferromanganese.

Key words: blast furnace, hearth lining durability, chemical composition and mineralogy of scull.

На основании анализа работы доменных печей (ДП) Японии, Европы, Америки установлено, что именно стойкость футеровки стенок горна и стыка их с лещады определяет длительность кампании современных ДП [1–6]. Конструкция горна современных ДП обеспечивает высокоэффективный теплоотвод с помощью медных холодильников и применения в футеровке углеродистых блоков с высокой теплопроводностью, что приводит к образованию гарнисажа (франц. garnissage) — твердого защитного слоя, образующегося в результате кристаллизации продуктов плавки на внутренней (рабочей) поверхности футеровки и/или холодильников [7–11].

В настоящей работе продолжены исследования состава гарнисажа на футеровке горна ДП,

выплавляющей нодулярный и пердедельный чугуны, после ее выдувки на капитальный ремонт 1-го разряда [12]. В работе [12] установлено накопление цинка в пробах гарнисажа выше уровня чугунной летки. Однако элементный анализ не позволяет однозначно ответить на вопрос, в каких соединениях (фазах) кристаллизуется цинк, как, впрочем, и другие элементы. На основе проведенных исследований однозначно можно утверждать, что в гарнисаже в значительном количестве наблюдается углерод, а на уровнях ниже чугунной летки велико и содержание α -Fe. Поэтому в настоящей работе была предпринята попытка изучения фазового состава гарнисажа.

Методика исследований

Для оптических методов исследований использовалась аппаратура фирмы Nikon: поляризационный микроскоп ECLIPSE LV100-POL, оптический стереомикроскоп SMZ-1500, оснащенный цифровой фотомикрографической системой DS-5M-L1, и стереомикроскоп SMZ-645. Анализ минеральных фаз в аншлифах-брикетах проводился на автоматическом комплексе MLA 650

(FEI Company), включающем сканирующий электронный микроскоп FEI Quanta 650 SEM. Преобладающие минеральные фазы определялись рентгеноструктурным анализом с помощью аналитического комплекса ARL 9900 Workstation IP3600. Все вышеприведенные исследования были проведены в НИТУ МИСиС.

Химический анализ проб выполнен в Аналитическом центре ФГУП ВИМС. Определение содержания углерода, летучих компонентов выполнено Испытательным центром АО

НИИГРАФИТ (EA 3000 EuroVector, Италия). Анализ был продублирован в НИТУ МИСиС (прибор LECO SC144DR).

Проба Ч1

Проба представляет собой штучные образцы материала, взятые с уровня ниже на 0,1 м от уровня чугунной летки. Макроскопическим исследованием установлено, что образцы представлены пористыми конгломератами металла, оксидов и углеродистого вещества. Распределение металла крайне неравномерное, визуализируются отдельные гнезда и прожилкоподобные (линзовидные) образования, размер выделений достигает 10–15 мм (рис. 1). Фазовый состав пробы приведен на рис. 2–8, химический состав металлической и шлаковой фаз — в табл. 1, 2.



Рис. 1. Общий вид образцов пробы Ч1

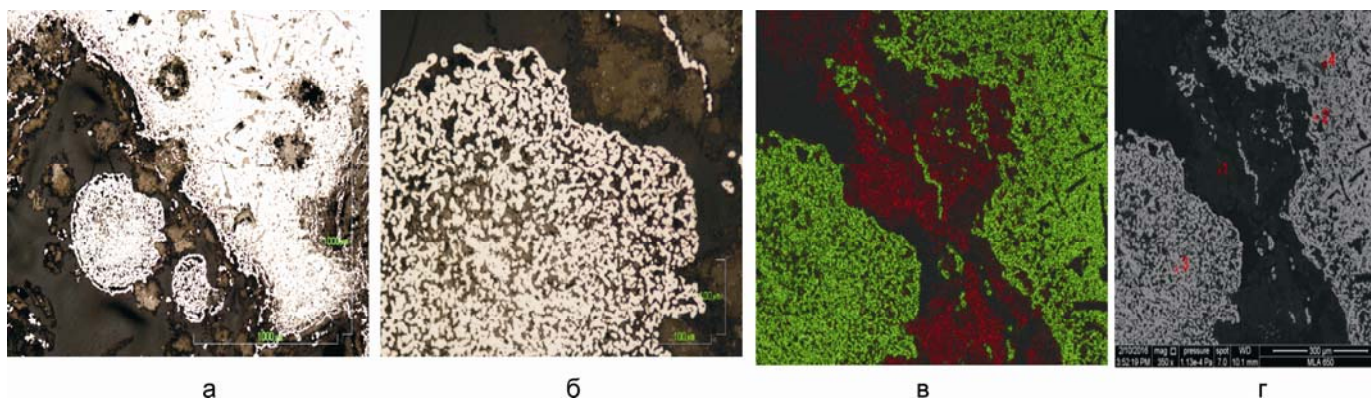


Рис. 2. Выделение карбида железа в углеродистой матрице. Изображение (б) — увеличенный фрагмент рис. 2, а: а, б — в отраженном свете; в — в обратно рассеянных электронах; г — комбинация в характеристических лучах элементов; 1 — пропитанная оксидами калия углеродистая матрица; 2, 3 — карбид железа; 4 — оксид железа

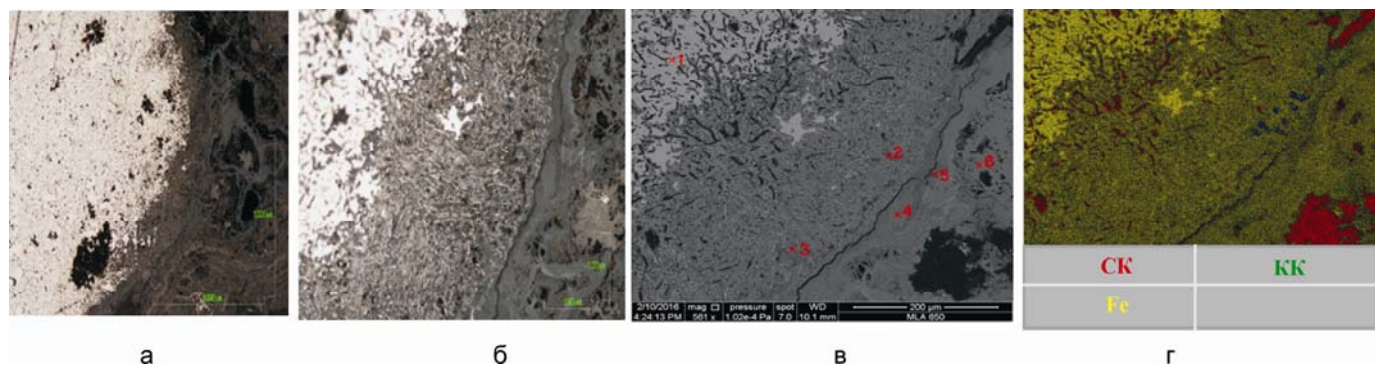


Рис. 3. Выделение карбида железа в массе оксида железа. Изображение (б) — увеличенный фрагмент рис. 3, а: а, б — в отраженном свете; в — в обратно рассеянных электронах; г — комбинация в характеристических лучах элементов; 1 — карбид железа; 2 — фаза 2FeO-MnO-2SiO_2 ; 3–6 — оксид железа (гематит)

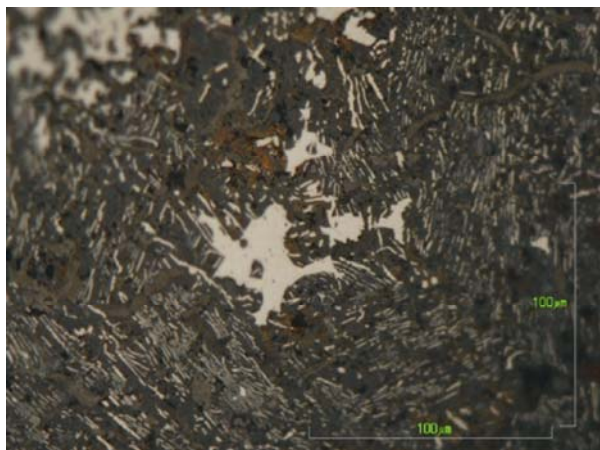


Рис. 4. Тончайшие лейсты карбида железа в шлаковой матрице (увеличенный фрагмент рис. 3, б). Изображение в отраженном свете

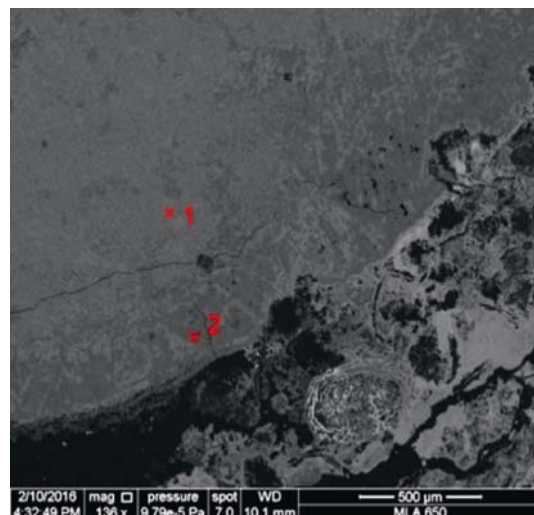


Рис. 6. Контакт частицы шлака (1, 2) и оксидов железа. Изображение в обратно рассеянных электронах

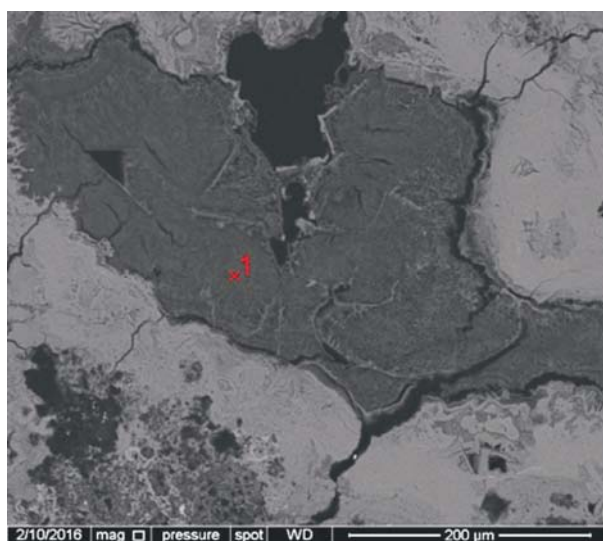


Рис. 5. Карбонат железа (1) среди коломорфных выделений оксида железа (светлое). Изображение в обратно рассеянных электронах

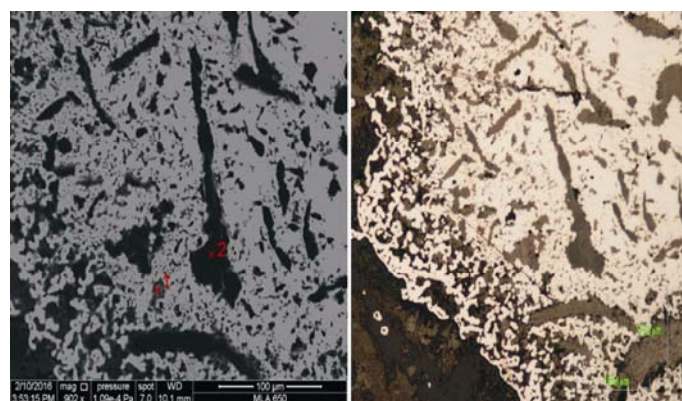


Рис. 7. Включения оксидов железа (1) и графита (2) в карбиде железа. Изображение: слева — в обратно рассеянных электронах; справа — в отраженном свете

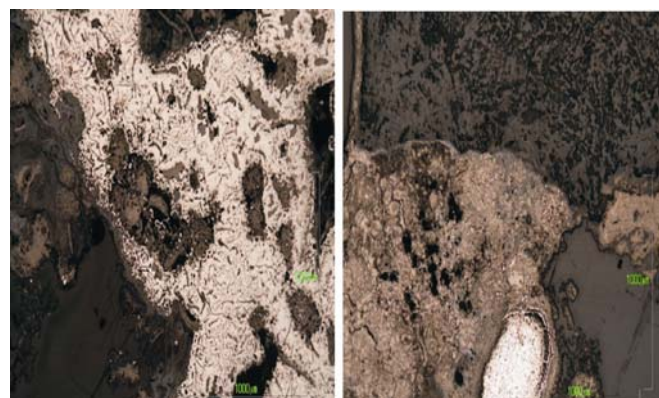


Рис. 8. Выделения (светлое) карбида железа/железа неправильной (справа) и округлой (слева) форм в матрице оксидов железа. Изображение в отраженном свете

ТАБЛИЦА 1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МИНЕРАЛЬНЫХ ФАЗ СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗА В ЭЛЕМЕНТНОЙ ФОРМЕ (ПО ДАННЫМ ЛОКАЛЬНОГО РЕНТГЕНСПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА)

Содержание, %								Примечание
Fe	Na	K	Si	Al	Ca	O	C	
98,5	—	—	—	—	—	—	1,5	Рис. 2, спектр 2; карбид железа
98,3	—	—	—	—	—	—	1,7	Рис. 2, спектр 3; карбид железа
61,1*	9,8	1,5	7,0	0,7	—	19,9	—	Рис. 2, спектр 4; оксид железа
98,4	—	—	—	—	—	—	1,6	Рис. 3, спектр 1; карбид железа
60,2*	—	0,6	1,6	—	1,0	34,7	1,9	Рис. 3, спектр 3; оксид железа
61,8*	—	1,2	0,5	—	0,4	34,3	1,8	Рис. 3, спектр 4; оксид железа
65,9*	—	0,8	0,6	—	0,2	28,9	3,6	Рис. 3, спектр 5; оксид железа
62,7*	—	0,6	0,2	—	0,3	34,8	1,4	Рис. 3, спектр 6; оксид железа
51,8*	—	1,3	0,6	—	0,4	27,8	18,1	Рис. 7, спектр 1; оксид железа

** В этих точках определено $Fe_{общ}$; выделить отдельно содержание оксидов и металлического железа вследствие того, что толщина оксидных слоев составляет от долей до десятков микрометров, невозможно.*

ТАБЛИЦА 2. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МИНЕРАЛЬНЫХ ФАЗ ШЛАКА

Содержание, %									Основность		Примечание
SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO/ Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₃	CaO/ SiO ₂	(CaO + MgO)/ (SiO ₂ + Al ₂ O ₃)	
18,5	3,8	56,6	3,0	1,0	11,7	1,1	3,3	1,0	0,054	0,179	Рис. 3, спектр 1: фаза 2FeO–MnO–2SiO ₂
39,1	3,3	24,8	4,0	26,9	—	1,9	—	—	0,688	0,729	Рис. 6, спектр 1: фаза FeO–CaO–SiO ₂
45,6	22,1	—	9,8	3,0	—	1,1	18,4	—	0,066	0,189	Рис. 6, спектр 2: фаза K ₂ O–Al ₂ O ₃ –SiO ₂

Таким образом, в образце гарнисажа ниже уровня чугунной летки отмечены шлаковые включения, включения металла и углерода. Очевидно, что в современных условиях плавки при небольшом промежутке времени между выпусками полного разделения чугуна и шлака в горне ДП не происходит, что и приводит к кристаллизации составляющих шлака на футеровке ДП. Как следует из результатов табл. 2, шлаковые включения в гарнисаже отличаются от состава шлака на выпусках, основность которого (CaO/SiO₂) обычно находилась в пределах 1–1,1. По-видимому, кристаллизуются наиболее тугоплавкие фазы — алюмосиликаты. Этот факт требует дополнительного изучения.

Следует отметить высокое содержание оксидов железа и марганца в шлаковой фазе (см. табл. 2), включения оксидов железа в металле и даже в углеродистой матрице, как видно из данных, представленных в табл. 1 и на рис. 2–4, 7, 8. И этот факт требует дальнейшего исследования. Известно, что содержание FeO и MnO в шлаках ДП при выплавке чугуна на выпуске составляет около 3–4 и 0,1–0,5 % соответственно. Однако в

пробах гарнисажа обнаружены включения, содержащие до 90 % оксидов железа, что следует из табл. 1 и 2. Появились ли такие включения в результате процессов кристаллизации шлакового расплава или эти включения обусловлены процессами окисления металла при охлаждении печи заливкой водой на последнем этапе выдувки? В пользу последнего предположения свидетельствуют: во-первых, бурый налет на поверхности проб (см. рис. 1 — левый образец, внизу); во-вторых, обнаруженные в составе проб включения карбоната железа (см. рис. 5). Такие включения при реальных температурах расплава в горне ДП (1500–1550 °С) могли появиться только в результате последующих окислительно-восстановительных процессов при охлаждении шихты/гарнисажа водой. Образцы проб обладают магнитными свойствами, в их составе присутствует α -Fe, что подтверждено предыдущими исследованиями [12]. Таким образом, как видно из рис. 2–8, при затвердевании металлического расплава на охлаждаемой футеровке выделяются графит, карбиды железа.

Проба Ч2

Проба Ч2 представляет собой штучные образцы спеченного углеродистого материала, отобранные в районе летки. Макроскопическим

исследованием установлено, что пробы имеют псевдослоистое строение, которое обусловлено чередованием углеродистой массы и неметал-

лической фазы светло-зеленовато-желтого цвета. Толщина слоев, “пропитанных” светлыми фазами, находится в интервале от 0,01 до 7 мм (рис. 9).



Рис. 9. Общий вид штучных образцов пробы Ч2

Химический состав усредненной пробы Ч2 представлен в табл. 3.

ТАБЛИЦА 3. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПРОБЫ Ч2
(ПО ДАННЫМ РЕНТГЕНОСТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА)

Компонент	Содержание, %	Компонент	Содержание, %
SiO ₂	5,67	S	0,39
Al ₂ O ₃	1,83	Cl	0,48
CaO	0,06	Rb ₂ O	0,11
MnO	0,04	Cs ₂ O	0,09
ZnO	50,00	Pb	0,28
K ₂ O	4,80	C	35,95
Fe	0,63		

Преобладающими компонентами пробы являются оксид цинка (50 %), углерод (35,95 %). В меньшем количестве присутствуют оксиды калия (4,80 %), кремния (5,67 %), алюминия (1,83 %). В небольшом количестве выявлены железо, сера, хлор. Такая концентрация этих микропримесей не позволила выявить, в виде каких отдельных фаз они присутствуют в пробе. Выявлены основные фазы в структуре пробы. Средний минеральный состав пробы Ч2 приведен ниже:

Минеральные фазы	Содержание, %
Оксид цинка	19,6
Железо металлическое	0,2
Графит	74,8
Стеклофаза, в том числе калиевые алюмосиликаты	2,8
Оксид калия	2,1
Фаза ZnO·SiO ₂	0,5
Свинец	<0,1

На рис. 10–13 показаны установленные в пробе минеральные фазы, а их химический состав — в табл. 4.

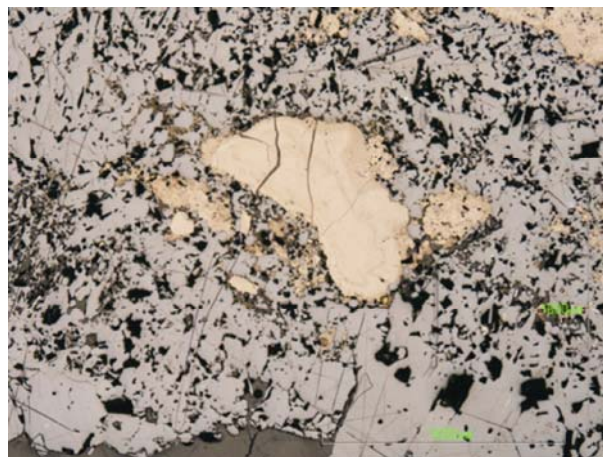


Рис. 10. Сеть прожилков и зоны сплошного развития оксида цинка (серое) в углеродистом веществе

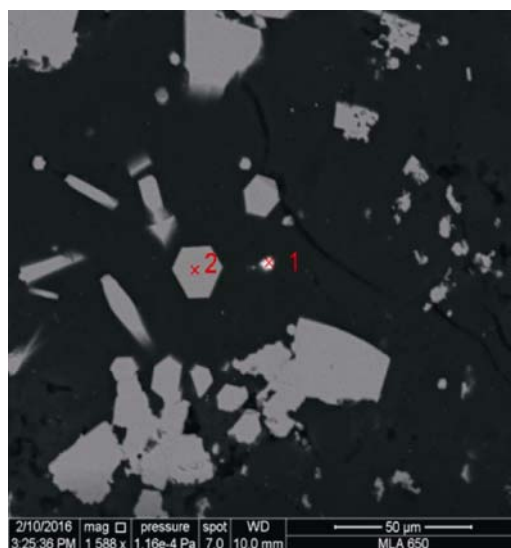


Рис. 11. Кристаллические выделения оксида цинка (серое) и вкрапление свинца (белое) в графите. Изображение в обратно рассеянных электронах

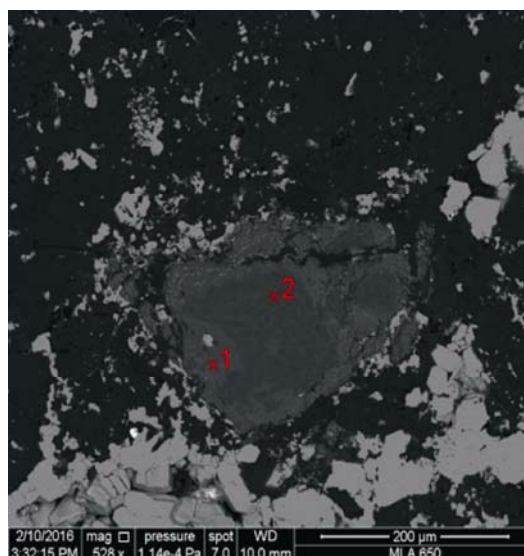


Рис. 12. Выделения алюмокалиевого силиката (темно-серое). Изображение в обратно рассеянных электронах

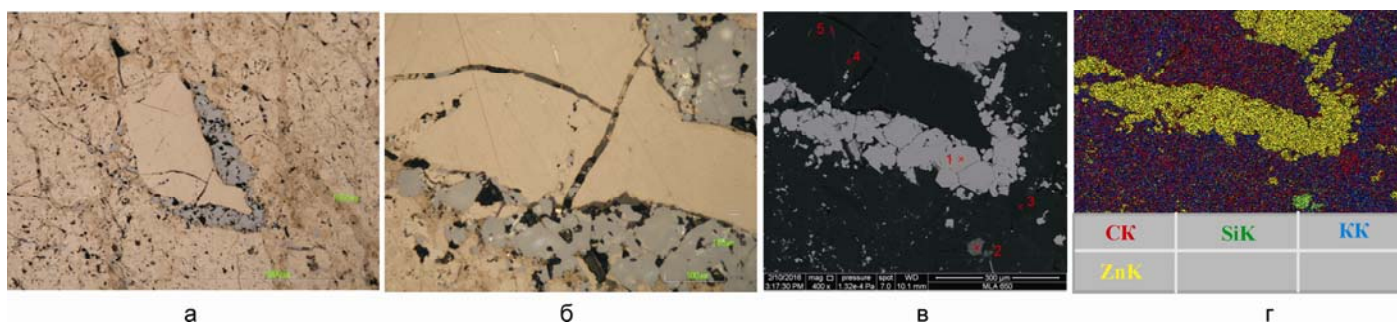


Рис. 13. Прожилковидное выделение оксида цинка в графите. Изображение (б) — увеличенный фрагмент рис. 13, а: а, б — в отраженном свете; в — в обратно рассеянных электронах; г — комбинация в характеристических лучах элементов; 1 — оксид цинка; 2 — фаза ZnO–SiO₂; 3, 4 — графит; 5 — железо

ТАБЛИЦА 4. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ОТДЕЛЬНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ФАЗ ПРОБЫ Ч2

Содержание, %						
SiO ₂	Al ₂ O ₃	ZnO/Zn	Fe ₂ O ₃ /Fe	K ₂ O	C	Pb
—	—	100,0/—	—	—	—	—
43,0	1,6	4,8/—	2,6/—	9,0	—	—
—	—	—/2,9	—/7,1	15,8	74,2	—
—	—	—	—/100,0	—	—	—
—	—	100,0/—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	100,0
39,2	33,1	—	—	27,7	—	—
57,8	33,3	—	—	8,9	—	—

Анализ показал, что эта проба представляет собой спеченную леточную массу, пропитанную оксидами цинка и калиевыми алюмосиликатами.

В небольшом количестве присутствуют металлический цинк и свинец.

Выводы

1. Полного разделения чугуна и шлака в горне ДП даже на уровне ниже чугунной летки не происходит. Поэтому гарнисаж представляет собой слоистую структуру из металлических, шлаковых включений и углерода.

2. При кристаллизации расплава металла согласно диаграмме состояния Fe–C выделяются графит, карбид железа (Fe₃C) и α-Fe (см. табл. 1 и результаты работы [12]).

3. Из расплава шлака кристаллизуются, по видимому, тугоплавкие алюмосиликаты (см. табл. 2 и результаты работы [12]). При этом основность (CaO/SiO₂) гарнисажа, как правило, меньше, чем основность доменного шлака. Порядок кристаллизации сложной шлаковой системы будет рассмотрен в дальнейших работах на основе анализа диаграмм состояния.

4. Проба Ч2 представляет собой слоистую структуру, получившуюся в результате неравномерной эрозии леточной массы при циклическом выпуске продуктов плавки и отложений соедине-

ний цинка, образующихся в конце выпуска (при продувке летки). Пары восстановленного на “коксовой насадке” цинка (в небольшом количестве и щелочных металлов, и свинца) при взаимодействии с газами из фурменной зоны (CO₂, H₂O, возможно, и кислородом) практически нацело окисляются до оксидов и отлагаются на углероде из леточной массы. Однако в присутствии локального избытка углерода возможно осаждение паров в виде металлов (см. табл. 5).

5. Микрозондовым анализом можно установить в гарнисаже множество соединений очень многих элементов, образующихся в результате многолетней эксплуатации доменной печи. Однако основа гарнисажа — это продукты кристаллизации элементов чугуна, содержание которых в нем значительно, а именно железа и графита.

6. В дальнейших работах будут приведены исследования футеровки, гарнисажа ДП, выплавляющих низкокремнистый чугун и ферромарганец.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Увеличение продолжительности кампании доменных печей [Текст] // Новости черной металлургии за рубежом. — 2006. — № 2. — С. 23–27.
2. Naito, M. Recent progress of practical BF operations in Japan and innovative trials for the future [Text] / M. Naito // 5th European Coke and Ironmaking Congress. June 12–15.2005. Sweden. Stockholm. — V. 1.
3. Naito, M. Development of Ironmaking Technology [Text] / M. Naito // Shinnittetsu Giho. — 2006. — № 384. — S. 2–13.
4. Shimizu, M. Technological Progresses and Researches on Blast Furnase Ironmaking in The New Century [Text] / M. Shimizu, M. Naito // Tetsu-to-Hagane. — 2006. — V. 92. — № 12. — S. 2–10.
5. Van Laar, R. J. Blast Furnace Hearth Management for Safe and Long Campaigns [Text] / R. J. van Laar, E. van Stein Callentels [et al.] // Iron and Steel Technology Conference Pros. April 27–30. Indianapolis. Indiana. 2003. — P. 1079–1090.
6. Курунов, И. Ф. Методы продления кампании доменной печи [Текст] / И. Ф. Курунов, В. Н. Логинов, Д. Н. Тихонов // Металлург. — 2006. — № 12. — С. 34–39.
7. Хлыстов, А. И. Теоретические и технологические принципы повышения долговечности огнеупорных футеровочных материалов [Текст] / А. И. Хлыстов: дис. ... д-ра техн. наук. — Самара, 2004. — 533 с.
8. Металлургия чугуна [Текст]: учебник для вузов / Под ред. Ю. С. Юсфина, 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Академкнига, 2004. — 774 с.
9. Плискановский С. Т. Оборудование и эксплуатация доменных печей [Текст] / С. Т. Плискановский, В. В. Полтавец. — Днепрпетровск: Пороги, 2004. — 495 с
10. Огнеупоры для промышленных агрегатов и топок. Кн. 2. Служба огнеупоров [Текст]: справочное изд-е: в 2-х книгах / Под ред. И. Д. Кашеева, Е. Е. Грищенко. — М.: Интермет Инжиниринг, 2002. — 656 с.
11. Huang, F. Cleveland No. 6 Blast Furnace Hearth Campaign Extension [Text] / F. Huang, M. Andrade, J. Rickets [et al.] // Iron and Steel Technology. 2016. — March. — P. 44–56.
12. Близнюков, А. С. Исследование футеровки горна доменной печи (Сообщение 1) [Текст] / А. С. Близнюков, С. А. Фещенко, И. Ф. Курунов [и др.] // Черная металлургия: Бюл. ин-та “Черметинформация”. — 2010. — № 9. — С. 31–36.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ДИАГНОСТИКЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ЛИТЕЙНО-ПРОКАТНЫХ АГРЕГАТОВ НА УЧАСТКЕ МНЛЗ – НАГРЕВАТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО

*А. Б. БИРЮКОВ¹, д-р техн. наук, проф., birukov.ttf@gmail.com; А. А. ИВАНОВА², канд. техн. наук
(¹ ГОУ ВПО “Донецкий национальный технический университет”,
² ГУ “Институт прикладной математики и механики”)*

Рассмотрена задача разработки научного инструментария, позволяющего прогнозировать тепловое состояние заготовки во время ее пребывания во всех элементах литейно-прокатного агрегата, начиная от кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок до выдачи из печи. Предложено решение задачи при помощи прогнозной математической модели температурного состояния поперечного сечения заготовки. Введено понятие эффективности использования тепла разливаемого металла.

Ключевые слова: литейно-прокатный агрегат; диагностика теплотехнических параметров; эффективность использования тепла; поле температур; математическая модель.

UP-TO-DATE APPROACHES TO DIAGNOSTICS OF THERMAL AND TECHNICAL PARAMETERS OF CASTING-ROLLING AGREGATES OPERATION AT THE SECTION CASTER - HEATING FACILITY

*A. B. BIRYUKOV¹, Higher Doctorate (Tech), Professor, birukov.ttf@gmail.com;
A. A. IVANOVA², PhD (Tech)
(¹ GOU VPO “Donetsk National Technical University”,
² GU “Institute of Applied Mathematics and Mechanics”)*

Scientific instruments development considered enabling forecast of thermal conditions of bar while being at all the parts of casting-rolling aggregate, beginning from a continuous caster mold till delivery from a reheating furnace. The solution proposed using a forecast mathematical model of temperature conditions of bar cross section. A term of efficiency of casted metal heat utilization introduced.

Key words: casting-rolling aggregate, diagnostics of thermal parameters, efficiency of heat utilization, temperature field, mathematical model.

В настоящее время на большинстве металлургических производств непрерывный слиток, выйдя из машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), охлаждается на холодильнике, и только затем транспортируется в прокатные цеха, где вновь подвергается нагреву перед обработкой давлением. При таком способе имеют место значительные потери тепла. Для решения задачи использования внутреннего тепла непрерывнолитой заготовки непосредственно после разливки различными исследователями была предложена технология прямой прокатки, или, другими словами, совмещения процесса непрерывного литья и прокатки [1]. Собранные таким образом в единый комплекс машины известны как литейно-прокатные агрегаты (ЛПА) или литейно-прокатные модули (ЛПМ).

Достаточно широкое распространение ЛПА получили в цветной металлургии. В настоящее

время ЛПА успешно разрабатываются несколькими ведущими машиностроительными фирмами мира. Лидером в создании ЛПА (по объему разработок и числу реализованных агрегатов) является фирма SMS Demag.

Совмещение разливки с прокаткой позволяет значительно сократить расход энергии на получение единицы готового проката, однако при этом возникает ряд проблем. Одна из основных связана с невозможностью инспекции поверхности заготовок после МНЛЗ на предмет наличия трещин, как это имеет место в разомкнутом технологическом цикле. Поэтому к температурно-скоростным режимам непрерывной разливки предъявляются повышенные требования — необходимо исключить трещинообразование [2–4]. Также серьезной проблемой является выбор параметров тепловой обработки металла в печи для качественной синхронизации работы МНЛЗ

и прокатного оборудования. В связи с этим важной задачей является наличие научно-практического инструмента для высокоточной диагностики состояния заготовки после МНЛЗ и, соответственно, количества тепла, которое необходимо подвести для ее догрева перед обработкой давлением.

После выхода заготовки из МНЛЗ необходимо таким образом провести ее тепловую обработку, чтобы среднемассовая температура заготовки и перепад температуры по ее толщине (объему) соответствовали требованиям прокатного оборудования. В некоторых случаях эта задача может быть выполнена при помощи одного агрегата для тепловой обработки, но, как правило, речь идет о нескольких агрегатах. Комплекс оборудования для тепловой обработки ЛПА на уча-

стке совмещения между МНЛЗ и прокатным станом может состоять из подогревательной и термостатирующей печей (для нагрева до необходимой температуры и выравнивания температуры по ее длине и сечению), а также подвижных термостатических печей для доставки заготовок на прокатный стан [5, 6].

В производственных условиях зачастую имеют место существенные вариации многих значений технологических факторов, приводящих к отклонению процессов, протекающих в ЛПА, от нормы. Изменение теплового режима может создать условия, способствующие образованию дефектов заготовок и даже аварийным ситуациям. Поэтому крайне важной задачей является проведение оперативной диагностики теплотехнических процессов, протекающих в ЛПА.

Оценка эффективности использования ЛПА

Для оценки эффективности использования ЛПА по сравнению с разомкнутым технологическим циклом и для сравнения тепловой работы различных ЛПА в работе [6] предложено ввести понятие эффективности использования тепла разливаемого металла:

$$\eta_{\text{эф}} = \frac{Q_{\text{х.п}} - Q_{\text{ЛПМ}}}{Q_{\text{х.п}}},$$

где $Q_{\text{х.п}}$ — теплота, затрачиваемая на нагрев металла под прокатку при холодном посаде, Дж/кг; $Q_{\text{ЛПМ}}$ — теплота, затрачиваемая на нагрев металла под прокатку с учетом использования тепла разливаемого металла (горячий посад или прямая прокатка), Дж/кг.

Крайними значениями эффективности использования тепла разливаемого металла являются “0” и “1”, причем первое значение соответствует полному отсутствию использования тепла разливаемого металла и холодному посаду, а второе — прямой прокатке без промежуточного нагрева. Использование предложенного показателя позволяет сравнивать эффективность работы различных ЛПА или одного и того же ЛПА при разных режимах работы.

Таким образом, экономия тепла (ΔQ , Вт) при использовании ЛПА по сравнению с разомкнутой схемой и холодным посадом составляет:

$$\Delta Q = Q_{\text{х.п}} \eta_{\text{эф}} a b v \rho,$$

a, b — ширина и высота заготовки в поперечном сечении, м; ρ — плотность материала заготовки, кг/м³; v — скорость разлива, м/с.

Максимальная экономия будет достигнута при $\eta_{\text{эф}} = 1$. Однако на практике существуют объективные причины, которые не позволяют реализовывать прямую прокатку без всякого промежуточного подогрева:

- реальные теплосодержание металла и его среднемассовая температура могут быть недостаточны для того, чтобы начинать прокатку и иметь достаточный запас тепла для ее завершения;

- перепад температуры внутри заготовки может достигать значений, недопустимых для прокатки;

- непрерывнолитые заготовки могут иметь дефекты, которые не позволяют получать прокатную продукцию заданного качества, что определяет необходимость осмотра заготовок, и в случае, когда это возможно, устранения дефектов путем горячего ремонта.

Для наиболее эффективной синхронизации работы ЛПМ и достижения максимально возможной степени использования тепла заготовок для существующих и проектируемых комплексов помимо надежной и бездефектной работы отдельных технологических элементов необходимо иметь научный инструментарий для описания и изучения различных процессов в рамках ЛПА.

Определение температурного состояния заготовки

Задача определения температурного состояния заготовки в работах [5–7] решается для условно выбранного поперечного расчетного сече-

ния, которое движется вдоль технологической оси ЛПА со скоростью перемещения материала.

Математическая модель базируется на решении дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности в двумерной постановке в декартовой прямоугольной системе координат:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{\rho c_{\text{эф}}} \left(\frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right),$$

где y, z — координаты, отсчитываемые вдоль осей симметрии поперечного сечения заготовки, м.

Граничные условия третьего рода задаются соответственно положению расчетного сечения, которое определяется по значениям скорости движения заготовки в предыдущие моменты времени в пределах характерных участков (кристаллизатор, зона вторичного охлаждения, зона свободного охлаждения, транспорт к печи, печь, выдача из печи).

Величина среднемассовой энтальпии определяется для каждого временного шага в рамках математической модели по следующим зависимостям. Энтальпия произвольного элементарного объема металла определяется как

$$i = \begin{cases} Q + T_c c_{\text{TM}}(T_c) + (t - T_{\text{Л}}) c_{\text{ЖМ}}(t) & \text{при } t \geq T_{\text{Л}}; \\ i c_{\text{TM}}(t) & \text{при } t \leq T_c; \\ c_{\text{TM}}(T_c) + Q_{\text{кр}} \left(1 - \frac{T_{\text{Л}} - t}{T_{\text{Л}} - T_c} \right) & \text{при } T_c < t < T_{\text{Л}}, \end{cases}$$

где $c_{\text{TM}}, c_{\text{ЖМ}}$ — удельные массовые теплоемкости твердого и жидкого металла соответственно, Дж/(кг·К); $Q_{\text{кр}}$ — теплота кристаллизации, Дж/кг.

Тогда среднемассовая энтальпия в зависимости от геометрических условий определяется следующим образом:

– для одномерной задачи и прямоугольной системы координат (моделирование температурного поля сляба)

$$i_{\text{см}} = \frac{\sum_{j=2}^{n-1} i_j}{n-2};$$

– для двумерной задачи и прямоугольной системы координат (моделирование температурного поля сортовой заготовки либо прецизионное моделирование температурного поля сляба)

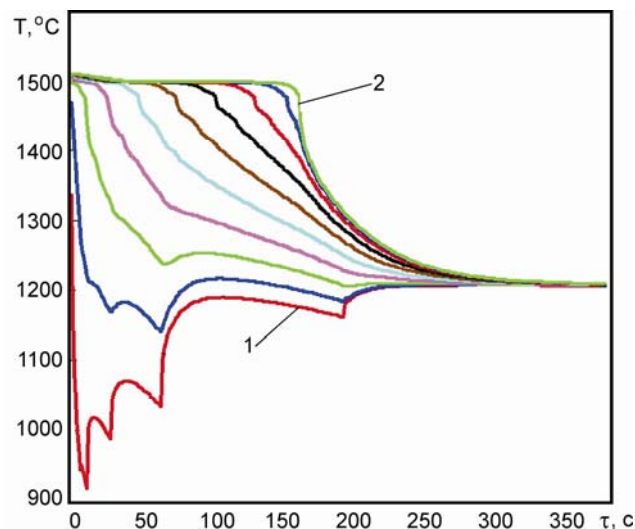
$$i_{\text{см}} = \frac{\sum_{j=2}^{n-1} \sum_{k=2}^{m-1} i_{j,k}}{(n-2)(m-2)};$$

– для одномерной задачи и полярной системы координат

$$i_{\text{см}} = \frac{\sum_{j=2}^{l-1} i_j (R_{j+1} - R_j)}{R},$$

где n, m, l — число узлов сетки по толщине, ширине и радиусу заготовки соответственно.

Пример расчета температурного состояния заготовки сечением 100×100 мм в течение периода ее формирования на МНЛЗ и усреднения температурного поля в печи приведен на рисунке.



Изменение температурного состояния заготовки в пределах МНЛЗ для случая разливки заготовки сечением 100×100 мм со скоростью 6,7 м/мин и последующего усреднения температурного поля:

1 — поверхность заготовки; 2 — середина; остальные линии соответствуют слоям, лежащим через каждые 11,1 мм

Использование величины среднемассовой энтальпии позволяет путем простых выражений определять количество тепла, требуемое для доведения теплового состояния заготовок от исходного состояния до заданного:

– для движущегося потока материала (Вт):

$$Q = abv\rho(i_{\text{см}2} - i_{\text{см}1});$$

– для отдельной заготовки (Дж):

$$Q = abL\rho(i_{\text{см}2} - i_{\text{см}1}),$$

где $i_{\text{см}1}, i_{\text{см}2}$ — среднемассовые энтальпии металла в исходном и заданном состояниях, Дж/кг; L — длина заготовки, м.

Предложенный инструментарий решает следующие задачи.

1. Определение необходимого теплосодержания заготовки после МНЛЗ для прямой прокатки без догрева (в случае если это допускается по технологическим соображениям: непрерывнолитая заготовка заведомо не имеет дефектов,

которые вызовут отбраковку прокатной продукции, поэтому осмотр и ремонт не нужны).

2. Определение рационального времени выравнивания температурного поля заготовок, обладающих после МНЛЗ достаточным запасом тепла для прокатки, на основе анализа результатов численных экспериментов.

3. Определение общего количества тепла (тепловой мощности), которое необходимо подвести к металлу для догрева заготовок, не обладающих достаточным запасом тепла.

4. Определение средней плотности теплового потока, который необходимо подводить в печном агрегате для догрева материала, при условии реализации этой операции в течение заданного промежутка времени $\tau_{\text{н}}$.

5. Выбор температуры печи, которая позволит достичь заданную среднюю плотность теплового потока на поверхность материала.

6. Анализ теплового состояния металла заготовок после нагрева на предмет приемлемости полученного значения теплового перепада.

Выводы

Для оценки эффективности использования ЛПА по сравнению с разомкнутым технологическим циклом и для сравнения тепловой работы различных ЛПА предложено ввести понятие эффективности использования тепла разливаемого металла. Обоснована необходимость разработки научного инструментария, позволяющего прогнозировать тепловое состояние каждой заготовки во время ее пребывания во всех элементах ЛПА, начиная от кристаллизатора МНЛЗ до выдачи из печи. Обосновано, что эта задача может решаться при помощи прогнозной математической модели, в которой рассматривается температурное состояние поперечного сечения заготовки, а перемещение между различными

элементами ЛПА учитывается за счет смены граничных условий. Предложено использование понятия среднемассовой энтальпии поперечного сечения заготовки и разработаны приемы решения ряда важных задач с ее использованием, таких как определение необходимого теплосодержания заготовки после МНЛЗ для прямой прокатки без догрева, определение рационального времени выравнивания температурного поля заготовок, обладающих после МНЛЗ достаточным запасом тепла для прокатки, а также определение общего количества тепла (тепловой мощности), которое необходимо подвести к металлу для догрева заготовок, не обладающих достаточным запасом тепла.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коновалов, Ю. В. Металлургия [Текст]: учебное пособие: в 3 кн. Кн. 2 / Ю. В. Коновалов, А. А. Минаев. — Донецк: ДонНТУ, 2012. — 496 с.
2. Лисин, В. С. Оптимизация совмещенных литейно-прокатных процессов [Текст] / В. С. Лисин, А. Н. Скороходов. — М.: Высшая школа, 1996. — 280 с.
3. Stetina, J. Minimization of surface defects by increasing the surface temperature during the straightening of a continuously cast slab [Text] / J. Stetina [et al.] // *Materiali in Tehnologije*. — 2013. — V. 47. — P. 311–316.
4. Mauder, T. Two mathematical approaches for optimal control of the continuous slab casting process [Text] / T. Mauder, J. Novotny // *16th International conference on soft computing — Mendel 2010*. — P. 395–400.
5. Бирюков, А. Б. Современные подходы к математическому моделированию теплотехнических процессов в литейно-прокатных модулях на участке МНЛЗ – нагревательное устройство [Текст] / А. Б. Бирюков, А. А. Иванова // *Черная металлургия: Бюл. ин-та “Черметинформация”*. — 2015. — № 7 (1387). — С. 50–55.
6. Бирюков, А. Б. Теплотехника непрерывной разливки стали и тепловой обработки заготовок [Текст] / А. Б. Бирюков. — Saarbrücken: LAMBERT Academic Publishing, 2015. — 444 с.
7. Бирюков, А. Б. Тепловые аспекты реализации совмещенных процессов разливки-прокатки [Текст] / А. Б. Бирюков // *Математическое моделирование*. — 2012. — № 1. — С. 45–49.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСПРЕДЕЛЕННОГО РЕЖИМА ДОЖИГАНИЯ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ В ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МЕТАЛЛИЗОВАННОГО СЫРЬЯ

*Э. Э. МЕРКЕР, д-р техн. наук, проф.; Л. Н. КРАХТ, канд. техн. наук, проф. РАЕ;
В. А. СТЕПАНОВ, Е. В. ЕРШОВ, д-р техн. наук, проф.;
Л. Н. КОРОЛЬКОВА, канд. техн. наук, mt_kaf@mail.ru*

*(Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал)
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»)*

Рассмотрены вопросы повышения эффективности дожигания СО в дуговой сталеплавильной печи. Экспериментально подтверждена возможность и доказана эффективность дожигания оксида углерода струями кислорода в системе встречных газовых потоков, что позволило ускорить процессы нагрева и обезуглероживания металла, а также улучшить другие технологические показатели плавки стали в дуговой сталеплавильной печи.

Ключевые слова: дуговая сталеплавильная печь; отходящие газы; дожигание оксида углерода; водоохлаждаемые кольца; кислородная фурма; технологические показатели плавки стали.

DEVELOPMENT OF A METHOD OF DISTRIBUTED MODE OF FUEL GAS AFTERBURNING IN AN ARC STEELMAKING FURNACE WITH A CHARGE OF DRI

*E. E. MERKER, Higher Doctorate (Tech), Professor; L. N. KRAKHT, PhD (Tech), Professor;
V. A. STEPANOV, E. V. ERSHOV, Higher Doctorate (Tech), Professor;
L. N. KOROL'KOVA, PhD (Tech), mt_kaf@mail.ru*

*(Sary Oskol Technology Institute after A.A. Ugarov (subsidiary)
FGAOU VO "National Research Technological University "MISiS")*

Items of increasing of CO afterburning efficiency in an arc steelmaking furnace considered. The possibility confirmed by experiments, efficiency of carbon oxide afterburning using oxygen streams in a system of contrary gases proved, that enabled to accelerate the processes of metal heating and decarbonizing, as well as to improve the technology indexes of steel melting in an arc steelmaking furnace.

Key words: arc steelmaking furnace, exhausted gases, carbon oxide afterburning, water cooled rings, oxygen lance, technology indexes of steel melting.

Современный технологический процесс плавки железорудного металлизированного сырья (ЖМС) в сталеплавильном агрегате предусматривает проведение в окислительный период интенсивной продувки сталеплавильной ванны кислородом с помощью продувочной фурмы или с применением топливно-кислородных горелок (ТКГ). Так как в подсводовом пространстве дуговой сталеплавильной печи (ДСП) температура выше 2000 °С, то будет происходить следующая реакция: $\text{CO}_2 \rightarrow \text{CO} + 1/2\text{O}_2$ и при этом полное дожигание СО в рабочем пространстве дуговой печи, выделяющегося из сталеплавильной ванны, уже не обеспечивается, и СО поступает в газоотводящий тракт. В связи с этим представляется важной разработка распределенного метода режима дожигания горючих газов в ДСП с применением железорудных металлизированных окатышей с тем, чтобы содержание СО в горючих газах перед газоходом с газоотводящим трактом практически отсутствовало.

На рис. 1 представлена схема дуговой печи для плавки стали из ЖМС с локально распределенным дожиганием горючих газов.

Для осуществления плавки стали в дуговой печи металлошихта превращается в жидкий металл 2 за счет подогрева и расплавления шихты электрическими дугами 20 от полых (трубчатых) графитированных электродов 7 в своде ДСП 4, закрепленных электрододержателями сталеплавильного агрегата 5. При этом за счет подачи шлакообразующих материалов (извести, плавикового шпата и др.) в дуговой печи над металлошихтой образуется жидкий шлак 3, который по ходу плавки стали периодически скачивается, а с появлением жидкого металла через находящиеся в своде дуговой печи водоохлаждаемые кольца с отверстиями 6 происходит подача кислорода 26 навстречу отходящим из сталеплавильной ванны газам с целью более быстрого нагрева и плавления ЖМС.

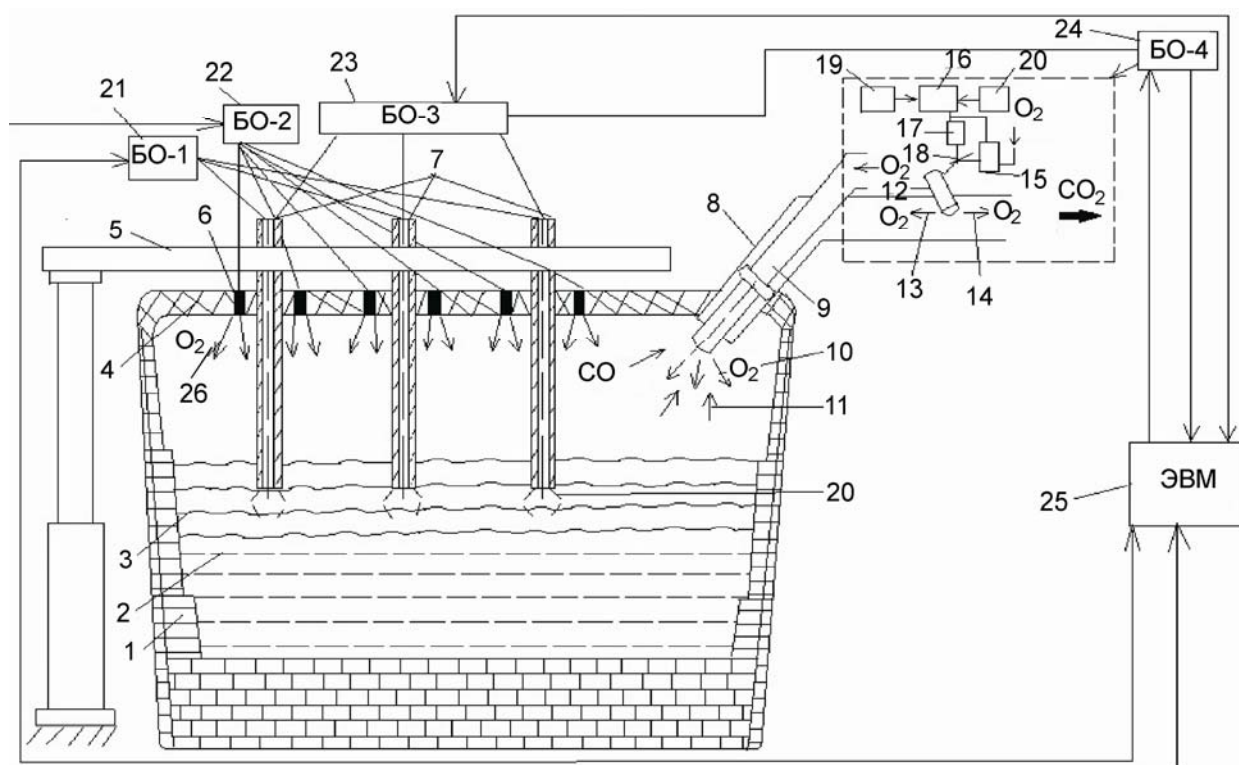


Рис. 1. Схема дуговой печи для плавки стали из ЖМС с локально распределенным дожиганием горючих газов:

- 1 — дуговая печь; 2 — жидкий металл; 3 — жидкий шлак; 4 — съемный огнеупорный свод дуговой печи; 5 — электродо-держатель печи; 6 — водоохлаждаемые кольца с отверстиями для подачи кислорода; 7 — три полых (трубчатых) графитированных электрода; 8 — газоход для отвода газов из дуговой печи; 9 — устройство для дожигания горючих газов перед газоходом с газоотводящим трактом в своде дуговой печи; 10 — струи кислорода на дожигание CO до CO₂; 11 — горючие газы перед газоходом печи; 12 — устройство для дожигания горючих газов в газоходе ДСП; 13 — противоточные струи кислорода; 14 — спутные струи кислорода; 15 — датчик расхода кислорода; 16 — регулятор расхода кислорода; 17 — исполнительный механизм; 18 — регулирующий орган; 19 — программный регулятор; 20 — электрические дуги от полых (трубчатых) графитированных электродов; 21 — блок оценки электрического режима плавки стали; 22 — блок оценки процесса подачи кислорода через водоохлаждаемые кольца с отверстиями; 23 — блок оценки процесса подачи через полые (трубчатые) графитированные электроды в металл и шлак металлизированных окатышей, извести, раскислителей, ферросплавов и других сыпучих и мелкоизмельченных материалов от бункеров; 24 — блок оценки работы устройства дожигания горючих газов перед газоходом и в самом газоходе с контролем степени их дожигания; 25 — ЭВМ; 26 — подача кислорода через водоохлаждаемые кольца

В это же время осуществляется продувка жидкого расплава кислородом от устройства для дожигания горючих газов перед газоходом с газоотводящим трактом в своде агрегата 9. В окислительный период плавки на жидкий металл через полые (трубчатые) графитированные электроды осуществляется непрерывная подача металлизированных окатышей, извести и других сыпучих материалов, причем в это же время из сталеплавильной ванны дуговой печи выделяются горючие газы (CO, H₂ и др.), которые направляются в газоход для отвода газов из дуговой печи 8, перед которым осуществляется дожигание этих газов 11 струями кислорода 10 от устройства 9, а источником выделения отходящих газов является кислород дутья от многосопловой водоохлаждаемой кислородной фурмы и от электрических дуг, где расплавляются металлизированные окатыши.

Для оценки технологических процессов плавки стали в дуговой печи используется ЭВМ 25, которая функционально взаимодействует с блоком системы оценки электрического режима 21 (БО-1), блоком оценки процесса подачи кислорода 22 через водоохлаждаемые кольца с отверстиями (БО-2), блоком оценки подачи через полые (трубчатые) графитированные электроды 23 в металл и шлак металлизированных окатышей, извести, раскислителей, ферросплавов и других сыпучих и мелкоизмельченных материалов от бункеров дуговой печи (БО-3), блоком оценки работы устройства дожигания горючих газов 24 перед газоходом и в самом газоходе с контролем степени их дожигания (БО-4).

Эффективность дожигания CO струями кислорода оценивали по следующим параметрам [1, 2]:

$$K_{\text{эф}} = 1 - \{CO\}_{\infty} / \{CO\}_0; \quad (1)$$

$$\eta_{CO} = CO_2 / (CO + CO_2), \quad (2)$$

где $\{CO\}_0$ и $\{CO\}_{\infty}$ — начальная и конечная концентрации CO в газе, %.

Параметром $K_{\text{эф}}$ оценивали эффективность процесса по динамике окисления CO, а коэффициентом η_{CO} — по содержанию в газах как CO, так и CO₂.

Объемный расход CO, м³/с, в составе отходящих газов определяли по формуле [3]:

$$V_{CO} = \vartheta_{CO} V_{(CO+CO_2)}, \quad (3)$$

где $\vartheta = 0,01 \{CO\}_0$ — доля CO в составе отходящих газов.

Подставив значение ϑ , получим [4]:

$$V_{CO} = 0,01 \{CO\}_0 V_{(CO+CO_2)}. \quad (4)$$

Тогда начальная концентрация CO в газах:

$$\{CO\}_0 = V_{CO} / (0,01 V_{(CO+CO_2)}). \quad (5)$$

Общее количество отходящих из зоны продувки газов, м³/с, равно [5]:

$$V_{(CO+CO_2)} = 0,2 v_C M_{Me}, \quad (6)$$

где 0,2 — коэффициент пересчета массы окислившегося углерода в объем CO, кг/м³; M_{Me} — масса металлической ванны, кг; v_C — обобщенная скорость окисления углерода в ванне дуговой печи при электроплавке ЖМС, % [C]/мин, равная [6, 7]:

$$v_C = v_{C1} + v_{C2} + v_{C3} + v_{C4}, \quad (7)$$

где $v_{C1} = (12/16) \beta_{O_2} ([O] - [O]_{p.c}) 60 S_{пуз} / (V_{Me} \xi)$ — скорость окисления углерода в объеме металла на поверхности пузырьков CO; $v_{C2} = (12/16) \beta_{O_2} ([O]_{p.ш} - [O]) 60 S_{ш.м} / (V_{Me} \xi)$ — скорость окисления углерода на границе раздела шлак — металл; $v_{C3} = \rho_{O_2} a_{O_2} x_{O_2} I_{O_2} \eta_C \times 100 / M_{Me}$ — скорость окисления углерода кислородом дутья через водоохлаждаемые кольца и кислородную фурму; $v_{C4} = v_{ок} ([C]_{ок} - [C]_{реакц}) / M_{Me}$ — скорость поступления углерода (науглероживателя) металла за счет подачи ЖМС в ванну печи; V_{Me} — объем металла в печи, м³; M_{Me} — масса металла в печи, кг; $\beta_{O_2} = 10^{-3} - 10^{-5}$ — коэффициент массопереноса кислорода; $S_{пуз}$, $S_{ш.м}$ — площади поверхности пузырьков CO и поверхности шлак — металл, м²; $[O]$, $[O]_{p.c}$, $[O]_{p.ш}$ — содержание кислорода в металле, равновесное с содержанием углерода металла и шлака, %; η_C — доля кислорода, идущая на окисление углерода; $\rho_{O_2} = 1,42 \times 10^{-3}$ — плотность кислорода,

кг/м³; $a_{O_2} = 0,8$ — коэффициент усвоения кислорода ванной для ДСП-150; I_{O_2} — интенсивность подвода технического кислорода, м³/мин; $x_{O_2} = 0,995$ — доля кислорода в дутье; $v_{ок}$ — скорость подачи окатышей в печь, кг/мин; $[C]_{ок}$ — содержание углерода в окатышах, %; $[C]_{реакц} = (12/16)[O]_{ок}$ — углерод окатышей, идущий на довосстановление оксидов железа, содержащегося в них, %; $\xi = [1 + ((10^{-5} \times 0,75 p_{CO}) / (K_{[C]} [C]^2))] \cdot [1 + ((0,22 M_{шл}) / (\gamma_{(FeO)} L_{O_2} M_{Me}))]$ — коэффициент, учитывающий накопление кислорода в металле; $M_{шл}$ — масса шлака, кг; p_{CO} — внешнее давление на пузырьки CO, Па; L_{O_2} — константа распределения кислорода; $\gamma_{(FeO)}$ — коэффициент активности FeO в шлаке.

Таким образом, содержание CO в отходящих газах при выходе из зоны продувки [8]:

$$\{CO\}_0 = V_{CO} / (0,01 V_{(CO+CO_2)}) = V_{CO} / (2 \times 10^{-3} v_C M_{Me}). \quad (8)$$

Установлено, что при интенсификации процессов электроплавки стали кислородом [9], особенно в условиях электроплавки железорудных металлизированных окатышей в 150-т ДСП, более высокий окислительный потенциал газовой фазы и турбулентность обеспечивают достаточно высокое содержание CO и CO₂ в составе отходящих газов (до 75–90 %). Из анализа опытных данных работы [10] следует, что дожигание горючих газов в рабочем пространстве ДСП представляется важным и целесообразным, так как теоретическая эффективность дожигания CO может достигать 279 кДж/моль CO, или 6,92 кВт·ч/м³ O₂.

В условиях работы 150-т ДСП с применением железорудных металлизированных окатышей теплоусвоение сталеплавильной ванны (Δq_v , кВт) характеризуется скоростью ее нагрева (v_t , °C/с) от тепла, поступающего от электрических дуг и за счет тепла от дожигания CO:

$$\Delta q_v = G_m \overline{C_m} \left(\frac{\partial T_m}{\partial \tau} \right) = (G_0 + V_{ок} \tau) \overline{C_m} v_t, \quad (9)$$

где G_m и G_0 — текущая и начальная массы металла, кг; $\overline{C_m}$ — средняя теплоемкость ванны ДСП, кДж/(кг·°C); $V_{ок}$ — объемный расход ЖМС в ванну дуговой печи, кг/с; T_m — температура металла в ДСП, °C; v_t — скорость нагрева сталеплавильной ванны ДСП, °C/с; $\partial \tau$ — временной период плавки, с.

При дожигании CO над шлаком потоком O₂, поступающим из ТКГ в патрубок устройства для дожигания CO в ДСП, выделяется следующее дополнительное количество тепла, кВт:

$$Q_{CO}^{дож} = \alpha_{\Sigma} \gamma (t_{cp(CO)} - t_{шл}) S_{шл}, \quad (10)$$

где α_{Σ} — усредненный коэффициент теплоотдачи путем конвекции и излучения, кВт/(м²·°C); $t_{\text{гр}}(\text{CO})$ и $t_{\text{шл}}$ — температуры поверхности факела дожига CO и шлака соответственно, °C; $S_{\text{шл}}$ — поверхность теплоотдачи, м²; γ — коэффициент, характеризующий долю тепла от дожига CO, поступающего на нагрев шлаковой ванны, $\gamma = 50\text{--}75\%$.

Из анализа выражений (9) и (10) следует, что в случае дополнительного поступления тепла ($Q_{\text{CO}}^{\text{дож}}$, кВт) на увеличение теплоусвоения сталеплавильной ванны ($\Delta q_{\text{в}}$, кВт) при $V_{\text{ок}} = \text{const}$ скорость нагрева ванны (v_t , °C/c) заметно возрастает, что приводит к увеличению производительности агрегата и снижению удельного расхода электроэнергии на процесс плавки железорудных металлизированных окатышей в ДСП.

На рис. 2 изображен график зависимости состава горючих газов от точек отбора проб газа.

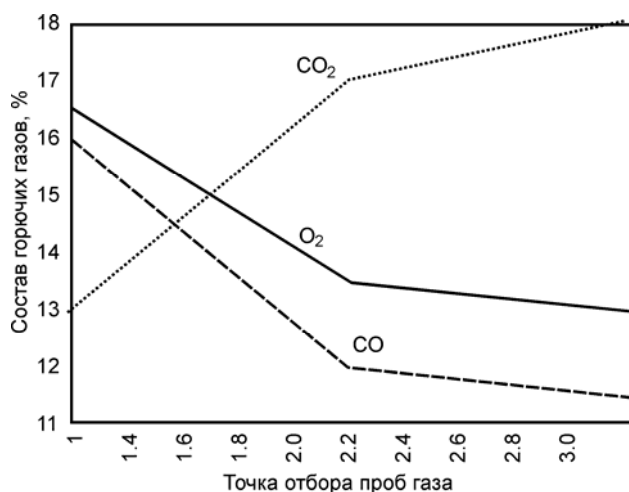


Рис. 2. Зависимость состава горючих газов от точек отбора проб газа

Из рис. 2 видно, что в первой точке содержание кислорода и оксида углерода достаточно велико по сравнению с диоксидом. Это можно объяснить следующим: чтобы нагреть и расплавить весь объем шихты, необходимо большое количество кислорода, и соответственно, реакция обезуглероживания будет происходить достаточно быстро. Во второй точке содержание O₂ и CO уже меньше по сравнению с увеличивающимся содержанием CO₂, так как начинается реакция дожига: $\text{CO} + 1,5\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$. В третьей точке CO₂ продолжает увеличиваться за счет подачи кислорода через кислородную фурму.

Установлено, что в рабочем пространстве в соизмеримых количествах могут присутствовать

одновременно окислительные и восстановительные газы, по-видимому, в рабочем пространстве существуют из-за неидеального смешения малые объемы газа различного состава.

На рис. 3 показан график зависимости коэффициента использования тепла от времени продувки при различных температурах струй.

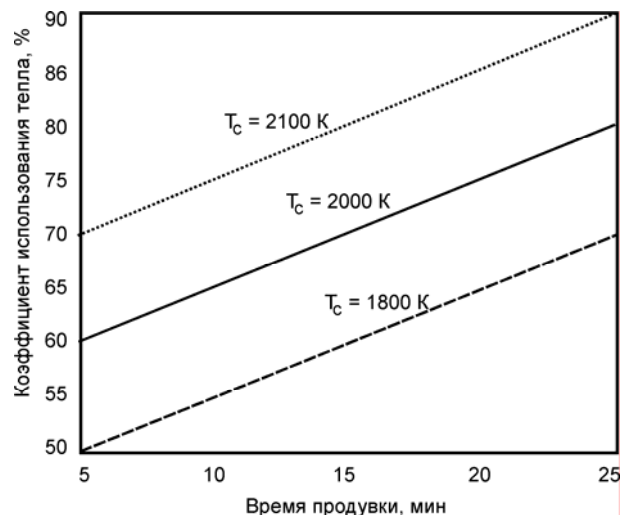


Рис. 3. Зависимость коэффициента использования тепла от времени продувки при различных температурах струй

Из рис. 3 видно, что при повышении температуры струи и времени продувки кислородом через водоохлаждаемые кольца и кислородную фурму коэффициент использования тепла достигает 90 %. Это обстоятельство говорит о том, что наиболее эффективным является режим дожига CO струями O₂, которые истекают из сопел фурмы с винтовой нарезкой. Струи кислорода, выходящие из сопел с винтовой нарезкой, обладают более сильными массообменными характеристиками по сравнению с применением других типов сопел.

Таким образом, разработка распределенного режима дожига горючих газов в ДСП с применением ЖМС позволила обеспечить требуемую производительность печи и повысить технико-экономические показатели плавки стали. В ходе исследования установлено, что скорость плавления окатышей на границе раздела шлак – металл в ванне дуговой печи в существенной мере определяется условиями совместного протекания процессов нагрева и плавления железорудных металлизированных окатышей, окислительного рафинирования расплава, которые контролируются уровнем теплопитания и перемешивания ванны, и процессами окисления углерода в шлаке и металле дуговой печи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 2081180 Российской Федерации, МПК С 21 С 5/48, С 21 С 5/52. Способ дожигающих горючих газов в рабочем пространстве сталеплавильных агрегатов и устройство для его осуществления [Текст] / В. А. Арутюнов, А. Я. Стомахин [и др.]. Заявл. 06.07.1995. Оpubл. 10.06.1997.
2. Пат. 2451092 Российской Федерации, МПК С 21 С 5/52, F 27 D 17/00. Способ дожигающих и обеспыливания отходящих газов электродуговых сталеплавильных печей [Текст] / В. И. Лисиенко, А. Л. Засухин. Заявл. 01.09.2010. Оpubл. 20.05.2012.
3. Пат. 2520883 Российской Федерации, МПК С 21 С 5/52, F 27 В 3/08. Дуговая сталеплавильная печь с дожигом горючих газов [Текст] / Э. Э. Меркер, И. В. Моисеев, Г. А. Карпенко. Заявл. 20.07.2012. Оpubл. 27.06.2014. Бюл. № 18.
4. Милошевич, Х. Численное моделирование процесса дожигающего монооксида углерода при верхней продувке сталеплавильного конвертера [Текст] / Х. Милошевич // Теплофизика и аэромеханика. — 1999. — № 2. — С. 283–290.
5. Нейгебауэр, Г. О. Состав газовой фазы в рабочем пространстве дуговой сталеплавильной печи [Текст] / Г. О. Нейгебауэр [и др.] // Сталь. — 1987. — № 5. — С. 142–145.
6. Сущенко, А. В. Математическое моделирование факела дожигающих отходящих газов в полости кислородного конвертера [Текст] / А. В. Сущенко, А. С. Безчерев // Металлургия. — 2007. — № 9. — С. 53–58.
7. Черемнев, Е. А. Разработка математической модели нагрева и плавления железорудных металлизированных окатышей в дуговой печи [Текст] / Е. А. Черемнев, Э. Э. Меркер, В. А. Степанов // Изв. вузов: Черная металлургия. — 2014. — № 1. — С. 65–69.
8. Логар, В. Математическое моделирование и экспериментальная проверка дуговой сталеплавильной печи [Текст] / В. Логар, Д. Довжан, И. Скрянец // ISIJ International. — 2011. — V. 51. — № 3. — С. 382–391.
9. Брукс, Г. Оптимизация химической энергии в электродуговых печах [Текст] / Г. Брукс, Ж. Маккелан, Д. Машамп [и др.] // SEAIISI Quarterly. — 2012. — № 4. — Р. 17–22.
10. Меркер, Э. Э. Проблемы дожигающего оксида углерода и утилизации пыли в конвертере [Текст] / Э. Э. Меркер. — М.: Металлургия, 1996. — 192 с.

УДК 621.746.5.047

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ЗАГРЯЗНЕННОСТЬ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ

*А. М. СТОЛЯРОВ¹, д-р техн. наук, проф., sam52.52@mail.ru; Е. А. БУНДОВА¹,
В. В. МОШКУНОВ², канд. техн. наук; М. В. ПОТАПОВА¹, канд. техн. наук
(¹ ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,
² ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат»)*

Установлено, что на загрязненность сортовой заготовки из углеродистой стали обыкновенного качества решающее влияние оказывает способ разлива металла из промежуточного ковша в кристаллизатор. Показано, что переход с разлива открытой струей на закрытую струю обеспечивает снижение загрязненности заготовки неметаллическими включениями в 7 раз.

Ключевые слова: сталеплавильное производство; непрерывная разливка; сортовая заготовка; неметаллические включения; технология разлива.

STUDY OF THE DIFFERENT FACTORS INFLUENCE ON CONTINUOUSLY-CASTED BAR IMPURITY BY NONMETALLIC INCLUSIONS

*A. M. STOLYAROV¹, Highly Doctorate, Professor, sam52.52@mail.ru; E. A. BUNDOVA¹,
V. V. MOSHKUNOV², PhD (Tech); M. V. POTAPOVA¹, PhD (Tech)
(¹ FGBOY VO «Magnitogorsk State Technical University after G.I. Nosov»,
² PAO «Magnitogorsk Steel-works»)*

Established that the method of metal continuous casting from a tundish into a mold has a decisive influence on impurity of a billet of regular quality carbon steel. It was shown, that change from an open stream to a closed stream would result in decrease the billet impurity by nonmetallic inclusions 7 times as less.

Key words: steelmaking, continuous casting, billet, nonmetallic inclusions, casting technology.

В стальной непрерывнолитой заготовке встречаются дефекты формы [1, 2], поверхностные и внутренние дефекты [3–5]. Внутренние дефекты характеризуют качество макрострук-

туры литого металла. Загрязненность металла неметаллическими включениями оценивается степенью развития точечной неоднородности в слывовой заготовке и краевых точечных загряз-

нений в сортовой заготовке. Краевые точечные загрязнения представляет собой скопления ликвирующих примесей, расположенных в виде рассеянных точек в верхней половине поперечного сечения заготовки, отлитой на МНЛЗ с изогнутой технологической осью [6]. Степень развития дефекта зависит от размера и количества находящихся в металле неметаллических включений. Дефект проявляется после глубокого травления металла и на серном отпечатке (рис. 1).

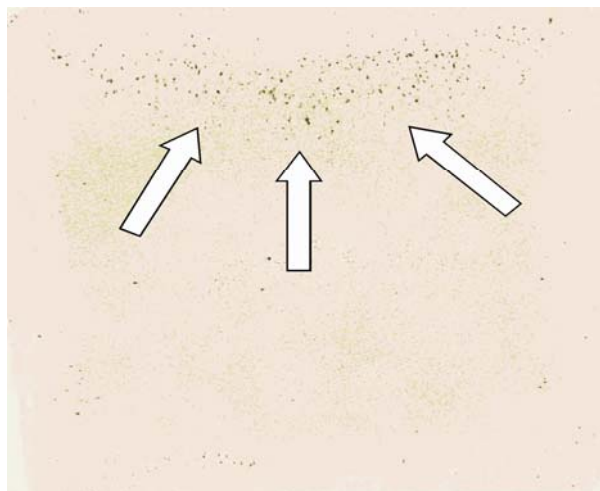


Рис. 1. Краевые точечные загрязнения на серном отпечатке с поперечного темплета из сортовой непрерывнолитой заготовки, отлитой на МНЛЗ радиального типа

В данной работе изучается загрязненность литого металла неметаллическими включениями по степени развития краевых точечных загрязнений.

Сортовые непрерывнолитые заготовки сечением 150×150 мм отливались на двух пятиручьевых МНЛЗ радиального типа [7, 8]. Радиус изгиба технологического канала машин составлял 9 м, кристаллизатор имел высоту 900 мм и поддерживающее роликовое устройство, расположенное снизу на его раме. Углеродистая сталь СтЗсп разливалась из промежуточного ковша МНЛЗ в кристаллизаторы как открытой, так и закрытой струей. Всего был разлит металл 307 плавков. Химический состав металла и основные параметры разливки приведены ниже:

Параметр	Значение*
Химический состав металла, %:	
углерод	<u>0,14–0,22</u> 0,19
кремний	<u>0,16–0,25</u> 0,19
марганец	<u>0,40–0,64</u> 0,57
сера	<u>0,003–0,024</u> 0,010
фосфор	<u>0,004–0,029</u> 0,008
азот	<u>0,004–0,010</u> 0,008

Параметр	Значение*
алюминий	<u>0,002–0,025</u> 0,005
Температура металла в промежуточном ковше, °С	<u>1535–1560</u> 1545
Температура ликвидус металла, °С	<u>1512–1520</u> 1515
Скорость вытягивания заготовки, м/мин	<u>1,9–2,8</u> 2,4
* Числитель — интервал изменения, знаменатель — среднее значение.	

Качество макроструктуры литого металла оценивалось металлографическим методом на поперечных темплетах, вырезанных из сортовых заготовок, с использованием четырехбалльных шкал согласно ОСТ 14-4-73. Результаты оценки приведены ниже:

Вид дефекта	Средняя степень развития дефекта, баллы
Центральная пористость (ЦП)	1,3
Осевая ликвация (ОЛ)	1,2
Ликвационные трещины и полосы общие (ЛТП _{об})	0,6
Ликвационные трещины и полосы осевые (ЛТП _{ос})	0,3
Ликвационные трещины и полосы угловые (ЛТП _{уг})	0,6
Светлые полосы (СП)	0
Краевые точечные загрязнения (КТЗ)	1,1
Газовый пузырь внутренний (ГПА)	0,1
Газовый пузырь поверхностный (ГПВ)	0,2

В первой части исследования загрязненности литого металла неметаллическими включениями изучалось влияние на степень развития краевых точечных загрязнений других дефектов макроструктуры. При помощи корреляционно-регрессионного анализа результатов оценки макроструктуры металла удалось установить взаимосвязи между степенью развития краевых точечных загрязнений и ликвационных трещин и полос общих, а также угловых. Выявленные зависимости характеризуются следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} \text{КТЗ} &= 0,454\text{ЛТП}_{\text{об}} + 1,102, \\ r &= 0,3526, \quad r_{0,001} = 0,3211; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{КТЗ} &= 0,326\text{ЛТП}_{\text{уг}} + 1,171, \\ r &= 0,2753, \quad r_{0,01} = 0,2540. \end{aligned} \quad (2)$$

Сравнение расчетных (r) и критических (r_{α}) значений коэффициентов парной корреляции

свидетельствует о том, что линейные зависимости (1) и (2) существуют с вероятностью 99,9 и 99 % соответственно.

На рис. 2 и 3 приведены зависимости (1) и (2) в виде гистограмм.

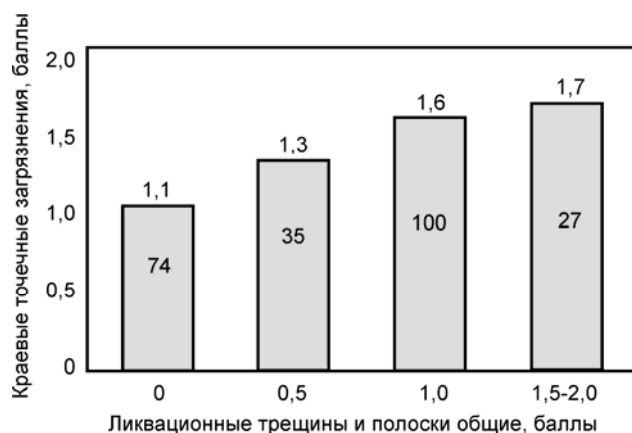


Рис. 2. Взаимосвязь между краевыми точечными загрязнениями и ликвационными трещинами и полосками общими:
цифры внутри столбиков — число исследованных плавков

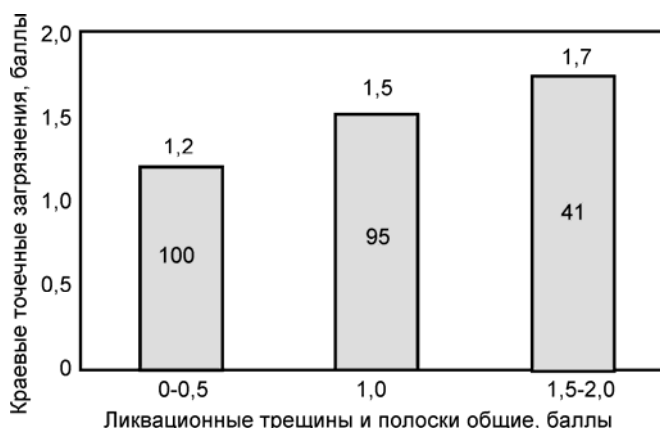


Рис. 3. Взаимосвязь между краевыми точечными загрязнениями и ликвационными трещинами и полосками угловыми:
цифры внутри столбиков — число плавков

Более тесная взаимосвязь между краевыми точечными загрязнениями и ликвационными трещинами и полосками общими по сравнению с ликвационными трещинами и полосками угловыми подтверждается большим значением коэффициента парной корреляции и более широким интервалом изменения значений КТЗ на рис. 2 по сравнению с рис. 3. Загрязненность металла неметаллическими включениями сильнее в местах локального скопления ликватов, преимущественно в верхней части поперечного сечения сортовой заготовки.

Во второй части исследования изучалось влияние параметров разливки металла на сте-

пень развития краевых точечных загрязнений. Для этого в первую очередь было сравнено качество макроструктуры металла, разлитого разными способами: открытой и закрытой струей (рис. 4).



Рис. 4. Степень развития краевых точечных загрязнений в сортовой заготовке сечением 150×150 мм при разливке стали СтЗсп открытой и закрытой струей:
цифры внутри столбиков — число плавков

Из рис. 4 видно, что при разливке металла открытой струей загрязненность заготовки неметаллическими включениями возрастает в 7 раз по сравнению с разливкой закрытой струей. Следовательно, преобладающую часть включений составляют оксиды, образовавшиеся в результате вторичного окисления металла кислородом воздуха.

Анализ качества металла, отлитого открытой струей, показал, что степень развития краевых точечных загрязнений (КТЗ, баллы) зависит от трех факторов: содержания серы в металле ([S], %), отношения содержания марганца к содержанию серы ([Mn]/[S]) и содержания фосфора ([P], %). Данные зависимости имеют следующий вид:

$$КТЗ = 67,33[S] + 0,610,$$

$$r = 0,401, \quad r_{0,001} = 0,321; \quad (3)$$

$$КТЗ = 2,065 - 0,0112[Mn]/[S],$$

$$r = -0,401, \quad r_{0,001} = 0,321; \quad (4)$$

$$КТЗ = 46,38[P] + 1,02,$$

$$r = 0,219, \quad r_{0,05} = 0,195. \quad (5)$$

Зависимости (3) и (4) существуют с вероятностью 99,9 %, а зависимость (5) — с вероятностью 95 %.

Графическое изображение зависимостей (3)–(5) показано на рис. 5–7.

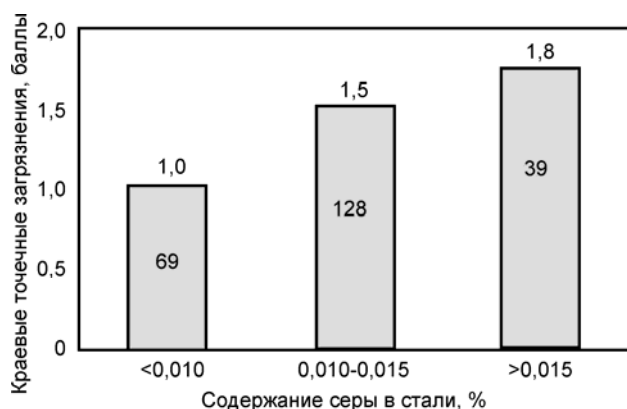


Рис. 5. Зависимость степени развития краевых точечных загрязнений при разливке стали СтЗсп открытой струей от содержания серы в металле: цифры внутри столбиков — число плавов

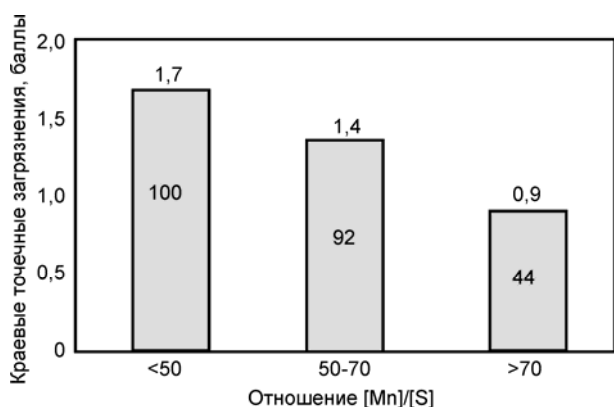


Рис. 6. Зависимость степени развития краевых точечных загрязнений при разливке стали СтЗсп открытой струей от отношения содержания марганца к содержанию серы в металле: цифры внутри столбиков — число плавов

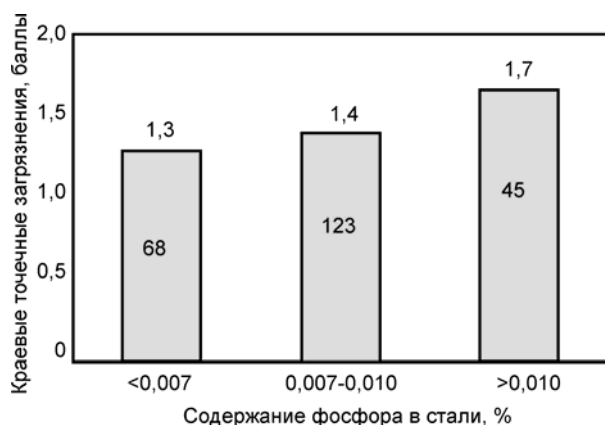


Рис. 7. Зависимость степени развития краевых точечных загрязнений при разливке стали СтЗсп открытой струей от содержания фосфора в металле: цифры внутри столбиков — число плавов

С увеличением содержания серы в металле от 0,003–0,009 до 0,016–0,024 % степень развития краевых точечных загрязнений возрастает на 80 % (отн.) за счет образования сульфидных включений (см. рис. 5).

Для снижения вредного воздействия серы на загрязненность металла неметаллическими включениями необходимо увеличивать отношение содержания марганца к содержанию серы. При увеличении отношения $[Mn]/[S]$ со значений менее 50 до величин более 70 степень развития краевых точечных загрязнений уменьшается на 47 % (отн.).

Влияние содержания фосфора в металле на загрязненность металла неметаллическими включениями выражено значительно слабее по сравнению с содержанием серы. Увеличение содержания фосфора с 0,004–0,006 до 0,011–0,029 % ведет к росту степени развития краевых точечных загрязнений на 31 % (отн.).

Как уже отмечалось выше, загрязненность металла, разлитого закрытой струей, существенно меньше, чем при разливке открытой струей, и степень развития краевых точечных загрязнений не лимитируется содержанием серы и фосфора, а зависит от параметров температурно-скоростного режима разливки: перегрева металла в промежуточном ковше над температурой ликвидус ($\Delta t_{\text{пер}}$, °C) и скорости вытягивания заготовки из кристаллизатора (w , м/мин). Эти зависимости характеризуются следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} \text{КТЗ} &= 0,885 - 0,0245\Delta t_{\text{пер}}, \\ r &= -0,259, \quad r_{0,05} = 0,235; \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{КТЗ} &= 0,551w - 1,164, \\ r &= 0,341, \quad r_{0,01} = 0,304. \end{aligned} \quad (7)$$

Вероятность существования зависимости (6) составляет 95 %, а зависимости (7) — 99 %.

Данные зависимости приведены на рис. 8 и 9.

Меньшей загрязненности металла неметаллическими включениями, разлитого закрытой струей, способствуют перегрев стали в промежуточном ковше над температурой ликвидус более 30 °C и скорость вытягивания заготовки из кристаллизатора не выше 2,5 м/мин.

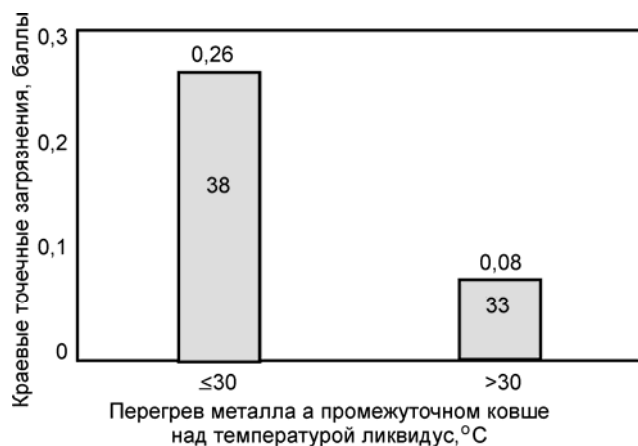


Рис. 8. Зависимость степени развития краевых точечных загрязнений при разливке стали СтЗсп закрытой струей от перегрева металла в промежуточном ковше МНЛЗ над температурой ликвидус: цифры внутри столбиков — число плавов

Таким образом, в результате проведенного исследования установлено, что на загрязненность неметаллическими включениями сортовой заготовки из углеродистой стали обыкновенного качества решающее влияние оказывает способ разливки металла из промежуточного ковша в кристаллизатор. Переход с разливки открытой струей на закрытую струю обеспечивает снижение загрязненности заготовки неметаллическими включениями в 7 раз. При разливке металла открытой струей пре-

обладающую часть включений составляют оксиды, образовавшиеся в результате вторичного окисления металла кислородом воздуха, при этом степень развития краевых точечных загрязнений сортовой заготовки возрастает с увеличением содержания в металле серы и фосфора, а также уменьшается при росте отношения содержания марганца к содержанию серы. В случае разливки металла закрытой струей загрязненность металла неметаллическими включениями лимитируется параметрами температурно-скоростного режима разливки.

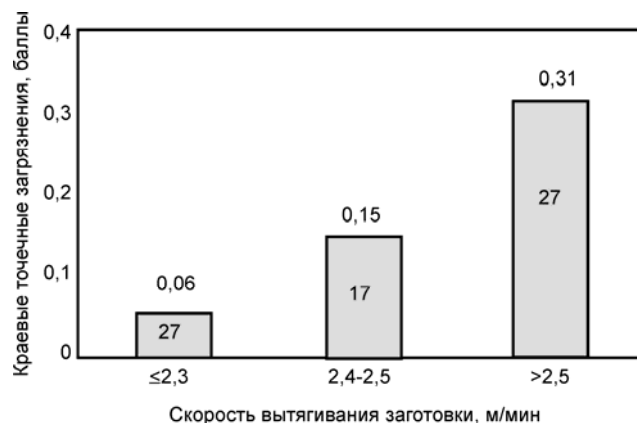


Рис. 9. Зависимость степени развития краевых точечных загрязнений при разливке стали СтЗсп закрытой струей от скорости вытягивания заготовки из кристаллизатора: цифры внутри столбиков — число плавов

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шевченко, Е. А. Изучение искажения поперечного сечения непрерывнолитого сляба [Текст] / Е. А. Шевченко, А. М. Столяров, А. Н. Шаповалов, К. В. Баранчиков // Изв. вузов: Черная металлургия. — 2014. — № 1. — С. 34–37.
2. Шевченко, Е. А. Рациональная длина поддерживающей системы узких граней непрерывнолитого сляба для условий ОАО “Уральская сталь” [Текст] / Е. А. Шевченко, А. М. Столяров, А. Н. Шаповалов // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. — 2013. — № 1. — С. 38–41.
3. Паршин, В. М. Непрерывная разливка стали [Текст] / В. М. Паршин, Л. В. Буланов. — Липецк: ОАО НЛМК, 2011. — 221 с.
4. Столяров, А. М. Формирование переходного участка непрерывнолитого сляба из стали разных марок [Текст] / А. М. Столяров, Д. В. Юречко, В. Н. Селиванов. — Магнитогорск: МГТУ, 2006. — 94 с.
5. Мошкунов, В. В. Применение мягкого обжата непрерывнолитого сляба на криволинейной МНЛЗ с вертикальным участком [Текст] / В. В. Мошкунов, А. М. Столяров // Теория и технология металлургического производства: Межрегион. сб. науч. тр. — Магнитогорск: МГТУ, 2010. — Вып. 10. — С. 57–62.
6. Ботников, С. А. Современный атлас дефектов непрерывнолитой заготовки и причины возникновения прорывов кристаллизующейся корочки металла [Текст] / С. А. Ботников. — Волгоград: ООО САТЕ, 2011. — 97 с.
7. Бигеев, В. А. Металлургические технологии в высокопроизводительном электросталеплавильном цехе [Текст]: учебное пособие / В. А. Бигеев, А. М. Столяров, А. Х. Валиахметов. — Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2014. — 308 с.
8. Столяров, А. М. Повышение эффективности разливки стали на высокопроизводительных сортовых МНЛЗ [Текст] / А. М. Столяров, А. Б. Великий, Д. В. Юречко. — Магнитогорск: МГТУ, 2009. — 126 с.

РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СИСТЕМ

*И. А. РЫБЕНКО, канд. техн. наук, rybenkoi@rambler.ru
(ФГБОУ ВО "Сибирский государственный индустриальный университет")*

Представлен метод и инструмент разработки оптимальных режимов металлургических процессов, основанный на решении двухконтурной задачи оптимизации. На основе этого метода разработаны оптимальные технологии легирования стали с использованием оксидных материалов и варианты технологий прямого получения металла в агрегате струйно-эмульсионного типа.

Ключевые слова: металлургические процессы; оптимизация; инструментальная система; оптимальный технологический режим; ресурсосбережение.

DEVELOPMENT OF OPTIMAL TECHNOLOGICAL MODES OF METAL PRODUCTION PROCESSES USING MATHEMATIC MODELLING METHODS AND INSTRUMENTAL SYSTEMS

*I. A. RYBENKO, PhD (Tech), rybenkoi@rambler.ru
(FGBOU VO "Siberian State Industrial University")*

Method and instrument for development of metallurgical processes optimal modes presented, based on a solution of the two-contour optimization problem. Based on the method optimal technology of steel alloying developed by using oxide materials, as well as alternative technologies of direct metal production in a jet-emulsion type facility.

Key words: metallurgical processes, optimization, instrumental system, optimal technological mode, energy saving.

Металлургия является одной из самых ресурсоемких отраслей промышленности. Необходимость снижения энергоемкости и материалоемкости металлургической продукции требует как совершенствования традиционных металлургических схем, так и создания принципиально новых процессов и агрегатов. Решение этих задач связано с исследованиями высокотемпературных процессов в сложных термодинамических системах с физико-химическими превращениями. Поскольку экспериментальные исследования, как правило, являются достаточно доро-

гими, а зачастую и неосуществимыми, то в этих условиях большое значение приобретает вычислительный эксперимент, который позволяет анализировать состояния и процессы и делать выводы о поведении исследуемых объектов на основании модельных представлений. В связи с этим актуальным является создание методик и инструментальных систем моделирования, открывающих возможности для более эффективной разработки новых металлургических технологий и решения оптимизационных задач.

Метод моделирования и оптимизации металлургических процессов

Для решения поставленных задач разработан метод, особенностью которого является системное решение комплекса взаимосвязанных оптимизационных задач по определению наилучших условий реализации металлургических технологий и путей достижения этих условий [1–4].

Метод включает следующие этапы (рис. 1): формулировку цели и постановку задачи, выделение объекта исследования, определение оптимальных параметров металлургических систем, определение оптимальных режимов металлургических процессов и реализацию промышленных экспериментов.

В результате постановки задачи формируются целевые условия, включающие выбор типа металлургического процесса, вида задачи и задание системы критериев оптимизации.

На этапе выделения объекта осуществляется задание параметров входных-выходных потоков, параметров процесса и выделение стадий и подпроцессов. Результатом реализации этапа являются набор шихтовых материалов, их расходы, химический состав и температура, диапазоны изменения выхода, химического состава фаз и температур продуктов процесса — металла, шлака, газа, параметры процесса, стадий, подпроцессов и совокупность химических реакций, формирующих металлургическую систему.



Рис. 1. Этапы, задачи и результаты метода разработки оптимальных технологических режимов металлургических процессов

На третьем этапе определяются оптимальные параметры металлургической системы — осуществляется выделение областей протекания окислительно-восстановительных процессов, производится оценка конечного равновесного и неравновесного состояния и решается задача оптимизации по определению наилучших условий ее функционирования. Результатом реализации этапа являются границы областей протекания окислительно-восстановительных процессов и оптимальные параметры системы: типы и расходы материалов, температуры, составы газовой фазы и термодинамические показатели.

На четвертом этапе осуществляется разработка металлургической технологии путем нахождения оптимальных режимов и определения путей достижения этих режимов для заданных параметров выходного потока и процесса при оптимизации технико-экономических показателей. Для этого осуществляется разработка и программная реализация математических моделей, проводится исследование металлургического процесса и определяются оптимальные режимы.

На последнем этапе предусматривается проведение промышленных экспериментов для корректировки моделей и отладки технологий.

Таким образом, при реализации метода осуществляется двухконтурная оптимизация путем решения многокритериальных оптимизационных задач двух видов: нахождение параметров системы при определении оптимальных условий протекания процессов и определение оптималь-

ных режимов при реализации металлургических технологий (рис. 2).



Рис. 2. Схема решения задачи оптимизации

В рамках первого контура проведены исследования и определены оптимальные условия восстановления металлов из оксидов в модельных системах [5]. Эти задачи решались на основе полного термодинамического анализа систем с использованием программных продуктов "Терра" и "АвтоАстра". В рамках второго контура

разработаны технологии легирования металла для электросталеплавильного процесса и прямого получения металла в агрегате струйно-эмульсионного типа (СЭР) с использованием

созданной инструментальной системы “Инжиниринг-Металлургия”, представляющей собой комплекс программ, адаптированных для ряда металлургических технологий.

Инструмент реализации метода

Инструментальная система “Инжиниринг-Металлургия” состоит из блоков, позволяющих в интерактивном режиме вводить исходные данные по расходам, температуре, химическому составу шихтовых материалов и технологическим параметрам процесса, рассчитывать все стадии и подпроцессы, материальный и тепловой балансы, определять энтальпии входных-выходных потоков, рассчитывать активности компонентов фаз, термодинамические характеристики

химических реакций, технико-экономические показатели процесса, осуществлять многовариантные расчеты, поводить исследования, решать задачу оптимизации по различным критериям и представлять информацию в удобном для пользователя виде. Это позволило решить большой комплекс задач по совершенствованию существующих технологий легирования стали и разработке новых металлургических технологий прямого получения металла в агрегате типа СЭР.

Результаты исследований

Технология прямого легирования стали в печи никелем с использованием никелевого концентрата

На основании решения оптимизационной задачи с использованием инструментальной системы предложена технология прямого легирования стали в электропечи окатышами, состоящими из никелевого концентрата и коксика. Получено оптимальное соотношение никелевого концентрата и коксика в окатышах, обеспечивающее максимальную степень восстановления никеля, которое составляет 0,07 кг коксика на 1 кг никелевого концентрата. Определены оптимальные режимы прямого легирования стали никелевыми окатышами, обеспечивающие коэффициент извлечения никеля 98,5 %. Результаты оптимизации использовались при реализации технологии в лабораторных и промышленных условиях при выплавке стали 08(12)X18H10T в дуговой электропечи ЭСПЦ ОАО ЕВРАЗ ЗСМК.

Технология обработки стали конвертерным ванадиевым шлаком

Определены оптимальные соотношения и построена номограмма расходов коксика и ферросилиция, необходимых для полного восстановления ванадия из конвертерного ванадиевого шлака при различном содержании пентаоксида ванадия в шлаке [6].

Определены оптимальные условия микролегирования стали ванадием в ковше при различных расходах ванадиевого шлака, восстановителей и различном содержании углерода в стали. Результаты исследований показали, что преобладающим восстановителем является коксик. Оптимальный расход коксика, обеспечивающий максимальную степень восстановления ванадия

для среднеуглеродистой стали, составляет 6 кг/т. При этих условиях варьированием расхода конвертерного ванадиевого шлака можно получать различное содержание ванадия в металле. Результаты расчетов использовались при разработке ресурсосберегающей технологии, реализуемость которой подтверждена лабораторными и промышленными испытаниями в ЭСПЦ ОАО ЕВРАЗ ЗСМК.

Технологии прямого получения металла в агрегате типа СЭР

С использованием методики и инструментальной системы разработаны следующие технологии в агрегате типа СЭР: прямое получение металла из пылевидных руд и железосодержащих отходов, получение марганцевых сплавов, переработка титаномагнетитовых концентратов и прямое восстановление железа с попутным получением синтез-газа. В основу нового непрерывного металлургического процесса струйно-эмульсионного типа (СЭР) положена идея реализации принципов синергетики и неравновесной термодинамики, позволившая создать теоретические основы процесса и универсальную конструкцию агрегата, в котором возможно осуществление различных вариантов технологий [7–10].

Технология прямого получения металла из железосодержащей смеси окалина – шлак – руда

Для заданной производительности опытной установки при расходе смеси 6 кг/с определены оптимальные расходы материалов: расход кокса составляет 6,03 кг/с, кислорода — 5,74 кг/с (4,02 м³/с). Этим параметрам соответствует темпера-

тура 1873 К, степень восстановления железа 96 %, содержание углерода в металле 0,49 % и содержание оксида железа в шлаке 9,47 %. При этом энергоемкость процесса составила 18 ГДж/т металла. Реализуемость технологии подтверждена результатами экспериментов на опытной установке. Например, в одном из экспериментов при расходах металлсодержащей шихты 6 кг/с, отработанного масла 1,2 кг/с, коксика 0,2 кг/с, ферросилиция 0,3 кг/с, алюминия 0,1 кг/с и извести 0,4 кг/с прямым восстановлением был получен металл с содержанием углерода 0,55 %.

Технология переработки мелкофракционных карбонатных и оксидных марганцевых руд

Для предварительного восстановления марганца из высших оксидов или разложения карбонатов и удаления влаги из руды предлагается использовать восстановительный газ, который является продуктом реализации технологии восстановления марганца в агрегате типа СЭР, и таким образом замкнуть процесс, т. е. создать согласованный поток вещества и энергии, проходящий через основной агрегат типа СЭР и подготовительный агрегат кипящего слоя. Основная задача расчета предлагаемой технологии заключалась в определении такого расхода сырой руды в агрегате кипящего слоя, чтобы получить заданный выход полупродукта и одновременно обеспечить возможность полного перевода высших оксидов или карбонатов сырой руды в низшие оксиды восстановительным газом, получаемым в основном агрегате. На примере оксидной руды Селезеньского и карбонатной руды Усинского месторождений путем решения задачи оптимизации определены расходы материалов и производительность агрегата, которые позволили замкнуть технологический цикл. Результаты исследования и оптимизации процессов переработки марганцевых руд Селезеньского месторождения использовались при отладке технологий получения марганцевых сплавов в ООО УК «Сибирская горно-металлургическая компания».

Технология переработки титаномагнетитового концентрата

Технология обеспечивает одновременно с выплавкой природно-легированного металла также получение товарного титанистого шлака с содержанием 45–50 % TiO_2 и более.

С целью выяснения принципиальной возможности реализации процесса были проведены исследования и определены оптимальные показа-

тели процесса для секундного расхода шихты, кислорода и углеродсодержащих материалов, в целом представляющих собой газозвесь с объемным газосодержанием 99 % и секундным расходом металлической части шихты 4 кг. Состав металлошихты, включающей титаномагнетитовый концентрат, окалину и шлак конвертерного производства, следующий: 26,8 % FeO , 46,1 % Fe_2O_3 и 17,5 % TiO_2 . Результаты моделирования показали, что оптимальным является секунднй расход коксика 1,4–1,5 кг/с, обеспечивающий максимальное восстановление железа при отсутствии карбидов титана в металле. Содержание оксида титана в шлаке составляет 43 % (при содержании CaO 30 % и Al_2O_3 15 %). Путем решения задачи оптимизации проведена оценка технологически допустимых расходов углеродсодержащих материалов и зависимости масс металла и шлака от возможного содержания оксидов железа в шлаке при различном содержании CO в газовой фазе.

Результаты исследования технологии, полученные с использованием инструментальной системы, легли в основу при выборе состава шихтовых материалов и энергоносителей при реализации процесса на опытной установке.

Технология прямого восстановления металла с одновременным получением синтез-газа

Основная задача при разработке технологии заключалась в создании условий для более гибкого управления составом отходящих газов с малой зависимостью от технологии получения металла за счет разделения потоков металла, шлака и газа, а также в обеспечении коррекции состава газа до параметров кондиционного синтез-газа путем совмещения пароугольного газификатора с металлургическим агрегатом, что дало возможность создания бездымного энергометаллургического процесса, так как отходящий газ превращается в товарный продукт.

Для данной технологии была решена задача оптимизации по коррекции состава попутного технологического газа. Определены расходы угля и кислорода, необходимые для получения металла с содержанием углерода 0,50 % и температурой 1873 К при расходе железной руды 1 кг/с, которые составили 0,674 и 0,382 кг/с соответственно. Выход газа составил 1,06 кг/с. Этот газ в виде газошлаковой эмульсии поступает в шлакоприемник, куда навстречу шлаковому потоку через фурму вдувается пар. За счет тепла шлака пар нагревается со 150 до 700 °С и через решетку вместе с технологическим газом, отсепарированным от шлака и имеющим температуру 1773 К, непрерывно поступает в слой угля в камере коррекции газа, которая осуществлялась

за счет кислородной конверсии метана кислородом, подаваемым в камеру через фурмы. В результате решения задачи оптимизации определены расходы угля, пара, природного газа и кислорода, обеспечивающие соотношение CO:H_2

равное 2:3. В результате реализации процесса получается удвоенное количество синтез-газа и его калорийность возрастает с 6432 до 20832 кДж/кг.

Выводы

Таким образом, разработан и инструментально реализован в системе “Инжиниринг-Металлургия” метод моделирования и оптимизации металлургических процессов, особенностью которого является системное решение комплекса взаимосвязанных оптимизационных задач по определению наилучших условий реализации металлургических технологий и путей достижения этих условий. С использованием метода и инструментальной системы решен ряд задач по оп-

ределению оптимальных условий осуществления технологий легирования стали никелем и ванадием с использованием оксидных материалов и технологий получения металла в агрегате типа СЭР: прямого получения металла из железорудных материалов, переработки марганцевых руд и титаномагнетитовых концентратов и прямого получения металла с попутным синтез-газом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рыбенко, И. А. Моделирование и оптимизация стационарных режимов металлургических процессов [Текст]: монография / И. А. Рыбенко, С. П. Мочалов. — Новокузнецк: СибГИУ, 2015. — 168 с.
2. Рыбенко, И. А. Применение методики и инструментальной системы расчета металлургических процессов для разработки теоретических основ ресурсосберегающих технологий [Текст]: монография / И. А. Рыбенко. — Новокузнецк: СибГИУ, 2016. — 187 с.
3. Рыбенко, И. А. Применение инструментальной системы моделирования и оптимизации для разработки теоретических основ технологий легирования и модифицирования стали [Текст] / И. А. Рыбенко // Черная металлургия: Бюл. ин-та “Черметинформация”. — 2017. — № 2. — С. 37–43.
4. Рыбенко, И. А. Оптимизация технологий в струйно-эмульсионном металлургическом агрегате с использованием методики и инструментальной системы моделирования [Текст] / И. А. Рыбенко // Там же. — 2017. — № 3. — С. 60–65.
5. Рыбенко, И. А. Термодинамическое моделирование процессов в элементарных системах [Текст]: монография / И. А. Рыбенко. — Новокузнецк: СибГИУ, 2016. — 98 с.
6. Рыбенко, И. А. Исследование условий процесса восстановления ванадия и железа из конвертерного ванадиевого шлака [Текст] / И. А. Рыбенко [и др.] // Изв. вузов: Черная металлургия. — 2011. — № 4. — С. 3–5.
7. Цымбал, В. П. Использование принципов самоорганизации и диссипативных структур при создании нового струйно-эмульсионного металлургического процесса [Текст] / В. П. Цымбал, В. И. Кожемяченко, И. А. Рыбенко [и др.] // Там же. — 2015. — Т. 58. — № 8. — С. 572–577.
8. Tsymbal, V. P. A new jet-emulsion metallurgical process [Text] / V. P. Tsymbal // Steel in Translation. — 2015. — V. 45. — Is. 8. — P. 550–554.
9. Цымбал, В. П. Предпосылки и принципы создания самоорганизующегося струйно-эмульсионного реактора [Текст] / В. П. Цымбал, В. И. Кожемяченко, И. А. Рыбенко [и др.] // Моделирование и наукоемкие информационные технологии в технических и социально-экономических системах: тр. IV Всерос. научно-практич. конф. с междунар. участием. В 2 ч. Ч. I.; под общ. ред. В. П. Цымбалы, Т. В. Киселевой. — Новокузнецк: СибГИУ, 2016. — С. 27–36.
10. Цымбал, В. П. Нетрадиционный подход к переработке титаномагнетитовых и железомарганцевых руд [Текст] / В. П. Цымбал, И. А. Рыбенко, В. В. Павлов // Черная металлургия: Бюл. ин-та “Черметинформация”. — 2015. — № 10. — С. 90–94.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ

*Н. А. КОЗЫРЕВ, д-р техн. наук, проф., kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru;
Р. А. ШЕВЧЕНКО, А. А. УСОЛЬЦЕВ, канд. техн. наук;
Р. Е. КРЮКОВ, канд. техн. наук; С. В. КНЯЗЕВ, канд. техн. наук
(ФГБОУ ВО "Сибирский государственный индустриальный университет")*

Рассмотрены достоинства и недостатки основных способов сварки рельсов. Установлено, что наиболее существенными факторами, определяющими качество и надежность бесстыкового пути, являются металлургические и сварочные параметры технологии сварки рельсов, а также последующие технологические приемы, снижающие последствия воздействий высоких температур. Разработан способ контактной стыковой сварки рельсов. Показано, что данный способ сварки позволит получить более однородную структуру в зонах сварного шва и термического влияния.

Ключевые слова: дифференцированно термоупрочненные рельсы; контактная сварка; структура сварного шва; механические свойства; эксплуатационная стойкость.

UP-TO-DATE TECHNOLOGIES OF RAILWAY RAILS WELDING

*N. A. KOZYREV, Higher Doctorate (Tech), Professor, kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru;
R. A. SHEVCHENKO, A. A. USOLTSEV, PhD (Tech);
R. E. KRYUKOV, PhD (Tech); S. V. KNYAZEV, PhD (Tech)
(FGBOU VO "Siberian State Industrial University")*

Advantages and drawbacks of basic methods of rails welding considered. Established that metallurgical and welding parameters of rails welding technology are most considerable factors, determining quality and security of jointless rail track, as well as further technological methods, decreasing effect of high temperatures consequences. A method of rails contact joint welding developed. It was shown that the method of welding enables to obtain a more homogenous internal structure in the welding joint zone and thermal impact zone.

Key words: differentially heat-strengthened rails, contact welding, weld joint internal structure, mechanical properties, working durability.

Большая протяженность российских железных дорог и возрастающая интенсивность грузоперевозок выдвигают новые требования к верхнему строению пути, в частности к основному элементу — рельсам. При этом развитие технологий сварки рельсов, обеспечивающих получение бесстыкового железнодорожного пути, должно гарантировать высокую эксплуатационную надежность и стойкость рельсов в пути [1–6]. Следует также отметить, что стойкость железнодорожного пути predetermined не только металлургическим качеством рельсов и сварного стыка, но и сложными климатическими и эксплуатационными условиями.

Считается, что по сравнению со звеньевым путем достоинствами бесстыкового пути являются: уменьшение на 30–40 % затрат на текущее содержание пути и повышение безопасности движения поездов, надежность конструкции; снижение на 8–10 % основного удельного сопротивления движению поездов и в связи с этим экономия топлива и электроэнергии на тягу, что

весьма существенно в условиях непрерывного роста цен на энергоносители; увеличение сроков службы верхнего строения пути за счет меньшей, чем в звеньевом пути, повреждаемости рельсов (отказы бесстыковых плетей по дефектам возникают в 1,8–2 раза реже, чем рельсов звеньевом пути, а без учета уравнильных пролетов — в 3–4 раза); снижение объемов работ по выправке пути (до 25–30 %), связанных с просадками в стыках, особенно работ по ликвидации выплесков, которые с увеличением осевых нагрузок становятся большой проблемой; снижение интенсивности бокового износа наружной рельсовой нити в кривых и, соответственно, повреждений рельсов; сокращение потребности в очистке щебеночного балласта на угольно-рудных маршрутах в 1,5–2 раза; сокращение расходов металла на стыковые скрепления (до 4,5 т·км); уменьшение расходов на ремонт ходовых частей вагонов и локомотивов; повышение комфортабельности проезда пассажиров; повышение надежности работы электрических рель-

совых цепей автоблокировки; возможность использования железобетонных подрельсовых оснований, повышающих запас устойчивости, сопротивляемости продольным и поперечным перемещениям рельсов и обеспечивает равную жесткость пути по длине [7].

Зоны сварных стыков являются слабыми участками рельсового пути для всех случаев движения (в случае скоростного, высокоскоростного и тяжеловесного движения). Изъятия по дефектам сварного стыка от общего числа изъятых рельсов достигают 30 %, при этом суммарная протяженность зоны стыка составляет не более 2 % от длины рельсовой плети. Причины этого заключаются в изменении однородности микроструктуры в зонах сварного шва и термического влияния; создании неблагоприятной эпюры внутренних остаточных напряжений; создании при сварке условий для образования внутренних дефектов, являющихся концентраторами напряжений и ослабляющих участок рельса со сварным швом; короблению рельса в зоне сварного шва с последующим образованием “седловин” при эксплуатации. Создание рельсов с ресурсом 1500–2000 млн т возможно только при комплексной оптимизации металлургического качества, структуры металлической матрицы, эпюры остаточных напряжений и прямолинейности [8, 9]. Высокое металлургическое качество рельсов связано прежде всего с отсутствием в них скоплений и отдельных крупных хрупкоразрушенных оксидных неметаллических включений, что обеспечивается низким содержанием в стали алюминия (менее 0,004 %) и кислорода (общего — менее 20 ppm и связанного в высокоглиноземистые оксидные включения — менее 10 ppm).

Основными недостатками, снижающими ресурс рельсов в эксплуатации, остаются: наличие остаточных напряжений в головке рельсов, которые наводятся там последней технологической операцией в потоке производства — холодной правкой на роликоправильных машинах; создание мягких участков с пониженным сопротивлением износу и смятию в зонах термического влияния (ЗТВ) после сварки и последующей локальной индукционной термической обработки сварных швов, что приводит к возникновению в этих местах неровностей и повышенного динамического воздействия колес подвижного состава; заметное снижение ударной вязкости, трещиностойкости и критического размера усталостных трещин при закалке с прокатного нагрева по сравнению с закалкой с отдельного перекристаллизационного нагрева.

Считается, что все эти недостатки можно преодолеть путем разработки и освоения производства сварных рельсовых плетей длиной 800 м, сваренных из цельнокатаных рельсов длиной 100 м с последующей термической обработкой

путем непрерывно-последовательного нагрева всего сечения рельса и последующего дифференцированного охлаждения, направленного на получение в головке рельса структуры сорбита и троостосорбита, максимально возможно однородной как для цельнокатаного рельса, так и для сварного стыка при отсутствии ЗТВ. Полученные рельсовые плети с термической обработкой должны обеспечивать при условии проведения периодической профилактической шлифовки или фрезеровки межремонтный эксплуатационный ресурс не менее 1500–2000 млн т брутто [9].

Такой подход обеспечит максимально возможную равнопрочность сварных стыков и цельнокатаных рельсов с получением длинных рельсовых плетей для бесстыкового пути с равным сопротивлением износу и смятию в эксплуатации, что позволит ликвидировать местные неровности в сварных плетях бесстыкового пути в течение всего срока службы рельсов. Кроме того, это обеспечит получение благоприятной эпюры внутренних остаточных напряжений, способствующих получению наибольшего сопротивления зарождению и распространению контактно-усталостных трещин в головке, коррозионно-усталостных трещин в подошве и продольных трещин в шейке рельса как в прокатной, так и в сварной части рельсовых плетей.

Правильно подобранный режим дифференцированно термически упрочненной рельсовой плети позволит минимизировать процесс правки после термической обработки и сохранить внутренние остаточные сжимающие напряжения. Известно, что рельсы, термически упрочненные по технологии непрерывно-последовательного сквозного индукционного нагрева и последующего дифференцированного охлаждения сжатым воздухом со стороны головки и подошвы на предприятиях “СИСКО”, Канада (в настоящее время завод закрыт) и “Сожерай” (“Тата Стил”, Франция), имели остаточные сжимающие напряжения в головке 100–200 МПа, а в подошве 100–150 МПа. Рельсы, термически упрочняемые с прокатного нагрева дифференцированной закалкой или с отдельного нагрева объемной закалкой в масле, в результате проведения холодной правки на роликоправильных машинах имеют растягивающие напряжения в головке и подошве до 250–300 МПа [10].

При строительстве, ремонте и текущем содержании бесстыкового пути одной из ключевых технологий является сварка рельсов, для которой разработаны и запатентованы следующие способы:

- давлением: электроконтактный, газопрессовый, индукционный, лазером, трением и др.;
- алюминотермитный;

– электродуговой: штучными электродами, под слоем флюса, в среде защитных газов, электрошлаковый, порошковыми проволоками и др.

Способ сварки давлением основан на разогреве концов рельсов до температуры пластического состояния (выше 1000 °С) и сдавливании их с определенным усилием (в зависимости от площади поперечного сечения и физико-механических свойств металла рельсов) [11]. Концы рельсов можно нагревать электрическим током — электроконтактный способ, газовыми горелками — газопрессовый, токами высокой частоты (индукторами), лазером, плазмой, теплом, выделяемым при трении, и т. п. При сварке давлением отсутствует присадочный металл, т. е. концы рельсов сваривают непосредственно друг с другом.

Алюминотермитный способ основан на получении металлов и сплавов восстановлением их оксидов в экзотермической реакции с алюминием. Реакция проходит с выделением большого количества тепла. Расплавленный металл заливается в зазор между соединяемыми рельсами [12].

Электродуговой способ основан на расплавлении электрической дугой электродного металла (стержня или проволоки) и заполнении им зазора между соединяемыми рельсами.

Алюминотермитный и электродуговой способы существенно отличаются от способов сварки давлением тем, что сварной шов шириной 15–25 мм и более состоит из присадочного металла, имеющего литую структуру.

Всем способам сварки присуще наличие ЗТВ — измененной структуры основного металла рельсов, непосредственно прилегающего к сварному шву. Это приводит к возникновению остаточных напряжений и, как следствие, к снижению прочностных характеристик сварного соединения. Ширина ЗТВ зависит от времени воздействия высоких температур на основной металл, массы присадочного металла, способа и параметров сварки.

На сварных стыках, выполненных способами сварки давлением, для повышения их механических свойств можно применять термообработку (в том числе дифференцированную, с закалкой головки рельса в ЗТВ) [13].

Поскольку при алюминотермитной и электродуговой сварке в сварном шве присутствует присадочный металл, сильно отличающийся от металла рельсов по химическому составу и структуре, термообработка этих стыков не дает ощутимого повышения их механических свойств.

До недавнего времени основным способом сварки рельсов был электроконтактный способ (ЭС). Однако в связи с невозможностью сварки рельсов в зонах стрелочных переводов контактными машинами, начиная с 1995 г. на железных

дорогах России началось применение алюминотермитной сварки рельсов (АТСР), и в настоящее время решаются вопросы, связанные с применением АТСР не только в зоне стрелочных переводов, но и на перегонах. К достоинствам АТСР можно отнести: мобильность; небольшую продолжительность окон в движении поездов; проведение процесса сварки без потребления электроэнергии. Недостатки АТСР: нет возможности слежения и непосредственного управления за процессом сварки; широкая и неконтролируемая ЗТВ; влияние качества термитной смеси на качество сварного соединения; сильная зависимость качества сварки от опыта сварщика.

Для понимания процессов, происходящих при АТСР, необходимо уяснить основные принципы данного способа сварки. В целом технология описана в работах [14–19]. Термит, употребляемый для сварки рельсов, изготавливается из железной окалины — отходов сталепрокатного производства и металлического алюминия. Их размельчают до получения зерен диаметром от 0,1 до 2,5 мм. Первичный алюминий должен содержать не менее 98–99 % чистого алюминия. Перед размолом окалина должна быть хорошо обожжена с целью удаления из нее влаги и масла. Пыль из размельченной окалины и алюминия удаляется воздушным сепаратором. Окалина по своему химическому составу различна. Чем меньше в окалине кремния, тем она лучше для получения сварочного термита. Содержание в окалине кислорода не должно быть ниже 25 %. При нормальных условиях составляющие термитной смеси не вступают во взаимодействие, но если термитную смесь подогреть до 1100–1200 °С, то между ее компонентами начинается химическая реакция. В результате этой реакции металлический алюминий окисляется и превращается в оксид алюминия, а окалина восстанавливается с образованием железа. Эта реакция идет с большим выделением тепла самопроизвольно и неуправляемо. Термитная смесь содержит 23,7 % алюминия и 76,3 % окалины. При сгорании 1,0 кг термитной смеси выделяет 3188,22 кДж тепла, что позволяет получить температуру расплавленного металла порядка 2700–3000 °С.

Окалина и алюминий могут содержать различные примеси. Поэтому процент содержания алюминия и окалины в термитной смеси рассчитывается с учетом чистоты алюминия и содержания кислорода в окалине. Практика термитной сварки показала, что окалины в термитной смеси должно быть на 7–8 % больше расчетного содержания. Тогда термитный металл получается плотнее и лучше сваривается с металлом рельса.

Для эффективного использования образующегося при реакции тепла и увеличения выхода

металла в термитную смесь для сварки рельсов при изготовлении добавляют мелко измельченные кусочки стали — отходы гвоздильного производства. При расплавлении сталь увеличивает выход термитного металла и понижает начальную температуру продуктов реакции термита. В зависимости от массы порции термита в термитную смесь добавляют этих отходов (называемых обсежкой) от 12 до 20 % к массе предполагаемого выхода термитного металла. Для улучшения механических свойств металла сварного шва в термитную смесь вводят ферросплавы, в большинстве случаев ферромарганец, ферросилиций, ферромolibден, ферротитан, феррованадий. Ферросплавы обуславливают получение термитного металла с механическими свойствами, близкими к металлу свариваемых рельсов. Таким образом, химический состав металла, образующегося из термитной смеси, далек от свариваемой рельсовой стали со всеми вытекающими последствиями. Кроме того, сама термитная составляющая является источником оксидов как вводимых экзогенных — непрореагировавшего оксида железа, так и эндогенных — образующихся в ходе окислительно-восстановительных реакций. Следует также отметить, что не всегда образующиеся в ходе реакций шлаковые включения и газы успевают всплыть из зоны реакции. В итоге происходит загрязнение сварочной зоны неметаллическими оксидными включениями и различными микропорами, являющимися центрами зарождения трещин.

Для сварки рельсов в настоящее время может применяться способ промежуточного литья, при котором из продуктов термитной реакции используется только расплавленный металл без шлака, что повышает качество сварного соединения. Однако сварка АТСР — это соединение, получаемое с помощью литейных процессов, при которых возможно образование неметаллических оксидных включений, пор, раковин, заливин, шлаковых включений, внутренних трещин и микропор.

Большие проблемы возникают при сварке АТСР в зимний период. При низких температурах увеличивается скорость охлаждения, в связи с чем ускоряется кристаллизация расплавленного металла сварочной ванны, в результате выделившиеся газы и частички шлака не успевают всплыть, насыщая металл порами и шлаковыми включениями. Повышенный отвод тепла от нагретого металла и увеличение содержания в нем газов способствуют образованию трещин в шве и околошовной зоне. При несоблюдении правил хранения в материалах возможно содержание некоторого количества влаги, что способствует насыщению водородом металла шва.

В работе [20] приведены эксперименты по сварке АТСР при отрицательных температурах.

Температура окружающей среды оказывает негативное влияние на качество сварных швов. Результаты экспериментов, полученные при разных температурах сварки, не удовлетворяют нормативным требованиям.

Следует отметить, что, как показывает опыт эксплуатации сварных стыков АТСР на сети железных дорог и испытания на экспериментальном кольце ВНИИЖТ, их качество несколько уступает качеству стыка ЭС, что обусловлено самим способом сварки. Поэтому основные компании, осуществляющие АТСР рельсов на сети железных дорог (“Снага”, “Сварочная Наплавочная Компания”, “ГТ-Алюминотермитная сварка”, Railtech, “Сварочные технологии”), позиционируют данный способ исключительно для сварки рельсов в пределах стрелочных переводов, на мостах, эстакадах, в тоннелях, когда сложно организовать необходимые окна в графике движения для использования путевой рельсосварочной машины (ПРСМ).

В работе [21] приведен расчет, согласно которому приведенная стоимость ЭС дороже АТСР на 27,25 % при сварке рельсов Р75, Р65 и на 30,17 % при сварке рельсов Р50. Причем следует указать, что проведенный в работе [22] анализ данных об изъятии из пути 897 дефектных сварных стыков АТСР на сети железных дорог за 2009 г. и 9 мес. 2010 г. выявил, что 89 % стыков АТСР (710 шт.) не проработали в течение гарантийного срока. Это также сокращает разницу между стоимостью ЭС и АТСР. Из приведенных данных следует, что сварка АТСР сегодня не зарекомендовала себя в качестве надежного и качественного способа соединения рельсов, экономическая же составляющая связана с качественными характеристиками и безопасностью перевозок железнодорожным транспортом.

Следует отметить, что оба способа сварки непрерывно развиваются, в частности, германская компания Elektro-Thermit GmbH & Co. KG заявляет о достигнутых успехах по повышению качества стыка, выполненного АТСР. На отечественном рынке о достигнутых успехах заявляет ЗАО СНК [19]. Несмотря на хорошую рекламную составляющую, массовому использованию и внедрению данной технологии для сварки рельсовых плетей должно в обязательном порядке предшествовать проведение широкомасштабных исследований, лабораторных и полигонных испытаний, эксплуатационных испытаний на участках пути с разной геометрией, грузонапряженностью и климатическими условиями.

И все же из перечисленных способов сварки рельсов наибольшее распространение получил электроконтактный способ (ЭС), который применяют более чем в 95 % случаев. В России на железнодорожном транспорте применяют только ЭС, которым ежегодно выполняют порядка 600

тыс. стыков рельсов в РСР и до 50 тыс. стыков машинами ПРСМ [23]. К достоинствам ЭС можно отнести: высокое качество сварного соединения связанное, в том числе, с отсутствием присадочного металла и сваркой рельсов непосредственно друг с другом; наличие в сварочной машине системы контроля, позволяющей контролировать отклонение параметров режима сварки; высокую механизацию и автоматизацию работ (в стационарных условиях); высокую производительность процесса. К недостаткам ЭС относятся: невозможность сварки стыков в районе стрелочных переводов; дорогостоящее оборудование и необходимость продолжительных остановок в движении поездов при проведении сварочных работ.

В настоящее время наибольшее распространение при контактной сварке рельсов получил метод пульсирующего оплавления. Считается, что данный способ контактной сварки наиболее экономичен и технологичен по сравнению с непрерывным оплавлением. При контактной сварке рельсов, так же как и при других видах сварки, происходит нагрев и непрерывное охлаждение металла в ЗТВ. В зависимости от химического состава стали выбирается технологический процесс сварки с использованием существующих методов оплавления: непрерывного или пульсирующего, определяющих линейную величину и температурные поля в ЗТВ сварного стыка [24, 25]. Выбор теплового режима основан на исключении образования структур закалки (мартенсита и бейнита), вызывающих дополнительные напряжения и трещины, которые приводят к разрушению рельсов [26]. В связи с этим особое значение приобретает разработка таких режимов для железнодорожных рельсов высокоскоростных магистралей, изготовленных из хромистой стали [27].

Однако при применении бесстыковой конструкции верхнего строения пути остается нерешенным ряд вопросов, в частности, требуют дальнейшей проработки вопросы повышения прочности сварных швов и ЗТВ, так как количество опасных дефектов на этом участке составляет 13–15 % от общего числа дефектов на рельсовой плети.

Данная проблема в процессе изготовления бесстыкового пути при сварке рельсов решается обязательной термической обработкой сварного стыка. Термообработку производят с помощью индукционных установок, что в свою очередь увеличивает затраты. Этот недостаток на практике предлагается исправлять совмещением непрерывного и пульсирующего методов оплавления, изменением интенсивности нагрева при сварке и регулированием скорости охлаждения [27]. При этом, частично используя метод непрерывного оплавления, возможно появление дефектов сварочного характера.

Отдельно следует рассмотреть вопрос изготовления термически упрочненной сварной рельсовой плети длиной 800 м с отсутствием прочностных и структурных неоднородностей в зонах сварных швов. Авторы работы [28] считают, что актуальность создания такого продукта определяется всевозрастающим выходом рельсов по дефектам сварки и отсутствием возможностей для полного удаления структурных неоднородностей и слабых мест в зоне сварных стыков при существующей технологии локальной термообработки уже термически упрочненных и сваренных рельсов. Фактически при такой последовательности термической обработки, сварки и локальном упрочнении сварных стыков рельсовой плети происходит устранение ЗТВ от сварки, но одновременно создание новых ЗТВ от локального термического упрочнения сварных швов, а также местных неровностей в зонах сварных стыков, которые в процессе эксплуатации развиваются в седловины с образованием выкраиваний металла. Авторы работы [28] считают, что внедрение технологии дифференцированного термического упрочнения сварных рельсовых плетей из нетермоупрочненных рельсов с отдельного индукционного нагрева позволит достичь максимальной однородности микроструктуры и твердости по длине такой плети при одновременном достижении максимально возможной прямолинейности в зоне сварных стыков. Данная технология может быть внедрена на предприятиях, производящих дифференцированно упрочненные рельсы: АО ЕВРАЗ ЗСМК, ПАО ЧелМК и ТОО «Актюбинский рельсобалочный завод» [29–31]. Однако одним из важнейших вопросов является послесварочная термообработка сварного соединения. ООО НПП «Томская электронная компания» (ТЭК) предлагает технологию повторного нагрева с последующей дифференцированной термообработкой рельсов на установках ТЭК–ДТ-300-78-3 [32].

Заслуживает внимания технология, реализуемая фирмой Schlatter [33], заключающаяся в проведении после сварки термообработки посредством пропускания электрического тока через сварной стык несколькими импульсами с целью снижения скорости охлаждения после сварки. Процесс разделяют на три этапа. Первый этап — разогрев свариваемых поверхностей, второй этап — фактическая сварка, третий этап — охлаждение сварного соединения. Первый этап разогрева, в свою очередь, делят еще на три этапа: «намеренное оплавление», «предварительное нагревание» и «оплавление». Второй этап фактической сварки является осадкой под током. Во время последнего, третьего, этапа после сварки применяется термообработка подобно предварительному подогреву для снижения скорости охлаждения после сварки — произ-

водят пропускание электрического тока через сварной стык несколькими импульсами. Импульсы тока снижают скорость охлаждения и препятствуют образованию закалочных структур в металле сварного соединения. Данные импульсы тока предназначены лишь для снижения скорости охлаждения. Это необходимо для того, чтобы избежать образования закалочных структур в металле сварного соединения.

Для обеспечения требований безопасности движения на железнодорожном транспорте ОАО РЖД внедрило стандарт СТО РЖД 1.08.002–2009 “Рельсы железнодорожные, сваренные электроконтактным способом. Технические условия”, согласно которому предъявляются повышенные требования к сварным стыкам. Твердость металла в зоне сварного соединения на поверхности катания, на глубине 10 и 22 мм от поверхности катания должна соответствовать твердости основного металла свариваемых рельсов. Микроструктура сварного соединения должна соответствовать сорбитообразному пер-

литу по ГОСТ 8233, в микроструктуре сварного соединения и ЗТВ должны отсутствовать участки мартенсита и бейнита. Кроме того, регламентом устанавливается протяженность ЗТВ в сваренных рельсах. Для выполнения вышеуказанных требований требуется современная технология сварки железнодорожных рельсов.

В условиях ФГБОУ ВО “Сибирский государственный индустриальный университет” разработан способ контактной стыковой сварки рельсов, включающий сварку и пропускание импульсов переменного электрического тока через сварной стык с целью изотермической выдержки, способствующей получению требуемой структуры сварного шва [34, 35]. Время выдержки определяется инкубационным периодом образования необходимой структуры и регулируется количеством импульсов тока. Данный способ позволит получить более однородную структуру в зонах сварного шва и термического влияния, что, по видимому, благоприятно скажется на эксплуатационных свойствах рельсовых плетей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Meade, B. Railroad welding demands specialized processes [Text] / B. Meade // Welding Journal. — 1997. — V. 76. — Is. 9. — P. 47–52.
2. Kargin, V. A. Effect of vibroimpact treatment on the physical and mechanical properties of the surface layer of welded joints in rails [Text] / V. A. Kargin, L. B. Tikhomirova, A. D. Abramov, M. S. Galai // Welding International. — 2014. — V. 28. — Is. 3. — P. 245–247.
3. Yamamoto, R. Experimental examination for understanding of transition behaviour of oxide inclusions on gas pressure weld interface: joining phenomena of gas pressure welding [Text] / R. Yamamoto, Y. Komizu, Y. Fukada // Ibid. — V. 28. — Is. 7. — P. 510–520.
4. Karimine, K. Susceptibility to and occurrence of HAZ liquation cracking in rail steels: Study of rail welding with high-C welding materials (4th Report) [Text] / K. Karimine, K. Uchino, M. Okamura // Ibid. — 1997. — V. 11. — Is. 6. — P. 452–461.
5. Kuchuk-Yatsenko, S. I. Technology and equipment for resistance flash welding of railway crossings with rail ends through an austenitic insert [Text] / S. I. Kuchuk-Yatsenko, Yu. V. Shvets, A. V. Didkovskii [et al.] // Ibid. — 2008. — V. 22. — Is. 5. — P. 338–341.
6. Irving, B. Long Island Rail Road orders an all-welded fleet [Text] / B. Irving // Welding Journal. — 1997. — V. 22. — Is. 9. — P. 33–37.
7. Клименко, Л. В. Бесстыковой путь — прогрессивная конструкция железнодорожного пути [Текст] / Л. В. Клименко // Приложение к журналу “Мир транспорта” МКЖТ МПС РФ. — 2004. — № 1. — С. 88–93.
8. Шур, Е. А. Перспективные требования российских железных дорог к рельсам [Текст] / Е. А. Шур // Железнодорожный транспорт. — 2008. — № 2. — С. 41–45.
9. Шур, Е. А. Влияние структуры на эксплуатационную стойкость рельсов [Текст] / Е. А. Шур // Влияние свойств металлической матрицы на эксплуатационную стойкость рельсов: сб. — Екатеринбург: УИМ, 2006. — С. 37–63.
10. Термически упрочненные рельсы [Текст] / под ред. А. Ф. Золотарского. — М.: Транспорт, 1976. — 264 с.
11. Kuchuk-Yatsenko, S. I. Investigation of the weldability by resistance welding of rails strengthened by heat treatment [Text] / S. I. Kuchuk-Yatsenko, V. I. Shvets, A. V. Didkovskii, T. G. Taranova // Welding International. — 2010. — V. 24. — Is. 6. — P. 455–461.
12. Wegrzyn, J. A thermit mixture for rail track welding [Text] / J. Wegrzyn, M. Maxur // Ibid. — 1992. — V. 6. — Is. 1. — P. 5–8.
13. Genkin, Z. Welding and heat treatment of joints in railway rails in induction equipment [Text] / Z. Genkin // Ibid. — 2005. — V. 19. — Is. 2. — P. 160–164.
14. Воронин, Н. Н. Технология алюминотермической сварки рельсов [Текст]: учебное пособие / Н. Н. Воронин, В. В. Засыпкин, В. И. Коненков [и др.]; под ред. Н. Н. Воронина. — М.: МИИТ, 2008. — 117 с.
15. Воронин, Н. Н. Алюминотермическая сварка рельсов [Текст]: учебное пособие / Н. Н. Воронин, В. В. Засыпкин, В. И. Коненков [и др.]; под ред. Н. Н. Воронина. — М.: ФГБОУ “Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте”, 2013. — 195 с.
16. Sergejevs, D. Analysis of factors affecting fractures of rails welded by alumino-thermic welding [Text] / D. Sergejevs, S. Mikhaylovs // Transport problems. — 2008. — T. 3. — P. 33–37.
17. Karguin, V. A. Improving service properties of welded joints produced by aluminothermic welding [Text] / V. A. Karguin, L. B. Tikhomirova, M. S. Galai, Ye. S. Kuznetsova // Welding International. — 2015. — V. 29. — Is. 2. — P. 155–157.

18. Lee, F. T. Managing thermite weld quality for railroads [Text] / F. T. Lee // *Welding Journal*. — 2006. — V. 85. — Is. 1. — P. 24.
19. Майджи, А. А. Технология алюмотермитной сварки (рельсовых стыков) [Текст] / А. А. Майджи // *Путь и путевое хозяйство*. — 2017. — № 8. — С. 41–44.
20. Воронин, Н. Н. Алюминотермитная сварка рельсов зимой [Текст] / Н. Н. Воронин, О. Н. Трынова, О. В. Фомичёва // *Мир транспорта*. — 2012. — № 4. — С. 56–59.
21. Величко, Д. В. Экономическая оценка контактной и алюминотермитной сварки рельсов [Текст] / Д. В. Величко // *Актуальные проблемы современной науки: сб. статей междунар. научно-практич. конф.: в 4 ч.; отв. ред. А. А. Сукиасян*. — 2013. — С. 93–96.
22. Рукавчук, Ю. П. Дефектность стыков алюминотермитной сварки рельсов [Текст] / Ю. П. Рукавчук, С. А. Рождественский, И. З. Этинген // *Путь и путевое хозяйство*. — 2011. — № 4. — С. 26, 27.
23. Калашников, Е. А. Технологии сварки рельсов: тенденции в России и за рубежом [Текст] / Е. А. Калашников, Ю. А. Королёв // *Там же*. — 2015. — № 8. — С. 2–6.
24. Mitsuru, F. Rail flash-butt welding technology [Текст] / F. Mitsuru, N. Hiroaki, N. Kiyoshi // *JFE Technical Report*. — 2015. — № 20. — P. 159–163.
25. Saita, K. Trends in rail welding technologies and our future approach [Text] / K. Saita, K. Karimine, M. Ueda [et al.] // *Nippon Steel & Sumitomo Metal Technical Report*. — 2013. — № 105. — P. 84–92.
26. Козырев, Н. А. Железнодорожные рельсы из электростали [Текст] / Н. А. Козырев, В. В. Павлов, Л. А. Годик, В. П. Дементьев. — Новокузнецк: “ЕвразХолдинг”, Новокузнецкий металлургический комбинат, 2006. — 388 с.
27. Шур, Е. А. Комплексный метод контактной сварки рельсов [Текст] / Е. А. Шур, В. А. Резанов // *Вестник ВНИИЖТ*. — 2012. — № 3. — С. 20–22.
28. Борц, А. И. О новой технологии производства рельсов в России и перспективах ее развития [Текст] / А. И. Борц, Е. А. Шур, А. В. Сухов // *Неделя металлов в Москве, 8–11 ноября 2016 г.: сб. трудов конф.* — С. 274–283.
29. Абдурашитов А. Ю. Сравнение надежности дифференцированно и объемно термоупрочненных рельсов [Текст] / А. Ю. Абдурашитов [и др.] // *Железнодорожный транспорт*. — 2017. — № 7. — С. 37–44.
30. Сеницын, Е. О. Производство рельсов ОАО РЖД в ПАО ЧМК [Текст] / Е. О. Сеницын // *Улучшение качества и условий эксплуатации рельсов и рельсовых креплений: сб. научных докладов по материалам 132-го заседания НП “Рельсовая комиссия” (7–9 сентября 2016 г., г. Иркутск)*. — Екатеринбург, 2017. — С. 41–44.
31. Каскин, Б. К. Освоение производства рельсов на Актюбинском рельсобалочном заводе [Текст] / Б. К. Каскин // *Там же*. — Екатеринбург, 2017. — С. 41–44.
32. Хлыст, С. В. Дифференцированная термообработка рельсов [Текст] / С. В. Хлыст, В. М. Кузьменко, И. С. Хлыст // *Путь и путевое хозяйство*. — 2017. — № 10. — С. 18–20.
33. Weingrill, L. Temperature field evolution during flash-butt welding of railway rails [Text] / L. Weingrill, J. Krutzler, N. Enzinger // *Materials Science Forum*. — 2016. — V. 879. — P. 2088–2093. doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.879.2088.
34. Шевченко, Р. А. Расчет оптимальных режимов электроконтактной сварки железнодорожных рельсов [Текст] / Р. А. Шевченко, Н. А. Козырев, П. Е. Шишкин [и др.] // *Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии*. — Новокузнецк: СибГИУ, 2016. — № 37. — С. 175–180.
35. Шевченко, Р. А. Расчет оптимальных режимов электроконтактной сварки рельсов откаточных путей горных выработок [Текст] / Р. А. Шевченко, Н. А. Козырев, А. А. Усольцев [и др.] // *Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов*. — Новокузнецк: СибГИУ. — 2017. — № 3. — С. 232–236.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ КАНАТОВ С УЧЕТОМ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

*И. Г. ШУБИН, канд. техн. наук, shubin64@mail.ru; М. В. ШУБИНА, канд. техн. наук
(ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»)*

Представлены математическая модель и программа расчета для выбора типа конструкции каната или его диаметра при заданных значениях эксплуатационных характеристик и сравнительного анализа влияния геометрических параметров свивки каната на изменение его эксплуатационных характеристик с учетом состояния оборудования и технологии производства.

Ключевые слова: канат; конструкция каната; параметры свивки; математическая модель; эксплуатационные характеристики каната.

DEVELOPMENT OF A DESIGN OF ROPES TAKING INTO ACCOUNT THEIR OPERATIONAL CHARACTERISTICS

*I. G. SHUBIN, PhD (Tech), shubin64@mail.ru; M. V. SHUBINA, PhD (Tech)
(FGBOU VO "Magnitogorsk State Technical University after G.I. Nosov")*

A mathematical model and a computation program presented for choosing of a rope design type or its diameter having given data of operational characteristics as well as for comparative analysis of influence of rope twist parameters on its operational characteristics variation, taking into account equipment status and production technology.

Key words: rope, rope design, twist parameters, mathematical model, rope operational characteristics.

Проволочный стальной канат относится к одному из элементов грузоподъемного устройства и является сложным и ответственным по исполнению видом проволочных изделий. Сортамент канатов включает большое число типов и конструкций, имеющих различия по форме поперечного сечения как самого каната, так и его элементов, а также по физико-механическим характеристикам проволок и сердечников [1].

Канат, свитый из стальных проволок, совмещает достоинства арматуры и проволоки высокой прочности, исключая при этом наиболее явные их недостатки. Одним из основных материалов в производстве стальных канатов является проволока, причем ее свойства, форма сечения, диаметр определяют основные технические характеристики каната [2, 3]. На качество каната большое влияние оказывают его конструктивные особенности.

Стабильное функционирование металлургических предприятий и предприятий других от-

раслей экономики невозможно без использования стальных канатов. Современный уровень развития техники предъявляет новые требования к повышению надежности и долговечности канатов [4].

Полное удовлетворение потребности промышленности в стальных канатах должно идти не только по пути дальнейшего увеличения объема производства, но и в значительной степени за счет повышения их долговечности путем увеличения выпуска канатов прогрессивных типов и конструкций (с линейным касанием, фасоннопрядных, закрытых), разработки новых и модернизации действующих технологических процессов.

Улучшение механических свойств материала за счет более качественного производства исходных материалов (проволок) не является единственным вариантом повышения эксплуатационных свойств каната. Возможен и другой путь, в основе которого — корректное конструи-

рование каната с последующим контролируемым процессом его свивки [5].

На данный момент метизные предприятия, производящие канаты, стремятся охватить не только российский рынок, но и международный. Для этого выпускаемая ими продукция должна соответствовать международным стандартам качества (DIN и др.). Наиболее целесообразно разработать модель расчета конструкций канатов применительно к различным стандартам (ГОСТ, DIN и др.).

Результативность и эффективность использования стальных канатов определяется следующими существенными факторами: комплекс механических свойств, технология изготовления, максимальное соответствие типа и конструктивных параметров каната условиям его эксплуатации [6–11].

Условия работы каната требуют определенного набора эксплуатационных характеристик,

которые зависят как от механических свойств исходной проволоки, так и от самой конструкции каната. Оценивая каждый из приведенных факторов в отдельности, необходимо отметить ведущую роль вопроса конструирования и расчета параметров канатов.

Выполнение расчетов геометрических параметров каната связано с проведением многочисленных повторных операций и требует значительных затрат времени. Получаемые расчетные значения величин эксплуатационных характеристик не всегда соответствуют нормируемым значениям. Также довольно часто нет точного соответствия между существующими типами конструкций канатов и целевыми условиями их эксплуатации. Все это вызывает необходимость автоматизировать процесс конструирования и расчета параметров каната, что являлось целью исследования, результаты которого представлены в данной работе.

Разработка модели расчета

Разработка модели расчета параметров каната основана на известных зависимостях расчета геометрических параметров свивки [12–14]. При конструировании также использовали геометрические соотношения между элементами каната и их возможные изменения, связанные с напряженно-деформированным состоянием проволок в процессе волочения и свивки [15].

Представляемая модель включает в себя конструирование геометрии формы каната на основе расчета его механических и эксплуатационных характеристик с последующим процессом итерации до достижения заданного уровня свойств. К таким характеристикам относятся: конструктивная плотность $K_{\text{кп}}$; критическая длина каната $L_{\text{кр}}$; полное разрывное и агрегатное усилие $P_{\text{пол}}$, $P_{\text{агр}}$; удлинение каната ΔL ; изгибная жесткость G ; выносливость Z .

Модель расчета конструкции каната и его механических и эксплуатационных характеристик ориентирована на канаты типа ЛК-О, ЛК-РО, ЛК-Р, ЛК-З. В качестве примера конструирования каната типа ЛК-О представлена конструкция $6 \times 37(1+6+12+18)$, выполняемая по DIN 3066. По результатам расчета можно построить графики изменения механических свойств от диаметра каната $D_{\text{к}}$ (рис. 1–3). Диаметр каната $D_{\text{к}}$ изменяется от 5 до 30 мм. Критерием, который определяет момент окончания проведения расчетов, является соответствие заданной точности рассчитанных и нормируемых значений параметров каната.

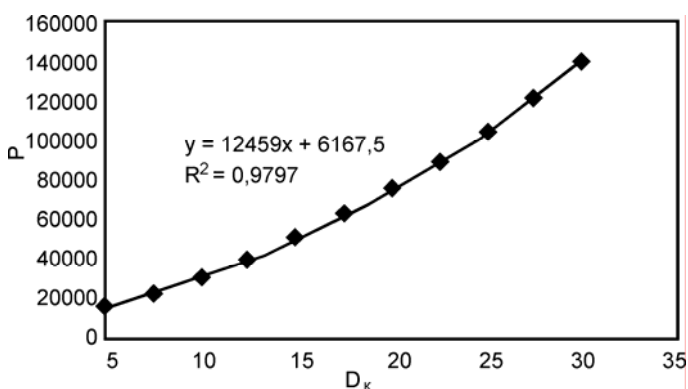


Рис. 1. Изменение разрывного усилия каната P от его диаметра $D_{\text{к}}$

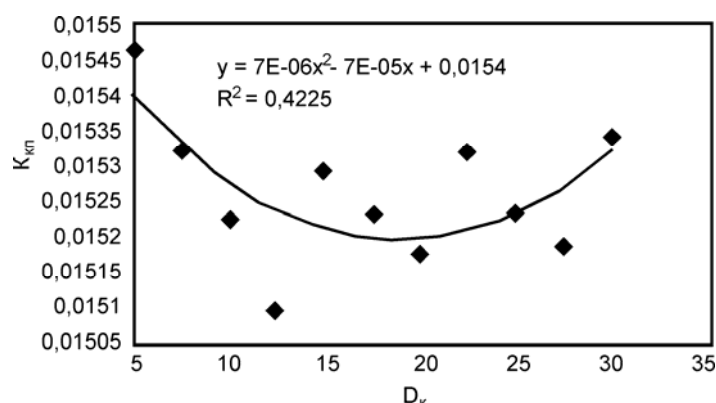


Рис. 2. Изменение конструктивной плотности каната $K_{\text{кп}}$ от его диаметра $D_{\text{к}}$

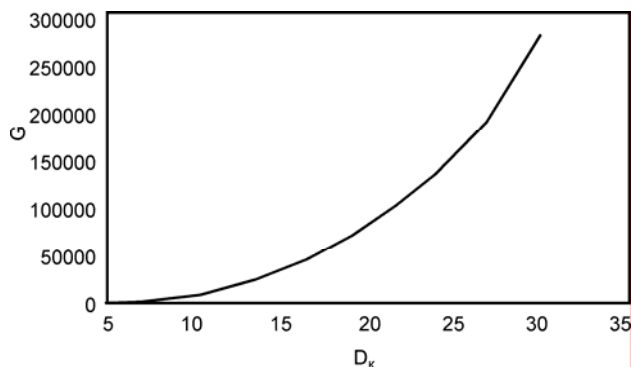


Рис. 3. Изменение изгибной жесткости G от диаметра каната D_k

Использование этой модели позволяет рассмотреть влияние конструкции каната на его эксплуатационные свойства. Для этого с помощью программы просчитываются основные механические и эксплуатационные параметры канатов при фиксированных значениях выбранных геометрических параметров канатов разных конструкций.

В качестве примера проведен расчет суммарного разрывного усилия каната от его диаметра D_k для различных конструкций каната (рис. 4):

6×37(1+6+12+18) тип ЛК-О;
 6×36(1+7+7/7+14) тип ЛК-РО;
 6×19(1+6+6/6) тип ЛК-Р;
 6×25(1+6; 6+12) тип ЛК-З;
 6×19(1+9+9) тип ЛК-О.

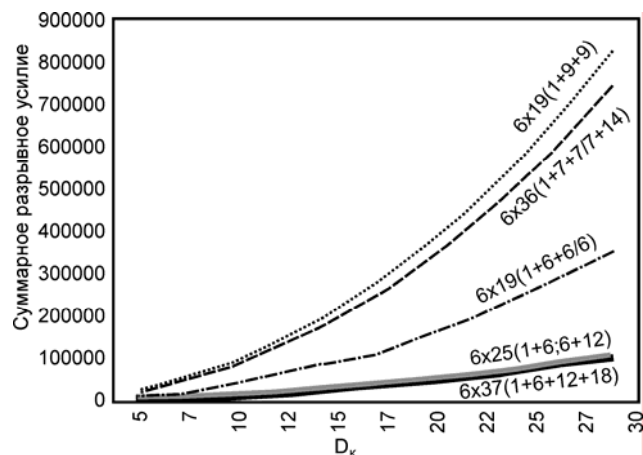


Рис. 4. График изменения суммарного разрывного усилия каната от его диаметра D_k для различных конструкций каната

Результаты и обсуждение

Как видно из рис. 4, суммарное разрывное усилие канатов различных конструкций до диаметра 10 мм имеет незначительную вариацию, при дальнейшем увеличении диаметра для канатов различных конструкций разница в значении разрывного усилия становится все больше. При диаметре 30 мм различие самого большого и самого малого значений суммарного разрывного усилия достигает 8 раз. Проводя сравнение между канатами, состоящими из одинакового числа проволок, равного диаметра, но различной конструкции, можно отметить, что разрывное усилие каната конструкции 6×19(1+6+6/6) в 2,3 раза меньше, чем у каната конструкции 6×19(1+9+9), хотя она занимает среднее значением между приведенными сравниваемыми конструкциями.

Величина разрывного усилия канатов конструкций 6×37(1+6+12+18) и 6×25(1+6; 6+12), а также конструкций 6×19(1+9+9) и 6×37(1+7+7/7+14) практически одинакова.

Повышению эффективности проектирования канатов оптимальной конструкции способствует последующая операция расчета основных механических и эксплуатационных характеристик: временное сопротивление разрыву $\sigma_{вз}$; число перегибов Γ_3 ; число скручиваний $C_{кр3}$. Расчет

проводится по зависимостям на основе механических свойств канатной проволоки, технологических параметров производства и механических свойств канатов [16–19].

Инвариантными факторами являются следующие величины:

- отношение временного сопротивления разрыву исходных канатных проволок к номинальному значению $\sigma_{в2}/\sigma_{н}$;
- отношение отклонения среднего ролика преформатора к шагу свивки каната $O/H_{св}$;
- отношение шага свивки каната к расстоянию между роликами преформатора $H_{св}/L_{св}$;
- отношение диаметра исходной канатной проволоки к шагу свивки каната $d_2/H_{св}$;
- отношение диаметра исходной канатной проволоки к диаметру канала плашек $d_2/d_{пл}$;
- отношение диаметра исходной канатной проволоки к диаметру каната d_2/d_3 ;
- углеродный эквивалент $C_{св}$;
- отношение натяжения кареток к диаметру каната K_{1-8}/d_3 ;
- отношение скорости свивки к диаметру каната V/d_3 .

Полученные расчетные зависимости представлены в таблице.

УРАВНЕНИЯ РЕГРЕССИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КАНАТОВ

Уравнение регрессии	R ²	F _{табл}	F _p	Стандартная ошибка	Погрешность, %
$\sigma_{в3} = 222,7412 + 140,1869\sigma_{в2}/\sigma_{н} - 51,1499K_1/d_3 - 31,4114C_{св} - 60,1046d_2/d_3$	0,89	4,217	81,898	6,7078	3,6
$\Gamma_3 = -6,2879 + 42,7198\sigma_{в2}/\sigma_{н} - 24,8516C_{св} - 7,2679V/d_3 - 0,1451K_7/d_3 + 40,4322d_2/d_3$	0,74	5,216	15,169	3,2792	22,9
$C_{кр3} = 133,05 - 23,0202K_1/d_3 - 61,7582d_{ип}/d_3 - 0,191K_8/d_3 + 11,5697C_{св} - 11,6689O/H_{св} - 26,0116H_{св}/L - 18,8823d_2/d_{пл}$	0,83	7,214	16,762	2,8558	9

Заключение

Используя разработанную модель конструирования и созданную на ее основе программу расчета, можно проводить выбор типа конструкции каната, его диаметра или геометрических параметров его составляющих при заданных значениях эксплуатационных характеристик и

учете состояния оборудования и технологии производства, а также проводить сравнительный анализ влияния геометрических параметров свивки каната на изменение его эксплуатационных характеристик.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Evans, J. J. Rope and rope-like structures [Text] / J. J. Evans, I. M. L. Ridge // Transactions on State of the Art in Science and Engineering. — 2005. — V. 20. — P. 133–169.
2. Choosing the best control cable for your application [Электронный ресурс]. Cable manufacturing & assembly Co. inc. // URL: <https://www.cmacable.com/wp-content/uploads/2017/05/1704cable-constructions-1.pdf>.
3. Wire ropes technical information [Электронный ресурс], PFEIFER 2013 // URL https://www.pfeifer.info/out/assets/PFEIFER_WIRE-ROPES-TECHNICAL-INFORMATION_BROCHURE_EN.PDF.
4. Musikhin, V. A. Advantages of using steel cables [Text] / V. A. Musikhin // Architecture, Construction. — 2006. — V. 4–5. — P. 38–40.
5. Малиновский, В. А. Стальные канаты. Часть 1. Некоторые вопросы технологии, расчета и проектирования [Текст] / В. А. Малиновский. — Одесса: Астропринт, 2001. — 188 с.
6. Шубин, И. Г. К вопросу практического использования методики оценки результативности системы менеджмента качества метизного производства в технологическом цикле изготовления стальных канатов [Текст] / И. Г. Шубин, Е. Н. Степанова, М. И. Румянцев // Производство проката. — 2012. — № 3. — С. 21–24.
7. Шубин, И. Г. Оценка результативности и стабильности производства грузоподъемных и грузоподъемных канатов [Текст] / И. Г. Шубин, М. И. Румянцев, Е. Н. Степанова // Заготовительные производства в машиностроении. — 2012. — № 6. — С. 46–48.
8. Шубин, И. Г. К оценке влияния показателей качества и количества брака на комплексную оценку результативности производства канатов [Текст] / И. Г. Шубин, Е. Н. Бородин, М. И. Румянцев // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 70-й Межрегион. научно-технич. конф. — Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2012. — Т. 1. — С. 280–283.
9. Румянцев, М. И. Оценивание качества тонких горячекатаных полос для определения возможности замещения холоднокатаной листовой стали общего назначения [Текст] / М. И. Румянцев, И. Г. Шубин, А. Н. Завалишин [и др.] // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. — 2007. — № 4. — С. 69–73.
10. Бородин, Е. Н. Комплексный показатель качества для оценки сквозной технологии производства метизных изделий [Текст] / Е. Н. Бородин, И. Г. Шубин, М. И. Румянцев // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 71-й Межрегион. научно-технич. конф.; под ред. В. М. Колокольцева. — Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2013. — Т. 1. — С. 329–335.
11. Шубин, И. Г. Применение комплексного показателя для оценки результативности технологии волочения канатной проволоки и свивки стальных канатов [Текст] / И. Г. Шубин, Е. Н. Бородин // Качество в обработке материалов. — 2016. — № 2. — С. 58–62.
12. Королев, В. Д. Канатное производство [Текст] / В. Д. Королев. — М.: Металлургия, 1980. — 256 с.
13. Житков, Д. Г. Стальные канаты для подъемно-транспортных машин [Текст] / Д. Г. Житков, И. Т. Поспехов. — М.: Металлургиздат, 1953. — 392 с.
14. Боголюбов, В. И. Проволочные канаты [Текст] / В. И. Боголюбов, И. М. Голубев, И. И. Амитин. — М.: Металлургиздат, 1950. — 358 с.
15. Musikhin, V. A. Determination of a Real Strain-stress State of the Steel-wire Rope Elements [Text] / V. A. Musikhin // Procedia Engineering. — 2016. — V. 150. — С. 1848–1852.
16. Шубин, И. Г. Управление качеством канатов на основе множественного регрессионного анализа [Текст] / И. Г. Шубин, Е. Н. Бородин, М. И. Румянцев, И. Ш. Исламов // Обработка сплошных и слоистых материалов: межвуз. сб. науч. тр.; под ред. М. В. Чукина. — Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2012. — Вып. 38. — С. 80–85.

17. Шубин, И. Г. Управление качеством канатной проволоки и канатов на основе множественного регрессионного анализа [Текст] / И. Г. Шубин, Е. Н. Бородин, М. И. Румянцев // Механика и актуальные проблемы металлургического машиностроения: междунар. сб. науч. тр.; под ред. О. С. Железкова. — Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2014. — С. 136–145.
18. Шубин, И. Г. К вопросу конструирования канатов с учетом их механических и эксплуатационных характеристик [Текст] / И. Г. Шубин, Н. И. Шубина // Обработка сплошных и слоистых материалов. — 2016. — № 2. — С. 41–45.
19. Шубин, И. Г. Основы материаловедения [Текст]: учебное пособие / И. Г. Шубин, М. В. Шубина — Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2014. — 193 с.

Металлургическое оборудование и литейное производство

УДК 62-784.23:697.982

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ВАЛА ПЕЧНОГО ВЕНТИЛЯТОРА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УСТРОЙСТВ ОДНОДИСКОВОГО ТИПА

Л. А. ЗАЙНУЛЛИН^{1,2}, д-р техн. наук, проф.;

М. В. КАЛГАНОВ¹, Д. В. КАЛГАНОВ¹,

Н. А. СПИРИН², д-р техн. наук, проф., n.a.spirin@urfu.ru

(¹ ОАО “Научно-исследовательский институт металлургической теплотехники” (ОАО ВНИИМТ),

² ФГАОУ ВО “Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина”)

Показано, что в сопоставимых условиях средний коэффициент теплоотдачи от поверхности вращающегося однодискового устройства на 10–15 % больше, чем при поперечном обдуве одиночного цилиндра. Установлено, что изменение внешнего диаметра однодискового устройства на 35 %, с 220 (ОД 220) до 296 мм (ОД 296), приводит к увеличению среднего коэффициента теплоотдачи от их поверхности в окружающую среду лишь на 5–7 %, а повышение частоты вращения вала с 200 до 1200 об/мин способствует увеличению этого коэффициента в 2,8–3 раза.

Ключевые слова: печной высокотемпературный вентилятор; устройство охлаждения вала вентилятора; конвективный теплообмен; коэффициент теплоотдачи.

1 STUDY OF FURNACE FAN ROTATING SHAFT COOLING EFFICIENCY USING FACILITY OF SINGLE DISC TYPE

L. A. ZAJNULLIN^{1,2}, Higher Doctorate (Tech), Professor;

M. V. KALGANOV¹, D. V. KALGANOV¹, N. A. SPIRIN², Higher Doctorate (Tech), Professor, n.a.spirin@urfu.ru

(¹ JSC “Research Institute of Metallurgical Heat Technics”,

² FGAOU VO “Ural Federal University after the first President of Russia B.N. El'tsin”)

It was shown that under the comparable conditions the average heat emission coefficient from a surface of rotating single disc facility is higher by 10–15 %, compare with conditions of transverse blow-off of a single cylinder. Established that single disc outside diameter variation by 35 % from 220 mm (OD 220) to 296 mm (OD 296) will lead to increase of the average heat emission from their surface into environment only by 5–7 %, and increase of the shaft rotation frequency from 200 rot/min to 1200 rot/min results in the increase of the coefficient by 2,8–3 times.

Key words: furnace high temperature fan, fan shaft cooling facility, heat exchange by convection, heat emission coefficient.

Интенсификация конвективного теплообмена за счет повышения скорости обдува обрабатываемого материала находит все большее применение в современных нагревательных и термических печах различных типов и назначения [1–4]. Многократное использование потока газа (теплоносителя), циркулирующего по замкнутому контуру с одновременным его подогревом, по-

зволяет достаточно эффективно передавать тепло от нагревателя к поверхности садки [5–7].

Одним из наиболее ответственных элементов, составляющих контур циркуляции газовой среды в печном объеме, является высокотемпературный вентилятор [8, 9]. Аэродинамические характеристики таких вентиляторов подбираются так, чтобы они обеспечивали наименьшие энер-

гозатраты при перемещении необходимого количества газовой среды [10–17]. Важными показателями также являются надежность и срок службы вентиляторов, работающих в условиях печного объема при высокой температуре [18, 19].

Учитывая, что конструкция вентилятора включает детали, вращающиеся с большой скоростью (вал, рабочее колесо, подшипники и т. д.) и работоспособные только в определенных температурных диапазонах, актуальной является разработка устройств для охлаждения наиболее теплонагруженных узлов.

Ранее [20, 21] были проведены исследования эффективности охлаждения вала печного вентилятора, оснащенного устройствами многодискового и стержневого типов специального исполнения. Однако в настоящее время широкое применение в конструкциях действующих печных вентиляторов получило устройство воздушного охлаждения однодискового типа, состоящее из втулки и установленного на ней диска (рис. 1). Сведения об эффективности тепловой работы этих устройств практически отсутствуют.

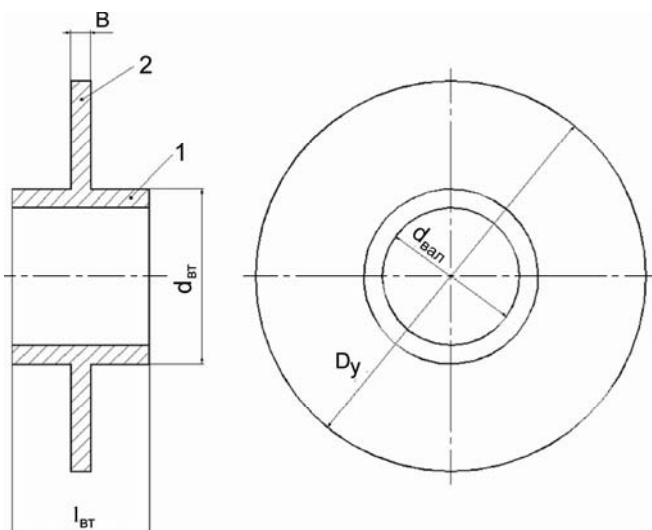


Рис. 1. Схема устройства воздушного охлаждения вала однодискового типа (ОД):
1 — втулка; 2 — диск

На экспериментальном стенде ОАО «Научно-исследовательский институт металлургической теплотехники» (ОАО ВНИИМТ) совместно с Уральским федеральным университетом были проведены исследования по определению теплообменных зависимостей для однодисковых устройств трех типоразмеров с внешними диаметрами 296 (ОД 296), 260 (ОД 260) и 220 мм (ОД 220). В таблице указаны геометрические размеры рассматриваемых устройств.

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ РАЗМЕРЫ РАССМАТРИВАЕМЫХ УСТРОЙСТВ

Параметр	Устройство		
	ОД 296	ОД 260	ОД 220
Внешний диаметр D, мм	296	260	220
Диаметр вала d, мм	110	110	110
Отношение D/d, мм	0,372	0,423	0,500
Толщина диска B, мм	14	14	14
Длина втулки l _{вт} , мм	110	110	110
Теплообменная площадь устройства, м ²	0,1668	0,1354	0,1053
Применяемый материал	Сталь 45	Сталь 45	Сталь 45

На рис. 2 приведены результаты экспериментальных исследований теплообмена на наружной поверхности устройств охлаждения, которые описываются следующей зависимостью:

$$Nu = 0,2710Re^{0,6},$$

где $Nu = \frac{\alpha D}{\lambda_b}$; $Re = \frac{DW}{\nu} = \frac{\pi D^2 n}{\nu}$, Nu — число

Нуссельта; Re — число Рейнольдса; α — средний коэффициент теплоотдачи от открытой поверхности устройства охлаждения, Вт/(м²·К); D — внешний диаметр устройства, м; λ_b — коэффициент теплопроводности окружающей среды, Вт/(м·К); W — линейная скорость движения внешней образующей вращающегося устройства, м/с; n — угловая скорость вращения устройства, 1/с; ν — кинематический коэффициент вязкости окружающей среды, м²/с.

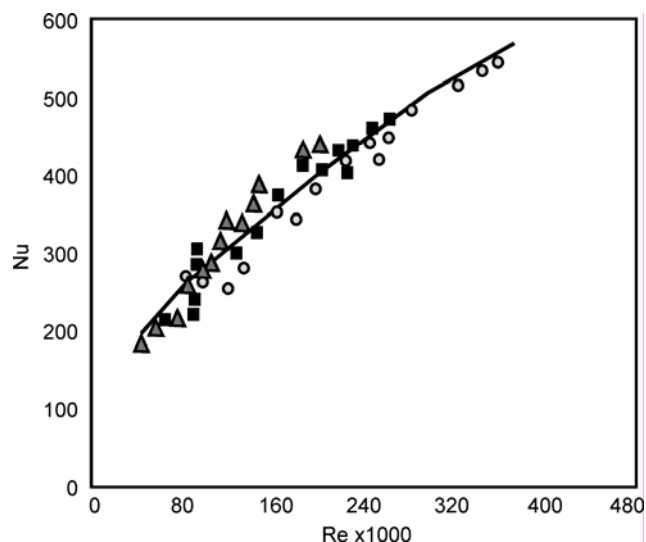


Рис. 2. Зависимость величины числа Nu от числа Re для условий конвективного теплообмена между поверхностью вращающегося устройства охлаждения однодискового типа вала печного вентилятора и окружающей средой:
● — ОД 296; ■ — ОД 260; ▲ — ОД 220

Полученная формула справедлива для всех трех однодисковых устройств в исследованном диапазоне изменения отношения диаметров d/D :

$$0,372 \leq d/D \leq 0,500.$$

На рис. 3 приведены зависимости среднего коэффициента теплоотдачи по поверхности устройств однодискового типа к окружающей среде при изменении частоты вращения вала вентилятора. Оказалось, что коэффициент теплоотдачи существенно зависит от частоты вращения вала. При увеличении числа оборотов с 200 до 1200 об/мин коэффициент теплоотдачи увеличивается примерно в 2,8–3 раза, что справедливо для всех трех исследованных типоразмеров. Величина коэффициента теплоотдачи в меньшей степени зависит от размеров вращающегося диска. При одной и той же частоте вращения вала коэффициент теплоотдачи у ОД 296 больше на 5–7 %, чем у ОД 220. Это явление объясняется, по-видимому, тем, что при одинаковой частоте вращения средняя линейная скорость обдувки боковых поверхностей диска у ОД 296 с наибольшим диаметром больше, чем у ОД 260 и ОД 220.

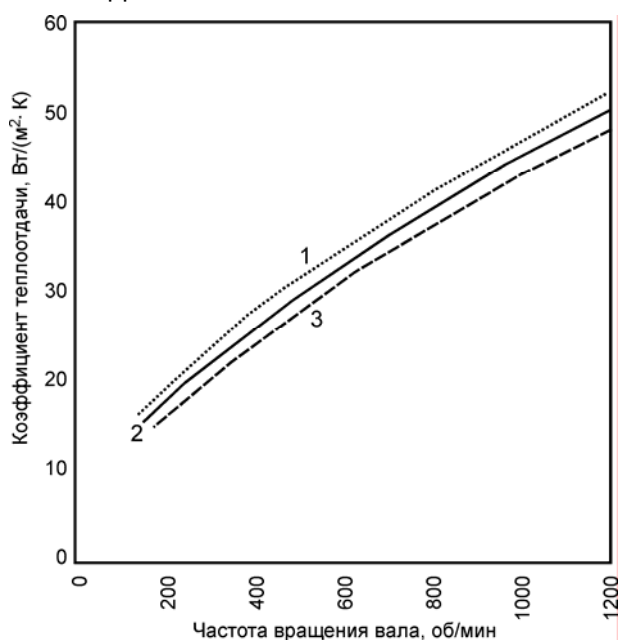


Рис. 3. Зависимость среднего коэффициента теплоотдачи от поверхности устройств охлаждения однодискового типа от частоты вращения вала печного вентилятора:
1 — ОД 296; 2 — ОД 260; 3 — ОД 220

Зависимости, описывающие конвективный теплообмен при движении воздуха около поверхности вращающегося диска и в случае поперечного обтекания потоком одиночного неподвижного цилиндра [22], оказались подобными и отличаются только значением коэффициентов

пропорциональности. На рис. 4 приведено сравнение теплоотдачи от поверхности вращающегося устройства ОД 260 и одиночного неподвижного цилиндра диам. 260 мм при поперечном направлении его обдува. Из представленных данных следует, что средний коэффициент теплоотдачи от поверхности вращающегося однодискового устройства примерно на 10–15 % больше, чем при поперечном обдуве одиночного цилиндра в сопоставимых условиях. Например, при 600 об/мин коэффициент теплоотдачи от поверхности ОД 260 составляет 33,7 Вт/(м²·К), а у неподвижного цилиндра диам. 260 мм при обдуве его поперечным потоком со скоростью 8,2 м/с равен 30,4 Вт/(м²·К).

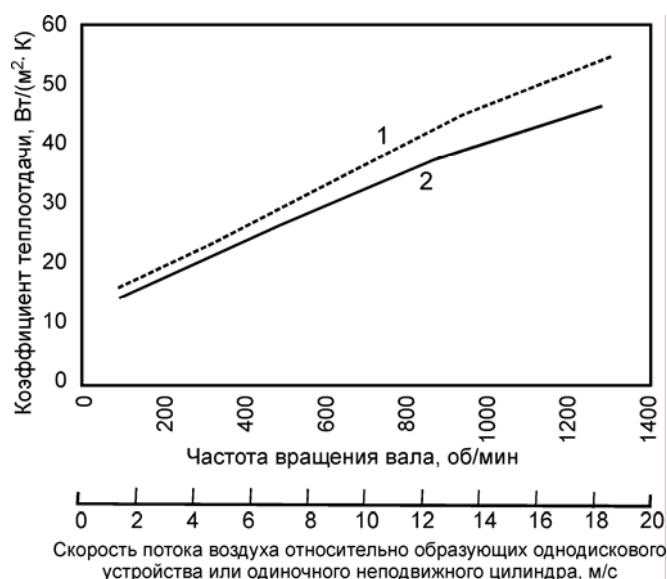


Рис. 4. Сравнение теплоотдачи от поверхности вращающегося однодискового устройства охлаждения и одиночного неподвижного цилиндра при поперечном направлении его обдува:
1 — вращающееся однодисковое устройство ОД 260 с длиной втулки 110 мм; 2 — одиночный неподвижный цилиндр диам. 260 мм и длиной 110 мм в поперечном потоке воздуха [20]

На рис. 5 представлены графики, показывающие эффективность отвода тепла устройствами однодискового типа при изменении частоты их вращения (кривые 1, 2 и 3). Для сравнения приведена кривая 4, соответствующая теплоотводу от вала, не оборудованного устройством охлаждения.

Расчет проведен при следующих параметрах: диаметр вала $d = 110$ мм; длина вала, охватываемая устройством охлаждения (длина втулки $l_{вт}$), равна 110 мм; разность средней температуры поверхности устройства и окружающей среды составляет 50 °С.

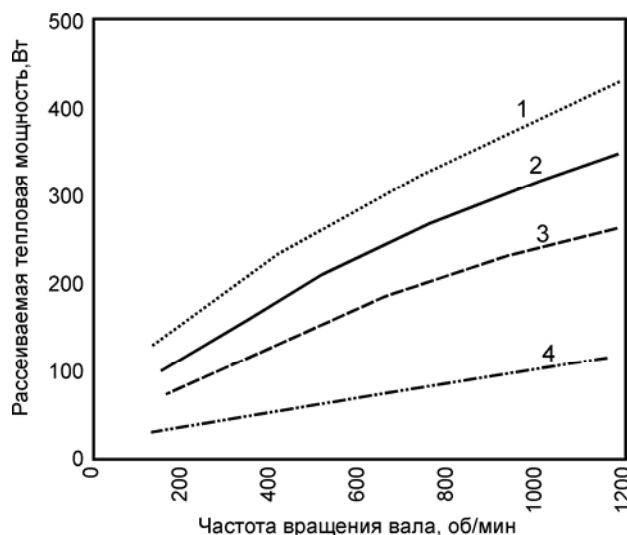


Рис. 5. Зависимость тепловой мощности, рассеиваемой с помощью устройств охлаждения вала однодискового типа, от частоты его вращения:

1 — ОД 296; 2 — ОД 260; 3 — ОД 220;
4 — вал не оборудован устройством охлаждения

Из рассмотрения полученных результатов следует, что наиболее эффективным в сопоставимых условиях является устройство с максимальным диаметром ОД 296, а наименее, соответственно, — ОД 220. Все устройства однодискового типа рассеивают в окружающую среду более значительную тепловую мощность по сравнению с открытым необорудованным валом. При частоте вращения 600 об/мин рассеиваемая тепловая мощность в случае использования ОД 296 составляет 270 Вт, ОД 260 — 240 Вт, ОД 220 — 170 Вт. Теплоотвод от поверхности необорудованного вала при этих условиях равен лишь 80 Вт.

Выводы

1. Установлено, что изменение диаметра однодискового устройства на 35 %, с 220 мм (ОД 220) до 296 мм (ОД 296), приводит к увеличению среднего коэффициента теплоотдачи от их поверхности в окружающую среду на 5–7 %, в то время как повышение частоты вращения вала с 200 до 1200 об/мин способствует увеличению коэффициента теплоотдачи в 2,8–3 раза.

2. В исследованном диапазоне изменение параметров теплоотдачи от поверхности всех трех типоразмеров однодисковых устройств в окружающую среду описывается общей зависимо-

стью $Nu = 0,2710Re^{0,6}$ с постоянным коэффициентом пропорциональности.

3. В сопоставимых условиях рассеиваемая тепловая мощность в окружающую среду от поверхности однодисковых устройств в 2–7,5 раза больше, чем от открытого необорудованного вала вентилятора.

4. Представленные материалы могут быть использованы при разработке нагревательных и термических печей с конвективным типом теплообмена.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аптерман, В. Н. Протяжные печи [Текст] / В. Н. Аптерман, В. М. Тымчак. — М.: Металлургия, 1969. — 320 с.
2. Дружинин, Г. М. Термическая печь с комбинированной системой отопления [Текст] / Г. М. Дружинин, А. А. Ашимхин, П. В. Маслов [и др.] // Сталь. — 2015. — № 3. — С. 70–74.
3. Зайнуллин, Л. А. Создание печных электронагревателей с радиационно-конвективным способом теплообмена [Текст] / Л. А. Зайнуллин, М. В. Калганов, Д. В. Калганов [и др.] // Там же. — 2015. — № 3. — С. 75–77.
4. Казанцев, Е. И. Промышленные печи [Текст] / Е. И. Казанцев. — М.: Металлургия, 1975. — 367 с.
5. Bloom, W. Jet heat reparation of waste furnace gases on strip lines [Text] / W. Bloom // Iron and Steel Engineer. — 1979. — V. 12. — P. 32–37.
6. Martin, H. Heat and mass transfer between impinging gas jets and solid surfaces [Text] / H. Martin // Advances in Heat Transfer. — 1977. — V. 13. — P. 1–60.
7. Launder, B. E. The turbulent wall jet [Text] / B. E. Launder, W. Rodi // Progress Aerospace Science. — 1981. — V. 19. — P. 81–128.
8. Кузьмин, И. И. Совершенствование конструкции циркуляционного вентилятора колпаковых печей [Текст] / И. И. Кузьмин, С. В. Зубков, Ю. А. Лыжин // Сталь. — 2007. — № 8. — С. 89–91.
9. Султанов, Н. Л. Управление тепловым состоянием подшипниковых опор на стане-тандеме 2000 холодной прокатки ОМО ММК [Текст] / Н. Л. Султанов, Е. И. Мироненков, Ю. В. Жиркин // Там же. — 2014. — № 4. — С. 71–73.
10. Zareba, S. Mathematical modelling and parameter identification of a stainless steel annealing furnace [Text] / S. Zareba, A. Wolff, M. Jelali // Simulation Modelling Practice and Theory. — 2016. — V. 60. — P. 15–39.
11. Strommer, S. A mathematical model of a direct-fired continuous strip annealing furnace [Text] / S. Strommer, M. Niederer, A. Steinboeck, A. Kugi // International Journal of Heat and Mass Transfer. — 2014. — V. 69. — P. 375–389.

12. Feng, H. J. Constructal designs for insulation layers of steel rolling reheating furnace wall with convective and radiative boundary conditions [Text] / H. J. Feng, L. G. Chen, Z. H. Xie, F. R. Sun // *Applied Thermal Engineering*. — 2016. — V. 100. — P. 925–931.
13. Blaszczyk, A. Heat transfer behavior inside a furnace chamber of large-scale supercritical CFB reactor [Text] / A. Blaszczyk, W. Nowak // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. — 2015. — V. 87. — P. 464–480.
14. Feng, H. J. Constructal entransy optimizations for insulation layer of steel rolling reheating furnace wall with convective and radiative boundary conditions [Text] / H. J. Feng, L. G. Chen, Z. H. Xie, F. R. Sun // *Chinese Science Bulletin*. — 2014. — V. 59. — P. 2470–2477.
15. Emadi, A. Heating characteristics of billet in a walking hearth type reheating furnace [Text] / A. Emadi, A. Saboonchi, M. Taheri, S. Hassanpour // *Applied Thermal Engineering*. — 2014. — V. 63. — P. 396–405.
16. Prieto, M. M. Development of stepwise thermal model for annealing line heating furnace [Text] / M. M. Prieto, F. J. Fernandez, J. L. Rendueles // *Ironmaking & Steelmaking*. — 2005. — V. 32. — P. 165–170.
17. Kim, Y. D. Experimental and numerical studies on the thermal analysis of the plate in indirectly fired continuous heat treatment furnace [Text] / Y. D. Kim, D. H. Kang, W. S. Kim // *Journal of Mechanical Science and Technology*. — 2009. — V. 23. — P. 631–642.
18. Зайнуллин, Л. А. Исследование эффективности охлаждения вращающегося вала печного высокотемпературного вентилятора [Текст] / Л. А. Зайнуллин, М. В. Калганов, Д. В. Калганов // *Изв. вузов: Черная металлургия*. — 2015. — № 9. — С. 662–666.
19. Соломахова, Т. С. Центробежные вентиляторы [Текст]: справочник / Т. С. Соломахова, К. В. Чебышева. — М.: Машиностроение, 1980. — 175 с.
20. Зайнуллин, Л. А. Исследование эффективности охлаждения вала печного вентилятора, оснащенного устройствами стержневого типа [Текст] / Л. А. Зайнуллин, М. В. Калганов, Д. В. Калганов, Н. А. Спирин // *Изв. вузов: Черная металлургия*. — 2017. — Т. 60. — № 8. — С. 651–655.
21. Зайнуллин, Л. А. Разработка и исследование устройств воздушного охлаждения вращающегося вала печного высокотемпературного вентилятора многодискового типа [Текст] / Л. А. Зайнуллин, М. В. Калганов, Д. В. Калганов, Н. А. Спирин // Там же. — 2017. — Т. 60. — № 6. — С. 451–456.
22. Михеев, М. А. Основы теплопередачи [Текст] / М. А. Михеев, И. М. Михеева. — М.: Энергия, 1977. — 343 с.

УДК [622.012.013.3:622.683]:004.94

ПЛАНИРОВАНИЕ СМЕННОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КАРЬЕРНОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ*

Ю. А. БАХТУРИН, канд. техн. наук, bakh2008@yandex.ru
(ФГБУН “Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук”)

Приведены результаты имитационного моделирования по определению сменной производительности карьерного железнодорожного транспорта для условий комбината “Ураласбест”. Установлены зависимости сменных объемов перевозок по видам горной массы от числа локомотивосоставов в работе для различных вариантов размещения и числа мест погрузки и разгрузки как для свободного, так и замкнутого цикла организации работы. Обоснована возможность разбиения общего числа локомотивосоставов на условно потребные для перевозки каждого вида горной массы.

Ключевые слова: карьерный железнодорожный транспорт; перевозка горной массы; имитационное моделирование; сменная производительность.

PLANNING OF SHIFT PRODUCTIVITY OF OPEN-PIT RAILWAY TRANSPORT BASED ON SIMULATION MODELLING

Yu. A. BAKHTURIN, PhD (Tech), bakh2008@yandex.ru
(FGBUN “Institute of Mining, Ural Department of Russia Academy of Sciences”)

Results of simulation modelling presented for determination of shift productivity of open-pit railway transport for conditions of “Uralasbest” complex. Impact of the number of locomotive trains in operation on the shift haulage volumes by mining bulk types was determined for different allocation variants and the number of bulk loading and unloading for both open and closed operation organization cycles. Possibility of total number of locomotive trains break down for conditionally required for transportation of every type of mining bulk was founded.

Key words: open-pit railway transport, mining bulk haulage, simulation modelling, shift productivity.

Постановка задачи

Основным показателем эффективности системы планирования на карьере является степень сходимости плановых объемов работ с фактически реализуемыми на предприятии. Основой оперативного планирования горных и транспортных работ является эксплуатационная сменная производительность. Разнообразие природных, технологических, организационных условий эксплуатации карьерного автотранспорта и предложений на рынке техники обуславливает необходимость дифференцированного подхода к прогнозу производительности карьерного транспорта как при годовом, средне- и долгосрочном планировании, так и оперативном управлении. Вместе с тем достоверность получаемых в процессе расчета данных о производительности горнотранспортного оборудования в современ-

ной практике управления горнотранспортными комплексами практически не учитывается, вследствие чего поставленный план по выемке и транспортированию горной массы может быть заведомо невыполнимым. Это связано с тем, что при расчете производительности горнотранспортного комплекса используются средневзвешенные показатели продолжительности элементов циклов погрузки и транспортирования горной массы, взаимосвязь которых с горнотехническими условиями карьера не учтена. Неопределенность исходной информации может привести к изменению основных выходных характеристик и снижению эффективности работы карьерного транспорта в период эксплуатации, росту риска невыполнения сменного задания. Для учета

* Исследование выполнено в рамках государственного задания 007-01398-17-00, тема № 0405-2015-0010.

фактора неопределенности исходной информации разработаны соответствующие методики. В частности, предложен принцип планирования, основанный на учете технологического риска невыполнения сменных заданий в процессе работы горнотранспортного комплекса [1], разработан упрощенный способ оценки оптимальных значений параметров, определяющих производительность карьерного транспорта. Для определения оптимальной производительности карьерного транспорта принята расчетная схема построения обобщенной функции желательности Харрингтона [2]. Эти и подобные методики носят опосредованный характер и предусматривают

введение дополнительных условных расчетных характеристик. Кроме того, они не учитывают взаимодействие элементов транспортных систем, что особенно важно при эксплуатации карьерного железнодорожного транспорта [3]. Таким образом, задача адекватного определения возможностей транспортных систем при различных сочетаниях основного технологического оборудования в конкретных горнотехнических условиях является одним из определяющих факторов эффективного оперативного и перспективного планирования и управления, позволяет формировать стабильно функционирующие, адаптивные горнотранспортные системы.

Методы исследования

Наиболее универсальным, позволяющим реализовать основные требования к определению характеристик функционирования сложных транспортных систем, можно считать метод имитационного моделирования, сущность которого состоит в компьютерном воспроизведении реальных процессов с учетом их вероятностного характера с помощью специально построенной математической модели. Целесообразность применения имитационных моделей обусловлена следующим [4–11]:

1. Структурной и функциональной сложностью систем, аналитическое описание которых затруднено. Имитационные модели могут быть построены без привлечения сложного математического аппарата при обязательном сохранении их логической структуры.

2. В отличие от аналитических моделей, где допускается определенная условность учета взаимодействия транспортных элементов системы вследствие того, что они, как правило, разрабатываются для объекта, вырванного из общей системы, имитационные модели непосредственно воспроизводят реальный процесс при помощи вычислительно-логических алгоритмов, обеспечивая учет взаимодействия элементов горнотранспортной системы.

3. Имитационные модели наиболее результативны при исследовании системы в динамике.

4. В отличие от других имитационные модели позволяют решать не только узкие задачи, они могут применяться для решения широкого круга вопросов на основе подхода к горнотранспортной системе как единому целому.

5. Поскольку имитационное моделирование воспроизводит реальный процесс, оно подходит для придания автоматизированным системам управления горнотранспортным процессом в дополнение к мониторинговым и учетным еще и функции оптимизации прогнозирования и оперативного планирования.

В Институте горного дела Уральского отделения РАН проведены работы по построению модели горнотранспортного процесса, которая может использоваться для оптимизации технологии горнотранспортных работ в реальных условиях действующих предприятий и проектировании основных параметров горнорудных предприятий. Разработана и реализована универсальная имитационная модель функционирования горнотранспортной системы карьера [12], позволяющая решать широкий круг задач горнорудного производства. При моделировании вся путевая схема представляется в виде последовательных и параллельных участков, непосредственно примыкающих друг к другу. Поезда в процессе работы переходят с одного участка на другой в соответствии с определенным порядком организации движения поездов. Моделирование заключается в дискретном воспроизведении (шаг дискретизации 1 с) процесса функционирования горнотранспортной системы карьера. Путем соответствующего “проигрывания” различных вариантов можно исследовать ее параметры, установить их рациональные значения для различных условий эксплуатации и сочетаний горнотранспортного оборудования. Для оперативного планирования показателей работы горнотранспортной системы горнорудного предприятия практический интерес представляют две задачи:

- адекватное определение потребного числа локомотивосоставов для выполнения показателей плана производства;

- установление зависимости от объемов и пропорций перевозимой горной массы при фиксированных расстановке и числе экскаваторов на погрузке и разгрузке горной массы.

Для решения этих задач проведено моделирование работы горнотранспортной системы с железнодорожным транспортом ОАО “Ураласбест” с применением указанной имитационной модели. Плановые показатели по перевозке горной массы в мае–июнь 2017 г. приведены ниже:

Среднесуточные объемы перевозок, тыс. т:	
горной массы,	51,8
руды	39,0
скальной горной массы	10,0
породы в отвал	2,8

Характеристики мест погрузки и разгрузки горной массы, отражающие тип погрузочных и разгрузочных устройств, их размещение, номера экскаваторов, вид горной массы, принятое время погрузки и разгрузки приведены в табл. 1 и 2.

ТАБЛИЦА 1. ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТ ПОГРУЗКИ ГОРНОЙ МАССЫ (МАЙ–ИЮНЬ 2017 г.)

Тип погрузочного устройства, вместимость ковша	Вид горной массы	Время погрузки, мин	Размещение (раздельный пункт), номер экскаватора
Экскаватор ЭКГ-6,3 УС	Руда	61	Ст. Западная, экс. № 308
Экскаватор ЭКГ-8, 10 м ³	Порода	59	Ст. Западная, экс. № 338
Экскаватор ЭКГ-8, 10 м ³	Руда	50	Ст. Звезда, экс. № 335
Экскаватор 10 м ³	Порода	59	Ст. Звезда, экс. № 333
Экскаватор 10 м ³	Руда	78	Ст. Звезда, экс. № 323
Экскаватор 8 м ³	Руда	60	Нижний, экс. № 330
Экскаватор 8 м ³	Скала	65	Нижний, экс. № 311
Экскаватор 8 м ³	Руда	63	Резервный склад, экс. № 327

ТАБЛИЦА 2. ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕСТ РАЗГРУЗКИ ГОРНОЙ МАССЫ (МАЙ 2017 г.)

Тип разгрузочного устройства, вместимость ковша экскаватора	Вид горной массы	Время погрузки, мин	Размещение (раздельный пункт), номер экскаватора
Приемный бункер ДСК-1	Руда	46,5	Ст. Гигант
Приемный бункер ДСК-1	Руда	46,5	Ст. Гигант
Экскаватор 8 м ³	Руда	40	Резервный склад, экс. № 327
Приемный бункер ДСК-2	Скала	190	ДСК-2
Приемный бункер ДСК-2	Скала	190	ДСК-2
Экскаватор 8 м ³	Порода	40	Ст. Западная, экс. № 276
Экскаватор 8 м ³	Порода	40	Ст. Звезда, экс. № 318
Экскаватор 8 м ³	Порода	40	Ст. Восточная

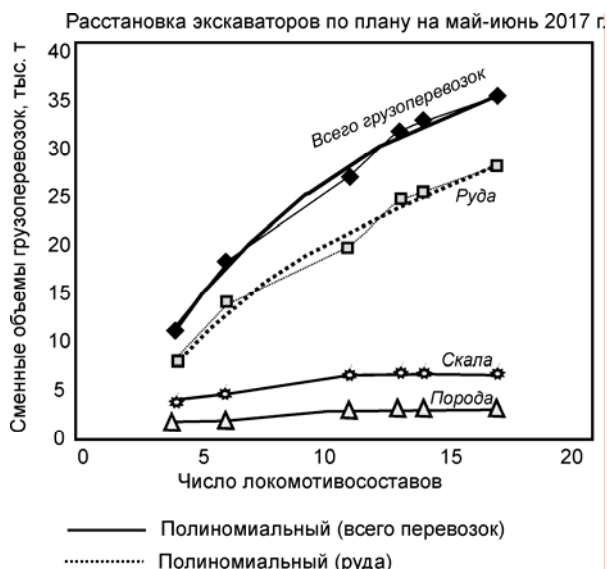


Рис. 1. Зависимость сменных объемов перевозок от числа поездов в работе

Рассмотрено восемь вариантов сочетаний горнотранспортного оборудования при 4, 6, 9, 11, 13, 14, 15 и 17 локомотивосоставах в работе. На

основе результатов моделирования установлена зависимость сменных объемов перевозки по видам горной массы от числа локомотивосоставов в работе (рис. 1). Приведенная зависимость позволяет определять необходимое число локомотивосоставов для различных сменных заданных (плановых) объемов перевозок по видам горной массы. Например, плановые среднесменные объемы перевозок на май составляли по горной массе 25,9 тыс. т, в том числе по руде — 19,5 тыс. т, по скальной горной массе — 5 тыс. т, по породе в отвал — 1,4 тыс. т. Как следует из рис. 1, эти объемы реализуются при работе 10 локомотивосоставов для указанных выше условий. Проведенное моделирование отражает условия функционирования горнотранспортной системы, сложившейся в мае–июне 2017 г. Вместе с тем возможности горнотранспортной системы по объемам перевозок могут значительно превосходить приведенные выше. Проведено моделирование работы горнотранспортной системы карьерного железнодорожного транспорта ОАО «Ураласбест» для вариантов с наибольшим чис-

лом мест погрузки и разгрузки по видам горной массы за рассматриваемый календарный период (для условий, сложившихся в октябре–ноябре 2016 г.). Характеристики мест погрузки и разгрузки горной массы для этих условий, отра-

жающие тип погрузочных и разгрузочных устройств, их размещение, номера экскаваторов, вид горной массы, принятое время погрузки и разгрузки приведены в табл. 3 и 4.

ТАБЛИЦА 3. ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТ ПОГРУЗКИ ГОРНОЙ МАССЫ (ОКТАБРЬ 2017 г.)

Тип, марка погрузочного устройства	Вид груза	Время погрузки, мин	Размещение, номер экскаватора
Экскаватор ЭКГ-6,3 УС	Руда	61	Ст. Западная, экс. № 308
Экскаватор ЭКГ-8, 10 м ³	Порода	59	Ст. Западная, экс. № 338
Экскаватор ЭКГ-8, 8 м ³	Порода	62	Ст. Западная, экс. № 276
Погрузчик САТ 98811	Руда	78	Ст. Западная
Экскаватор ЭКГ-8, 8 м ³	Порода	62	Ст. Западная
Экскаватор ЭКГ-8, 10 м ³	Руда	50	Ст. Звезда
Экскаватор ЭКГ-8, 10 м ³	Порода	59	Ст. Звезда
Экскаватор ЭКГ-8, 10 м ³	Скала	78	Ст. Звезда, экс. № 323,
Экскаватор ЭКГ-8, 8 м ³	Руда	60	Пост Нижний
Экскаватор ЭКГ-8, 8 м ³	Скала	58	Пост Нижний, экс. № 311
Экскаватор ЭКГ-8, 10 м ³	Руда	50	Пост Нижний, экс. № 326
Экскаватор ЭКГ-8, 8 м ³	Руда	63	Ст. Восточная
Экскаватор ЭКГ-8, 8 м ³	Руда	61	Ст. Звезда
Погрузчик САТ 98811	Скала	78	Ст. Глубокая
Погрузчик САТ 98811	Руда	78	Ст. Глубокая
Бункерная погрузка	Пыль	240	Фабрика № 6
Бункерная погрузка	Пыль	28	
Бункерная погрузка	Пыль	28	

ТАБЛИЦА 4. ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТ РАЗГРУЗКИ ГОРНОЙ МАССЫ (ОКТАБРЬ 2017 г.)

Тип разгрузочного устройства	Тип горной массы	Время разгрузки состава, мин	Размещение
Приемный бункер ДСК-1	Руда	46,5	Ст. Гигант
Приемный бункер ДСК-1	Руда	46,5	Ст. Гигант
Экскаватор ЭКГ-8, 8 м ³	Руда	40	Резервный склад
Приемный бункер ДСК-2	Скала	190	ДСК-2
Приемный бункер ДСК-2	Скала	190	
Экскаватор 8 м ³	Порода	40	Ст. Западная
Экскаватор 8 м ³	Порода	40	Ст. Звезда
Экскаватор 8 м ³	Порода	40	Ст. Восточная
Экскаватор 8 м ³	Пыль	40	Ст. Каменская
Экскаватор 8 м ³	Пыль	40	Ст. Каменская
Экскаватор 8 м ³	Пыль	40	Ст. Каменская
Экскаватор 8 м ³	Пыль	40	Ст. Каменская
Экскаватор 8 м ³	Пыль	40	Ст. Каменская
Экскаватор 8 м ³	Пыль	40	Ст. Каменская

Известно, что движение вскрышных и добычных составов организуется по свободному и замкнутому циклам. На комбинате «Ураласбест» движение локомотивосоставов организовано преимущественно по свободному циклу. Для полноты исследования проведено моделирование как для вариантов со свободным циклом организации движения локомотивосоставов, так и

для замкнутого цикла. Исследованы следующие варианты сочетаний локомотивосоставов для замкнутого цикла:

1. 2 состава на перевозке руды, 1 — на перевозке скальной горной массы, 1 — на перевозке пустой породы, 1 — на перевозке пыльных отходов.

2. 4 состава на перевозке руды, 2 — на перевозке скальной горной массы, 2 — на перевозке пустой породы, 2 — на перевозке пыльных отходов.

3. 6 составов на перевозке руды, 3 — на перевозке скальной горной массы, 3 — на перевозке пустой породы, 3 — на перевозке пыльных отходов.

4. 8 составов на перевозке руды, 4 — на перевозке скальной горной массы, 4 — на перевозке пустой породы, 5 — на перевозке пыльных отходов.

5. 10 составов на перевозке руды, 5 — на перевозке скальной горной массы, 5 — на перевозке пустой породы, 7 — на перевозке пыльных отходов.

На основе обработки результатов моделирования получена зависимость сменных объемов перевозок от числа и различных сочетаний поездов в работе по видам горной массы. График зависимости приведен на рис. 2. Соответствующие исследования проведены для вариантов моделирования со свободным циклом организации движения поездов. При этом в указанных вариантах полностью повторялась расстановка локомотивосоставов на начало смены, как для вариантов с организацией движения поездов по замкнутому циклу. На основе обработки результатов моделирования получена зависимость сменных объемов перевозок от числа и различных сочетаний поездов в работе по видам горной массы для вариантов со свободным циклом организации движения поездов. График зависимости приведен на рис. 3. Сравнение графиков, приведенных на рис. 2 и 3, показывает, что соответствующие кривые зависимости роста сменных объемов грузоперевозок в обоих вариантах носят одинаковый характер и порядок расположения, а увеличение сменных объемов перевозок при свободном цикле организации движения поездов по сравнению со сменными объемами перевозок при замкнутом цикле не превышает 10–15 %. Это позволяет не только определить общее число поездов в зависимости от количества перевозимой горной массы, но и разбить общее число локомотивосоставов на те, которые условно нужны для перевозки соответственно руды, пустой породы, скальной горной массы и пыльных отходов отдельно. Это существенно упрощает планирование горнорудного производства.

Практический интерес представляет задача моделирования работы горнотранспортной системы при остановке производства обогатитель-

ной фабрики № 1, когда работает только производство № 2, т. е. транспортируется только скальная горная масса, пустая порода и пыльные отходы. Для решения задачи проведено моделирование работы горнотранспортной системы карьерного железнодорожного транспорта ОАО «Ураласбест» для вариантов с наибольшим числом мест погрузки и разгрузки по видам горной массы за рассматриваемый календарный период (октябрь–декабрь 2016 г.). Для моделирования были приняты реально существующие на предприятии характеристики мест погрузки и разгрузки горной массы, отражающие тип погрузочных и разгрузочных устройств, их размещение, номера экскаваторов, вид горной массы, принятое время погрузки и разгрузки.

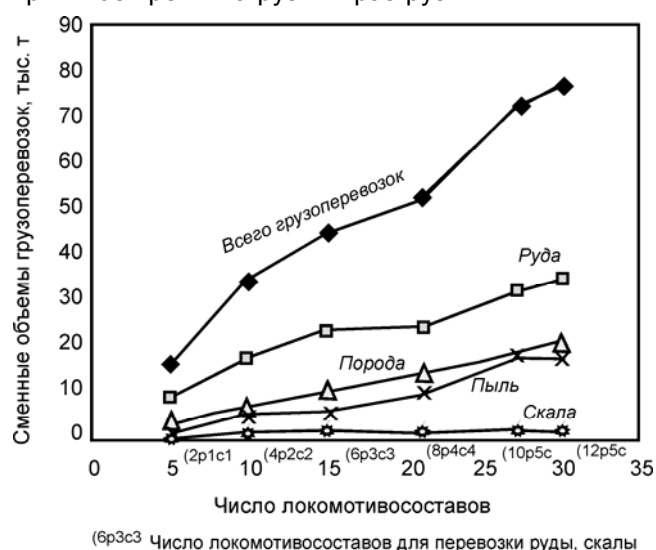


Рис. 2. Зависимость сменных объемов перевозок от числа и сочетаний поездов в работе (октябрь 2017 г.).
Замкнутый цикл

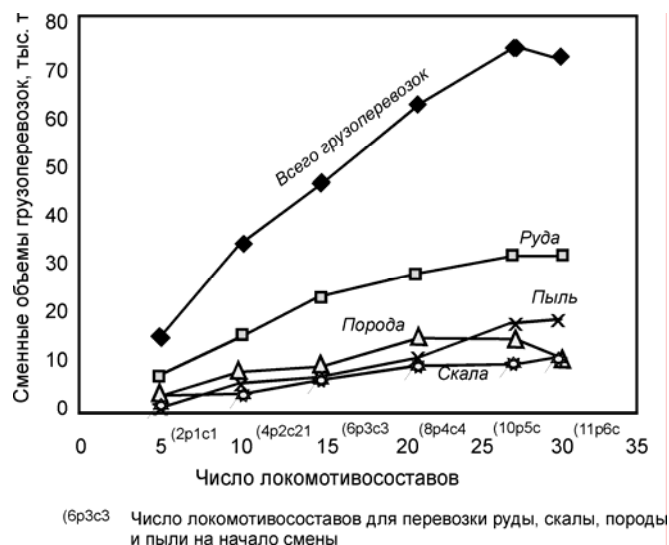


Рис. 3. Зависимость сменных объемов перевозок от числа и сочетаний поездов в работе (октябрь 2017 г.).
Свободный цикл

Исследованы следующие варианты сочетаний локомотивосоставов:

1. 2 состава на перевозке пустой породы, 2 — на перевозке скальной горной массы.
2. 4 состава на перевозке пустой породы, 4 — на перевозке скальной горной массы.
3. 6 составов на перевозке пустой породы, 6 — на перевозке скальной горной массы.
4. 8 составов на перевозке пустой породы, 8 — на перевозке скальной горной массы.

На основе обработки результатов моделирования получена зависимость сменных объемов перевозок от числа и различных сочетаний поездов в работе по видам горной массы (рис. 4).

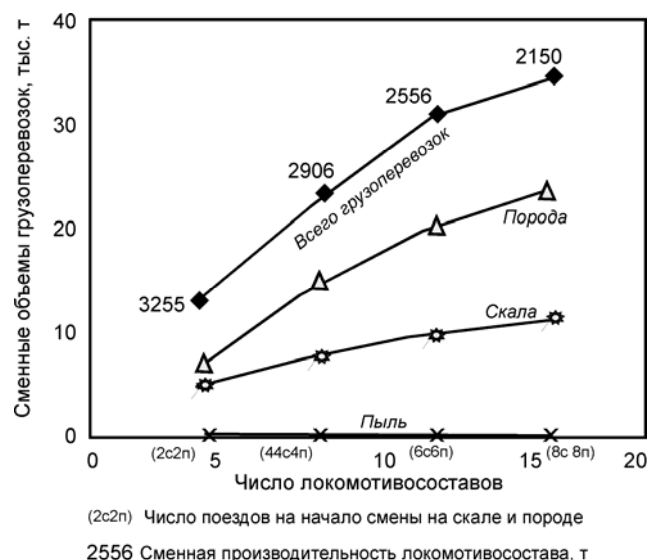


Рис 4. Зависимость сменных объемов перевозок от числа и сочетаний поездов в работе. Работает только производство № 2

Заключение

Для условий карьера ОАО “Ураласбест” установлены зависимости сменных объемов перевозок по видам горной массы от числа локомотивосоставов в работе для различных вариантов размещения и числа мест погрузки и разгрузки как для свободного, так и замкнутого цикла организации работы, как для нормального режима работы, так и при остановке обогатительной фабрики. Обоснована возможность разбиения общего числа локомотивосоставов на условно потребные для перевозки отдельно каждого вида горной массы и пыльных отходов. Это позволяет адекватно определять сменную производительность горнотранспортных систем при различных сочетаниях основного технологического оборудования в конкретных горнотехнических условиях, что является одним из определяющих факторов эффективного оперативного планирования и служит основой перспективного планирования и управления карьерным железнодорожным транспортом.

В дальнейшем целесообразно создание системы моделирования движения карьерного же-

лезнодорожного транспорта, в которой логика организации движения поездов, порядок принятия решений дежурными по станциям задается интерактивно. Интерактивное задание правил организации движения означает, что эти правила сформулированы в явном виде и на основе этих правил осуществляется оперативный прогноз движения поездов. При работе с такой системой диспетчер имеет возможность “видеть” правила, на основе которых осуществляется моделирование перевозочного процесса, и тем самым возможно обоснование и объяснение результата прогнозирования набором используемых правил. Интерактивное задание набора правил, определяющих организацию движения поездов, позволяет менять логику перевозочного процесса в моделировании без перепрограммирования самой системы. Это практически важно, когда надо быстро учесть какие-либо новые особенности организации движения поездов, а также учесть особенности перевозочного процесса на отдельных участках.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лаптев, Ю. В. Математическая модель оптимизации производительности карьерного автомобильного транспорта [Текст] / Ю. В. Лаптев, Р. С. Титов, А. М. Яковлев // Изв. вузов: Горный журнал. — 2013. — № 4. — С. 126–135.
2. Стенин, Ю. В. Учет технологического риска при планировании производительности экскаваторно-автомобильного карьера [Текст] / Ю. В. Стенин, Р. С. Ганиев // Там же. — 2015. — № 1. — С. 16–22.
3. Козлов, П. А. Определение параметров парков и горловин станций с учетом их взаимодействия [Текст] / П. А. Козлов, В. С. Колокольников, Н. А. Тушин // Транспорт Урала. — 2017. — № 1. (52). — С. 3–7.
4. Бахтурин, Ю. А. Моделирование работы сложных транспортных систем карьеров [Текст] / Ю. А. Бахтурин // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2011. — № 1. — С. 82–90.

5. Бахтурин, Ю. А. Управление режимами движения горной массы на складе при циклично-поточной технологии [Текст] / Ю. А. Бахтурин // Проблемы недропользования [Электронный ресурс]: рецензируемое периодическое научное издание // ИГД Уро РАН. — 2015. — № 4. — С. 44–49 // trud.igduran.ru. doi:10.18454/2313-1586.2015.04.041.
6. Яковлев, В. Л. Особенности решения транспортных проблем на современном этапе развития горного производства [Текст] / В. Л. Яковлев, А. Г. Журавлев, Ю. А. Бахтурин // Горное оборудование и электромеханика. — 2017. — № 2. — С. 11–18.
7. Козлов, П. А. О системах и системности на транспорте [Текст] / П. А. Козлов // Транспорт Урала. — 2016. — № 2 (49). — С. 3–8.
8. Козлов, П. А. Совместное использование аналитических методов и имитационных моделей [Текст] / П. А. Козлов, В. С. Колокольников, В. И. Сорокин // Там же. — 2016. — № 3 (50). — С. 3–8.
9. Козлов, П. А. Макромоделирование железнодорожных станций и узлов [Текст] / П. А. Козлов, Н. А. Тушин, В. И. Слободянюк // Наука и техника транспорта. — 2015. — № 2. — С. 82–88.
10. Козлов П. А. О загрузке стрелок и пропускной способности горловин [Текст] / П. А. Козлов, В. С. Колокольников, Н. А. Тушин // Транспорт Урала. — 2016. — № 4 (51). — С. 3–7.
11. Козлов, П. А. О методах расчета систем железнодорожного транспорта [Текст] / П. А. Козлов // Железнодорожный транспорт. — 2014. — № 1. — С. 28–32.
12. Салахияев, Р. Г. Имитационное моделирование и автоматизированное управление горнотранспортными работами в карьерах [Текст] / Р. Г. Салахияев, Ю. А. Бахтурин, А. В. Дедюхин, А. Г. Журавлев // Горный журнал. — 2012. — № 1. — С. 82–85.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ЗАВОДОВ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ ЗА РУБЕЖОМ

ЗАВОДЫ С ПОЛНЫМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМ ЦИКЛОМ

Индия

Индийская компания Tata Steel объявила: новый завод Kalinganagar plant в штате Одиша полностью вышел на показатели первой очереди — 3 млн т/год — и производит товарную продукцию при 100 %-ной загрузке мощностей.

Завод Kalinganagar plant будет производить только листовую продукцию. На втором этапе компания планирует построить стан холодной прокатки и начать производство автолиста.

МИНИ-ЗАВОДЫ И ЗАВОДЫ С НЕПОЛНЫМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМ ЦИКЛОМ

Египет

Египетская металлургическая компания Egyptian Steel в I кв. 2018 г. планирует вывести на проектную мощность новый завод мощностью 440 тыс. т/год, построенный в Экономической зоне Суэцкого канала (Suez Canal Economic Zone), в г. Айн Сохна (Ain Sokhna). Строительство завода началось в апреле 2014 г. По заявлению компании, это уже второй завод, использующий энергосберегающие технологии. Первым был завод мощностью 1,36 млн т/год, построенный в г. Бени-Суэйф (Beni Suef).

С вводом в эксплуатацию завода в г. Айн Сохна общие мощности компании Egyptian Steel по производству стали составят 2,3 млн т/год.

Индия

Индийская компания Vedanta планирует инвестировать 1,85 млрд долл. в реализацию двух крупных проектов в штате Джарханд (Jharkhand): строительство железорудного ГОКа и металлургического завода мощностью 1 млн т/год стали, в отношении которого уже подписан Меморандум взаимопонимания с правительством. Компания подчеркивает, что штат Джарханд располагает месторождениями железной руды очень высокого качества.

Пакистан

Пакистанская компания Aisha Steel Mills — подразделение Arif Habib Group — опубликовала план дальнейшего увеличения мощности своего завода на втором этапе программы реконструкции до 850 тыс. т/год. В настоящее время компания производит 220 тыс. т/год стали, в течение следующих 18 месяцев планируется завершить первый этап расширения мощностей, в резуль-

тате чего производство стали достигнет уровня 700 тыс. т/год, после чего компания приступит к реализации второго этапа.

В будущем компания планирует увеличить мощности по производству холоднокатаного листа до 1 млн т/год.

ДОБЫЧА И ОБОГАЩЕНИЕ ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ. ПРОИЗВОДСТВО ОКАТЫШЕЙ

Индия

Индийская горнодобывающая компания NMDC в начале 2018 г. планирует начать испытания оборудования на своем строящемся металлургическом заводе. Завод полного цикла мощностью 3 млн т/год строится в г. Нагарнар (Nagarnar), штат Чхаттисгарх. Компания рассчитывает, что в течение 2018 г. завод будет выведен на 50 % мощности и в 2019 г. — на 80 % мощности.

Завод будет производить в основном сортовой прокат.

Компания также приступила к строительству в Нагарнаре фабрики окомкования мощностью 2 млн т/год окатышей. Фабрика будет работать на базе железной руды, добываемой на шахте Bailadila iron ore mines в этом же штате, которая производит 7 млн т/год руды. Потребности в железной руде для обеспечения работы завода мощностью 3 млн т/год оцениваются в 5 млн т/год.

Иран

Иранская компания Sirjan Iranian Steel Co. ввела в эксплуатацию фабрику окомкования мощностью 2,5 млн т/год в г. Сирджан (Sirjan), провинция Керман. Фабрика была построена с использованием технологии с перемещающимся колосником (travelling grate pelletizing), разработанной китайской компанией Sinosteel Corp. По заявлению Sinosteel, технология имеет серьезные преимущества по сравнению с известными процессами в отношении выбросов газов, производительности и потребления энергии.

Фабрика в г. Сирджан является первой, реализованной компанией Sinosteel в Иране. Компания образована в 1993 г. и всего реализовала более 150 проектов в мире в области добычи и переработки сырья, изготовления и поставки оборудования и инжиниринга.

Иранская государственная компания National Industries and Mining Development Co. начала экс-

плуатацию в пилотном режиме обогащательной фабрики, построенной в Минеральной зоне области Санган (Sangan Mineral Zone), провинция Хорасан-Резави. Фабрика будет производить 2,5 млн т/год железорудного концентрата. За период с марта по октябрь 2017 г. в Иране произведено 21,88 млн т концентрата, т. е. на 19 % больше в годовом исчислении по сравнению с прошлым годом.

К 2025 г. Иран планирует выплавлять 55 млн т/год стали и стать шестой по объему выплавки стали страной в мире. Это потребует производства 86 млн т концентрата, помимо других сырьевых материалов. В настоящее время Иран производит 16,23 млн т/год стали.

США

Компания Cleveland Cliffs объявила о решении построить завод по производству горячебрикетированного железа (ГБЖ) в г. Толедо, штат Огайо. Предполагается, что завод будет работать на руде месторождений таконита в штате Миннесота, которые в настоящее время обеспечивают железной рудой доменные печи.

Завод по производству ГБЖ стоимостью 700 млн долл. планируется ввести в эксплуатацию в 2020 г.

КОКСОХИМИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Индия

Индийская компания TATA Steel ввела в эксплуатацию крупнейшую в Индии установку сухого тушения кокса производительностью 200 т/ч на своем комплексе Kalinganagar Industrial Complex в штате Одиша (Odisha).

Выгружаемый из печей кокс охлаждается сухим инертным газом, который направляется в теплообменник. Извлекаемое тепло используется для производства электроэнергии. Технология сухого тушения позволяет снизить выбросы диоксида углерода до уровня 0,11–0,14 т/т кокса и выбросы пыли до 300–400 г/т кокса. Кроме того, технология обеспечивает значительную экономию воды.

Япония

Японская компания JFE Steel Co. планирует построить новую агломерационную фабрику взамен существующей фабрики № 3 в г. Фукуяма (Fukuama). Оборудование для фабрики производительностью 4,8 млн т/год поставит фирма Primetals Technologies. Объем поставки включает технологическое оборудование аглофабрики, а также оборудование участка охлаждения агломерата и участка транспортировки продукции фабрики. Кроме того, Primetals Technologies поставит оборудование системы рециркуляции от-

ходящих газов, которое позволит значительно снизить уровень выбросов вредных газов в атмосферу.

JFE Steel основана в 2003 г. и в настоящее время имеет семь металлургических заводов. Компания производит листовую и сортовую металлопродукцию, толстый лист, электротехническую сталь, трубы, прокат из нержавеющей стали, катанку, железные порошки, а также изделия из титана.

ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА

Индия

Индийская компания Bhushan Power & Steel Ltd (BPSL) ввела в эксплуатацию новую доменную печь в г. Ренгали (Rengali), штат Одиша. Проект печи производительностью 4450 т чугуна в день был выполнен фирмой Paul Wurth. Печь объемом 2015 м³ и диаметром пода 9,6 м имеет 2 летки и 25 фурм, бесконусную систему загрузки Bell Less Top®. В состав печи входит также цех гранулирования шлака INBA®, проект которого был также разработан фирмой Paul Wurth, и система дувания пылеугольного топлива.

Строительство печи осуществила фирма BPSL.

КИСЛОРОДНО-КОНВЕРТЕРНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Индия

Индийская компания Jindal Steel and Power Ltd (JSPL) ввела в эксплуатацию 250-т кислородный конвертер производительностью 3 млн т/год на своем заводе в г. Ангул (Angul), штат Одиша. С вводом нового конвертера мощность завода достигла 11,6 млн т/год стали. Конвертер был поставлен фирмой SMS Group. Ранее в августе 2017 г. на заводе была пущена новая домна производительностью 4 млн т/год. Завод имеет фабрику по производству железа прямого восстановления производительностью 2 млн т/год, сортопрокатный стан производительностью 1,5 млн т/год и толстолистовой стан производительностью 1,2 млн т/год.

НЕПРЕРЫВНАЯ РАЗЛИВКА

Слябовые МНЛЗ

Бразилия

Бразильская компания ArcelorMittal Tubarao подписала контракт с фирмой Danieli на реконструкцию слябовой МНЛЗ, которая эксплуатируется в г. Серра (Serra). Проект реконструкции

включает полную замену всех кристаллизаторов, механизмов качания кристаллизаторов и всех изношенных механических частей машины, а также реконструкцию зоны обслуживания МНЛЗ. Целью реконструкции является модернизация системы динамического мягкого обжатия слитка, повышение производительности МНЛЗ и улучшение качества отливаемых слитков.

Двухручьева МНЛЗ № 2 вертикально-криволинейного типа была построена в 1998 г. Машина отливает слябы толщиной 200/225/250 мм и шириной от 1050 до 2100 мм, которая после реконструкции увеличится до 2300 мм. Разливаемые стали — углеродистые (высокоуглеродистые, средне- и низкоуглеродистые, а также стали со сверхнизким содержанием углеродом), перитектические, высокопрочные низкоуглеродистые класса HSLA, а также микрелегированные.

В результате реконструкции МНЛЗ будет оснащена самыми новейшими разработками в области конструкций машин непрерывного литья:

- Q-LEVEL+ — система автоматического контроля уровня расплава в кристаллизаторе;
- Q-WIDTH — система автоматического регулирования ширины кристаллизатора;
- Q-INMO+ — гидравлическая система качания кристаллизатора;
- Q-COOL — система динамического вторичного охлаждения слитка с независимым контролем ширины;
- Q-CORE и Q-PULSE — система динамического гидравлического мягкого обжатия слитка;
- Q-OPTIMUM и Q-ROLL — система автоматической регулировки зазора и смазки подшипников воздушно-масляной эмульсией;
- HI-PROFILE — система инспекции сляба.

Пуск МНЛЗ после реконструкции планируется на II кв. 2019 г. МНЛЗ № 1, работающая на этом же заводе, была реконструирована фирмой Danieli в 2012 г.

Сортовые МНЛЗ

Индия

Фирма Primetals Technologies поставит сортовую МНЛЗ для завода индийской компании Star Wire Ltd. в г. Баллабгарх (Ballabgarh), штат Харьяна. МНЛЗ будет отливать от 30 тыс. до 60 тыс. т/год заготовки в зависимости от марки разливаемой стали.

МНЛЗ будет производить квадратную заготовку размерами 145×145 и 195×195 мм и в будущем — размерами 350×350 мм. Разливаемые стали будут включать аустенитные и мартенситные теплостойкие марки, инструментальные стали, нержавеющие (ферритные, мартенситные и аустенитные) и другие специальные стали.

Машина будет оснащена такими системами автоматизации, как: DiaMold (система контроля кристаллизатора), DynaFlex (система качания кристаллизатора), LevCon (система автоматического контроля уровня расплава в кристаллизаторе), DynaGap (система мягкого обжатия слитка), Dynacs (модель вторичного охлаждения слитка).

Планируется, что заказ по изготовлению оборудования МНЛЗ и ее пуск в эксплуатацию будет выполнен совместно фирмами Primetals Technologies Austria GmbH и Concast (India) Ltd — подразделением Primetals Technologies Group Co.

В соответствии с контрактом новая МНЛЗ будет введена в эксплуатацию в конце 2018 г.

Испания

Испанская компания ArcelorMittal Asturias подписала контракт с фирмой SMS group на реконструкцию двухручьева слябовой МНЛЗ № 2. Машина производительностью 1,9 млн т/год была поставлена этой же фирмой в 1987 г. и отливает слябы толщиной 235 и 280 мм и шириной 1600 мм. После реконструкции производительность МНЛЗ увеличится до 2,7 млн т/год и она будет производить слябы толщиной 235, 300 и 365 мм. Ширина сляба будет варьироваться от 800 до 2200 мм, при этом изменение ширины кристаллизатора будет выполняться дистанционно в процессе работы без снижения скорости разливки.

Механизм качания кристаллизатора будет заменен на гидравлический, при этом амплитуда и частота качания также могут изменяться в процессе разливки. МНЛЗ будет оборудована системой контроля кристаллизатора (Mold Monitoring System), которая будет контролировать распределение температуры в корочке слитка, что позволит предотвратить прорывы на ранней стадии их возникновения. Кроме того, на участке вторичного охлаждения слитка будет установлена система охлаждения водо-воздушной смесью и система DSC® (Dynamic Solidification Control — динамическая система контроля затвердевания слитка). Система Dynamic Soft Reduction® (система динамического мягкого обжатия слитка) позволит достичь требуемой микроструктуры слитка.

Ранее в конце 2016 г. фирма SMS group реконструировала МНЛЗ № 1 на этом же заводе.

Завод ArcelorMittal Avilés производит высококачественный лист для автомобильной промышленности и жечь для последующего лужения, а также толстолистовой прокат.

Китай

Частная китайская компания Changzhou Zhongtian Iron & Steel (Zenith Steel) ввела в экс-

платацию блюмовую МНЛЗ после ее реконструкции. Реконструкцию пятиручьевого машины производительностью 1,3 млн т/год осуществила фирма Primetals Technologies, которая поставила данную МНЛЗ в 2013 г. После реконструкции МНЛЗ может отливать, кроме блюмов круглого и квадратного сечения, заготовку прямоугольного сечения размером 280×320 мм.

Завод компании Changzhou Zhongtian Iron & Steel (Zenith Steel) мощностью более 10 млн т/год стали находится в г. Чанчжоу (Changzhou), провинция Цзянсу. Компания производит бесшовные трубы, прокат из конструкционных, а также подшипниковых и пружинных сталей.

МНЛЗ имеет систему DynaFlex гидравлического качания кристаллизатора и систему LevCon контроля уровня расплава в кристаллизаторе. Ручей с кристаллизатором прямоугольного сечения оборудован системой DynaGap Soft Reduction мягкого обжатия слитка.

ПРОКАТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Производство листового проката

Вьетнам

Вьетнамская компания Hoa Phat Steel планирует строительство цеха по производству горячекатаной полосы мощностью 3,5 млн т/год в Экономической зоне Зунг Куат (Dung Quat). Оборудование двух слабовых МНЛЗ и стана горячей прокатки поставит фирма Danieli. МНЛЗ, оборудованные системами мягкого обжатия, будут производить слябы толщиной 70–85 мм. Слябы будут нагреваться в двух линиях нагревательной печи типа “шаттл” и направляться на прокатный стан. Стан будет катать полосу толщиной от 1,5 до 12 мм и шириной от 900 до 1500 мм из обычных и специальных сталей, включая стали категории API. В перспективе производительность стана может быть увеличена до 4,0 млн т/год после того, как будет реконструирована МНЛЗ и в линию стана будет добавлена еще одна моталка.

Стан QSP имеет конфигурацию 2+4 (2 клетки с высоким обжатием сляба и 4 чистовых), оборудован системой ламинарного охлаждения полосы, системой контроля качества полосы. В дальнейшем планируется добавить еще одну чистовую клетку, что позволит расширить сортамент выпускаемой продукции. Цех планируется к вводу в эксплуатацию в 2019 г.

Ранее компания Danieli поставила для Hoa Phat Steel оборудование для доменной печи, сортовой МНЛЗ, стана холодной прокатки и линий нанесения покрытий.

Вьетнамский производитель холоднокатаной полосы компания Hoa Sen Group ввела в эксплуатацию новый двухклетевой реверсивный стан холодной прокатки (CCM®) производительностью 400 тыс. т/год. Стан был поставлен фирмой Esmech Equipment Pvt. Ltd, которая является подразделением SMS group.

Стан имеет две шестивалковые клетки, оборудованные системой CVC®plus продольной сдвижки валков и другими компонентами, обеспечивающими высокое качество проката. Стан будет производить полосу шириной до 1250 мм и толщиной до 0,11 мм из углеродистых сталей.

В сентябре Hoa Sen Group разместила заказ на фирме SMS group на поставку третьего такого же реверсивного двухклетевых стана. Стан будет иметь производительность 350 тыс. т/год и производить холоднокатаную полосу с такими же характеристиками, как и второй стан. Пуск стана запланирован на конец 2018 г.

Вьетнамская компания Nam Kim Steel ввела в эксплуатацию третий реверсивный стан холодной прокатки на своем заводе в провинции Бинь-зюнг (Binh Duong). Стан был поставлен фирмой Esmech Equipment Pvt. Ltd, которая является подразделением SMS group.

Новый стан производительностью 200 тыс. т/год позволяет катать полосу шириной до 1250 мм и толщиной до 0,11 мм. Высокое качество проката обеспечивается системой CVC®plus продольной сдвижки валков, а также системой X-Shape измерения и контроля планшетности полосы. Кроме того, стан оборудован системой X-Pact® электроснабжения и автоматики, разработанной фирмой SMS group.

Индия

Индийская государственная корпорация SAIL приняла решение построить новый стан горячей прокатки полосы на одном из своих заводов — Rourkela Steel Plant (RSP), расположенном в г. Руркела, штат Одиша. Строительство стана производительностью 3 млн т/год планируется начать в 2018 г. Вместе с новым толстолистовым станом, производящим лист для нефте- и газопроводных труб, завод значительно расширит выпуск продукции с высокой добавленной стоимостью.

Индонезия

Индонезийская компания PT. Gunung Raja Paksi (GRP) ввела в эксплуатацию новый реверсивный стан холодной прокатки на своем заводе в г. Бекаси (Bekasi). Стан поставлен германской фирмой SMS group. Шестивалковый стан производительностью 200 тыс. т/год оборудован системой CVC®plus продольной сдвижки валков, системой противоигиба рабочих валков, а также

системой X-Pact® электроснабжения и автоматизации.

Стан производит полосу шириной до 1270 мм и минимальной толщиной до 0,15 мм. В случае необходимости стан может переключаться с режима прокатки на режим дрессировки.

Мексика

Итало-Аргентинский конгломерат Techint Group планирует инвестировать 1 млрд долл. в строительство нового стана горячей прокатки полосы производительностью 3,7 млн т/год в мексиканском штате Нуэво-Леон (Nuevo Leon). Стан будет производить горячекатаный лист для автомобильной промышленности, бытовой техники, машиностроения и строительства. Пуск завода намечен на 2020 г.

Строительство стана будет осуществлять компания Ternium — одна из шести основных компаний, входящих в Techint Group.

США

Испанская компания Acerinox ввела в эксплуатацию две новые линии на площадке своего завода North American Stainless (NAS) в штате Кентукки, США. Строительство новых линий светлого отжига и стана холодной прокатки обошлось компании в 150 млн долл. Благодаря новому оборудованию NAS будет производить нержавеющей лист в состоянии после светлого отжига, потребность в котором в США очень велика и покрывается в основном за счет импорта. С пуском новых линий NAS, очевидно, станет основным производителем в США нержавеющей листа светлого отжига.

Американская компания Nucor Steel Hickman — подразделение Nucor Corp. — объявила о планах строительства нового комплекса по производству холоднокатаного листа в округе Миссисипи, штат Арканзас.

Планируется, что новый комплекс будет производить лист из высокопрочных и высокопрочных низколегированных сталей для автомобильной промышленности, которые в настоящее время компания не производит.

Ожидается, что строительство нового комплекса стоимостью 230 млн долл. займет два года.

Производство сортового проката

Испания

Фирма SMS group получила контракт от испанской компании Forjas Iraeta Heavy Industry, S.L., входящей в группу GRI Group, на поставку нагревательной печи с шагающей балкой производительностью 30 т/ч. Печь позволит нагревать

квадратную заготовку размерами 200–500 мм и круглую — диаметром от 300 до 700 мм и длиной от 3 до 5 м.

SMS предстоит вписать конструкцию печи в существующий прокатный стан, а также в существующую систему автоматизации технологическим процессом. Кроме того, SMS в рамках контракта осуществит модернизацию цеха водоочистки в соответствии с новыми требованиями.

Италия

Итальянская металлургическая компания Ferriera Valsabbia S.p.A. разместила заказ на фирме Primetals Technologies на поставку агрегата ERT-EBROS сварки заготовки для сортопрокатного стана в г. Одоло (Odolo), провинция Брешиа (Brescia). Агрегат производительностью 900 тыс. т/год обеспечит реализацию технологии непрерывной прокатки и повысит производительность стана и эффективность его использования. Объем поставки Primetals Technologies, кроме сварочной машины, включает участок зачистки заготовки после сварки, рольганг, индукционный нагреватель, а также необходимое электрическое оборудование и систему автоматизации.

Планируется, что первый в Италии агрегат ERT-EBROS будет пущен в сентябре 2018 г.

Компания Ferriera Valsabbia является одним из крупнейших производителей арматуры в Италии. Мини-завод мощностью 900 тыс. т/год, принадлежащий компании, производит заготовку для сортопрокатного стана, поставленного фирмой Primetals Technologies в 2008 г. Стан работает на квадратной заготовке размером 150×150 мм (в будущем — 160×160 мм) и производит арматуру диаметром от 8 до 40 мм.

Казахстан

Государственное предприятие Республики Казахстан Актюбинский рельсобалочный завод (АРБЗ) ввел в эксплуатацию современный рельсобалочный стан, поставленный фирмой Primetals Technologies Italy S.r.l.

Проектная мощность АРБЗ составляет 430 тыс. т/год металлопродукции. Прежде всего, это 200 тыс. т/год термоупрочненных рельсов Р65 длиной 120 м, предназначенных для высокоскоростных магистралей. Для упрочнения рельсов в линии стана применяется технология Idrha+(Injector Dual-phase Rail Hardening — технология инжекторного двухфазного упрочнения рельсов), разработанная совместно Primetals Technologies и исследовательским центром Centro Sviluppo Materiali SpA RINA-CSM.

Кроме того, стан будет производить 230 тыс. т фасонного проката — балки, уголки, швеллеры. Это позволит удовлетворить потребность Казах-

стана и соседних стран в рельсобалочной продукции.

В будущем завод планирует производить рельсы нового вида — 60E1 и 60E2 — в соответствии с евростандартом EN 13674-1:2011. Продукция этого типа используется в Иране, ОАЭ, странах Европы, Африке.

В настоящее время для данного региона разрабатывается концепция создания металлургического кластера, в частности, планируется создать собственное сталеплавильное производство.

США

Американская компания Nucor Corp. объявила о планах строительства нового среднесортного стана производительностью 500 тыс. т/год на площадке своего завода Bourbonnais mill в штате Иллинойс.

Строительство стана планируется завершить через два года, стоимость строительства оценивается в 180 млн долл.

Филиппины

Компания SteelAsia Manufacturing Corp. (Филиппины) разместила заказ на фирме SMS group на поставку оборудования для нового сортопрокатного стана производительностью 500 тыс. т/год. Стан будет построен в индустриальном парке Phoenix Petroterminal Industrial Park, провинция Батангас (Batangas), и станет седьмым прокатным станом компании. Стан будет производить обычные и широкополочные балки, уголок, швеллеры и другой сортовой прокат различного профиля. Широкий сортамент выпускаемого проката будут обеспечивать 18 клетей горизонтальной, вертикальной и универсальной конфигурации. В линии стана будут также включены линии закалки и отпуска, что позволит производить прокат с термообработкой. Стан будет полностью автоматизирован. Пуск стана запланирован на 2018 г.

SteelAsia Manufacturing Corp. является крупнейшим производителем арматуры в юго-восточном регионе Азии. Совокупные мощности компании, на которых производится 50 % сортового проката, выпускаемого в стране, составляют 2,3 млн т/год.

КОВОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

США

Американская компания North American Forgemasters (NAF) ввела в эксплуатацию кодовый гидравлический пресс 90-MN усилием 10120 т, который поставила фирма Danieli Breda. Общий вес оборудования пресса составляет 2800 т. Пресс позволяет подвергать ковке заготовку ве-

сом 150 т, при этом длина хода пуансона может составлять 3,1 м. Пресс обслуживается рельсовым манипулятором грузоподъемностью 200 т, мобильным манипулятором грузоподъемностью 100 т и мостовым краном грузоподъемностью 190 т.

ПРОИЗВОДСТВО ТРУБ

Алжир

Алжирская компания Alfaripe ввела в эксплуатацию линию Alfaripe 80" по производству спиральношовных труб на своем заводе Ghardaia plant (г. Гардая). Оборудование линии было поставлено фирмой Danieli W+K — подразделением Danieli. Линия позволяет производить трубы из полосы толщиной до 25,4 мм в соответствии со стандартом API 5L для использования в нефте- и газопроводах.

Кроме того, Alfaripe строит еще одну линию по производству труб на своем заводе Annaba plant, оборудование для которой также поставлено фирмой Danieli W+K. Линию планируется ввести в эксплуатацию в первой половине 2018 г.

Саудовская Аравия

Компания Global Pipe Co. (GPC), расположенная в г. Эль-Джубайль, разместила на фирме SMS group заказ на поставку механического экспандера и оборудования для гидростатического испытания труб для новой трубосварочной линии производительностью 200 тыс. т/год. Экспандер усилием 10 MN будет установлен на финишном участке линии и позволит обеспечить требуемый диаметр труб в диапазоне 610–1420 мм. Новый участок гидростатического испытания позволит тестировать трубы диаметром от 406 до 1575 мм при максимальном давлении до 650 бар.

Новая линия планируется к вводу в эксплуатацию в III кв. 2018 г. и увеличит мощности компании по производству труб до 400 тыс. т/год.

США

Компания Tenaris начала ввод в эксплуатацию оборудования нового завода по производству бесшовных труб, построенного в г. Бей-Сити (Bay City), штат Техас. Завод мощностью 600 тыс. т будет производить трубы и трубные изделия для обустройства нефтяных и газовых скважин в штатах Техас и Оклахома. Оборудование завода обеспечивает полный технологический цикл от нагрева заготовки в роторной печи, ее прошивки, прокатки до нарезки резьбы.

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И ОТДЕЛКА ПРОКАТА

США

Американский производитель легированных и специальных сталей компания TimkenSteel ввела в эксплуатацию новую печь закалки-отпуска проката на своем заводе Gambirinus Steel Plant в штате Огайо. Оборудование современной печи производительностью 50 тыс. т/год поставлено фирмой SMS group. Печь позволяет осуществлять термообработку сортового проката и труб размерами от 102 до 2900 мм. С пуском новой печи мощности компании по термообработке проката увеличились до 500 тыс. т/год.

МЕТАЛЛ С ПОКРЫТИЯМИ

Китай

Китайская компания Shougang Jingtang United Iron & Steel Co., Ltd подписала контракт с фирмой SMS group на поставку оборудования для новой линии горячего цинкования полосы. Линия производительностью 360 тыс. т/год будет построена на площадке завода на искусственном острове Цаофейдиан (Caofeidian Island) в провинции Хэбэй.

Линия станет шестым агрегатом горячего цинкования и позволит наносить покрытия на полосу шириной до 1580 мм и толщиной от 0,6 до 3 мм из низколегированных высокопрочных сталей, а также сталей категории DP и Q&P для конструктивных элементов автомобилей и деталей кузова. Оборудование линии будет включать систему контроля натяжения полосы, дрессировочный стан, триммер для обрезки кромок, а также систему BREIMO измерения ширины полосы, которую поставит фирма EMG Automation.

Газовый нож фирмы FOEN® будет оборудован системой автоматического контроля ширины зазора и камерами для непрерывного контроля качества цинкового покрытия.

В составе линии будет также специальная печь, которую поставит фирма Fives. Печь Stein Digiflex®, оборудованная системой нагрева AdvanTek® WRT 2.1, позволит производить сверхвысокопрочные стали категории UHSS. Данная категория сталей является комплексными материалами с точно подобранным химическим составом и многофазной структурой, достигаемой при строго контролируемых параметрах процессов нагрева и охлаждения. С этой целью печь будет оборудована тремя индукторами CELES и системой FlashCooling® контролируемого охлаждения полосы в атмосфере, содержащей 75 % водорода.

Мьянма

Компании JFE Steel Corp. (JFE Steel), Meranti Steel Pte. Ltd (Meranti), JFE Shoji Trade Corp. (JFE Shoji), Marubeni-Itochu Steel Inc. (MISI), и Hanwa Co., Ltd (Hanwa) объявили о создании совместного предприятия JFE Meranti Myanmar Co., Ltd, которое будет производить оцинкованный лист и металл с полимерными покрытиями в Мьянме (бывшая Бирма). После получения разрешения соответствующих инстанций компания приступит к строительству зданий и поставке оборудования. Планируется, что предприятие будет иметь линию горячего цинкования производительностью 180 тыс. т/год и линию нанесения полимерных покрытий производительностью 100 тыс. т/год, которые будут введены в эксплуатацию в 2020 г. Стоимость строительства предприятия оценивается в 85 млн долл.

Подборка экспресс-информации в этом номере сделана по материалам, опубликованным в периодических зарубежных информационном источниках за период январь–февраль 2018 г.

А.М. Овчинников

НОВОСТИ ЗАРУБЕЖНОЙ ПЕРИОДИКИ

1. Влияние состава восстановительного газа на измельчение железорудного агломерата. Influence of Reducing Gas Composition on Disintegration Behavior of Iron Ore Agglomerates / M. Mizutani, T. Nishimura, T. Orimoto et al. // ISIJ International. 2017. V. 57. № 9. С. 1499–1508 (англ.).
2. Однородность и активность горна доменной печи по данным мониторинга температуры пламени в зоне циркуляции перед фурмами. Uniformity and Activity of Blast Furnace Hearth by Monitoring Flame Temperature of Raceway Zone / D. Zhou, S. Cheng, R. Zhang et al. // ISIJ International. 2017. V. 57. № 9. С. 1509–1516 (англ.).
3. Режим брикетирования мелкозернистой австралийской магнетито-гётитовой железной руды. Briquetting Conditions for Australian Hematite-Goethite Iron Ore Fines / K.R. Vining, J. Khosa, G.J. Sparrow // ISIJ International. 2017. V. 57. № 9. С. 1517–1523 (англ.).
4. Влияние беззольного угля (“гиперуголь”, HPC) на прочность феррококса при температуре спекания. Effect of HPC (Hyper-coal) on Strength of Ferro-coke during Caking Temperature / A. Uchida, Y. Yamazaki, S. Matsuo et al. // ISIJ International. 2017. V. 57. № 9. С. 1524–1530 (англ.).
5. Газопроницаемость зоны когезии в доменной печи. Gas Permeability in Cohesive Zone in the Ironmaking Blast Furnace / J. Ishii, R. Murai, I. Sumi et al. // ISIJ International. 2017. V. 57. № 9. С. 1531–1536 (англ.).
6. Образование и развитие неметаллических включений в стали со средним уровнем Mn в процессе внепечной обработки. Formation and Evolution of Non-metallic Inclusions in Medium Mn Steel during Secondary Refining Process / L. Kong, Z. Deng, M. Zhu // ISIJ International. 2017. V. 57. № 9. С. 1537–1545 (англ.).
7. Влияние состава шлака на включения типа $MgO \cdot Al_2O_3$ шпинели в жидкой стали. Effect of Slag Composition on $MgO \cdot Al_2O_3$ Spinel-Type Inclusions in Molten Steel / A. Harada, A. Matsui, S. Nabeshima et al. // ISIJ International. 2017. V. 57. № 9. С. 1546–1552 (англ.).
8. Картины многофазного вихревого потока в кристаллизаторе слябовой МНЛЗ: экспериментальное исследование. Multiphase Vortex Flow Patterns in Slab Caster Mold: Experimental Study / P.S. Srinivas, A. Singh, J.M. Korath et al. // ISIJ International. 2017. V. 57. № 9. С. 1553–1562 (англ.).
9. Экспериментальное исследование и численный расчет характеристики крутильных колебаний валковой системы в черновой клети стана горячей прокатки. Experimental and Numerical Investigation on the Roll System Swing Vibration Characteristics of a Hot Rolling Mill / Y. Peng, M. Zhang, J.-L. Sun et al. // ISIJ International. 2017. V. 57. № 9. С. 1567–1576 (англ.).
10. Условия черновой прокатки крупнозернистых сталей для высокотемпературной обработки применительно к компактному производству полос. Roughing of Thick, Coarse-grained High-temperature-processing Steels Processed via Compact Strip Production / K.M. Banks, A.S. Tuling, D.R.N. Maubane // ISIJ International. 2017. V. 57. № 9. С. 1586–1594 (англ.).
11. Влияние изменения объема на деформацию во время горячей прокатки неориентированной электротехнической стали. Effect of Volume Changes on Hot Rolling Deformation Behavior of Non-oriented Electrical Steel / C. Liu, A. He, Y. Qiang et al. // ISIJ International. 2017. V. 57. № 9. С. 1595–1602 (англ.).
12. Прямое наблюдение фазового превращения $\delta \rightarrow \gamma$ в двухфазной нержавеющей стали с разным содержанием азота. In-situ Observation of $\delta \rightarrow \gamma$ Phase Transformation in Duplex Stainless Steel Containing Different Nitrogen Contents / Y. Zhao, Y. Sun, X. Li et al. // ISIJ International. 2017. V. 57. № 9. С. 1637–1644 (англ.).
13. Удаление фосфата из водных растворов с применением гидросиликата кальция, полученного из доменного шлака. Phosphate Removal from Aqueous Solutions Using Calcium Silicate Hydrate Prepared from Blast Furnace Slag / Y. Kuwahara, H. Yamashita // ISIJ International. 2017. V. 57. № 9. С. 1657–1664 (англ.).
14. Изучение и применение износостойких огнеупоров в зоне охлаждения печей тушения кокса. Research and Application of Wear Resistant Refractories for Cooling Zone of Large Scale Coke Dry Quenching Ovens / G. Xu, J. Sheng, Y. Lyu // Chinas Refractories. 2017. V. 26. № 2. С. 17–20 (англ.).
15. Анализ аномальной эрозии шлаковой зоны монолитного стопора. Analysis on Abnormity Erosion of Monolithic Stopper Slag Line / J. Yao, J. Jin, C. Jin et al. // Chinas Refractories. 2017. V. 26. № 2. С. 21–24 (англ.).
16. Факторы, влияющие на срок службы высокохромистых огнеупоров для газификаторов шлама угольной воды. Main Influencing Factors on Service Life of High Chrome Refractories for Coal Water Slurry Gasifiers / P. Hu, J. Wang, K. Ceng et al. // Chinas Refractories. 2017. V. 26. № 2. С. 31–34 (англ.).
17. Сравнительный анализ новой безуглеродистой и традиционной углеродсодержащей футеровки на 120-тонных ковшах LF-RH установки. Comparative Analysis on New Type Carbon Free Lining and Traditional Carbon Containing Lining Applied on 120-ton LF-RH Refining Ladles / S. Li, H. Zhang, X. Li et al. // Chinas Refractories. 2017. V. 26. № 2. С. 35–38 (англ.).

18. Повышение абразивного износа бетона для патрубка RH-установки. Improvement of Abrasion Resistance of Castable for RH Snorkel / C. Kubo, K. Yanagi, T. Soeda // Taikabutsu = Refractories. 2017. V. 69. № 6. С. 275–281 (япон.).
19. Содействие повреждению скользящих поверхностей пластины стакана в условиях пониженного давления. Promotion of Damage of Sliding Surfaces at Sliding Nozzle Plate under Reduced Pressure Conditions / T. Makino, K. Akamine, K. Morikawa et al. // Taikabutsu = Refractories. 2017. V. 69. № 6. С. 282–287 (япон.).
20. Поведение шлакообразующих смесей при рекристаллизации. Recrystallization Behavior of Mold Powder / M. Okada, Y. Iwamoto, M. Nakamura // Taikabutsu = Refractories. 2017. V. 69. № 6. С. 288–293 (япон.).
21. Изменение физических свойств бетона при использовании изделий, содержащих утилизируемый заполнитель. Physical Property Changes of Castable in Repeat Utilization of Products Containing Recycled Aggregate Material / S. Shibasaki, Y. Oba, N. Ueno // Taikabutsu = Refractories. 2017. V. 69. № 6. С. 294–299 (япон.).
22. Методы неразрушающего контроля (NDT) для трубопрокатных станков. Non-Destructive Testing (NDT) Methodologies for Tube and Pipe Mills / M. Plut // Iron & Steel Technology. 2017. V. 14. № 8. С. 120–125 (англ.).
23. Повышение точности прогнозирования износа рабочих валков полосового стана горячей прокатки. Improving the Accuracy of Predicting Work Roll Wear in Hot Strip Mill / E. Nikitenko // Iron & Steel Technology. 2017. V. 14. № 11. С. 40–44 (англ.).
24. Он-лайн измерение крутящего момента для повышения надежности и времени работы стана горячей прокатки. On-Line Torque Measurement to Improve Reliability and Uptime of Hot Mill / M. Assar, D. Hardman, T. Martz // Iron & Steel Technology. 2017. V. 14. № 11. С. 46–54 (англ.).
25. Местонахождение азота в угле в процессе нагрева. Fate of the Chlorine in Coal in the Heatirm Process / N. Tsubouchi, Y. Mochizuki, Y. Wang et al. // Tetsu-to-Hagane. 2017. T. 103. № 8. С. 443–450 (япон.).
26. Визуализация пространственного распределения неметаллических включений в стали. Visualization of 3 Dimensional Distributions of Non-Metallic Inclusions in Steels / M. Wakon, S. Inoue, N. Tsuji // Tetsu-to-Hagane. 2017. T. 103. № 8. С. 451–457 (япон.).
27. Влияние расположения сопел и расстояния от поверхности на характеристику газоструйного охлаждения. Effect of Nozzle Geometry and Distance on Cooling Pertormance of Impinging Jets / H. Kobayashi, K. Kabeya, Y. Takashima et al. // Tetsu-to-Hagane. 2017. T. 103. № 8. С. 458–467 (япон.).
28. Повышение качества слитка за счет понимания поведения шлакообразующих смесей при разливке с использованием 3D жидкостно-структурной модели. Improving the ingot quality by understanding the behavior of the mold flux during casting process using a 3D fluid/structure numerical simulation model / O. Jaouen, F. Costes, A. Saad // 3rd ESTAD Proceedings. 2017. С. 1179–1188 (англ.).
29. Физическое моделирование донной продувки в ковше: состояние вопроса и проблемы. Physical modeling of bottom gas injection in metallurgical ladles: Status and current challenges / A. Conejo // 3rd ESTAD Proceedings. 2017. С. 1189–1210 (англ.).
30. Численная модель для оптимизации вдувания газа и пылеугольного топлива. 3D numerical model for gas and pulverized coal injection optimization / R. Ferreira, H. Priyadarshi, G. Ghazal et al. // 3rd ESTAD Proceedings. 2017. С. 1474–1483 (англ.).
31. Новая долговечная система медных плитовых холодильников для доменной печи. New designed long-life copper stave cooling system for blast furnace / J. Kim, K. Moon, Y. Nam et al. // 3rd ESTAD Proceedings. 2017. С. 1576–1582 (англ.).
32. Анализ разрушения медных плит и технология их восстановления на доменной печи № 4 в Поханге. Analysis of copper stave breakage and restoration technology in Pohang no.4 Blast Furnace / K. Kim, S. Choi, Y. Son et al. // 3rd ESTAD Proceedings. 2017. С. 1614–1623 (англ.).
33. Улучшение работы доменной печи № 2 в Лотарингии после модернизации системы загрузки. Improvement of overall blast furnace performance after the revamping of the top charging system at ArcelorMittal Atlantique et Lorraine BF-2 / J. Daulmerie, T. Rabelo nunes campos, L. Boidin et al. // 3rd ESTAD Proceedings. 2017. С. 1624–1632 (англ.).

ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ

(по данным российских и зарубежных СМИ и пресс-служб предприятий)

В РОССИЙСКОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

По данным Росстата, индекс промышленного производства в 2017 г. составил 101 % к 2016 г.

В декабре 2017 г. — 98,5 % к декабрю 2016 г.

Индекс металлургического производства в 2017 г. продемонстрировал снижение и составил 96,4 % к уровню 2016 г.

В декабре 2017 г. по сравнению с декабрем 2016 г. — 94,5 %.

Индекс производства готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования, в 2017 г. по сравнению с 2016 г. составил 97,3 %.

В декабре 2017 г. по сравнению с декабрем 2016 г. — 105,8 %.

По данным Росстата, выпуск важнейших видов продукции черной металлургии за 2017 г., млн т

Продукция	2017 г.	Изменение 2017 г./2016 г., %
Концентрат железорудный	95,0	93,7
Ферросилиций, тыс. т	841,0	89,9
Чугун	52,2	100,5
Сталь нелегированная в слитках или в прочих первичных формах и полуфабрикаты из нелегированной стали	54,5	99,7
Прокат готовый черных металлов	60,9	100,7

По данным Росстата, по предварительным итогам за 2017 г. металлургические предприятия изготовили 52,2 млн т чугуна (чугун зеркальный и переделный в чушках, болванках или прочих первичных формах), что на 0,5 % выше объемов 2016 г.

В декабре производство чугуна составило 4,4 млн т, выросло относительно декабря 2016 г. на 2,3 %.

По данным Росстата, по предварительным итогам за 2017 г. российские металлурги произвели 60,9 млн т готового проката, что на 0,7 % выше объема 2016 г.

В декабре 2017 г. производство готового проката черных металлов выросло на 1,2 % по сравнению с декабрем 2016 г.

Экспорт из России в январе–декабре 2017 г.

Показатель	Объем, тыс. т
Руды и концентраты железные	21064,5
Кокс и полукокс	2919,6
Чугун	4819,1
Ферросплавы	743,1
Полуфабрикаты из углеродистой стали	14377,0
Прокат плоский из углеродистой стали	8632,8

По данным Федеральной таможенной службы (ФТС), в 2017 г. доля металлов и изделий из них в общем стоимостном объеме экспорта в страны дальнего зарубежья составила 10,2 %.

В 2016 г. доля составляла 9,8 %.

Сократились объемы экспорта полуфабрикатов на 5,5 %, чугуна — на 6,3 %, ферросплавов — на 6,5 %.

Доля металлов и изделий из них в экспорте в страны СНГ составила 12,2 % (в 2016 г. — 11,7 %). Экспорт черных металлов и изделий из них увеличился на 11,1 %, в том числе ферросплавов — на 56,8 %, листового проката — на 18,7 %, полуфабрикатов — на 12,7 %.

Импорт в Россию в январе–декабре 2017 г.

Показатель	Объем, тыс. т
Черные металлы (кроме чугуна, ферросплавов, отходов и лома)	5638,5
Трубы стальные	719,1

По данным ФТС, в 2017 г. в товарной структуре российского импорта из стран дальнего зарубежья удельный вес металлов и изделий из них составил 5,7 %, превысив показатель 2016 г.

Импорт стальных труб, в частности, вырос на 73,2 %, листового проката — на 10,2 %.

Доля металлов и изделий из них в структуре импорта из стран СНГ в 2017 г. составила 16,9 % (рост по сравнению с 2016 г. — 2,5 %). Физический объем импорта листового проката увеличился на 36,5 %, труб стальных — на 26,4 %.

По данным Росстата, по предварительным итогам за 2017 г. трубные предприятия снизили производство стальных бесшовных труб для нефте- и газопроводов на 3,5 %, до 0,66 млн т, по сравнению с объемом 2016 г.

В декабре 2017 г. производство этих труб выросло на 9,2 % по сравнению с декабрем 2016 г. и на 15 % по сравнению с ноябрем 2017 г.

В 2018 г. спрос на ТБД оценивается в диапазоне 2,2–2,3 млн т.

В 2019 г. прогнозируется увеличение до 2,5 млн т, рост связан с реализацией ряда проектов:

– компания ЛУКОЙЛ планирует ввести в эксплуатацию Пяяхинское месторождение, потребление составит около 50 тыс. т;

– компания “Роснефть” возобновляет работу на Ванкоре и ряде других проектов (не менее 150 тыс. т);

– компания “Новатэк” планирует тянуть нитку трубопровода в районе Тарко-Сале и реализует проект по строительству Кольской верфи, кроме того, планируется завершение проекта “Ямал СПГ” (около 10 тыс. т).

– следует учесть также потребности “Газпрома” и “Транснефти”, хотя крупных проектов не заявлено.

Индекс производства кокса и нефтепродуктов в 2017 г. по сравнению с 2016 г. составил 100,6 %.

В декабре 2017 г. индекс составил 100,6 % по сравнению с соответствующим месяцем 2016 г.

Индекс производства по виду деятельности “Добыча полезных ископаемых” в 2017 г. по сравнению с 2016 г. составил 102 %.

В декабре 2017 г. — 99 % по сравнению с соответствующим месяцем 2016 г.

НОВОСТИ РОССИЙСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Группа НЛМК в 2017 г. нарастила производство стали на 3 %, до 17,1 млн т, по сравнению с объемом 2016 г.

Загрузка сталеплавильных мощностей компании увеличилась за год на 3 %, до 98 %.

В 2017 г. сортовой дивизион группы НЛМК нарастил производство стали до 3 млн т.

Производство готового проката достигло 2,3 млн т, что обусловлено ростом экспортных поставок.

Новолипецкий металлургический комбинат (входит в группу НЛМК) ввел в эксплуатацию дробильную установку, которая позволит ежегодно перерабатывать более 12 тыс. т (100 %) отходов деревянной тары.

Древесные отходы станут сырьем в процессе производства ферросилиция, кроме того, реализация этого проекта позволит утилизировать все древесные отходы, которые образуются на комбинате.

Объем инвестиций в проект составил более 46 млн руб.

Предприятие “НЛМК-Калуга” (группа НЛМК, предприятие “НЛМК-Сорт”) освоило производство швеллера шириной 65 мм с параллельными гранями полок.

Потребление швеллера в России в 2017 г. выросло на 5 % по сравнению с аналогичным периодом 2016 г.

Сортамент “НЛМК-Калуга” в настоящее время включает фасонный прокат (стальные уголки 25×4, 63×6, 50×5, 75×5–6, 90×6–7, 100×7–8 и 40×4 мм) и арматуру № 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 и 25.

В 2017 г. компания “ВИЗ-Сталь” (входит в группу НЛМК) увеличила объемы производства на 9 %, до 161,6 тыс. т проката.

Загрузка мощностей компании — 99 %.

Объемы реализации трансформаторного проката в 2017 г. выросли на 5 %, до 160,9 тыс. т, по сравнению с объемом 2016 г.

Позитивная динамика показателей связана с восстановлением мирового спроса на трансформаторную сталь и реализацией проектов, направленных на повышение качества продукции.

В общем объеме продаж доля экспортных поставок составила 78 %. Ключевыми направлениями сбыта являются Индия, страны Ближнего Востока и Северной Америки.

В 2017 г. производство стали на металлургических предприятиях группы ЕВРАЗ составило 14,0 млн т, что на 3,8 % выше показателя 2016 г.

Производство металлопродукции составило 12,7 млн т (рост на 3,2 %).

Производство полуфабрикатов — 5,34 млн т, что на 2,8 % больше. Готового проката было изготовлено 7,3 млн т, что выше результата 2016 г. на 3,4 %.

Нижнетагильский металлургический комбинат (ЕВРАЗ НТМК, входит в ЕВРАЗ групп) в конце февраля 2018 г. введет в строй доменную печь № 7.

В ЕВРАЗ НТМК реализуется масштабный проект по созданию новой доменной печи. Проектная мощность новой домны — 2,5 млн т/год чугуна, после запуска она заменит ДП № 6, оставляемую на капитальный ремонт.

Объем ДП № 7 — 2200 м³. Ориентировочная сумма инвестиций в проект — 170 млн долл.

В настоящее время на комбинате действуют две доменные печи (№ 5 и 6) полезным объемом 2200 м³ каждая, ежегодное производство чугуна составляет около 5 млн т.

ЕВРАЗ НТМК освоил выпуск нового швеллера 30П.

Горячекатаный швеллер высотой 300 мм с параллельными гранями полок обладает высокими показателями жесткости и используется при строительстве конструкций, которые испытывают

высокие нагрузки в процессе эксплуатации.

Профиль активно применяется при строительстве и реконструкции зданий и сооружений, а также в машиностроении.

В 2018 г. “Северсталь” намерена инвестировать около 49,5 млрд руб.

Инвестиции в дивизион “Северсталь Российская сталь” в 2018 г. составят около 32,5 млрд руб. Из них 18 млрд руб. будет направлено на проекты развития.

Это строительство доменной печи № 3 общей стоимостью 28 млрд руб. с вводом в эксплуатацию в 2021 г. и проектной производительностью 2,9 млн т чугуна. В 2018 г. в реализацию этого проекта будет инвестировано 1,3 млрд руб., т. е. около 5,6 % от общей стоимости. В результате строительства доменной печи № 3 мощности “Северстали” по производству чугуна вырастут с 11,7 до 14,6 млн т.

Среди других проектов дивизиона в 2018 г. — модернизация стана горячей прокатки 2000, а также техническое перевооружение турбогенератора № 5 и проект по организации производства широкого проката в цехе холодной прокатки.

Компания намерена сокращать издержки производства, увеличить долю продукции с высокой добавленной стоимостью, кроме того, компания приступит к реализации программы по модернизации доменного производства Череповецкого металлургического комбината.

Инвестиции в ресурсные предприятия компании в 2018 г. составят около 17 млрд руб. Из них около 8,2 млрд руб. — инвестиции в развитие производства. На поддержание существующих мощностей добывающих предприятий в 2018 г. будет направлено около 8,8 млрд руб. Инвестиции в развитие производства на Яковлевском руднике в 2018 г. составят около 1,7 млрд руб., что позволит увеличить объемы добычи предприятия на 50 %, до 1,3 млн т руды.

На мероприятия по улучшению безопасности труда в 2018 г. направлено около 470 млн руб.

В экологические проекты будет инвестировано около 390 млн руб., в информационные технологии — около 3,4 млрд руб.

На Череповецком металлургическом комбинате (ЧерМК, входит в дивизион “Северсталь Российская сталь”) конвертеры оборудованы новой системой отсечки шлака.

Инвестиции составили более 120 млн руб.

Установка комплексной системы отсечки позволит минимизировать попадание конвертерного шлака в сталеразливочный ковш. Новое оборудование обеспечит оптимальное раскисление металла и экономию легирующих ферросплавов. Ожидаемый экономический эффект от системы отсечки шлака — около 90 млн руб/год.

В 2017 г. производство стали в группе ММК выросло до 12,5 млн т, что на 2,5 % больше объема 2016 г.

Производство чугуна выросло на 5,3 %, до 10,2 млн т.

Объемы отгрузки сортового проката за 2017 г. увеличились на 3,3 %, до 1,8 млн т, горячекатаного проката — на 1,4 %, а продукции с высокой добавленной стоимостью — незначительно снизились, до 4,1 млн т. По итогам 2017 г. отгрузка оцинкованного проката осталась на уровне прошлого года, проката с полимерными покрытиями выросла на 22,1 %.

ММК модернизирует коксохимическое производство.

В цехе улавливания и переработки химических продуктов коксохимического производства ММК запущена в работу новая установка по переработке нафталиновой фракции методом высокоэффективной ректификации. Это позволит увеличить выпуск товарного нафталина в 2 раза, а также существенно снизит экологическую нагрузку.

Магнитогорский металлургический комбинат реализует проект по реконструкции доменной печи № 1.

Проект предусматривает реконструкцию литейных дворов ДП № 1, производительность которой по чугуну составляет 1,25 млн т/год, а полезный объем — 1370 м³.

В ходе реконструкции основное технологическое оборудование для выпуска чугуна и шлака будет заменено на современное с гидроприводом, также будет изменена конфигурация и конструкция литейных дворов и внедрена система аспирации.

В 2017 г. ВМК “Красный Октябрь” освоил новые виды продукции, такие как холоднокатаный лист толщиной от 0,8 до 3,5 мм и горя-

чекатаные листы из коррозионностойкой стали и жаропрочных хромоникелевых сплавов.

Кроме того, были произведены листы из титановых сплавов типа ВТ1-0, ПТ-3В и др.

В 2017 г. были произведены первые партии холоднокатаного листа из аустенитно-ферритных сталей с повышенным содержанием кремния, которые имеют высокую коррозионную стойкость к воздействию окислительных и других агрессивных сред, а также был произведен сортовой прокат с термоулучшением из жаропрочных хромоникелевых сплавов и продолжается расширение марочного сортамента конструкционных легированных сталей.

В начале 2018 г. комбинат приступил к производству промышленной партии фасонной и прямоугольной заготовки из высокопрочной стали АК35-9СВ для дальнейшего изготовления на ЕВРАЗ НТМК симметричного полосульбового профиля.

Златоустовский электрометаллургический завод освоил производство жаропрочного сплава на железоникелевой основе, который широко востребован на рынке металлопродукции.

Златоустовский электрометаллургический завод приступил к строительству кузнечно-прессового комплекса.

Комплекс будет состоять из двухколонного гидропресса усилием 25МН для свободнойковки, двух нагревательных камерных газовых печей, двух отжиговых газовых печей, двух манипуляторов (рельсового и мобильного), а также двух электромостовых радиоуправляемых кранов.

Одной из площадок для модернизации предприятия являются пролеты третьего прокатного цеха, где возводится кузнечно-прессовый комплекс, предназначенный для получения кованой заготовки и готовых изделий круглого и квадратного сечений диаметром от 250 до 800 мм и длиной до 10 м. Максимальный вес обрабатываемой заготовки составит 20 т.

Электрометаллургический завод “Амурметалл” рассчитывает в 2018 г. начать модернизацию производства.

Первый этап был запланирован на начало февраля — работы начнутся в сортопрокатном цехе.

В сентябре 2018 г., по планам руководства, начнется установка доменной мини-печи для производства жидкого чугуна, что позволит увеличить объем производства на 40 % и выпускать качественно новый продукт.

В 2018 г. предприятие планирует выпустить до 0,7 млн т проката (в 2017 — 0,2 млн т), в 2019 г. — до 1,5 млн т продукции.

В 2017 г. завод “Ижсталь” (входит в группу “Мечел”) произвел 432 тыс. т металлопродукции, что на 14 % превышает показатель 2016 г.

Выплавка стали увеличилась на 21 %, до 315 тыс. т.

Производство готового проката составило 352 тыс. т, что на 3 % больше, чем в 2016 г.

В 2017 г. завод “Тулачермет” (входит в Промышленно-металлургический холдинг) произвел 2276 тыс. т чугуна.

Такой объем чугуна произведен благодаря вводу в работу турбовоздуходувной машины № 6, проведенному капитальному ремонту ДП № 3, стабильному качеству поступающего кокса, а также за счет совершенствования технологии в аглодоменном переделе.

В Череповце планируют реализовать проект строительства трубопрофильного завода.

Завод будет производить тонкостенные трубы малого и среднего диаметра, толстостенные трубы большого диаметра, также здесь будут изготавливаться элементы и комплектующие для емкостей и сосудов.

Объем инвестиций составит 1,6 млрд руб.

Срок выхода на проектную мощность — IV кв. 2019 г.

В 2017 г. “Металлоинвест” увеличил производство стали на 2,1 %, до 4,8 млн т, за счет роста загрузки МНЛЗ-1 на “Уральской стали”.

Выпуск чугуна на предприятиях “Металлоинвеста” составил 2,7 млн т, снижение на 9,3 % по сравнению с объемом 2016 г.

Выпуск железной руды за 2017 г. составил 40,3 млн т, снижение на 1 %.

Выпуск ГБЖ/ПВЖ составил 7 млн т, рост на 22,6 % за счет запуска комплекса ГБЖ-3 на Лебединском ГОКе.

Выксунский металлургический завод (ВМЗ, предприятие ОМК) в 2018 г. намерен запустить трубоэлектросварочный цех № 1.

В новом трубном цехе № 1 ВМЗ будет введен трубоэлектросварочный стан, рассчитанный на производство труб диам. 60–178 мм. Создание центра по финишной обработке обсадных труб (проект перенесли с Альметьевского трубного завода, входящего в ОМК) предполагает обработку труб, производимых на ВМЗ, и позволит ОМК выйти в сегмент обсадных труб диаметром более 245 мм.

На Первоуральском новотрубном заводе (ПНТЗ, входит в ЧТПЗ) начали производство новой продукции с наружным диаметром 8 мм и внутренним — 3 мм из высококачественной низколегированной стали.

Группа ЧТПЗ запустила производство трубной продукции для дизельных двигателей. Основные потребители новой трубной продукции — предприятия автомобильной и судостроительной отраслей промышленности, а также транспортного машиностроения.

Группа ЧТПЗ запустила производство продукции, которая не уступает по техническим характеристикам импортным аналогам. Доля группы ЧТПЗ в поставках основных производителей труб для автомобильной отрасли России составляет около 60 %.

Липецкая трубная компания “Свободный Сокол” начнет производить трубы диам. 1200 мм.

Эти изделия из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом будут использоваться при прокладке магистральных водопроводов и канализационных коллекторов в регионах России и за рубежом.

Современное оборудование стоимостью 150 млн руб. будет встроено в действующую технологическую линию труболитейного цеха.

Объем производства составит 36 тыс. т/год труб.

Загорский трубный завод в 2017 г. произвел более 146 тыс. т труб, что практически в 4 раза больше объема 2016 г.

Компания осуществляла отгрузки для РЭН компании “Газпром”, поставки для проекта “Ямал СПГ”, компании “Роснефть” и ряда других нефте-

газовых компаний, в том числе в страны Балтии и СНГ.

В 2018 г. Загорский трубный завод намерен произвести 550 тыс. т труб большого диаметра.

В настоящее время компания потребляет как российский, так и импортный прокат.

Компания внедряет целый ряд ИТ-проектов, которые сведены в общую программу “Умный завод”. Ряд проектов, например полная интеграция MES и SAP, планируется завершить уже в 2018 г.

Трубная компания “Свободный Сокол” производит чугунные трубы с шаровидным графитом, этот материал сверхпрочен и морозостоек.

Предприятие отгружает эту продукцию во Францию и Германию, Великобританию и Италию, Швецию, Португалию, Австрию и даже страны Ближнего Востока.

В России в Санкт-Петербурге использовали трубы из высокопрочного чугуна, что позволило улучшить не только качество воды, но и ликвидировать прорывы на магистралях.

В перспективе трубная компания “Свободный Сокол” будет производить продукцию для станкостроения.

В 2018 г. “Северсталь” инвестирует в Яковлевский рудник около 2 млрд руб.

Около 47 % от объема инвестиций будет направлено на увеличение объемов добычи, 17 % — на замену устаревших фондов, 15 % — на обеспечение промышленной безопасности, 21 % — на строительство нулевого слоя шахтного поля.

Кроме того, планируется техническое перевооружение дробильно-сортировочной фабрики.

Раздел подготовлен по материалам ОАО “Черметинформация”, следующих информационных агентств: “Коммерсантъ”, “Урал-пресс-информ”, “Металлсервис”, infogeo.ru, MetalTorg.Ru, “Финам.Ru”, “Рейтер”, metallicheskiy-portal.ru, “Металлоснабжение и сбыт”, rusmet.ru, а также Министерства экономического развития РФ, Федеральной государственной службы статистики РФ, Федеральной таможенной службы РФ и пресс-служб предприятий и компаний.

В МЕТАЛЛУРГИИ МИРА

По данным World Steel Association (WSA), в 2017 г. мировое производство чугуна составило 1174 млн т, что на 1,1 % выше показателя 2016 г.

Крупнейшими производителями чугуна в 2017 г. оставались Китай (710,8 млн т, рост на 1,8 %), Япония (78,3 млн т, снижение на 2,3 %), Индия (65,9 млн т, рост на 3,6 %) и Россия (51,6 млн т).

В число ведущих продуцентов чугуна вошли:

- Южная Корея (46,7 млн т, рост на 0,9 %);
- Германия (28,4 млн т, рост на 4,3 %);
- Бразилия (28,4 млн т, рост 9,2 %);
- США (22,3 млн т, снижение на 0,2 %).

По данным WSA, в 2017 г. в мире было выплавлено 1691,2 млн т стали, что на 5,3 % выше показателя 2016 г.

По сравнению с ноябрем этот показатель в декабре был выше на 1,1 % (1,52 млн т). Практически все ведущие страны мира нарастили выплавку стали.

В странах Азии производство стали в январе–ноябре 2017 г. выросло на 5,7 %, до 1151,8 млн т, в том числе в Китае — на 5,7 %, до 831,7 млн т. Япония снизила выпуск стали на 0,1 %, до 104,7 млн т, Индия увеличила, по уточненным данным, производство стали на 6,2 % (до 101,4 млн т). Производство в Южной Корее увеличилось на 3,7 %, до 71,1 млн т.

Рост производства стали в 2017 г. достиг в европейских странах (ЕС-28) 4,1 %, до 168,7 млн т. В том числе увеличилось производство стали в Германии до 43,6 млн т (на 3,5 %), в Италии — до 24 млн т (на 2,9 %), в Испании — 6,2 %, до 14,5 млн т, сократилось в Великобритании на 1,7 %.

Производство стали в Турции на 13,1 % было выше уровня аналогичного периода прошлого года и составило 40,6 млн т.

В Северной Америке производство стали за рассматриваемый период составило 115,9 млн т, в том числе в США выросло на 4 %, до 81,6 млн т.

В странах Южной Америки выпуск стали увеличился до 43,7 млн т, на 8,7 %.

В странах СНГ в 2017 г. производство стали составило 102,1 млн т, т. е. на уровне прошлого года, Казахстан увеличил выпуск стали на 3,8 %, до 4,5 млн т.

По предварительным данным WSA, среднегодовая загрузка металлургических мощностей в мире в декабре 2017 г. составила 69,5 %, что выше уровня декабря 2016 г. на 1,8 %.

По данным WSA, мировое производство железа прямого восстановления (DRI) в 2017 г. выросло на 9,2 %, до 72,8 млн т, по сравнению с 2016 г.

Первое место по производству DRI в 2017 г., по уточненным данным, заняла Индия с производством 25,9 млн т, в Иране произведено 20,5 млн т, далее следуют Мексика — 6,1 млн т и Саудовская Аравия — 4,8 млн т.

По прогнозу MEPS, выплавка стали в мире в 2018 г. превысит 1,7 млрд т.

В 2018 г. производство стали в Китае сохранится на уровне 2017 г.

Рост выплавки ожидается в Индии, Иране, Вьетнаме, кроме того, прогнозируется увеличение в странах ЕС и США.

По прогнозам, в 2021 г. на Китай будет приходиться 48 % мирового производства стали, а Индия займет второе место, обогнав Японию.

По данным MEPS, в 2017 г. мировое производство нержавеющей стали составило около 48 млн т, что на 4,9 % выше результата 2016 г.

По прогнозу, рост производства нержавеющей стали составит в 2018 г. 50,3 млн т, т. е. вырастет еще на 5 %.

В Китае в 2017 г. произвели около 26 млн т нержавеющей стали по сравнению с 24,9 млн т в 2016 г. Ожидается, что в 2018 г. производство составит около 27 млн т.

Возрастет производство нержавеющей стали в других странах Азии, в том числе в Индии и Индонезии.

В Южной Корее объем выплавки возрос в 2017 г. на 6 %, до 2,4 млн т, по сравнению с предыдущим годом, в 2018 г. ожидается рост еще на 4 %.

В Японии рост составит около 2 % в год.

В странах ЕС в 2017 г. рост составил 2 %, до 7,4 млн т. В 2018 г. прогнозируется увеличение до 7,55 млн т.

В 2017 г. в США зафиксирован 8 %-ный рост в производстве нержавеющей стали. Объем вы-

плавки оценивается в 2,7 млн т. Но в 2018 г. рост составит только около 2 %.

США

По предварительным данным American Iron and Steel Institute (AISI), импорт готовой стальной продукции в США в январе 2018 г. составил 2,31 млн т, что на 22,6 % выше объема января 2016 г.

Основные поставки в страну осуществляли такие страны как: Южная Корея, Япония и Германия.

Доля импорта готовой стальной продукции в январе 2018 г. составляла 26 %.

ЕВРОПА

По прогнозу Eurofer, в 2018 г. объем видимого потребления стали увеличится на 1,9 %.

В 2019 г. ожидается снижение темпов до 1,4 %.

По итогам 2017 г. импорт стальной продукции в ЕС сократился примерно на 1 %.

Это результат ограничительных торговых мер и удорожания поставок.

В частности, импорт из Китая снизился на 41 %, из России — на 32 %, Украины — на 31 %.

Однако импорт в ЕС из Индии вырос на 100 %, из Индонезии — более чем на 100 %, из Турции — на 64 %.

ТУРЦИЯ

По данным Turkey's Steel Exporters' Association (CIB), в 2017 г. Турция увеличила экспорт металлопродукции на 7,7 %, до 17,8 млн т, по сравнению с 2016 г.

Основные поставки в 2017 г. пришлось на арматуру (5,6 млн т), горячекатаный листовой прокат (2,5 млн т).

Крупнейшим рынком сбыта для турецкой стали в этот период оставались страны ЕС (5,6 млн т, рост почти на 55 %), Ближнего Востока (4,1 млн т) страны Северной Америки и Северной Африки — по 2,2 и 1,5 млн т соответственно.

ЛАТИНСКАЯ АМЕРИКА

По данным Latin American Steel Association (Alacero), производство стали в Латинской

Америке в 2017 г. достигло 64,1 млн т, что на 7 % больше, чем в 2016 г.

Производство проката увеличилось на 5 %, до 53,1 млн т, по сравнению с показателем 2016 г.

По данным Alacero, в январе–ноябре 2017 г. производство стального проката выросло на 3 %, до 48,6 млн т, по сравнению с объемом января–ноября 2016 г.

Основным производителем является Бразилия — 20,7 млн т проката (43 % от общего производства региона). На долю Мексики приходится 35 % (17,2 млн т) общего производства проката в регионе.

По данным Alacero, в январе–ноябре 2017 г. видимое потребление стальной продукции в странах Латинской Америки и Карибского бассейна выросло на 4 % и составило 60,7 млн т по сравнению с январем–ноябрем 2016 г.

На листовой прокат пришлось 57 % (34,6 млн т), сортовой прокат — 41 % (24,9 млн т), трубы — 2 % (1,2 млн т).

Рост потребления проката отмечался в таких странах, как Мексика, где объем потребления стальной продукции вырос на 4 %, до 1,02 млн т, по сравнению с январем–ноябрем 2016 г., Бразилия — на 5 %, до 0,8 млн т, Чили рост на 1 %. Более чем на 10 % ухудшились показатели в Венесуэле, Боливии и Панаме.

По данным Alacero, в январе–ноябре 2017 г. экспорт стального проката из стран Латинской Америки и Карибского бассейна составил 8,8 млн т, что на 11 % выше объемов января–ноября 2016 г.

В том числе на долю экспортных поставок листового проката пришлось порядка 50 % (4,4 млн т), сортового — 41 % (3,6 млн т) и бесшовных труб — 9 % (805 тыс. т). Основным экспортером оставалась Бразилия.

По данным Alacero, в январе–ноябре 2017 г. страны Латинской Америки импортировали 19,2 млн т стального проката, что на 6 % выше показателя января–ноября 2016 г.

Доля импортного листового проката в общем объеме ввезенного стального проката выросла и составила 70 % (13,5 млн т), сортового — 27 %

(5,2 млн т) и на долю бесшовных труб пришлось 3 % (514 тыс. т). Доля импортного проката в потреблении составила около 32 %.

ЯПОНИЯ

По данным Japan Iron and Steel Federation (JISF), по итогам 2017 г. Япония сократила производство горячекатаного проката из рядовой стали на 1,5 %, до 72,1 млн т, по сравнению с объемом 2016 г.

Снижение производства отмечалось по сортаментным группам: рельсы, крупный и средний сорт.

Производство горячекатаного проката из специальных сталей выросло на 4,6 %, до 20,35 млн т.

По данным JISF, в 2017 г. Япония поставила на экспорт 37,1 млн т стальной продукции, что на 7,6 % ниже по сравнению с объемом 2016 г.

Экспортные поставки стального проката из рядовой стали сократились на 9,8 %, до 24,48 млн т, полуфабрикатов — на 4,8 %, до 4,31 млн т, поставки проката из специальных сталей — на 1,8 %, до 8,28 млн т.

Основным экспортным направлением для японского стального проката оставались страны Азии, в которые в рассматриваемый период было отгружено 24,61 млн т (без учета Китая). Экспорт в Китай вырос на 1,8 % (до 5,6 млн т). Поставки японской продукции в страны Ближнего Востока и Европу упали на 37,6 и 35,7 % соответственно, в Северную Америку — на 10,6 %, поставки в Латинскую Америку — на 8,1 %.

По данным JISF, в 2017 г. Япония увеличила импорт готовой стальной продукции до 5,77 млн т, что на 3,8 % выше показателя 2016 г.

Импортные поставки стального проката из рядовой стали выросли на 9,5 %, до 4,68 млн т, из специальных сталей сократились на 20,7 %, до 864 тыс. т, по сравнению с 2016 г.

Основные поставщики металлопродукции в Японию нарастили отгрузки: Южная Корея (10,2 %), Китай (27,4 %) Тайвань (1,4 %), европейские страны, в том числе Германия (25 %).

КИТАЙ

По предварительным данным Государственной таможни Китая, в январе 2018 г. Китай экспортировал 4,65 млн т стальной продукции, что ниже на 37,3 % объемов января 2017 г.

В январе 2018 г. объемы экспорта были ниже объемов поставок декабря на 18 %.

По предварительным данным Государственной таможни Китая, в январе 2018 г. Китай ввез 1,19 млн т стальной продукции, что на 34 % ниже, чем в декабре 2017 г.

Импорт увеличился по сравнению с январем 2017 г. на 9,3 %.

В 2018 г. в Китае будет продолжаться выведение из эксплуатации избыточных производственных мощностей.

Власти провинции Хэбэй разрабатывают трехлетнюю программу реформирования промышленности, в рамках которой, в частности, планируется закрыть мощности — 10,6 млн т чугуна и 10 млн т стали, а также производство 5 млн т кокса.

Кроме того, в 2018 г. в Китае сократят 12,65 млн т угольных мощностей.

По данным China Steel Development & Research Institute, потребление стального проката в Китае в 2017 г. достигло почти 600 млн т.

Рынок страны входит в стадию насыщения, что и приведет к постепенному сокращению объемов строительства инфраструктурных объектов после 2021 г.

ВЬЕТНАМ

По прогнозу Vietnam Steel Association (VSA), в 2018 г. производство стали во Вьетнаме вырастет на 20–22 % по сравнению с 2017 г.

В стране должны войти в строй несколько проектов: вторая очередь комбината Formosa Ha Tinh производительностью 3,5 млн т/год, компания Hoa Phat планирует ввести завод на 2 млн т/год в центральной провинции Куангнгай, на предприятии компании Hoa вступит в строй новая линия на 350 тыс. т/год. Ввод еще 1,8 млн т/год новых мощностей планируют компании Pomina Steel, Kyoei Steel и Tung Ho Steel.

В результате производство заготовки возрастет на 14 %, до 14 млн т, а готового проката — на 19 %, до 26,23 млн т.

ИНДИЯ

По данным Министерства металлургической промышленности Индии, производство и потребление стали в стране в 2018–2019 фин. году вырастет на 5,7 %.

В следующем финансовом году правительство Индии планирует выделить на развитие инфраструктуры почти 6 трлн рупий (94 млрд долл.), что на 20,8 % больше, чем в 2017–2018 фин. году.

В 2017–2018 фин. году в стране будет выплавлено около 103 млн т стали, а в следующем периоде — примерно на 10 % больше, т. е. порядка 113 млн т.

ИРАН

По данным WSA, в 2017 г. Иран увеличил выплавку стали более чем на 20 %.

По данным металлургической ассоциации ISPA, в 2017 г. спрос на прокат увеличился на 7 %, до 15,2 млн т, по сравнению с 2017 г.

В том числе, спрос на холоднокатаную продукцию увеличился на 32 %, до 2,25 млн т, по сравнению с 2016 г., оцинкованной стали — на 34 %, до 1,38 млн т, горячекатаных рулонов — на 7 %, до 6,0 млн т, а потребление арматуры упало на 13 %, до 4,26 млн т.

За девять первых месяцев иранского финансового года (период с 21 марта по 21 декабря 2017 г.), по данным ISPA, экспорт готового стального проката из Ирана составил 5,68 млн т, что на 39,6 % выше уровня аналогичного периода прошлого года.

БЕЛОРУССИЯ

По данным государственной статистики Республики Беларусь, индекс металлургического производства и производства готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования, в 2017 г. по сравнению с 2016 г. составил 103,8 % (в сопоставимых ценах).

По данным государственной статистики Республики Беларусь, в 2017 г. производство стали составило 2,43 млн т, что на 7,4 % выше объема 2016 г.

Производство готового проката за рассматриваемый период составило 2,18 млн т и выросло на 6,8 %, стальных труб — 171,9 тыс. т (рост на 21,6 %).

КАЗАХСТАН

По данным государственной статистики Республики Казахстан, по итогам января 2018 г. индекс промышленного производства составил 105,2 % по сравнению с январем 2017 г.

По данным государственной статистики Республики Казахстан, по итогам января 2018 г. индекс производства готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования, составил 107,3 % по сравнению с январем 2017 г.

Увеличение производства продукции черной металлургии составило 106,9 %.

По данным государственной статистики Республики Казахстан, по итогам 2017 г. металлургические компании страны выплавляли 4,66 млн т стали, что на 9,4 % выше, чем за 2016 г.

В декабре выпуск стали составил 0,42 млн т (рост на 13,9 % к прошлому году, к предыдущему месяцу — 2,2 %).

В 2017 г. производство листового проката сократилось на 0,1 %, до 2,97 млн т.

Производство ферросплавов в 2017 г. выросло на 6,6 % и составило 1,94 млн т. В декабре рост к декабрю 2016 г. на 6,1 %, до 0,17 млн т.

УКРАИНА

По предварительным данным «Укрметаллургпром», в январе 2018 г. украинские металлургические предприятия увеличили выплавку стали на 10 %, до 1,9 млн т, по сравнению с объемом января 2017 г.

Производство чугуна выросло на 27 %, до 1,68 млн т.

Производство проката выросло на 10 %, до 1,94 млн т.

В 2017 г. украинские компании экспортировали 14,59 млн т стали, что на 17,4 % меньше, чем в 2016 г.

В 2017 г. 43,1 % украинского экспорта стали пришлось на полуфабрикаты, 33,1 % — на листовую и 23,8 % на сортовой и фасонный прокат.

По сравнению с 2016 г. доля полуфабрикатов во внешних поставках незначительно уменьшилась, в то время как показатель длинномерной продукции снизился на 3,2 %. Доля листового проката прибавила 3,9 %.

ЖЕЛЕЗОРУДНЫЙ СЕКТОР

По данным Metal Bulletin, в середине февраля 2018 г. стоимость руды с 62 %-ным содержанием железа на спотовом рынке составляла 76,46,05 долл/т CFR с доставкой в китайский морской порт.

По данным иранской государственной организации IMIDRO, за восемь месяцев иранского финансового года (период с 21 марта по 21 ноября 2017 г.) экспорт железной руды из Ирана вырос на 11,8 %, до 12,57 млн т, по сравнению с аналогичным периодом прошлого иранского финансового года.

Основные поставки осуществлялись в Китай.

В прошлом году Иран экспортировал около 15 млн т железной руды, из них 13,5 млн т было отгружено в Китай.

По данным National Union of the Industry of Extraction of Iron and Base Metals (Sinferbase), в 2017 г. Бразилия увеличила экспорт железной руды на 2,6 %, до 383,5 млн т, по сравнению с 2016 г.

В Китай было отгружено порядка 217,9 млн т, в Японию — 25,1 млн т.

Индия сократит добычу железной руды в 2017–2018 фин. году (завершится 31 марта 2018 г.) на 15 % по сравнению с 2016–2017 фин. годом (191 млн т).

Причиной станет закрытие с 1 января семи железорудных предприятий мощностью 20 млн т/год в штате Одиша, где сосредоточены крупнейшие запасы сырья в Индии.

Кроме того, в текущем году сократилась добыча руды в штате Гоа.

По предварительным данным Китайской таможенной службы, в январе 2018 г. Китай импортировал 93,7 млн т железной руды, что на 11 % больше по сравнению с объемом января 2017 г.

В декабре 2017 г. Китай импортировал 84,3 млн т железорудного сырья.

Раздел подготовлен по материалам ОАО “Черметинформация”, следующих информационных агентств: Bloomberg, Sinferbase, Reuters, Metal Bulletin, MetalTorg.Ru, infogeo.ru, metallichekiy-portal.ru, “Белстат”, “Металлсервис”, Steelland, а также World Steel Association, Joint Plant Committee, Indian Steel Ministry, Eurofer, International Stainless Steel Forum, American Iron and Steel Institute, Brazil Steel Institute, Japan Iron and Steel Federation, MEPS, Istanbul Mineral and Metals Exporters' Association, Bureau of Resources and Energy Economics, Министерство промышленности и торговли Вьетнама, “Агентство Республики Казахстан по статистике”, “Агентство Республики Беларусь по статистике”.

СТАТИСТИКА*

ОСНОВНЫЕ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАЗВИТИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ РОССИИ

Показатель	Ноябрь 2017 г.	В % к		Январь– ноябрь 2017 г. в % к январю– ноябрю 2016 г.	Справочно		
		ноябрю 2016 г.	октябрю 2017 г.		ноябрь 2016 г. в % к		январь– ноябрь 2016 г. в % к январю– ноябрю 2015 г.
					ноябрю 2015 г.	октябрю 2016 г.	
Валовой внутренний продукт, млрд руб.	65814,9 ¹⁾	101,6 ²⁾			99,6 ³⁾		
Индекс выпуска товаров и услуг по базовым видам экономической деятельности		97,9	98,6	101,6	102,9	101,3	100,7
Индекс промышленного производства ⁴⁾		96,4	99,8	101,2	103,4	103,6	101,4
Продукция сельского хозяйства, млрд руб.	488,5	101,2	68,8	102,5	106,8	66,3	104,9
Грузооборот транспорта, млрд т·км	453,8	99,2	93,0	105,9	102,6	99,6	101,6
в том числе железнодорожного транспорта	210,7	105,7	97,9	106,5	101,0	98,2	101,5
Объем услуг в сфере телекоммуникаций, млрд руб.	137,2	95,0	97,4	97,6			
Оборот розничной торговли, млрд руб.	2560,3	102,7	98,6	101,0	95,8	99,1	95,5
Объем платных услуг населению, млрд руб.	762,0	99,4	100,6	100,2	101,8	102,3	99,7
Внешнеторговый оборот, млрд долл.	53,1 ⁵⁾	123,6 ⁶⁾	103,9 ⁷⁾	125,1 ⁸⁾	97,9 ⁶⁾	99,1 ⁷⁾	84,8 ⁸⁾
В том числе:							
экспорт товаров	31,4	127,1	102,6	125,8	91,8	97,5	78,0
импорт товаров	21,6	118,8	105,8	124,0	107,5	101,4	97,1
Инвестиции в основной капитал, млрд руб.	9681,7 ⁹⁾	104,2 ²⁾			99,4 ³⁾		
Индекс потребительских цен		102,5	100,2	103,8	105,8	100,4	107,2
Индекс цен производителей промышленных товаров ⁴⁾		108,0	100,9	107,6	104,1	100,5	104,0
Реальные располагаемые денежные доходы ^{10,11)}		99,7	99,9	98,6	93,8	98,4	94,5
Среднемесячная начисленная заработная плата работников организаций ¹⁰⁾ :							
номинальная, руб.	38720	108,0	101,0	107,1	108,0	101,3	107,7
реальная		105,4	100,8	103,2	102,1	100,9	100,5
Общая численность безработных (в возрасте 15–72 лет), млн чел.	3,9	94,5	100,7	93,4	92,8	100,3	100,2
Численность официально зарегистрирован- ных безработных (по данным Роструда), млн чел.	0,7	86,3	103,5	85,2	90,1	101,7	99,7

1) Данные за январь–сентябрь 2017 г. (первая оценка).

2) Январь–сентябрь 2017 г. в % к январю–сентябрю 2016 г.

3) Январь–сентябрь 2016 г. в % к январю–сентябрю 2015 г.

4) По видам деятельности "Добыча полезных ископаемых", "Обрабатывающие производства", "Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха", "Водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений" ОКВЭД2.

5) Данные за октябрь 2017 г.

6) Октябрь 2017 г. и октябрь 2016 г. в % к соответствующему периоду предыдущего года, в фактически действовавших ценах.

7) Октябрь 2017 г. и октябрь 2016 г. в % к предыдущему месяцу, в фактически действовавших ценах.

8) Январь–октябрь 2017 г. и январь–октябрь 2016 г. в % к соответствующему периоду предыдущего года, в фактически действовавших ценах.

9) Данные за январь–сентябрь 2017 г.

10) Данные за периоды 2017 г. — оценка.

11) Данные за периоды 2016 г. уточнены по итогам годовых расчетов показателей доходов и расходов населения.

*Использованы данные Федеральной службы государственной статистики РФ, ОАО "Черметинформация".

ОБОРОТ ОРГАНИЗАЦИЙ ПО ВИДАМ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
в действующих ценах

Подотрасль, продукция	Ноябрь 2017 г., млрд руб.	В % к		Январь–ноябрь 2017 г. в % к январю–ноябрю 2016 г.
		ноябрю 2016 г.	октябрю 2017 г.	
Всего	14512,7	100,7	99,7	108,6
Добыча полезных ископаемых	1208,7	118,3	99,4	117,6
В том числе:				
добыча угля	114,8	105,6	98,4	141,4
добыча сырой нефти и природного газа	823,2	124,6	102,0	117,8
добыча металлических руд	91,5	112,8	92,0	110,9
добыча прочих полезных ископаемых	44,7	99,9	89,8	90,6
Обрабатывающие производства	3716,8	100,5	100,7	108,3
В том числе:				
производство пищевых продуктов	455,2	91,9	99,0	99,5
производство напитков	68,4	99,1	109,0	95,5
производство табачных изделий	22,3	80,3	117,3	84,5
производство текстильных изделий	20,8	116,0	113,8	102,1
производство одежды	20,7	86,0	102,9	106,9
производство кожи и изделий из кожи	7,1	87,3	103,2	106,8
обработка древесины и производство изделий из дерева и пробки, кроме мебели, производство изделий из соломки и материалов для плетения	48,8	100,4	94,4	102,0
производство бумаги и бумажных изделий	85,2	92,6	101,0	95,5
деятельность полиграфическая и копирование носителей информации	24,6	97,4	109,1	101,7
производство кокса и нефтепродуктов	883,1	110,5	98,8	116,0
производство химических веществ и химических продуктов	213,0	100,7	102,2	102,2
производство лекарственных средств и материалов, применяемых в медицинских целях	43,6	111,3	109,9	114,4
производство резиновых и пластмассовых изделий	85,8	103,3	95,1	102,8
производство прочей неметаллической минеральной продукции	114,6	102,0	87,7	105,5
производство металлургическое	447,5	107,7	92,2	110,0
производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования	272,4	104,9	124,1	106,6
производство компьютеров, электронных и оптических изделий	157,4	72,1	119,2	100,5
производство электрического оборудования	95,7	88,4	92,9	105,4
производство машин и оборудования, не включенных в другие группировки	114,7	98,5	105,0	106,6
производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов	226,6	120,5	98,9	128,7
производство прочих транспортных средств и оборудования	190,3	93,7	100,4	118,2
производство мебели	23,1	94,8	100,4	103,9
производство прочих готовых изделий	18,2	83,7	97,9	97,8
Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха	857,0	100,5	108,1	107,7
Водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений	93,6	106,4	91,1	115,7
Строительство	640,7	94,4	94,8	104,1

ДИНАМИКА ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ В ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОТРАСЛЯХ

Подотрасль, продукция	Ноябрь 2017 г.	В % к		Январь–ноябрь 2017 г. в % к январю–ноябрю 2016 г.
		ноябрю 2016 г.	октябрю 2017 г.	
Электроэнергия, млрд кВт·ч	96,2	95,8	102,3	100,4
Пар и горячая вода, млн Гкал	140	89,8	124,1	100,9
Нефтедобывающая				
Нефть сырая, включая газовый конденсат, млн т	45,1	98,1	97,7	100,0
Нефтеперерабатывающая				
Нефть, поступившая на переработку (первичная переработка нефти), млн т	24,2	99,0	103,3	100,0
Бензин автомобильный, млн т	3,1	100,8	100,0	98,3
Дизельное топливо, млн т	6,6	103,0	110,1	101,6
Топочный мазут, млн т	4,3	83,5	106,2	91,3
Газовая				
Газ горючий природный (газ естественный), млрд м ³	54,4	97,7	98,6	110,4
Газ нефтяной попутный (газ горючий природный нефтяных месторождений), млрд м ³	7,6	104,2	99,0	102,0
Угольная				
Уголь, млн т	35,3	103,4	96,5	106,9
В том числе:				
каменный	27,4	104,3	93,3	107,4
бурый рядовой (лигнит)	8,0	100,2	109,4	104,6
Уголь каменный и бурый обогащенный, млн т	10,3	99,4	95,8	100,9

ОБЪЕМ ПОГРУЗКИ ОСНОВНЫХ ВИДОВ ГРУЗОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ¹⁾, млн т

Продукция	Ноябрь 2016 г.	Январь– ноябрь 2016 г.	Декабрь 2016 г.	Январь– декабрь 2016 г.	Ноябрь 2017 г.	Январь– ноябрь 2017 г.
Грузы, всего	102552,6	1121389,6	105561,5	1226951,1	106114,9	1155907,2
В том числе:						
каменный уголь	29304,2	299806,4	31318,1	331124,7	31951,5	328796,4
кокс	965,6	10708,3	1003,1	11711,4	885,2	10212,3
нефть и нефтепродукты	20162,6	214619,0	21561,7	236180,8	19854,6	214453,7
руда железная и марганцевая	8921,0	100466,9	9069,9	109537,0	9343,9	100677,8
руды цветных металлов и серное сырье	1558,2	19467,8	1613,2	21081,1	1582,5	18583,6
черные металлы	6093,0	64659,9	6353,8	71013,8	6084,5	65804,9
лом черных металлов	1233,4	13812,4	1216,1	15028,4	1366,0	14430,2
химические и минеральные удобрения	4658,3	48477,6	4994,0	53471,5	4619,9	51885,2
строительные грузы	9428,9	132857,7	8479,0	141339,2	10000,9	123684,7
цемент	1703,7	25371,0	1286,1	26657,1	1787,7	25416,2
лесные грузы	3291,3	38511,0	3709,8	42220,9	2935,0	39587,5
зерно и продукты						
перемола	2306,0	19274,4	2337,3	21611,9	2796,7	21956,7
комбикорма	89,5	906,2	92,3	998,5	75,2	914,7
импортные грузы	648,4	7689,2	729,3	8418,5	863,1	9033,3
рыба	38,3	306,6	54,6	361,3	22,1	290,4
прочие грузы	12150,2	124451,7	11743,2	136195,0	11946,1	130179,6

1) По данным ОАО РЖД.

ТОВАРНЫЙ СОСТАВ ЭКСПОРТА

Продукция	Октябрь 2017 г.	В % к		Январь– октябрь 2017 г. в % к январю– октябрю 2016 г.	Справочно		
		октябрю 2016 г.	сентябрю 2017 г.		октябрь 2016 г. в % к		январь– октябрь 2016 г. в % к январю– октябрю 2015 г.
					октябрю 2015 г.	сентябрю 2016 г.	
Рыба свежая и мороженная, тыс. т ¹⁾	149,4	85,1	75,5	112,0	136,8	80,2	104,1
Ракообразные и моллюски, тыс. т ¹⁾	12,3	105,9	106,2	136,0	97,4	150,3	108,1
Пшеница и меслин, тыс. т	3582,5	166,4	85,5	123,1	77,9	56,7	123,5
Мука пшеничная или пшенично-ржаная, тыс. т	22,5	114,4	115,2	73,5	59,2	71,1	97,9
Крупа, тыс. т	4,5	157,6	140,6	115,5	94,5	115,5	104,1
Масло подсолнечное, сафлоровое или хлопковое и их фракции, тыс. т	176,8	123,5	112,5	134,9	144,5	127,8	118,7
Макаронные изделия, тыс. т	10,4	105,8	93,0	109,3	105,4	103,8	97,4
Кондитерские мучные изделия, тыс. т	20,3	109,3	115,7	99,0	102,7	99,0	104,7
Соль, пригодная для употребления в пищу, тыс. т	4,3	83,4	81,9	100,5	140,6	114,4	126,5
Фосфаты кальция, тыс. т	600,9	195,2	в 8,1 р.	110,9	114,7	91,7	139,9
Руды и концентраты железные, тыс. т	2306,9	125,6	182,7	116,6	121,8	136,5	83,1
Уголь каменный, млн т	12,3	129,6	66,2	109,8	98,4	57,1	108,4
Кокс и полукокс, тыс. т	290,5	144,0	128,4	148,5	173,9	122,2	81,1
Нефть сырая, включая газовый конденсат природный, млн т	22,6	98,9	111,4	100,5	107,1	116,0	105,7
Нефтепродукты, млн т	11,1	97,5	85,3	97,6	87,4	76,4	90,5
Газ природный, млрд м ³	17,4	94,1	122,5	106,4	97,4	116,2	105,0
Электроэнергия, млрд кВт·ч	1,1	72,1	55,9	98,1	103,8	92,3	94,6
Аммиак безводный, тыс. т	329,0	112,7	101,6	79,2	61,3	50,5	107,7
Углеводороды ациклические, тыс. т	83,5	41,3	55,6	75,6	67,5	162,7	82,7
Удобрения, тыс. т	2439,3	142,9	83,0	106,5	69,3	53,6	94,5
Каучук синтетический, тыс. т	90,4	115,3	105,3	104,3	99,7	106,8	102,2
Шины пневматические резиновые, тыс. шт.	2363,4	100,9	94,2	94,7	107,5	84,2	125,4
Лесоматериалы необработанные, млн м ³	1,6	98,2	116,1	95,8	94,2	100,9	106,7
Лесоматериалы обработанные, млн т	1,5	116,3	102,0	111,8	105,0	95,0	114,0
Фанера клееная, тыс. м ³	217,2	110,5	117,0	99,8	111,4	101,4	112,8
Целлюлоза древесная, тыс. т	183,8	117,8	99,9	99,4	86,2	87,2	102,0
Бумага газетная, тыс. т	86,6	81,6	90,1	104,6	102,2	126,5	96,8
Ткани хлопчатобумажные, млн м ²	6,4	74,1	110,1	86,6	121,9	111,5	113,9
Черные металлы (кроме чугуна, ферросплавов, отходов и лома), млн долл.	1248,9	140,7	113,6	135,8	113,7	99,9	89,0
Чугун переделный, тыс. т	212,7	44,7	31,5	84,6	164,3	126,5	102,8
Ферросплавы, тыс. т	66,8	107,8	110,7	98,2	83,3	89,2	100,8
Трубы из черных металлов, тыс. т	202,3	133,5	111,5	167,6	145,6	149,1	93,1
Медь рафинированная, тыс. т	43,7	114,6	88,2	109,4	64,1	78,5	91,1
Проволока медная, тыс. т	10,4	72,4	90,1	99,8	105,8	111,3	72,2
Никель необработанный, тыс. т	11,2	97,5	120,4	71,9	38,7	74,9	86,0
Алюминий необработанный, тыс. т	390,3	153,3	156,9	92,2	108,1	100,0	100,2
Машины, оборудование и транспортные средства, млн долл.	2729,2	136,1	88,4	118,0	92,5	97,7	89,7

1) Включая выловленные (добытые) и проданные вне зоны действия таможенного контроля.

1) Включая выловленные (добытые) и проданные вне зоны действия таможенного контроля.

ИНДЕКСЫ ЦЕН И ТАРИФОВ НА КОНЕЦ ПЕРИОДА, %

Индекс	К предыдущему месяцу			Ноябрь 2017 г. к		Январь–ноябрь 2017 г. в % к январю–ноябрю 2016 г.	Справочно ноябрь 2016 г. к декабрю 2015 г.
	сентябрь 2017 г.	октябрь 2017 г.	ноябрь 2017 г.	декабрю 2016 г.	ноябрю 2016 г.		
Индекс потребительских цен	99,9	100,2	100,2	102,1	102,5	103,8	105,0
Индекс цен производителей промышленных товаров ¹⁾	102,4	101,2	100,9	107,0	108,0	107,6	106,5 ²⁾
Индекс цен производителей сельскохозяйственной продукции	99,6	99,7	100,0	92,1	93,5	98,2	100,2
Сводный индекс цен на продукцию (затраты, услуги) инвестиционного назначения	100,0	100,2	99,7	102,9	102,8	102,6	103,2
Индекс тарифов на грузовые перевозки	100,1	94,2	100,5	108,5	108,3	106,5	105,7
1) На товары, предназначенные для реализации на внутреннем рынке.							
2) В целях обеспечения сопоставимости ранее опубликованные данные за периоды 2016 г. пересчитаны в соответствии с группировками ОКВЭД2.							

ИНДЕКСЫ ЦЕН ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ПО ОТДЕЛЬНЫМ ОТРАСЛЯМ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА КОНЕЦ ПЕРИОДА, %

Отрасль	К предыдущему месяцу			Октябрь 2017 г. к		Январь–ноябрь 2017 г. в % к январю–ноябрю 2016 г.	Справочно ноябрь 2016 г. к декабрю 2015 г.
	сентябрь 2017 г.	октябрь 2017 г.	ноябрь 2017 г.	декабрю 2016 г.	ноябрю 2016 г.		
Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха	102,3	100,8	99,5	106,6	107,2	105,6	104,0
Водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений	100,0	100,0	100,0	110,0	110,0	109,4	109,1
Добыча полезных ископаемых	106,5	100,9	102,7	117,8	113,9	114,4	112,3
Производство кокса и нефтепродуктов	103,4	103,2	101,8	116,2	120,0	116,7	104,7
Производство металлургическое	105,9	104,4	99,3	106,9	111,2	109,4	114,9
Производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования	100,6	101,3	100,3	104,5	105,4	106,0	107,1
Производство химических веществ и химических продуктов	101,5	101,4	100,9	104,3	104,4	100,1	96,9
Производство машин и оборудования, не включенных в другие группировки	99,0	100,0	101,8	103,7	103,8	107,6	109,3
1) Данные изменены за счет уточнения респондентами ранее предоставленной информации.							

**САЛЬДИРОВАННЫЙ ФИНАНСОВЫЙ РЕЗУЛЬТАТ (ПРИБЫЛЬ МИНУС УБЫТОК)
ПО ВИДАМ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЯНВАРЕ–ОКТАБРЕ 2017 г.**

<i>Отрасль</i>	<i>Сальдо прибылей (+) и убытков (–), млрд руб.</i>	<i>В % к январю–октябрю 2016 г.¹⁾</i>
Всего	+8471,7	94,7
Добыча полезных ископаемых	+2124,3	120,6
В том числе:		
добыча угля	+255,2	в 2,3 р.
добыча сырой нефти и природного газа	+1279,4	134,0
добыча металлических руд	+288,8	85,6
добыча прочих полезных ископаемых	+135,2	59,6
Обрабатывающие производства	+2457,1	94,8
В том числе:		
производство пищевых продуктов	+178,7	94,4
производство напитков	+48,4	93,0
производство табачных изделий	+25,6	64,0
производство текстильных изделий	+5,7	61,3
производство одежды	+9,7	95,6
производство кожи и изделий из кожи	+2,5	103,9
обработка древесины и производство изделий из дерева и пробки, кроме мебели, производство изделий из соломки и материалов для плетения	+9,1	20,1
производство бумаги и бумажных изделий	+70,8	74,5
деятельность полиграфическая и копирование носителей информации	+9,0	114,2
производство кокса и нефтепродуктов	+572,5	141,9
производство химических веществ и химических продуктов	+265,3	65,4
производство лекарственных средств и материалов, применяемых в медицинских целях	+49,3	104,4
производство резиновых и пластмассовых изделий	+32,2	107,8
производство прочих неметаллической минеральной продукции	+47,9	80,0
производство металлургическое	+751,1	86,8
производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования	+81,0	72,1
производство компьютеров, электронных и оптических изделий	+80,3	116,5
производство электрического оборудования	+35,8	101,5
производство машин и оборудования, не включенных в другие группировки	+32,7	62,1
производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов	+50,5	—
производство прочих транспортных средств и оборудования	+65,4	115,6
производство мебели	+3,7	104,8
производство прочих готовых изделий	+0,6	—
Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха	+481,3	102,5
Водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений	+18,0	148,8
Строительство	+46,8	42,8

1) Темпы изменения сальдированного финансового результата отчетного периода по сравнению с соответствующим периодом предыдущего года рассчитаны по сопоставимому кругу организаций; с учетом корректировки данных соответствующего периода предыдущего года, исходя из изменений учетной политики, законодательных актов и др. в соответствии с методологией бухгалтерского учета. Прочерк означает, что в одном или обоих сопоставляемых периодах был получен отрицательный сальдированный финансовый результат.

**ПРИБЫЛЬ И УБЫТОК ОРГАНИЗАЦИЙ ПО ВИДАМ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
В ЯНВАРЕ–ОКТАБРЕ 2017 г.**

<i>Отрасль</i>	<i>Сумма прибыли, млрд руб.</i>	<i>Доля прибыльных организаций в общем числе организаций, %</i>	<i>Сумма убытка, млрд руб.</i>	<i>Доля убыточных организаций в общем числе организаций, %</i>
Всего	9810,3	71,2	1338,6	28,8
Добыча полезных ископаемых	2208,7	70,3	84,4	29,7
В том числе:				
добыча угля	272,6	72,2	17,4	27,8
добыча сырой нефти и природного газа	1316,2	73,5	36,8	26,5
добыча металлических руд	302,8	68,3	14,0	31,7
добыча прочих полезных ископаемых	138,6	64,3	3,4	35,7
Обрабатывающие производства	2786,6	74,4	329,5	25,6
В том числе:				
производство пищевых продуктов	208,2	81,0	29,5	19,0
производство напитков	53,5	74,1	5,1	25,9
производство табачных изделий	25,6	92,3	0,0	7,7
производство текстильных изделий	7,7	70,9	2,0	29,1
производство одежды	10,3	76,6	0,6	23,4
производство кожи и изделий из кожи	3,3	76,3	0,8	23,7
обработка древесины и производство изделий из дерева и пробки, кроме мебели, производство изделий из соломки и материалов для плетения	28,0	60,6	18,9	39,4
производство бумаги и бумажных изделий	74,7	79,0	3,9	21,0
деятельность полиграфическая и копирование носителей информации	10,3	65,2	1,3	34,8
производство кокса и нефтепродуктов	583,2	81,9	10,7	18,1
производство химических веществ и химических продуктов	296,3	81,0	31,0	19,0
производство лекарственных средств и материалов, применяемых в медицинских целях	54,9	78,9	5,6	21,1
производство резиновых и пластмассовых изделий	37,9	82,0	5,7	18,0
производство прочей неметаллической минеральной продукции	77,8	58,9	29,9	41,1
производство металлургическое	783,5	70,3	32,4	29,7
производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования	103,7	73,1	22,7	26,9
производство компьютеров, электронных и оптических изделий	90,6	80,1	10,3	19,9
производство электрического оборудования	44,5	79,1	8,7	20,9
производство машин и оборудования, не включенных в другие группировки	66,5	72,5	33,8	27,5
производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов	75,5	71,3	25,0	28,7
производство прочих транспортных средств и оборудования	108,1	66,2	42,7	33,8
производство мебели	4,5	81,9	0,8	18,1
производство прочих готовых изделий	3,9	74,2	3,3	25,8
Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха	580,8	48,6	99,5	51,4
Водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений	32,8	54,8	14,8	45,2
Строительство	189,1	72,6	142,3	27,4

**СРЕДНЕМЕСЯЧНАЯ НАЧИСЛЕННАЯ ЗАРАБОТНАЯ ПЛАТА РАБОТНИКОВ ОРГАНИЗАЦИЙ
(БЕЗ ВЫПЛАТ СОЦИАЛЬНОГО ХАРАКТЕРА) ПО ВИДАМ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ¹⁾**

Отрасль	Октябрь 2017 г.			Январь–октябрь 2017 г.		
	руб.	в % к		руб.	в % к	
		октябрю 2016 г.	сентябрю 2017 г.		январю– октябрю 2016 г.	общерос- сийскому уровню средне- месячной заработ- ной платы
Всего	38333	108,3	100,8	37964	107,0	100
Добыча полезных ископаемых	69728	110,3	92,6	72319	108,3	190
В том числе:						
добыча угля	53103	112,2	105,2	51388	108,7	135
добыча сырой нефти и природного газа	87287	107,6	80,0	101696	106,2	в 2,7 р.
добыча металлических руд	66279	111,5	101,2	57180	109,9	151
Обрабатывающие производства	38168	107,7	101,6	37833	108,5	100
В том числе:						
производство пищевых продуктов	30441	106,4	101,1	29692	108,1	78
производство напитков	38000	103,8	101,7	37834	104,2	100
производство табачных изделий	93678	103,5	110,5	96210	105,8	в 2,5 р.
производство текстильных изделий	22820	109,0	103,3	21793	110,1	57
производство одежды	20954	111,9	105,8	19442	110,9	51
производство кожи и изделий из кожи	21385	107,4	101,8	20768	108,2	55
обработка древесины и производство изделий из дерева						
и пробки, кроме мебели, производство изделий из						
соломки и материалов для плетения	25611	105,8	101,0	25368	106,0	67
производство бумаги и бумажных изделий	38171	106,7	99,4	39172	106,6	103
деятельность полиграфическая и копирование						
носителей информации	31400	113,6	94,0	31864	111,7	84
производство кокса и нефтепродуктов	77473	95,9	98,1	93159	108,5	в 2,5 р.
производство химических веществ и химических						
продуктов	43965	107,5	100,3	45235	107,3	119
производство лекарственных средств и материалов,						
применяемых в медицинских целях	53403	108,6	103,8	53800	111,1	142
производство резиновых и пластмассовых изделий	30645	110,7	102,7	29818	110,6	79
производство прочей неметаллической минеральной						
продукции	31675	108,1	101,3	30765	108,2	81
производство металлургическое	48822	107,4	104,3	48503	107,7	128
производство готовых металлических изделий, кроме						
машин и оборудования	36769	111,1	102,0	35664	109,0	94
производство компьютеров, электронных и оптических						
изделий	45107	106,7	100,0	44611	109,5	118
производство электрического оборудования	35022	107,8	100,0	34079	108,5	90
производство машин и оборудования, не включенных в						
другие группировки	37978	109,5	101,9	36554	109,0	96
производство автотранспортных средств, прицепов и						
полуприцепов	40358	114,0	105,4	37366	111,3	98
производство прочих транспортных средств и						
оборудования	44141	107,2	101,8	43778	108,7	115
производство мебели	22490	109,1	102,4	21655	111,2	57
производство прочих готовых изделий	29334	107,9	102,9	29348	108,3	77
ремонт и монтаж машин и оборудования	43415	108,7	100,8	43498	106,4	115
Обеспечение электрической энергией, газом и паром;						
кондиционирование воздуха	42002	107,3	99,8	43734	106,5	115
Водоснабжение; водоотведение, организация сбора и						
утилизации отходов, деятельность по ликвидации						
загрязнений	28263	106,0	99,7	28525	106,6	75
Строительство	34531	109,8	101,2	33854	108,6	89

¹⁾ Начиная с отчетных данных за январь 2017 г., информация публикуется по основным ("хозяйственным") видам экономической деятельности в соответствии с группировками ОКВЭД2.

ЧИСЛО ЗАМЕЩЕННЫХ РАБОЧИХ МЕСТ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ И В ОРГАНИЗАЦИЯХ ПО ОТРАСЛЯМ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В ОКТЯБРЕ 2017 г. (БЕЗ СУБЪЕКТОВ МАЛОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА)¹⁾

Отрасль	Всего замещенных рабочих мест, тысяч	В том числе работниками		
		списочного состава (без внешних совместителей)	внешними совмести- телями	выполнявшими работы по договорам гражданско- правового характера
Всего	33228,8	31850,5	561,9	816,5
Добыча полезных ископаемых	947,2	939,8	1,9	5,5
В том числе:				
добыча угля	151,1	149,5	0,3	1,3
добыча сырой нефти и природного газа	277,4	276,2	0,3	0,9
добыча металлических руд	172,9	171,4	0,3	1,2
Обрабатывающие производства	5272,0	5198,8	28,3	44,9
В том числе:				
производство пищевых продуктов	729,2	718,0	3,9	7,3
производство напитков	102,8	100,4	0,5	1,9
производство табачных изделий	6,6	6,6	0,0	0,0
производство текстильных изделий	50,7	49,9	0,4	0,4
производство одежды	52,3	51,6	0,4	0,4
производство кожи и изделий из кожи	26,4	26,2	0,1	0,1
обработка древесины и производство изделий из дерева и пробки, кроме мебели, производство изделий из соломки и материалов для плетения	107,5	105,6	0,4	1,4
производство бумаги и бумажных изделий	89,9	88,8	0,3	0,8
деятельность полиграфическая и копирование носителей информации	36,5	34,7	0,5	1,2
производство кокса и нефтепродуктов	130,8	130,1	0,3	0,4
производство химических веществ и химических продуктов	309,4	305,8	1,3	2,3
производство лекарственных средств и материалов, применяемых в медицинских целях	75,0	70,9	0,5	3,6
производство резиновых и пластмассовых изделий	132,0	130,2	0,9	0,9
производство прочей неметаллической минеральной продукции	305,4	300,6	1,7	3,0
производство металлургическое	527,8	524,8	1,2	1,8
производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования	466,9	461,0	2,4	3,5
производство компьютеров, электронных и оптических изделий	385,6	376,8	4,3	4,6
производство электрического оборудования	201,7	198,5	1,4	1,8
производство машин и оборудования, не включенных в другие группировки	330,3	325,2	2,2	2,8
производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов	258,4	256,5	0,8	1,1
производство прочих транспортных средств и оборудования	617,7	613,5	2,0	2,2
производство мебели	51,1	50,6	0,3	0,2
производство прочих готовых изделий	30,9	30,4	0,2	0,3
Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха	1373,4	1351,5	7,1	14,8
Водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений	432,7	422,1	3,4	7,2
Строительство	1003,8	971,4	9,7	22,7

1) Начиная с отчетных данных за январь 2017 г., информация публикуется по основным ("хозяйственным") видам экономической деятельности в соответствии с группировками ОКВЭД2.

Подготовлено В.В. Смильтиной

ПРОИЗВОДСТВО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

МИРОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА ПО РЕГИОНАМ В ЯНВАРЕ–НОЯБРЕ 2016–2017 гг., тыс. т

Регион	Январь–ноябрь 2016 г.	Январь–ноябрь 2017 г.	Изменение январь–ноябрь 2017 г. к январю–ноябрю 2016 г., %
ЕС-28	86010	83677	2,8
Прочие страны Европы	11515	11167	3,1
СНГ	68561	80834	–15,2
Северная Америка	30125	30264	–0,5
Южная Америка	28818	26697	7,9
Африка (только ЮАР)	3965	3979	–0,3
Ближний и Средний Восток (только Иран)	2106	2089	0,8
Азия	844802	832545	1,5
Австралия и Океания	4042	3930	2,8
МИР, всего*	1079944	1075182	0,4

* Итог приведен по 39 странам, на которые приходится около 99 % мирового производства чугуна.

МИРОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА ПО СТРАНАМ В ЯНВАРЕ–НОЯБРЕ 2016–2017 гг., тыс. т

Регион	Январь–ноябрь 2016 г.	Январь–ноябрь 2017 г.	Изменение январь–ноябрь 2017 г. к январю–ноябрю 2016 г., %	Рейтинг
Австралия	3418	3324	2,8	25
Австрия	5798	5139	12,8	17
Аргентина	1977	1980	–0,1	28
Бельгия	4398	4445	–1,1	18
Босния и Герцеговина	639	711	–10,1	31
Бразилия	26015	23846	9,1	7
Великобритания	5488	5606	–2,1	15
Венгрия	1196	765	56,3	30
Германия	26022	25033	4,0	6
Индия	60207	58074	3,7	3
Иран	2106	2089	0,8	27
Испания	4109	3843	6,9	22
Италия	4652	5519	–15,7	16
Казахстан	3444	2993	15,1	26
Канада	5783	5702	1,4	13
Китай	656143	644874	1,7	1
Колумбия	180	206	–12,7	34
Мексика	3921	4081	–3,9	20
Нидерланды	5693	5632	1,1	14
Новая Зеландия	623	606	2,9	33
Парагвай	37	47	–21,5	35
Польша	4701	4226	11,2	19
Россия	47396	56166	–15,6	4
Сербия	1193	1019	17,2	29
Словакия	3751	3697	1,5	24
США	20420	20481	–0,3	9
Тайвань	13666	13623	0,3	10
Турция	9682	9438	2,6	11
Украина	17721	21675	–18,2	8
Франция	9760	8903	9,6	12
Чехия	3366	3823	–12,0	23
Чили	609	618	–1,4	32
ЮАР	3965	3979	–0,3	21
Южная Корея	43035	42347	1,6	5
Япония	71751	73627	–2,5	2

МИРОВАЯ ВЫПЛАВКА СТАЛИ ПО РЕГИОНАМ МИРА В ЯНВАРЕ–НОЯБРЕ 2016–2017 гг., тыс. т

Регион	Январь–ноябрь 2016 г.	Январь–ноябрь 2017 г.	Изменение январь–ноябрь 2017 г. к январю–ноябрю 2016 г., %
ЕС-28	149253	154916	3,8
Прочие страны Европы	32809	36951	12,6
СНГ	93419	93828	0,4
Северная Америка	101580	106382	4,7
Южная Америка	37114	40055	7,9
Африка	10666	12359	15,9
Страны Среднего Востока	26519	29682	11,9
Азия	1000347	1056385	5,6
Австралия и Океания	5324	5453	2,4
МИР, всего *	1457032	1536011	5,4

* Итог приведен по 66 странам, входящим в Международный институт чугуна и стали, на которые приходится около 98 % мирового производства стали.

МИРОВАЯ ВЫПЛАВКА СТАЛИ ПО СТРАНАМ В ЯНВАРЕ–НОЯБРЕ 2016–2017 гг., тыс. т

Регион	Январь–ноябрь 2016 г.	Январь–ноябрь 2017 г.	Изменение январь–ноябрь 2017 г. к январю–ноябрю 2016 г., %	Рейтинг
Австралия	4811	4856	0,9	26
Австрия	6792	7458	9,8	20
Аргентина	3814	4239	11,1	31
Белоруссия	2028	2298	13,3	38
Бельгия	7046	7067	0,3	21
Болгария	475	603	26,8	48
Босния и Герцеговина	736	656	–10,9	46
Бразилия	28907	31542	9,1	9
Великобритания	7031	6906	–1,8	22
Венгрия	1143	1735	51,8	40
Венесуэла	475	319	–32,8	55
Вьетнам	4664	8719	86,9	19
Гватемала	288	267	–7,5	56
Германия	38852	39961	2,9	7
Греция	1074	1260	17,3	42
Египет	4500	6191	37,6	24
Индия	87090	92473	6,2	3
Иран	16374	19745	20,6	13
Испания	12673	13105	3,4	16
Италия	21595	22259	3,1	10
Казахстан	3877	4179	7,8	32
Канада	11642	12618	8,4	17
Катар	2305	2428	5,3	37
Китай	723290	764802	5,7	1
Колумбия	1174	1180	0,5	43
Куба	223	199	–10,8	58
Ливия	441	370	–16,1	54
Люксембург	2050	2052	0,1	39
Македония	150	264	76,0	57
Мексика	17299	18257	5,5	14
Молдова	113	378	234,5	53
Нидерланды	6392	6289	–1,6	23
Новая Зеландия	513	597	16,3	50
Норвегия	566	553	–2,4	51
ОАЭ	2824	3024	7,1	36
Пакистан	3211	4606	43,4	27

Регион	Январь–ноябрь 2016 г.	Январь–ноябрь 2017 г.	Изменение январь–ноябрь 2017 г. к январю–ноябрю 2016 г., %	Рейтинг
Парагвай	32	28	–13,4	61
Перу	1066	1119	4,9	44
Польша	8167	9466	15,9	18
Россия	64586	66453	2,9	5
Сальвадор	92	92	0,2	59
Саудовская Аравия	5016	4485	–10,6	29
Сербия	1032	1315	27,3	41
Словакия	4448	4558	2,5	28
Словения	575	602	4,6	49
США	72000	74949	4,1	4
Таиланд	3495	4083	16,8	34
Тайвань	19819	21283	7,4	11
Турция	30325	34163	12,7	8
Узбекистан	609	622	2,1	47
Украина	22206	19898	–10,4	12
Уругвай	56	51	–8,5	60
Финляндия	3754	3700	–1,4	35
Франция	13270	14292	7,7	15
Чехия	4874	4170	–14,4	33
Чили	1061	1065	0,3	45
Швеция	4221	4316	2,3	30
Эквадор	528	512	–3,1	52
ЮАР	5725	5798	1,3	25
Южная Корея	62716	64478	2,8	6
Япония	96062	95941	–0,1	2

Раздел подготовлен по материалам WSA.

ПРОИЗВОДСТВО ОСНОВНЫХ ВИДОВ ПРОДУКЦИИ В ОТДЕЛЬНЫХ ПОДОТРАСЛЯХ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ В РОССИИ В ЯНВАРЕ–НОЯБРЕ 2017 г.

ПРОИЗВОДСТВО СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ В ОТДЕЛЬНЫХ ПОДОТРАСЛЯХ

Подотрасль, продукция	Ноябрь 2017 г.	В % к		Январь–ноябрь 2017 г. в % к январю–ноябрю 2016 г.
		ноябрю 2016 г.	октябрю 2017 г.	
Добыча металлических руд				
Концентрат железорудный, млн т	7,5	90,6	93,9	93,7
Производство электроферросплавов				
Ферросилиций, тыс. т	70,0	106,6	100,2	90,6
Производство кокса				
Кокс и полукокс из каменного угля, млн т	2,3	96,7	97,8	96,5
Производство огнеупоров				
Цементы огнеупорные, строительные растворы, бетоны и аналогичные составы, не включенные в другие группировки, тыс. т	147,0	156,8	92,5	150,3
Изделия огнеупорные безобжиговые и прочие огнеупорные керамические изделия, тыс. т	55,0	97,1	88,4	106,6

ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА, СТАЛИ И ГОТОВОГО ПРОКАТА

Подотрасль, продукция	Ноябрь 2017 г.	В % к		Январь–ноябрь 2017 г. в % к январю–ноябрю 2016 г.
		ноябрю 2016 г.	октябрю 2017 г.	
Чугун зеркальный и переделный в чушках, болванках или в прочих первичных формах, млн т	4,4	101,9	100,9	100,3
Сталь нелегированная в слитках или в прочих первичных формах и полуфабрикаты из нелегированной стали, млн т	4,3	92,8	97,7	100,3
Сталь нержавеющая в слитках или прочих первичных формах и полуфабрикаты из нержавеющей стали, тыс. т	14,5	99,7	99,9	98,7
Сталь легированная прочая в слитках или в прочих первичных формах и полуфабрикаты из прочей легированной стали, млн т	1,2	102,2	106,3	103,1
Прокат готовый, млн т	4,8	93,2	92,7	100,7

ПРОИЗВОДСТВО СТАЛЬНЫХ ТРУБ ПО ВИДАМ

Подотрасль, продукция	Ноябрь 2017 г.	В % к		Январь–ноябрь 2017 г. в % к январю–ноябрю 2016 г.
		ноябрю 2016 г.	октябрю 2017 г.	
Трубы стальные для нефте- и газопроводов бесшовные, тыс. т	58,2	100,9	130,1	97,3
Трубы обсадные, насосно-компрессорные трубы и бурильные трубы, используемые для бурения нефтяных или газовых скважин, бесшовные стальные, тыс. т	138,1	98,7	102,0	108,2
В том числе:				
обсадные бесшовные стальные	83,8	98,8	94,0	120,2
насосно-компрессорные бесшовные стальные	52,2	99,3	120,6	93,3
бурильные для бурения нефтяных и газовых скважин бесшовные стальные	2,1	83,1	72,7	78,8
Трубы круглого сечения прочие стальные, тыс. т	200	106,2	84,8	113,8

ПРОИЗВОДСТВО НЕКОТОРЫХ ВИДОВ МЕТИЗНОЙ ПРОДУКЦИИ

Подотрасль, продукция	Ноябрь 2017 г.	В % к		Январь–ноябрь 2017 г. в % к январю–ноябрю 2016 г.
		ноябрю 2016 г.	октябрю 2017 г.	
Производство метизов				
Проволока холоднотянутая из нелегированной стали, тыс. т	101	86,6	93,5	99,0
Проволока холоднотянутая из нержавеющей стали, т	890	80,1	116,8	61,9
Проволока холоднотянутая из прочей легированной стали, тыс. т	18,2	93,2	101,7	112,9

По данным Федеральной службы государственной статистики РФ, ОАО "Черметинформация".

Подготовлено Н.Г. Зиновьевой