

Д. т. н. С. Я. Давыдов (✉), д. т. н. А. М. Амдур, д. т. н. Н. Г. Валиев,
д. х. н. Р. А. Апакашев, к. т. н. В. С. Шестаков

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный
университет», Екатеринбург, Россия

УДК 621.928.232:622.807.12]:658.589

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ И РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПЫЛЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ ГРОХОЧЕНИИ ГОРЯЧЕГО КУСКОВОГО МАТЕРИАЛА

Приведены результаты химического анализа проб пыли, отобранных в агломерационном цехе. Для снижения запыленности производственных помещений предложены колосниковые грохоты с отсосом пыли в непосредственной близости от горячей колосниковой решетки. Проведенные работы позволяют повысить надежность работы грохота, уменьшить перепад разрежения и в конечном итоге сократить энергозатраты за счет устранения забивания отверстий каналов падающими сверху кусками транспортируемого материала. Рассчитаны площадь просеивающей поверхности и линейные размеры колосника для требуемой производительности агрегата. Проведены прочностные расчеты для определения сечения колосников и узлов их крепления к балкам.

Ключевые слова: горячий кусковый материал, агломерация, колосниковый грохот, интегральная кривая распределения частиц по размерам.

Технологический процесс агломерации заключается в дроблении, смешивании компонентов шихты, спекании шихты в агломашинах в агломерат, его грохочении. Образованный агломерат попадает в валковую дробилку горячего дробления, а затем на грохоты, на которых от дробленого продукта отсеивается горячий возврат. Далее агломерат направляется на грохоты холодного агломерата для отделения постели. Основная задача агломерационного цеха — производство качественного агломерата, необходимого доменному цеху для производства чугуна; в год цех производит около 600 тыс. т агломерата. Модернизация оборудования позволит улучшить качество полуфабриката.

Основным источником вредных выбросов на металлургическом комбинате является аглофабрика [1]. Реконструкцию агломерационного производства с установкой системы газоочистки и техническое перевооружение агломашины № 2 проводили с установкой системы аспирации. Для выполнения экологических требований (в связи с более интенсивным процессом обработки аглоспека) перепроектирована система удаления запыленного воздуха в аглокорпусе № 2. Аспирационная установка позволит удалять

пыль при дроблении и грохочении агломерата. Всю пыль, уловленную при обработке агломерата, предусмотрено утилизировать обратно в шихту. Внедрение современного оборудования значительно улучшит не только качество агломерата после дробления и грохочения и его физические свойства, но и экономические показатели доменного цеха.

В соответствии с техническим заданием на создание (передачу) научно-технической продукции для предприятия «Энергоремонт» по договору № 47-201-18 от 15 октября 2018 г. были исследованы пробы пыли. Пробы отбирали в аглокорпусе № 2 агломерационного цеха Надеждинского металлургического завода. Применяемые средства измерения: спектрометр атомно-эмиссионный с индуктивно-связанной плазмой, автоматический анализатор на серу и углерод CS-230, лабораторные электронные весы WAS-220.

Химический состав проб пыли, отобранных в агломерационном цехе завода, приведен в таблице. Маркировка: проба № 1 — отметка 12,3 м, проба № 2 — отметка 4,2 м.

Пыль содержит небольшие количества потенциально взрывоопасных металлического железа и углерода. По данным [2, 3] температура воспламенения порошкообразного железа в азровзвеси составляет 300–910 °С. Температура воспламенения порошка углерода меняется от 286 до 344 °С в зависимости от марки. Дополнительно определяли влажность пыли. Методом высушивания проб установлено, что абсолютная влажность пробы № 1, отобранной на высо-



С. Я. Давыдов
E-mail: davidovtrans@mail.ru

Химический состав пыли цеха агломерации

Точка отбора пробы	Компонент	Содержание компонента, мас. %
Отметка 4,2 м (проба № 1)	Fe _{общ}	36,20
	FeO	10,89
	Fe _{мет}	1,02
	CaO	16,32
	SiO ₂	11,92
	Al ₂ O ₃	3,93
	MgO	1,61
Отметка 12,3 м (проба № 2)	C	4,63
	Fe _{общ}	37,09
	FeO	12,16
	Fe _{мет}	0,76
	CaO	15,35
	SiO ₂	11,45
	Al ₂ O ₃	3,26
	MgO	1,31
	C	5,47

* Содержание компонентов пыли определяли в высушенных при 105 °С пробах; $\Delta m_{\text{прк}}$ составили 7,33 %.

те 4,2 м, составляет 0,173 %, а пробы № 2, отобранной на высоте 12,3 м, 0,126 %. Насыпную плотность пыли определяли путем засыпания навесок в мерные сосуды с точностью измерения объема 1 мл. Насыпная плотность пробы № 1 составляла 1432,26 кг/м³, пробы № 2 1118,67 кг/м³.

Предварительный анализ гранулометрического состава пыли определяли путем механического рассева на наборе сит с размерами яче-

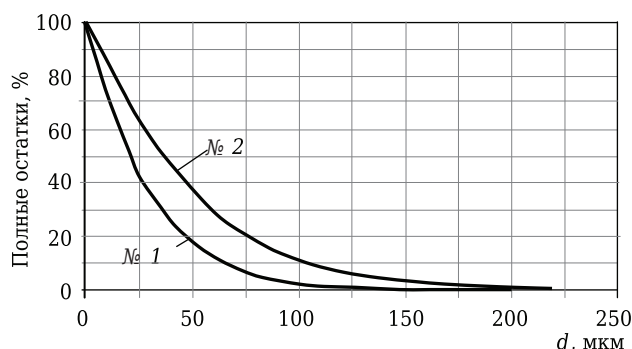


Рис. 1. Кривые полных остатков пыли проб № 1 и 2

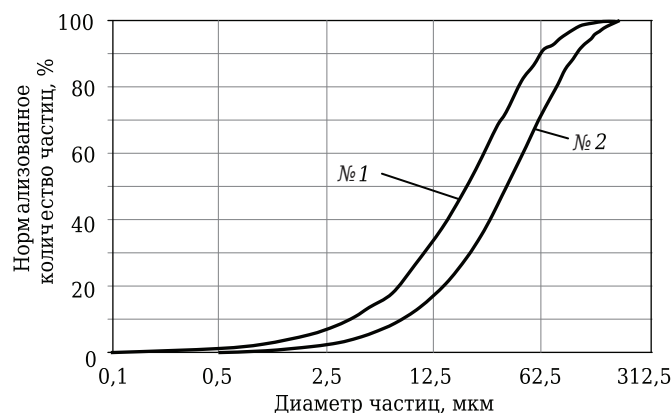


Рис. 2. Графические результаты анализа гранулометрического состава пыли проб № 1 и 2

ек от 0,5 до 0,04 мм (500–40 мкм) [4–11]. Методом последовательного квартования отбирали навеску пыли массой 100–120 г. Взвешивание остатков на каждом сите проводили на электронных весах с точностью $\pm 0,1$ г. Интегральные кривые распределения частиц пыли по размерам показаны на рис. 1.

Анализ проб пыли для определения содержания фракций мельче 0,04 мм (рис. 2) осуществляли на лазерном дифракционном анализаторе SALD-2201 фирмы Shimadzu, и результаты этого анализа достаточно близки к результатам ситового анализа. Средняя крупность частиц пыли пробы № 1 составляет 37,03 мкм, пробы № 2 21,77 мкм. Частицы пыли показаны на рис. 3. Видно, что частицы пыли представляют собой неоднородные образования чешуйчатой и глобулярной формы.

Известные грохоты (<https://ntmzpk.ru/index.php?id=grohoty-gornorudnogo-i-metallurgicheskogo-naznacheniya>) предназначены для отсева обожженных окатышей с температурой до 1000 °С. Грохоты выполнены из листов жаропрочной износостойкой стали с щелями клиновидного или прямого профиля. Из-за неоднородности кусков агломерата при применении типовых грохотов с неменяющимися размерами щелей часто происходит их забивание, сопровождающееся высоким выделением пыли.

Авторы настоящей статьи разработали варианты колосниковых грохотов для трудно подвергающихся грохочению горячих материалов с температурой 600 °С [12–14]. Снижение забиваемости межколосниковых щелей достигается за счет придания соседним колосникам колебаний с различающимися амплитудами и частотами. Для снижения пылеобразования предлагается местная вытяжная вентиляция из полых колосников с отверстиями (рис. 4). Поверх колосника установлены футерованные накладки 1, а колосники снабжены полостями (каналами) 2 с перфорацией 3 (отверстиями) для откачивания пыли. Отверстия 3 выполнены сбоку и снизу ко-

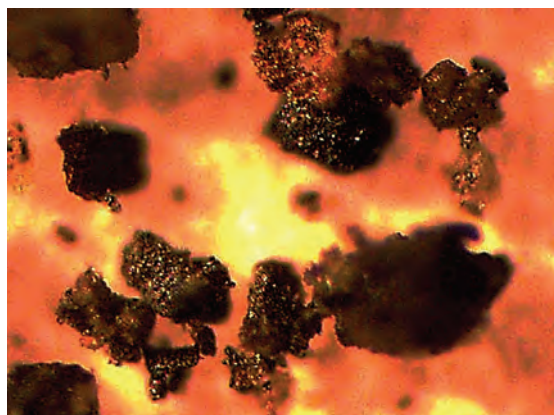


Рис. 3. Частицы пыли агломерационного цеха. $\times 100$, оптический микроскоп

лосника. Боковые и нижние отверстия снабжены сеткой 4 от закупорки и залипания горячим материалом. Соседние колосники под действием вибратора приобретают колебания с различающимися частотой и амплитудой, что приводит к изменению просеивающих зазоров между соседними колосниками и смещению их поверхностей относительно друг друга. Таким образом, наблюдается эффект «ножниц», устраняющий забивание межколосниковых щелей [15].

В процессе грохочения образуется большое количество горячей пыли, что не только вредно влияет на здоровье обслуживающего персонала, но и усложняет работу механизмов: попадая в подшипники и трущиеся части машин, вызывает их быстрый износ. Поэтому создание устройства с отсосом пылевых частиц из рабочей зоны с небольшим расходом воздуха и меньшим перепадом разрежения для уменьшения энергозатрат при откачивании излишнего количества запыленного воздуха является актуальной задачей. В предлагаемом техническом решении запыленный воздух с частицами материала через отверстия 3 и полость 2 засасывается через трубопровод вентилятором (на рисунках не показано) и подается на дальнейшую очистку.

Для отсоса пылевых частиц из рабочей зоны диаметр d_b , м, всасывающего транспортного трубопровода можно определить по зависимости [10, 11]

$$d_b = \sqrt{\frac{4Q_p}{\pi v_b}},$$

где Q_p — потребляемый расход воздуха, м³/с; v_b — скорость воздуха во всасывающем трубопроводе, м/с.

Q_p определяется из зависимости

$$Q_p = Q_{\text{рас}} / (3,6 \mu \rho_v),$$

где $Q_{\text{рас}}$ — расчетная производительность, т/ч; μ — концентрация смеси, кг/кг; ρ_v — плотность воздуха, кг/м³.

Общие потери давления ΔP_t , Па, во всасывающем гибком трубопроводе:

$$\Delta P_t = (K_t / 2d_b)(l_n + K_k l_k)(\lambda_b \rho_v v_b^2 + \lambda_m \rho_v v_m^2),$$

где K_t — экспериментальный коэффициент, характеризующий материал трубопровода, $K_t = 2$; l_n — длина прямолинейного участка трубопровода, м; K_k — коэффициент потерь давления для трубопровода переменной конфигурации, выполненный из армированных резинотканевых рукавов, $K_k = 1,78$; l_k — длина криволинейного участка, м; λ_b — коэффициент сопротивления движению чистого воздуха, равный $0,316 \text{Re}^{-0,25}$; λ_m — коэффициент сопротивления движению материала по прямолинейному участку трубопровода, равный $0,478 \text{Fr}^{-1,45}$; v_m — скорость движения материала (пыли), м/с; Re — число

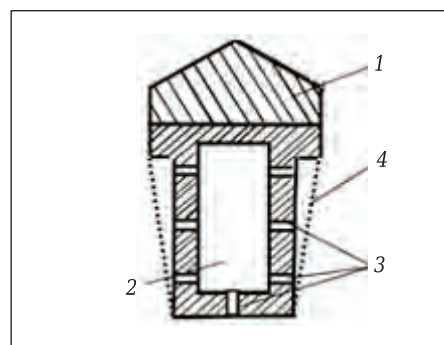


Рис. 4. Пустотелый колосник; обозначения — в тексте

Рейнольдса, $\text{Re} = v_b d_b \rho_v / (\eta g)$; η — динамическая вязкость для «стандартного» воздуха (при барометрическом давлении 0,1 МПа и температуре 20 °С), кг·с/м²; g — ускорение свободного падения, м/с²; Fr — число Фруда, $\text{Fr} = \frac{v_m}{\sqrt{d_b g}}$.

Удаление наибольшего объема пыли непосредственно от объекта пылеобразования позволяет повысить надежность работы установки и сократить энергозатраты.

В существующих конструкциях колосники изготовляют из сплошных профилей постоянного по длине сечения. Подбор сечений выполняется по известным методикам и не вызывает затруднений. Для полых колосников с отверстиями расчеты при подборе сечений, удовлетворяющих условиям прочности и долговечности, проводят с использованием специализированных программных модулей, основанных на методах конечных элементов. В нашей стране для таких задач применяют систему APM Win Machine модуль Structure 3D [16–18].

Так как нагрузки по площади просеивающей поверхности примерно равны, расчет напряжений и подбор сечения выполнен для одного консольного колосника. Расчет площади просеивающей поверхности, линейных размеров колосника для реальных его размеров выполняется с учетом размера куска по требуемой производительности [18, 19]. Ширина грохота B (рис. 4) определяется шириной рабочего органа питателя B_n и составляет $B = B_n + (0,3–0,5)$ м и $B > (2,0–2,5)D_{\text{max}}$, где D_{max} — наибольший размер куска. Для ширины должно выполняться условие $B > 4D_{\text{max}}$. Для предложенного технического решения рассмотрен вариант со следующими параметрами: ширина грохота 2,5 м, длина 3 м, расстояние между колосниками 0,05 м, насыпная плотность агломерата 1,6 т/м³, толщина слоя 0,3 м, ширина колосника 50 мм, высота 120 мм.

Расчет напряжений выполнен по пластинчатой модели [16]: нагрузка на колосник в виде давления на пластину. По приведенным выше значениям давление на пластину от агломерата $P_k = 4800$ Па, но для проверки прочности при-

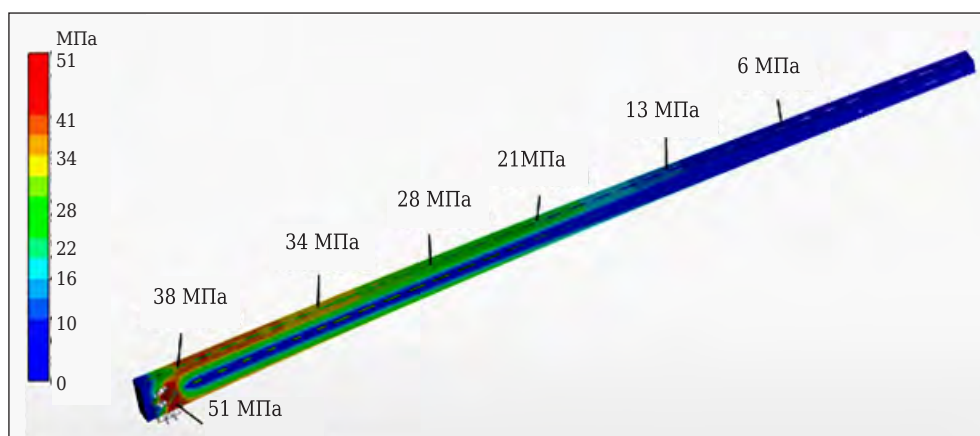


Рис. 5. Результаты расчета напряжений колосника из листов толщиной 3 мм в программе APM WinMachine

нято давление в 1,5 раза большее, т. е. 7200 Па. Для колосника из листов толщиной 3 мм напряжение достигает 51 МПа (рис. 5), толщиной 2 мм повышается до 75 МПа. Таким образом, по условию прочности полые колосники могут быть изготовлены из листов толщиной 3 мм.

Библиографический список

1. В Серове Роспотребнадзор проверил выполнение предписания на ПАО «Надеждинский металлургический завод». <http://serovrb.ru/town/v-serove-rospotrebнадzor-proveril-vypolnenie-predpisaniya-na-pao-nadezhdinskij-metallurgicheskij-zavod/>.
2. **Корольченко, А. Я.** Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочник / А. Я. Корольченко, Д. А. Корольченко. — М.: Ассоциация «Пожнаука», 2004. — 771 с.
3. **ГОСТ 12.1.044–89.** Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов.
4. **Шишкин, С. Ф.** Методы определения гранулометрического состава дисперсных материалов: методические указания к лабораторным работам / С. Ф. Шишкин, В. И. Малагамба. — Свердловск: УПИ, 1989. — 30 с.
5. **Малагамба, В. И.** Тепловые процессы: методические указания к лабораторным работам по курсу «Процессы и аппарат предприятий строительных материалов» / В. И. Малагамба, В. И. Пономарев. — Свердловск: УПИ, 1992. — 28 с.
6. Выбор оборудования для перемещения и складирования глиноземной пыли и разработка технологии ее утилизации: отчет о НИР / рук. работы С. Я. Давыдов. — Екатеринбург: ООО «БЕРА» – ОАО «БАЗ-СУАЛ», 2000. — 154 с.
7. **Davydov, S. Ya.** Use of a fluidized bed for the energy-efficient pneumatic transport of fine dust / S. Ya. Davydov // *Refract. Ind. Ceram.* — 2013. — Vol. 53, № 5. — P. 292–297.
8. **Давыдов, С. Я.** Использование кипящего слоя для энергосберегающего пневмоподъема

Установка отсоса горячих пылевых частиц в непосредственной близости от пылящих рабочих органов уменьшает объем отсасываемого воздуха, что отражается на энергопотреблении. Предлагаемое устройство обеспечивает также повышение эффективности улавливания пылевых частиц.

9. мелкодисперсной пыли / С. Я. Давыдов // Новые огнеупоры. — 2012. — № 9. — С. 17–22.
8. **Davydov, S. Ya.** Highly reliable pneumatic conveyor that freely discharges the bulk material being transported / S. Ya. Davydov, N. P. Kosarev, N. G. Valiev // *Refract. Ind. Ceram.* — 2014. — Vol. 55, № 3. — P. 183–187.
9. **Давыдов, С. Я.** Пневмоподъемник со свободным истечением сыпучего материала с повышенной надежностью работы / С. Я. Давыдов, Н. П. Косарев, Н. Г. Валиев // Новые огнеупоры. — 2014. — № 6. — С. 9–13.
10. **Davydov, S. Ya.** Utilization of alumina calcining furnace dust containing nanoparticles / S. Ya. Davydov, R. A. Apakashev, V. N. Korukov // *Refract. Ind. Ceram.* — 2014. — Vol. 55, № 4. — P. 291–294.
11. **Давыдов, С. Я.** Утилизация пыли печей кальцинации глинозема, содержащей наночастицы / С. Я. Давыдов, Р. А. Апакашев, В. Н. Корюков // Новые огнеупоры. — 2014. — № 8. — С. 10–13.
12. **Давыдов, С. Я.** Энергосберегающее оборудование для транспортировки сыпучих материалов: исследование, разработка, производство / С. Я. Давыдов. — Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2007. — 317 с.
13. **Давыдов, С. Я.** Энергосберегающее оборудование пневматического транспорта: вчера, сегодня, завтра: теория, расчет, исследование, производство / С. Я. Давыдов, А. Н. Семин. — М.: Фонд «Кадровый резерв», 2016. — 472 с.
14. **Пат. 195615 Российская Федерация.** Вибрационный грохот для трудногрохотимой гор-

ной массы / Юдин А. В., Шестаков В. С., Давыдов С. Я. — № 2019120931 ; заявл. 02.07.2019 ; опубл. 03.02.2020, Бюл. № 4.

13. Пат. 189194 Российская Федерация. Колосниковый грохот для пылеобразующих материалов / Давыдов С. Я., Абдулкаримов М. К., Шестаков В. С., Лагунова Ю. А. — № 2019108001 ; заявл. 20.03.2019 ; опубл. 15.05.2019, Бюл. № 14.

14. *Davydov, S. Ya.* Resolution of the problem of expanded clay rubble dust formation / *S. Ya. Davydov, N. G. Valiev, V. S. Shestakov, D. V. Domozhirev* // *Refract. Ind. Ceram.* — 2019. — Vol. 60, № 2. — P. 139–141.

Давыдов, С. Я. Решение проблемы пылеобразования керамзитового щебня / *С. Я. Давыдов, Н. Г. Валиев, В. С. Шестаков, Д. В. Доможиров* // Новые огнеупоры. — 2019. — № 4. — С. 17–19.

15. *Yudin, A. V.* Improvement of the technology of preparation of clay raw materials for the production of refractories / *A. V. Yudin, S. Ya. Davydov, R. A. Apakshiev, V. S. Shestakov* // *Refract. Ind. Ceram.* — 2020. — Vol. 60, № 5. — P. 426–429.

Юдин, А. В. Совершенствование технологии подготовки глинистого сырья для производства

огнеупоров / *А. В. Юдин, С. Я. Давыдов, Р. А. Апакашев, В. С. Шестаков* // Новые огнеупоры. — 2019. — № 10. — С. 10–13.

16. **Вайсберг, Л. А.** Математическое моделирование вибрационных процессов / *Л. А. Вайсберг, Д. Х. Рубисов* // *Aufbereitungs Technik.* — 1990. — № 7. — S. 378–386.

17. **Кремер, Е. В.** Физико-кинетическое моделирование и оптимизация обогатительных фабрик / *Е. В. Кремер, Л. С. Гугевиц* // Тр. XVII IMPC, Дрезден. — 1991. — Т. 1. — С. 333–343.

18. **Лунх, А. J.** Моделирование и компьютерное моделирование процессов обработки минералов в стационарном режиме / *А. J. Lunn, T. J. Napier-Munn* // Тр. XVII IMPC, Дрезден. — 1991. — Т. 1. — С. 213–227.

19. **Юдин, А. В.** Карьерные комплексы и оборудование для разделения карбонатного сырья и глинистых пород / *А. В. Юдин.* — Екатеринбург : Изд-во УГГУ, 2015. — 337 с. ■

Получено 18.09.20

© С. Я. Давыдов, А. М. Амдур, Н. Г. Валиев, Р. А. Апакашев, В. С. Шестаков, 2021 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



12-я Международная конференция по нанонауке, нанотехнологиям и перспективным материалам (IC2NAM2021)

26–27 марта 2021 г.
Тайпей, Тайвань

IC2NAM --- это престижная конференция, организованная для предоставления отличной международной платформы для ученых, исследователей, инженеров, работников промышленных предприятий, а также подающих надежды студентов всего мира, для обмена знаниями и результатами исследований с мировыми экспертами.

<http://iser.co/Conference2021/Taiwan/1/IC2NAM/>

