

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Оригинальная статья

УДК 669.162.1

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗОРУДНОГО АГЛОМЕРАТА В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

А. А. Одинцов

Сибирский государственный индустриальный университет (Россия, 654007, Кемеровская обл. – Кузбасс, Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

Аннотация. Представлены результаты аналитического обзора по современному состоянию технологии производства железорудного агglomerата в России. Описана динамика производства агglomerата за последние 30 лет, ситуация ввода/вывода производственных мощностей агглофабрик. Обобщены и структурированы основные аспекты технологии, действующей в России, схемы производства агglomerата: подготовка шихтовых материалов и их окучивание на агglomerационной машине, охлаждение и обработка агглюспека. Отражены тенденции развития цифровых технологий и решения экологических вопросов на агглофабриках.

Ключевые слова: агглофабрика, агglomerат, агglomerация, шихтовые материалы

Для цитирования: Одинцов А.А. Современное состояние технологии производства железорудного агglomerата в отечественной металлургии // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2022. № 3 (41). С. 28 – 36.

Original article

THE CURRENT STATE OF IRON ORE AGGLOMERATE PRODUCTION TECHNOLOGY IN THE DOMESTIC METALLURGY

A. A. Odintsov

Siberian State Industrial University (654007, Kemerovo Region, Russia – Kuzbass, Novokuznetsk, Kirova str., 42)

Abstract. The results of an analytical review on the current state of iron ore agglomerate production technology in Russia are presented. The dynamics of agglomerate production over the past 30 years, the situation of input/output of sinter production capacities are described. The main aspects of the technology operating in Russia, the agglomerate production schemes are summarized and structured: preparation of charge materials and their caulking on an agglomeration machine, cooling and processing of the sinter. The trends of sinter plants in the development of digital technologies and the solution of environmental issues are reflected.

Keywords: sinter plant, agglomerate, agglomeration, charge materials

For citation: Odintsov A.A. The current state of iron ore agglomerate Production Technology in Domestic metallurgy. *Bulletin of the Siberian State Industrial University*. 2022, no. 3 (41), pp. 28 – 36. (In Russ.).

Общие аспекты

Основным видом окучиваемого железорудного сырья для производства чугуна по-прежнему остается агglomerат. Особенно рассматриваемая тенденция характерна для ме-

таллошихты отечественных доменных печей (среднее содержание агglomerата в ней составляет 70 – 80 %).

Требования к показателям качества агglomerата по содержанию железа, постоянству хими-

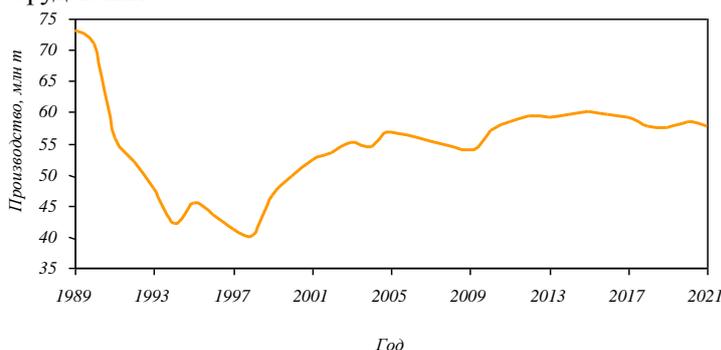
Состав парка агломерационных машин России
Table 1. The composition of the fleet of agglomeration machines in Russia

Предприятие	Год ввода в эксплуатацию	Число агломерационных машин, шт.	Суммарная площадь спекания, м ²	Проектная мощность, млн т/год
ММК (№ 2, 3, 5)	1947 – 1953 (№ 2, 3), 2019 (№ 5)	11	1275	13,0
Чусовской МЗ	Н. д.	2	90	Н. д.
Уральская сталь	1963 – 1964	4	336	2,7
Северсталь	1962 – 1981	8	1008	8,5
НЛМК	1964 – 1973	4	1248	11,7
ЕВРАЗ ЗСМК	1967 – 1971	3	924	7,1
Челябинский МК (№ 2)	2005 – 2006	4	552	4,5
Надеждинский металлургический завод	1946	2	70	1,0
Тулачермет	1960 – 1961	3	298	2,9
ЕВРАЗ Качканарский ГОК	1965	2	472	2,9
Высокогорский ГОК	1958 – 1961	4	300	3,0
ЧЭМК	1963	1	50	0,5
Итого по России	–	48	6623	57,8

ческого состава, содержанию мелочи, холодной и горячей прочности, восстановимости и другим параметрам постоянно повышаются, поэтому перед специалистами в области агломерационного производства стоит задача поэтапного совершенствования технологического процесса агломерации с целью достижения лучших отечественных и мировых показателей.

Производством агломерата в 2021 г. на территории России занимались 12 предприятий: всего действовали 48 агломерационных машин с площадью спекания от 17 до 312 м² (табл. 1).

Динамика производства агломерата в РСФСР и России за последние 30 лет приведена на рисунке. Уровень производства агломерата в настоящее время в России значительно ниже, чем в РСФСР. Это связано, в основном, с финансово-экономическими кризисами первой половины 1990-х и 2009 гг. За период 1991 – 2009 гг. в России из эксплуатации были выведены девять агломерационных фабрик (табл. 2). Большинство из указанных агломерационных машин были введены в эксплуатацию в 30 – 50-х гг. XX в., и на момент вывода из эксплуатации имели не существенную единичную мощность (менее 100 м³) и значительный физический износ основного оборудования.



Динамика производства железорудного агломерата в РСФСР и России
 Dynamics of iron ore agglomerate production in the RSFSR and Russia

В тоже время, за последние 20 лет наметилась тенденция к строительству новых отечественных агломерационных фабрик большой единичной мощности (площадью спекания более 100 м²), отвечающих современным требованиям высокоэффективного производства и экологии. Совершенно новая агломерационная фабрика № 2 ОАО «Мечел» была введена в эксплуатацию в 2005 – 2006 гг., в 2019 г. ПАО «ММК» закончила горячие испытания современной агломерационной фабрики № 5. В других агломерационных цехах модернизация существующего оборудования и совершенствование технологии производства идет эволюционным путем ввиду ограниченности инвестиций в условиях стагнации экономики или площадей для строительства новых объектов в рамках действующего производства.

Далее рассмотрим основные технологические этапы подготовки шихтовых материалов к спеканию и производства железорудного агломерата, а также передовые способы повышения технологической эффективности указанных процессов, которые нашли применение на российских предприятиях.

Агломерационные фабрики России, выведенные из эксплуатации с 1991 по 2019 гг.**Table 2. Agglomeration factories of Russia, decommissioned from 1991 to 2019**

Предприятие	Год ввода в эксплуатацию	Год вывода из эксплуатации	Число агломерационных машин, шт.	Суммарная площадь спекания, м ²
ММК (№ 1)	1937 – 1941	1991	4	250,0
ММК (№ 4)	1964	2019	4	380,8
Высокогорская	1942 – 1948	1992	4	200,0
Мундыбашская	1935 – 1954	1998	4	248,0
Северсталь (№ 1)	1956	1992 – 1993	3	225,0
Фабрика «КМАруда»	1952	1992	1	56,0
Гороблагодатская	1954 – 1958	1994 – 1996	3	200,0
Мечел (№ 1)	1956 – 1958	2008	3	212,5
Абагурская (№ 1, 2)	1956 – 1971	2006 – 2009	9	720,0

Подготовка шихтовых материалов к агломерации

Наиболее примитивная с технологической точки зрения схема подготовки шихтовых материалов на отечественных агломерационных фабриках включает стандартное оборудование для разгрузки, распределения, складирования и усреднения железорудного сырья: вагонопрокидыватели с рудно-грейферными перегружателями, укладываемыми выгруженный материал в штабели и забором материала с помощью тех же мостовых перегружателей или экскаваторов (табл. 3).

Более совершенная схема подразумевает выгрузку материала с помощью саморазгружающейся тележки (работает в автоматическом режиме) с конвейера, проходящего в верхней части склада вдоль продольной оси. Однако в этом случае невозможно достичь стопроцентного усреднения сформированного штабеля по причине забора материала грейферным краном или экскаватором ограниченного количества слоев. Такая схема наиболее широко распространена на отечественных агломерационных фабриках.

Передовые предприятия ориентированы на использование высокопроизводительного оборудования с возможностью подачи материала в любую точку формируемого штабеля и одновременной отработки всего сечения штабеля при заборе его в производство (штабелеукладчики одно- или двухконсольные поворотные, заборно-усреднительные машины, универсальные погрузочно-разгрузочные машины) [1].

На стадии формирования штабеля рекомендуется применение комбинированного способа ввода извести в агломерационную шихту, который подразумевает закладку первой части от общего объема извести в штабель вместе с железорудными материалами и вылеживание известкованной смеси на определенный срок. При этом ввод извести в железорудный материал может осуществляться как на горно-

обогащительном предприятии, так и непосредственно на аглофабрике. В первом случае известь служит профилактическим средством против смерзаемости железорудного сырья при его транспортировке до потребителя [2].

Подготовка твердого топлива к агломерации осуществляется по типовой технологической схеме: дробление материала в конусных дробилках с предварительным грохочением на инерционных грохотах и последующем измельчением дробленого топлива на четырехвалковых дробилках. Иногда вместо конусных дробилок применяют двухвалковые, а в качестве альтернативы четырехвалковой дробилке используют стержневые мельницы (модернизированные молотковые дробилки) [3]. При таких схемах подготовки на агломерацию поступает топливо с содержанием нежелательной фракции 0 – 0,5 мм порядка 30 – 40 % и выходом крупных фракций (3 – 13 мм) более 10 %. На некоторых аглофабриках для повышения качества подготовки топлива применяют четырехвалковые дробилки повышенной производительности и предварительный отсев топлива перед четырехвалковыми дробилками [1]. При использовании стандартных схем и оборудования для подготовки топлива к агломерации остается актуальным вопрос совершенствования режимов работы существующего оборудования в изменяющихся условиях формирования гранулометрического состава исходного топлива на складе [4].

Традиционно подготовка флюсов (известняка/доломита) для производства агломерата осуществляется в молотковых дробилках, которые работают в связке с грохотами для контрольного грохочения уже дробленого материала: крупная фракция направляется на додрабление в молотковые дробилки, а мелкая – в корпус агломерации. На многих агломерационных фабриках актуальным остается вопрос пропускной способности контрольных грохотов в переходный период (весна, осень), когда исходный флюс со-

Схемы подготовки железорудного сырья на основных предприятиях отрасли
Table 3. Schemes for the preparation of iron ore raw materials at the main enterprises of the industry

Предприятие	Разгрузка ЖРС	Подача и складирование	Забор в производство	Применение извести
АО «ЕВРАЗ ЗСМК»	Вагоно-опрокидыватель	Послойная укладка материалов по всей длине штабеля	В разрез штабеля с помощью экскаватора	Ввод извести в ЖРС при подаче усредненной смеси концентратов в шихтовое отделение
ПАО «ММК» (№ 2, 3, 4) № 5	Приемные бункера	Послойная укладка материалов по всей длине штабеля	Поэтапная обработка грейферным краном	Ввод извести и смешивание ее в смеси с ЖРС перед подачей в штабель
			В разрез штабеля с помощью заборщика	
ПАО «Северсталь»	Вагоноопрокидыватель	Послойная укладка материалов по всей длине штабеля	Через разгрузочные устройства под штабелем. Подача остатков штабеля с помощью бульдозера/экскаватора	Дозирование в шихтовом отделении
ПАО «НЛМК»	Вагоно-опрокидыватель	Послойная укладка материалов по всей длине штабеля	В разрез штабеля с помощью экскаватора	Ввод извести и смешивание ее в смеси с ЖРС перед подачей в штабель
ПАО «Мечел» (№ 2)	Вагоно-опрокидыватель	Послойная укладка материалов по всей длине штабеля	В разрез штабеля с помощью заборно-усреднительной машины	Ввод извести и смешивание ее в смеси с ЖРС перед подачей в штабель
Тулачермет	Вагоно-опрокидыватель	Формирование и забор штабелей рудно-козловыми перегружателями		Ввод извести и смешивание ее в смеси с ЖРС перед подачей в штабель
АО «ЕВРАЗ КГОК»	В бункера шихтового отделения	Отсутствует стадия складирования		Не применяется

держит повышенное количество влаги (3 % и более), что приводит к залипанию сит контрольных грохотов и снижению выхода годного флюса. Возможным решением этого вопроса является применение сит с увеличенным живым сечением (с размером ячейкой 4 – 5 мм, вместо 3 мм, если при такой схеме обеспечивается требования к контролируемым классам готового флюса). Кардинальным решением рассматриваемой проблемы является использование грохотов нестандартной конструкции (например, флипплоп), а также работа с поставщиками флюсов по исключению мелкой (менее 5 мм) фракции, подверженной влагонасыщению.

В процессе подготовки шихтовых материалов к агломерации особое внимание уделяется дозированию компонентов шихты. Основные тенденции повышения эффективности процесса дозирования следующие: увеличение точности весодозаторов, реализация современных систем

автоматизации, в том числе с возможностью синхронизации с АСУ ТП спекательного отделения. На шихтовых материалах (точность дозирования которых не принципиальна) по-прежнему используются тарельчатые питатели (устаревшие схемы дозирования).

Смешивание компонентов шихты повсеместно осуществляется в смесителях барабанного типа. На аглофабриках где применяется известь в качестве интенсификатора процесса агломерации рекомендуется часть воды подавать в смеситель для предварительного окомкования и нагрева шихты. Подобная схема подачи воды актуальна для материалов, имеющих в своем составе высокую долю тонкоизмельченных концентратов мокрой магнитной сепарации (особенно в зимний период времени), когда на агломерационную фабрику концентраты поступают в сухом состоянии (с влажностью менее 3 %). Основное требование к предварительно увлаж-

ненной шихте – это возможность беспрепятственной подачи шихты по перегрузочным узлам и бункерам агломерационного отделения. Для предотвращения налипания и примерзания шихты к стенкам бункеров и перегрузочных узлов рекомендуется использовать специальное оборудование (вибро- и пневмообрушение), а также футеровку стенок особыми материалами (полиуретаном), имеющих низкий коэффициент трения и высокую износостойкость. В случае если рассматриваемая технология предусмотрена проектом для новой аглофабрики, необходимо, чтобы конфигурация бункеров и перегрузочных узлов уже на стадии проектирования соответствовала физико-химическим свойствам предварительно увлажненной шихты.

Для смесителей устанавливают максимально возможную скорость вращения для обеспечения эффективности смешивания компонентов шихты с учетом ограничений по виброн нагрузке основных узлов агрегата. Для сохранения температуры шихты в зимний период времени иногда применяют предварительный нагрев теплоносителем (острым паром), который подают непосредственно в корпус барабана в слой шихты.

На следующей стадии подготовки шихтовой смеси (окомковании) достигается окончательное формирование гранулометрического состава окомкованной шихты перед ее спеканием. Поэтому именно на этой стадии предъявляются особо жесткие требования к оборудованию и технологическому режиму окомкователя шихты. В отечественной практике на стадии окомкования применяют, как и на стадии смешивания, окомкователи барабанного типа. Для подбора технологического режима может изменяться скорость вращения барабана, способ подачи воды на поверхность движущейся в барабане шихты и в редких случаях угол наклона окомкователя. При недостаточной температуре шихты (менее 60 °С), которая обеспечивается в основном вводом в шихту извести и горячего возврата, в корпусе барабана монтируются специальные устройства для подачи острого пара [5] или горелки для сжигания газообразного топлива [6].

Известен отечественный опыт окомкования агломерационной шихты из тонкоизмельченных концентратов в тарельчатых грануляторах [7], установленных и работающих параллельно барабанным окомкователям. Несмотря на полученные положительные результаты (увеличение производительности и качества агломерата), практика использования тарельчатых грануляторов для окомкования агломерационной шихты не получила дальнейшего распространения.

Агломерация шихтовых материалов

Для загрузки шихты на большинстве агломерационных машинах используют стандартную

схему барабанный питатель – наклонный латок, которая дополняется различными специальными устройствами (стабилизаторы потока шихты, горизонтальные стержни, различные вырезы и щели на затворе и дозаторе барабанного питателя, дополнительные отражательные листы), позволяющими более эффективно управлять сегрегацией, равномерностью распределения и плотностью уложенной на паллеты шихты [8, 9].

По-прежнему остается дискуссионным вопрос использования однослойной или двухслойной загрузки шихты на крупных агломерационных машинах, например, типа АКМ-312. Несмотря на положительный опыт по увеличению производительности агломерационных машин Новолипецкого, Череповецкого и Карагандинского металлургических комбинатов, осуществивших переход с двухслойной на однослойную загрузку шихты (за счет демонтажа узла нижней загрузки и переноса зажигательного горна на несколько вакуум-камер вперед машины с соответствующим увеличением полезной площади спекания) [10], выявлено негативное последствие при подобном изменении схемы загрузки шихты: ухудшение качества агломерата (прочностные характеристики) из-за невозможности оперативного регулирования температурно-теплового состояния верхней части спекаемого слоя за счет подшихтовки в него дополнительного топлива.

Для поддержания эффективного живого сечения колосникового поля, увеличения срока службы колосников и уменьшения просыпи мелких частиц шихты в газовый коллектор на части агломерационных фабрик используют постель. Основные проблемы получения качественной постели – неэффективный конструктив и живое сечение грохотов для выделения довольно узкоклассифицированного агломерата (обычно варьируется в диапазоне 5 – 23 мм).

Для повышения эффективности внешнего нагрева агломерационной шихты и экономии топливно-энергетических ресурсов наметилась тенденция сокращения площади зажигательного горна с применением плоскопламенных горелок [11].

Развитие самого конструктива современных агломерационных машин направлено на максимизацию герметичности газоотводящей системы и повышение других технологических показателей (применение подвижной разгрузочной части, поджимаемой с помощью контргрузов; использование шторного уплотнения, высоких и/или уширенных бортов, самоочищающуюся колосниковую решетку на спекательных тележках), а также сокращение эксплуатационных затрат (автоматизация системы смазки спекательных тележек; охлаждение агломерата на агло-

машине; сухая уборка просыпи из-под газового коллектора), повышение эффективности управления производственными процессами (АСУ ТП процесса спекания; видеонаблюдение рабочих площадок) [11, 12].

Охлаждение и обработка агломерационного спека

Для дробления горячего агломерационного спека на металлургических предприятиях широкое распространение получили одновалковые зубчатые дробилки. Качество агломерата после дробления на одновалковой зубчатой дробилке характеризуется высоким содержанием кусков с размерами более 200 мм (более 25 %) и мелочи с размерами 0 – 5 мм (около 10 %) [13], что не удовлетворяет требованиям доменного процесса. Повышение качества дробления на рассматриваемом типе дробилок сводилось к изменению числа и формы зубьев или места их установки относительно друг друга [14, 15].

Известны примеры исследования и эксплуатации в России аглодробилок с консольно расположенными колосниками [16, 17] и роторных дробилок [13]. Несмотря на ряд преимуществ (упрощение конструкции, увеличение выхода годного для первого типа дробилок, снижение верхнего предела крупности, высокая производительность и износостойкость для второго типа дробилок), они не получили дальнейшего распространения по разным причинам. Для агломерационных машин с невысокой единичной мощностью (менее 240 м² – агломерационные машины ПАО «Мечел») возможно использование щековых дробилок для механической обработки агломерационного спека.

В настоящее время на агломерационных фабриках России применяется три типа охладителей (линейный – ЕВРАЗ ЗСМК, Северсталь, НЛМК; кольцевой – ММК и чашевый – ЕВРАЗ КГОК) и два варианта охлаждения агломерата (без отсева – ММК, Мечел и с отсевом горячего возврата – все остальные предприятия). На устаревших агломерационных фабриках стадия охлаждения агломерата вообще отсутствует.

Окончательное формирование гранулометрического состава агломерата осуществляют по различным схемам сортировки. Самая простая схема подразумевает грохочение агломерационного спека сразу после процесса спекания с выделением горячего возврата (агломерационная фабрика ВГОК). Более совершенная схема может включать в себя две стадии получения возврата: горячего и холодного (или только холодного), но без выделения постели (НЛМК, АФ №№ 2, 3 ММК) или только с холодным грохочением и сортировкой постели (Мечел, АФ № 5

ММК). Самая продвинутая схема сортировки агломерата, помимо горячего и холодного грохочения, включает грохота выделения постели (ЕЗСМК, аглоцех № 3 Северстали и др.). Для сортировки аглоспека широкое распространение получили самобалансные отечественные грохота типа ГСТ, реже применяются аналоги зарубежных поставщиков (Schenk Process). Практически на всех металлургических предприятиях обязательным условием подготовки качественных шихтовых материалов для доменной плавки является наличие стадии отсева агломерата в доменном цехе.

Цифровые технологии и экология

В последнее десятилетие большой интерес представляет использование цифровых технологий для оптимизации процессов подготовки шихтовых материалов и производства агломерата на различных стадиях их реализации: закладка и распределение железосодержащих материалов в штабеле, составление и увлажнение агломерационной шихты, контроль качества полученного агломерата; диагностика состояния основного технологического оборудования (агломерационных машин, конвейеров и т.п.). На ряде фабрик (ММК, Северсталь, ЕВРАЗ ЗСМК) тестируются онлайн анализаторы химического состава входящих материалов (смешанной шихты) или готового агломерата [18], что открывает широкие возможности оперативного регулирования качества агломерата и создания экспертных систем агломерационного производства.

На крупных металлургических предприятиях агломерационное производство остается подразделением, перерабатывающем большую часть железосодержащих отходов различных переделов: шламы и пыли коксового, доменного, сталеплавильных цехов, продукты переработки сталеплавильных шлаков, сухая и промасленная окалина прокатных цехов, агломерационные шламы и т.д. [19 – 21]. При вовлечении отходов металлургического производства в каждом конкретном случае оценивается баланс вредных примесей в агломерационной шихте (сера, фосфор, цинк, титан, щелочные металлы и др.) с целью оптимизации состава компонентов шихты и минимизации перехода вредных соединений и элементов на дальнейшие переделы (доменный и сталеплавильный), а также влияние ввода отходов на показатели процесса спекания и качества агломерата.

Агломерационная фабрика традиционно является крупным источником выбросов загрязняющих веществ (СО, SO₂, NO_x) и пыли в атмосферу [22]. Поэтому при строительстве новых или модернизации старых цехов монтируется

современные системы рециркуляции агломерационных газов, устанавливаются высокоэффективные электрофильтры, рукавные фильтры, строятся сероулавливающие установки [23 – 25].

Выводы

подавляющее большинство агломерационных производств в России имеют традиционную технологическую схему подготовки шихтовых материалов и производства агломерата, разработанную еще во второй половине XX в. Она обеспечивается за счет использования роторных вагоноопрокидывателей, экскаваторов на стадиях разгрузки, распределения, усреднения и подачи шихтовых материалов; весодозаторов, смесительно-окомковательного оборудования барабанного типа, агломашин типа АКМ (на стадиях дозирования, смешивания, окомкования и спекания подготовленной шихты). Обработка агломерационного сепка (дробление, охлаждение и грохочение) не имеет типовой аппаратно-технологической схемы и для каждой фабрики имеет свои особенности.

Несмотря на отставание отечественных агломерационных фабрик от зарубежных по уровню технического оснащения и технологического развития, новые производства проектируются и строятся уже с учетом современных тенденций в области подготовки шихтовых материалов, автоматизации производственных процессов и экологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горшков Н.А., Казанцев Е.А., Мягченкова Н.П. и др. Развитие агломерационного производства ОАО «ЧМК» // *Металлург*. 2013. № 3. С. 37–40.
2. Одинцов А.А., Долинский В.А. Особенности использования в агломерационном пелледеле профилактинированного известью железорудного концентрата // *Проблемы черной металлургии и материаловедения*. 2013. № 4. С. 15–20.
3. Фролов Ю.А., Бездежский Г.Н., Малыгин А.М. Подготовка топлива к агломерации руд и концентратов на конвейерных машинах // *Цветная металлургия*. 2002. № 8-9. С. 10–15.
4. Одинцов А.А., Долинский В.А. Оптимизация производительности дробильно-сортировочного оборудования для подготовки твердого топлива к агломерации // *Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук*. Отделение металлургии. 2009. № 23. С. 25–32.
5. Дячок Н.Г., Шарига А.Д., Смольников А.Ф. и др. Опыт подогрева агломерационной шихты паром // *Сталь*. 1999. № 5. С. 10–14.
6. Ав. св. 852951 СССР, МКИЗ С 22 В 1/14. Устройство для подогрева агломерационной шихты / В.И. Литвинов, И.А. Дегтеренко, Б.Н. Николаев, А.М. Брылин. (СССР). № 4102255/23-02; заявл. 05.05.86; опубл. 15.05.89.
7. Исаенко Г.Е., Сапрыкин А.Н., Кузнецов А.С., Пузанов В.П., Фролов Ю.А. Комбинированное окомкование агломерационной шихты в аппаратах барабанного типа и тарельчатых грануляторах // *Сталь*. 2009. № 8. С. 2–7.
8. Фролов Ю.А. и др. Усовершенствованная система загрузки шихты на агломашину АКМ-312 // *Черная металлургия*. Бюллетень НТИ. 1987. № 22. С. 30–33.
9. Осокин Н.А. Комплексная подготовка аглошихты к спеканию. Материалы к техническому совету. Новокузнецк: Кузнецкий ГОК, 2004. 57 с.
10. Викулов Г.С., Кабанов Ю.А. О некоторых проблемах в конструктивных решениях аглофабрик // *Черная металлургия*. 2000. № 5. С. 17.
11. Жилкин В.П., Доронин Д.Н. Производство агломерата. Технология, оборудование, автоматизация. Екатеринбург: Уральский центр ПР и рекламы, 2004. 292 с.
12. Фролов Ю.А. и др. Научно-техническое обоснование модернизации агломерационной фабрики ОАО «ЧМК» с охлаждением спека на агломерационных машинах // *Черная металлургия*. № 1. 2010. С. 24–36.
13. Борискин И.К., Арыков Г.А., Пыриков А.Н. Интенсивная механическая обработка агломерата. Теория, оборудование, технология. М.: МИСИС, 1998. 248 с.
14. Мартыненко В.А., Кухарь А.С. Производство агломерата (технология, организация рабочего места). М.: Металлургия, 1985. 72 с.
15. Притыкин Д.П. Механическое оборудование заводов цветной металлургии. Ч. 1. Механическое оборудование для подготовки шихтовых материалов. М.: Металлургия, 1988. 392 с.
16. Макаров К.К. Аглодробилки с консольно расположенными колосниками // *Вестник машиностроения*. 2000. № 7. С. 69–70.
17. Пат. 2231387 РФ, МКИ В 02 С 4/08. Одновалковая зубчатая дробилка / Макаров К.К., Невраев В.П., Баринов С.И. (РФ); опубл. 24.06.2004. Бюл. № 18.
18. Рябчиков М.Ю., Гребенникова В.В., Рябчикова Е.С., Богданов Н.В. и др. Обзор существующих систем оперативного управления агломерационным процессом // *Автоматизированные технологии и производства*. 2015. № 3. С. 31–35.

19. Одинцов А.А., Долинский В.А. Использование отходов коксового цеха в агломерационно-известковом производстве ОАО «ЗСМК». В кн.: Управление отходами – основа восстановления экологического равновесия в Кузбассе. Сб. докл. второй межд. науч.-практ. конф. Новокузнецк, 8-10 окт. 2008. Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2008. С. 215–222.
20. Долинский В.А., Никитин Л.Д., Одинцов А.А., Домнин К.И. Рецикл техногенных отходов при производстве агломерата и чугуна // Известия вузов. Черная металлургия. 2010. № 8. С. 41–44.
21. Одинцов А.А., Долинский В.А. Опыт утилизации переработанных отвальных мартеновских шлаков на агломерационной фабрике. В кн.: Управление отходами – основа восстановления экологического равновесия промышленных регионов России. Сб. докл. четвертой межд. науч.-практ. конф. Новокузнецк, 23-25 окт. 2012. Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2012. С. 218–227.
22. Фролов Ю.А. Агломерация. Технология. Теплотехника. Управление. Экология. М.: Металлургиздат, 2016. 672 с.
23. Птичников А.Г., Баринов В.Х., Казанцев и др. Повышение эффективности работы аглофабрики ОАО ЧМК // Сталь. 2011. № 7. С. 6–14.
24. Дунаев А.В., Лавошник А.С., Котынский Д.А. и др. Технологические решения по очистке аглогазов от пыли и оксидов серы на ОАО «Металлургический завод им. А.К. Серова» // Экология и промышленность. 2013. № 2. С. 46–48.
25. На ММК завершена реконструкция сероулавливающей установки в аглоцехе // Магнитогорский металлургический комбинат. 2016. Электронный ресурс. URL: http://mmk.ru/press_center/69599/ (дата обращения 20.08.2021).
4. Odintsov A.A., Dolinskii V.A. Optimization of the productivity of crushing and screening equipment for the preparation of solid fuel for agglomeration. *Vestnik gorno-metal-lurgicheskoi sektsii Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Otdelenie metallurgii*. 2009, no. 23, pp. 25–32. (In Russ.).
5. Dyachok N.G., Shariga A.D., Smol'nikov A.F. etc. Experience of heating agglomeration charge with steam. *Stal'*. 1999, no. 5, pp. 10–14. (In Russ.).
6. Litvinov V.I., Degterenko I.A., Nikolaev B.N., Brylin A.M. *Device for heating agglomeration charge*. Av. sv. 852951 SSSR, MKI3 S 22 V 1/14. opubl. 15.05.89. (In Russ.).
7. Isaenko G.E., Saprykin A.N., Kuznetsov A.S., Puzanov V.P., Frolov Yu.A. Combined pelletizing of agglomeration charge in drum-type apparatuses and plate granulators. *Stal'*. 2009, no. 8, pp. 2–7. (In Russ.).
8. Frolov Yu.A. et al. Improved charge loading system for the agglomeration machine AKM-312. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' NTI*. 1987, no. 22, pp. 30–33. (In Russ.).
9. Osokin N.A. *Complex preparation of sintering sinter. Materials for the technical council*. Novokuznetsk: Kuznetskii GOK, 2004, 57 p. (In Russ.).
10. Vikulov G.S., Kabanov Yu.A. *About some problems in the design solutions of sinter plants*. *Chernaya metallurgiya*. 2000, no. 5, pp. 17. (In Russ.).
11. Zhilkin V.P., Doronin D.N. *Agglomerate production. Technology, equipment, automation*. Ekaterinburg: Ural'skii tsentr PR i reklamy, 2004, 292 p. (In Russ.).
12. Frolov Yu.A. et al. Scientific and technical substantiation of modernization of the agglomeration factory of JSC "CHMK" with sinter cooling on agglomeration machines. *Chernaya metallurgiya*. 2010, no. 1, pp. 24–36. (In Russ.).
13. Boriskin I.K., Arykov G.A., Pyrikov A.N. *Intensive mechanical treatment of agglomerate. Theory, equipment, technology*. Moscow: MISIS, 1998, 248 p. (In Russ.).
14. Martynenko V.A., Kukhar' A.S. *Agglomerate production (technology, workplace organization)*. Moscow: Metallurgiya, 1985, 72 p. (In Russ.).
15. Pritykin D.P. *Mechanical equipment of non-ferrous metallurgy plants. Part 1. Mechanical equipment for the preparation of charge materials*. Moscow: Metallurgiya, 1988, 392 p. (In Russ.).
16. Makarov K.K. Agglodrobilki with cantilevered grates. *Vestnik mashinostroeniya*. 2000, no. 7, pp. 69–70. (In Russ.).
17. Makarov K.K., Nevraev V.P., Barinov S.I. *Single-roll gear crusher*. Pat. 2231387 RF, MKI V 02 S 4/08. opubl. 24.06.2004. *Byullten' izobretenii*. 2004, no. 18. (In Russ.).

REFERENCES

1. Gorshkov N.A., Kazantsev E.A., Myagchenkova N.P. etc. Development of agglomeration production of OJSC "CHMK". *Metallurg*. 2013, no. 3, pp. 37–40. (In Russ.).
2. Odintsov A.A., Dolinskii V.A. Features of the use of lime-cured iron ore concentrate in agglomeration redistribution. *Problemy chernoi metallurgii i materialovedeniya*. 2013, no. 4, pp. 15–20. (In Russ.).
3. Frolov Yu.A., Bezdezhskii G.N., Malygin A.M. Preparation of fuel for agglomeration of ores and concentrates on conveyor machines. *Tsvetnaya metallurgiya*. 2002, no. 8-9, pp. 10–15. (In Russ.).

18. Ryabchikov M.Yu., Grebennikova V.V., Ryabchikova E.S., Bogdanov N.V. et al. Review of existing systems of operational management of the agglomeration process. *Avtomatizirovannye tekhnologii i proizvodstva*. 2015, no. 3, pp. 31–35. (In Russ.).
19. Odintsov A.A., Dolinskii V.A. Use of coke shop waste in agglomeration and lime production of JSC "ZSMK". In: *Waste management is the basis for restoring ecological balance in Kuzbass. Sat. dokl. the second international scientific-practical conf. Novokuznetsk, 8-10 Oct. 2008*. Novokuznetsk: izd. SibGIU, 2008, pp. 215–222. (In Russ.).
20. Dolinskii V.A., Nikitin L.D., Odintsov A.A., Domnin K.I. Recycling of technogenic waste in the production of agglomerate and cast iron. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2010, no. 8, pp. 41–44. (In Russ.).
21. Odintsov A.A., Dolinskii V.A. The experience of recycling recycled open-hearth slag at an agglomeration plant. In: *Waste management – the basis for restoring the ecological balance of industrial regions of Russia. Sat. dokl. fourth international scientific and practical conference. Novokuznetsk, October 23-25, 2012*. Novokuznetsk: izd. SibGIU, 2012, pp. 218–227. (In Russ.).
22. Frolov Yu.A. *Agglomeration. Technology. Heat engineering. Management. Ecology*. Moscow: Metallurgizdat, 2016, 672 p. (In Russ.).
23. Ptichnikov A.G., Barinov V.Kh., Kazantsev et al. Improving the efficiency of the sinter plant of OJSC CHMK. *Stal'*. 2011, no. 7, pp. 6–14. (In Russ.).
24. Dunaev A.V., Lavoshnik A.S., Kotynskii D.A. etc. Technological solutions for the purification of sinter gases from dust and sulfur oxides at JSC "Metallurgical Plant named after A.K. Serov". *Ekologiya i promyshlennost'*. 2013, no. 2, pp. 46–48. (In Russ.).
25. Reconstruction of the sulfur-collecting plant in the sinter plant has been completed at MMK. *Magnitogorsk Metallurgical Combine*. 2016. Electronic resource. URL: http://mmk.ru/press_center/69599/ (accessed 20.08.2021). (In Russ.).

Сведения об авторах

Антон Александрович Оди́нцов, к.т.н., доцент кафедры металлургии черных металлов, Сибирский государственный индустриальный университет
E-mail: aa_odincov@mail.ru

Information about the authors

Anton A. Odintsov, Associate Professor of Ferrous Metallurgy, Siberian State Industrial University
E-mail: aa_odincov@mail.ru

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Поступила в редакцию 15.06.2022
 После доработки 15.08.2022
 Принята к публикации 18.08.2022

Received 15.06.2022
 Revised 15.08.2022
 Accepted 18.08.2022