

остаточных напряжений / С.Ю. Иванов, В.И. Прима // Тяжелое машиностроение, 1995. – № 12. – С. 14 – 17. 5. Киселев Е.С. Новые методы ультразвуковой стабилизации остаточных напряжений в прецизионных шлифованных деталях технологических машин / Е.С. Киселев, В.Н. Ковальногов, А.А. Норкин // Сб. трудов VII МНТК «Динамика технологических систем – 2004». – Саратов: СГТУ, 2004. – С. 192 – 195. 6. Ультразвук. Маленькая энциклопедия / Под ред. И.П. Голяминой. – М.: Советская энциклопедия, 1979. – 400 с.

Сдано в редакцию 31.05.05
Рекомендовано д.т.н., проф. Прутяну О.

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ АГЛОМЕРАЦИОННЫХ ШИХТ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЗАСКЛАДИРОВАННЫХ ШЛАМОВ

Клягин Г.С., Ростовский В.И., Пономарева Я.Ю. (ДонНТУ, Донецк, Украина)

Circuit of preparation of charges on sinter plants are investigated, alternatives of their perfection by installation of the chain rotary desintegrating-blending machine in technological streams for raise of efficiency of metallurgical dusts and slurries utilization are offered. The opportunity of pelletizing ferruginous waste products before their use in agglomeration is investigated.

Производство металлургической продукции сопровождается образованием значительного количества железосодержащих отходов, которые из-за отсутствия простых и экономически выгодных технологий подготовки к утилизации остаются невостребованными и зачастую просто складываются. Заскладированные отходы, с одной стороны составляют крупные потери минерального сырья и, с другой стороны, наносят ущерб окружающей среде. Только на таких крупных металлургических предприятиях Украины как «Криворожсталь», им. Дзержинского и им. Ильича накоплено более 10 млн.т шламов. В настоящее время приоритетным направлением утилизации железосодержащих отходов, как текущего производства, так и заскладированных, является их добавка к агломерационной шихте.

Одним из критериев пригодности железосодержащих шламов к утилизации является возможность их равномерного распределения в объеме исходной шихты. Анализ работ, посвященных вопросам утилизации железосодержащих шламов в аглопроизводстве [1-4], показал, что равномерное распределение шламов в шихте достигается либо путем распыления шламов в смесителях или окомкователях шихты, либо путем предварительного смешивания шламов с сухими отходами или известью с последующей добавкой их в шихту.

Эти способы приемлемы для железосодержащих шламов текущего производства, но малоэффективны для заскладированных шламов. В шламонакопителях шламы слеживаются, поверхность их высыхает, а в зимнее время они смерзаются; в них образуются прочные комки, которые проходят линию технологического оборудования аглофабрик, практически не разрушаясь. В результате, из-за неудовлетворительной работы трактов шихтоподготовки шихта, содержащая заскладированные железосодержащие шламы, не обладает достаточной

однородностью. Агломерация такой шихты отрицательно влияет на показатели процесса спекания и качество агломерата.

Целью данной работы является разработка рациональной технологии подготовки аглошихт, содержащих повышенное количество текущих и заскладированных железосодержащих шламов, в условиях аглофабрик отечественных металлургических предприятий.

Анализ существующих схем подготовки аглошихт показывает, что они отличаются друг от друга наличием одно- или двухстадийного смешивания-окомкования, а также способом ввода извести в шихту.

Одной из особенностей шихтовых условий работы аглофабрики Енакиевского металлургического завода (ЕМЗ) является наличие в железорудной смеси, поступающей с рудного двора в приемные бункера, повышенного количества слипшихся комков заскладированных в шламонакопителях и аварийных картах шламов. Эти шламы, после доставки автотранспортом, частично обрабатываются на перегрузочном узле. В связи с выводом из технологической схемы первичных смесителей аглошихты комья шлама не разрушаются при перегрузках до требуемых показателей по крупности (минус 10 мм) и поступают в окомкователи шихты.

На аглофабрике меткомбината им. Дзержинского отсутствует первичное смешивание шихты, но на ней параллельно эксплуатируются по два окомкователя на каждую агломашину. Здесь даже при большом количестве перегрузок шихтовых материалов, качество подготовки шихты недостаточное. На этом предприятии в кислородно-конвертерном цехе освоена технология подготовки шламоизвестковой смеси из конвертерных шламов и известковой пыли от печей обжига известняка. Обезвоживание этих шламов осуществляется в корпусе обезвоживания шламов (КОШ), после которого кек шламов с ленточного и дискового вакуум-фильтра смешивается в двухвальном лопастном смесителе с известковой пылью. Получаемая шламоизвестковая смесь имеет влажность 14-15 % и на второй ступени озерняется в барабанном смесителе-окомкователе.

На аглофабрике меткомбината им. Ильича ежегодно используется более 1 млн. т заскладированных шламов агломерационного, доменного, мартеновского и конвертерного производств. На этом предприятии функционирует сложная система шламового хозяйства. После пребывания на промежуточных складах в шламах образуются крупные прочные комки, которые даже в результате двухстадийного смешивания-окомкования не разрушаются и в таком виде поступают на спекательные тележки агломашин.

На аглофабрике меткомбината «Запорожсталь» все железорудные материалы, кроме колошниковой пыли, поступают в приемные бункера с рудного двора. На рудный двор поступают пастообразные аглодоменные и мартеновские шламы из соответствующих корпусов обезвоживания шламов. При усреднении железорудных материалов эти шламы превращаются в прочные комки. На этой фабрике имеет место одностадийное смешивание-окомкование, которое не обеспечивает требуемого качества подготовки многокомпонентной аглошихты с повышенным расходом извести.

В аглопроизводстве меткомбината «Криворожсталь» утилизируется более 600 кг железосодержащих отходов на 1 тонну агломерата. Конструктивно эта аглофабрика аналогична аглофабрике меткомбината «Запорожсталь». Хотя на рудном дворе железорудные материалы из штабелей дополнительно перемешиваются экскаватором, качество подготовки шихты не отвечает современным требованиям. Особенно это относится к заскладированным шламам, которые в пастообразном состоянии из

шламонакопителей автотранспортом доставляются на узел перегрузки, где к ним добавляется известковая пыль. Смесь отходов грейферным краном перегружается в вагоны и отправляется на рудный двор аглофабрики.

На Алчевском меткомбинате крупная фракция шламов агломерационного производства обезвоживается в КОШ, а тонкая фракция, как и шламы других производств, сбрасывается в шламонакопитель. Кек шламов после ленточных вакуум-фильтров из корпуса обезвоживания шламов конвейерами подается в шихтовое отделение. На аглофабрике имеется двухстадийное смешивание-окомкование, но качество подготовки многокомпонентной шихты остается неудовлетворительным.

На аглофабрике меткомбината «Азовсталь» имеется двухстадийное смешивание-окомкование. На рудном дворе формируется многокомпонентный штабель с повышенным удельным расходом железосодержащих отходов. Особую техническую сложность представляет смешивание пастообразных конвертерных шламов, которые предварительно смешиваются с отходами извести. Эти материалы образуют крупные комки повышенной прочности, почти не содержащие углерода, которые на всем тракте подготовки аглошихты практически не разрушаются.

Таким образом, анализ работы отечественных аглофабрик металлургических предприятий показывает, что практически на всех аглофабриках качество подготовки шихты не соответствует современным технологическим требованиям агломерации. В связи с этим возникает необходимость в дополнительной гомогенизации многокомпонентных аглошихт, содержащих повышенное количество заскладированных шламов, комовой извести и железосодержащих отходов текущего производства.

Гомогенность аглошихты зависит от степени однородности гранулометрического и химического составов компонентов шихты, что обеспечивается работой соответствующего дробильного и смесительного оборудования. В реальных производственных условиях при утилизации заскладированных шламов в шихту попадают крупные слипшиеся конгломераты этих шламов, а также материалы, не разрушаемые используемым оборудованием (куски шлаков и известняка, комовая известь и т.п.). Это усложняет условия смешивания и окомкования агломерационной шихты. Поэтому для оптимизации процессов агломерации необходимо выравнивание гранулометрического состава шихты путем предварительного разукрупнения некондиционных по размеру компонентов до крупности менее 10 мм.

Для повышения эффективности подготовки аглошихт с повышенным содержанием заскладированных шламов на кафедре руднотермических процессов и малоотходных технологий Донецкого национального технического университета разработана и испытана в промышленных условиях конструкция цепного роторного дезинтегратора-смесителя (рис.1) [5]. Агрегат работает устойчиво с производительностью 300-400 т/ч при установке двигателя мощностью 42кВт с номинальным током 218 А с регулируемой скоростью 600-1500 мин⁻¹.

Основными достоинствами агрегата являются:

- возможность разрушения слипшихся комков шламов и извести до крупности менее 10 мм;
- прохождение через агрегат недробимых кусков инородных материалов размером до 200x200 мм;
- качественное перемешивание шихты;
- выполнение операций рыхления и вспушивания за счет разуплотнения потока шихтовых материалов и перемешивания его с воздухом;

- возможность непрерывной работы агрегата с максимальной производительностью, соответствующей производительности шихтового тракта;
- свободное прохождение материала через агрегат при аварийной остановке или при другой технической необходимости направить поток шихты через остановленный агрегат;
- возможность применения дезинтегратора-смесителя для обработки отдельных компонентов шихты до ее смешивания;
- возможность включения дезинтегратора-смесителя в существующие на аглофабриках тракты шихтоподготовки.

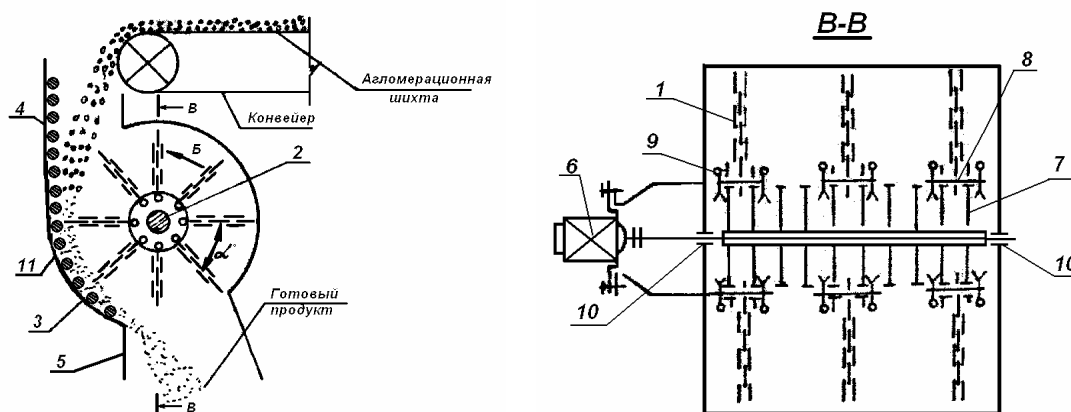


Рис.1. Схема цепного роторного дезинтегратора-смесителя
 1-отрезки цепей, 2-ротор, 3- горизонтальный цилиндрический корпус,4- загрузочный патрубок, 5-разгрузочный патрубок, 6-электродвигатель,7-диски, 8-штифты, 9-шплицы, 10-подшипниковые опоры,11- футеровка корпуса из металлических прутков

Одним из факторов, обуславливающих выбор места установки дезинтегратора-смесителя в технологическом потоке конкретной аглофабрики, является способ ввода извести в аглошихту. Распространение получили три способа введения извести в шихту [6,7].

Первый способ – известкование железорудных материалов в штабеле на рудном дворе и подача известкованного материала для приготовления шихты. При подаче комовой извести в концентраты, влажные пыли и шламы на складах технологически целесообразно ее измельчение до крупности 12-0 мм. Достоинством этого способа является подсушка влажных материалов при известковании, в результате чего они не смерзаются, хорошо транспортируются, легче перемешиваются с другими материалами аглошихты. Недостатком этого способа является неравномерное распределение извести в железорудном материале. Этот способ используется практически на всех аглофабриках Украины. В этом случае дезинтегратор-смеситель предлагается устанавливать после приемных бункеров. Это позволит повысить однородность шихты не только за счет равномерного распределения в ней заскладированных шламов, но и за счет разрушения комьев извести до крупности менее 10 мм и дополнительного перемешивания извести с железорудными материалами.

Второй способ – подача извести в свежееобожженном (раскаленном) состоянии непосредственно в поток шихты перед смешиванием. Преимуществом такого способа ввода извести является использование физического тепла извести. Недостаток представляет то, что кусочки извести крупностью более 6-8 мм не всегда успевают

полностью прореагировать с компонентами шихты, поэтому в агломерате встречаются вкрапления извести, снижающие его качество. Таким образом, при подаче извести непосредственно в поток шихты на аглофабриках необходимо ее измельчение до крупности 3-0 мм. Такой способ введения извести нашел применение на аглофабриках ЕМЗ, Алчевского меткомбината, меткомбинатов им. Ильича, им. Дзержинского, «Запорожсталь». В случае подачи извести в поток шихты предлагаемый дезинтегратор-смеситель целесообразно устанавливать после шихтового отделения перед смесительными барабанами. Такой вариант установки даст возможность увеличить поверхность контакта извести с железорудным сырьем и продолжительность самого контакта.

Анализ механизма влияния этих двух способов подачи извести в шихту на процесс спекания аглошихт приводит к выводу о необходимости осуществления их комбинации (третий способ). Введение необходимого количества извести частично в штабель железорудного сырья на усреднительном складе и частично в шихту перед смешиванием позволит более эффективно использовать ее интенсифицирующее свойство.

Для улучшения гомогенизации аглошихт и рационального использования извести целесообразна установка дезинтегратора-смесителя в технологическом потоке аглофабрики либо после приемных бункеров, либо после шихтового отделения (рис. 2). В любом случае гомогенизация всей массы аглошихты более предпочтительна.

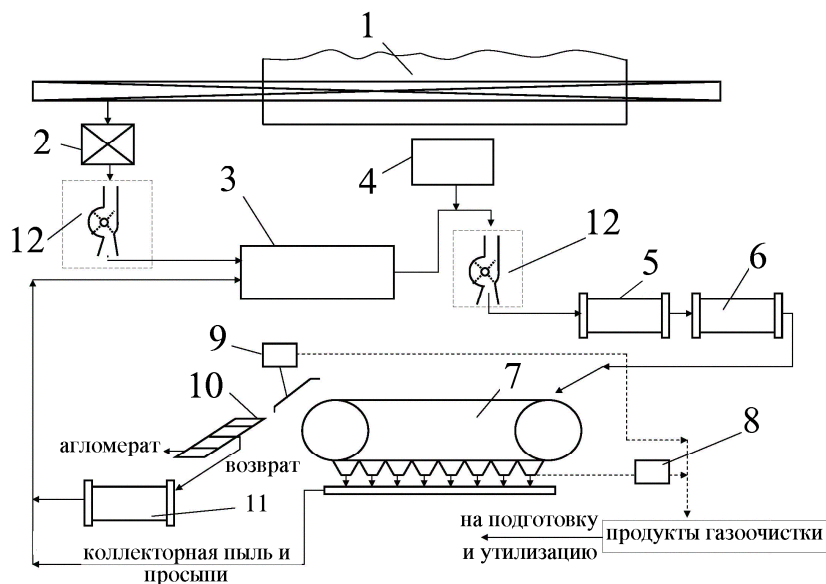


Рис.2. Обобщенная схема установки дезинтегратора-смесителя в технологическом потоке аглофабрик

1- рудный двор; 2 – приемные бункера; 3- шихтовое отделение; 4 – корпус обжига извести; 5 - барабан-смеситель; 6 – барабан-окомкователь; 7 – агломашина; 8 – газоочистка зоны спекания; 9 - газоочистка зоны аспирации; 10 – грохот; 11 - барабан-охладитель возврата; 12 – место установки дезинтегратора-смесителя

Для проверки эффективности гомогенизации аглошихты на аглофабрике ЕМЗ был временно смонтирован вал с цепями и установлен в течку перегрузки шихты перед барабаном первичного смешивания. Анализ работы этого устройства показал, что качество шихты после обработки по такой технологии улучшилось: крупные комки

шлама и извести были измельчены, шихта была гомогенной и не наблюдалось послойного расположения сдозированных материалов, как в обычном режиме. Из-за негерметичности течи наблюдались выбросы материалов через неплотности. Одним из недостатков работы тракта на этой аглофабрике является возможное попадание в шихтовые материалы кусков проволоки при ручной разгрузке железнодорожных вагонов на рудном дворе. Поэтому целесообразно выполнять дополнительные работы по извлечению проволоки и других недробимых элементов из материалов на участке до шихтового отделения.

Опытно-промышленные испытания дезинтеграторов-смесителей проводились на аглофабриках меткомбинатов им. Дзержинского и им. Ильича. До закрытия аглофабрики №1 меткомбината им. Дзержинского, для повышения качества шихты в помещении первичного смешивания на месте демонтированного барабана-смесителя был установлен дезинтегратор-смеситель производительностью до 300 т/ч. Его установка выполнялась таким образом, что поток шихты при перегрузке с конвейера на конвейер направлялся либо через дезинтегратор-смеситель, либо минуя его. На дезинтеграторе был установлен электродвигатель постоянного тока типа П-102 мощностью 42 кВт с номинальным током 218 А, компаундный с регулируемой частотой вращения в пределах 600-1500 мин⁻¹. При рабочей нагрузке сила тока в обмотках якоря составляла 140 А. В отдельные периоды наблюдалось паровыделение из шихтовых материалов, что обусловлено содержанием в них извести. В процессе экспериментов в работающий агрегат неоднократно попадали и свободно проходили через него крупные куски твердых посторонних включений. При этом имел место всплеск силы тока двигателя, но никаких отрицательных последствий этого не отмечалось. При неподвижном роторе аглошихта свободно проходила через корпус дезинтегратора без кострения и сводообразования. Этот дезинтегратор-смеситель работал вплоть до закрытия аглофабрики. Отзывы специалистов аглофабрики положительны.

Испытания дезинтегратора-смесителя на аглофабрике меткомбината им. Ильича имели свои особенности. Изначально агрегат, аналогичный агрегату для меткомбината им. Дзержинского, по своим параметрам предназначался только для обработки части шихты, которая включает в себя комки заскладированных шламов. Одним из вариантов установки дезинтегратора-смесителя планировалось его установить на самоходном бункере на открытом складе добавок. При этом практически все железосодержащие отходы со штабеля пропускались бы через бункер. Но, так как сечение потока шихтовых материалов из течи бункера составляет 0,3 x 1,8 м и для перемешивания такого потока материалов необходимы значительные габариты дезинтегратора-смесителя, то его установка в этом месте была бы нерациональна.

Другим вариантом установка дезинтегратора-смесителя предлагалась в узле перегрузки материала с конвейера на конвейер на складе руды с сооружением специальной стационарной стеллы, необходимой для установки над дезинтегратором наклонной решетки для очистки шихты от посторонних крупных примесей в виде кусков скрапа, бетона и т.д. Крупные включения предполагалось сбрасывать по наклонному желобу в существующий приямок. К недостаткам такой схемы относится необходимость иметь дополнительно еще одно грузоподъемное устройство для выемки отходов из приямка, а также наличие наклонной части стеллы конвейера длиной 18 м. Из-за этого самоходный бункер для перегрузки шихтовых материалов со склада на конвейер не сможет въехать на этот участок, а это означает, что 18 м склада не будет использоваться.

Наиболее рациональным является установка дезинтегратора-смесителя на отдельной тележке в корпусе первичного смешивания (рис. 3). Этот вариант установки обосновывался тем, что аглошихта с полным набором компонентов попадает в дезинтегратор-смеситель из барабана-смесителя и все слипшиеся компоненты шихты будут полностью разрушены и тщательно перемешаны. Это будет способствовать улучшению процесса окомкования в барабанах-окомкователях.

На аглофабрике этого комбината были проведены рабочие испытания дезинтегратора-смесителя на резервном шихтовом потоке. Агрегат устойчиво работал при производительности 250-300 т/ч. Попытки увеличить производительность до максимально требуемой величины (1200 т/ч) привели к кострению материала в верхней направляющей течке, а также к перегрузке и остановке двигателя. Для устранения этого недостатка дважды реконструировалась течка, в результате чего поток аглошихты подводился к входному патрубку дезинтегратора размером 941 x 400 мм без задержки в верхней подводящей течке. Были проведены мероприятия по упорядочению потока аглошихты при подаче его в дезинтегратор. Залипание течек и внутренней поверхности не наблюдалось. Все эксперименты по включению в работу дезинтегратора-смесителя сопровождались контролем за состоянием аглошихты после ее обработки. Было установлено, что обработанная шихта отличалась высокой однородностью. Крупность гранул шихты была до 10 мм, за исключением недробимых кусков аглоруды и возврата. Вся масса шихты была хорошо разрыхлена.

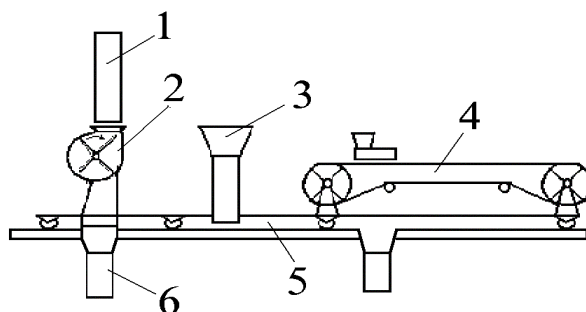


Рис.3. Схема установки дезинтегратора-смесителя на аглофабрике меткомбината им. Ильича

- 1- течка от барабана-смесителя; 2-дезинтегратор-смеситель;
3- подвижная течка; 4-конвейер; 5-тележка; 6-течка

Результаты испытаний дезинтеграторов-смесителей на аглофабриках показали принципиальную возможность дополнительного их использования для обработки и качественного смешивания компонентов шихты в технологическом потоке аглофабрик. Для аглофабрики меткомбината им. Ильича ДонНТУ разработал проект дезинтегратора производительностью до 1200 т/ч.

Для гомогенизации по химическому и гранулометрическому составу аглошихт, содержащих повышенное количество заскладированных шламов и извести, цепной роторный дезинтегратор-смеситель различной производительности предлагается устанавливать практически на всех аглофабриках метпредприятий Украины. Место конкретной установки дезинтеграторов может быть выбрано при соответствующем проектировании реконструкции шихтоподготовки аглофабрик.

При оснащении схем подготовки аглошихт дезинтегратором-смесителем барабанные смесители первичного смешивания могут быть использованы для дополнительного окомкования агломерационных шихт. При повышенном содержании в шихте железорудных концентратов и мелкодисперсных металлургических шламов целесообразно организовать дополнительно их озернение при отдельной шихтоподготовке. В работах [8,9] отмечается положительное влияние предварительного озернения железорудного концентрата на спекание агломерата. Агломерация предварительно гранулированного концентрата в смеси с грубозернистыми компонентами аглошихты в слоях 300-700 мм позволила повысить производительность аглоустановки на 30-36 %, увеличить прочность агломерата на 20 %, снизить расход твердого топлива на 25-30 %.

Нами выполнены исследования процесса озернения смеси отходов меткомбината им. Ильича, используемых в аглопроизводстве. Состав смеси железосодержащих отходов следующий, %:

Шламы	49,27
в т.ч.: аглофабрики	35,85
корпуса обжига известняка	0,48
доменный	5,73
разливочных машин	0,26
мартеновский	1,39
конвертерный	5,56
Колошниковая пыль	7,39
Отсев агломерата	32,20
Графитная пыль миксерного отделения	0,05
Окалина первичных отстойников	4,10
Окалина вторичных отстойников	2,62
Отсевы извести	1,83
Аспирационная известь	2,54

Озернение выполняли на тарельчатом грануляторе диаметром 0,5 м, а испытание гранул осуществляли по общепринятой методике. Показатели процесса озернения смеси железосодержащих отходов представлены в табл.1.

Влажность исходной смеси отходов составила 12,5-13,5 %, а окатышей, полученных без добавления влаги 12,2- 13,0 %. Потеря влаги при озернении составила 0,3-0,6 %(абс.). Время окомкования соответствовало времени озернения всей массы шихты. Так при ее влажности 12,5-12,7 % озернение происходило медленно (25 мин, опыты 1 и 4). Увеличение влажности до 13,3 % снизило время озернения до 12 мин (опыт 3), а 13,5 % до 5 мин (опыт 2). Эта влажность считается предельной для озернения данной шихты. Опыты показывают, что при незначительном изменении влажности смеси отходов можно регулировать нагрузку на гранулятор. При повышенной влажности шихты распределение влаги по фракциям более равномерное, чем при меньшей влажности. Это объясняется тем, что при повышенной влажности шламы (особенно сталеплавильные) накатываются на частицы отсева агломерата, а при сухой шихте происходит отдельное озернение шламов и отсева, что отрицательно сказывается на прочности гранул. Время озернения 12 мин (опыт 3) следует считать оптимальным, как по выходу годного (фракция 2-7), так и по прочностным характеристикам гранул.

Таблица 1 . Показатели озернения смеси железосодержащих отходов

Показатели	Номера опытов			
	1	2	3	4
Время окомкования, мин	25	5	12	25
Влажность шихты, %	12,7	13,5	13,3	12,5
Влажность окатышей, %	12,4	13,0	12,7	12,2
Содержание фракций в сырых окатышах ^{x)} , %: +10	4,11/10,1	6,29/12,6	6,05/10,6	2,58/10,6
7-10	21,22/11,3	27,38/12,3	22,72/11,8	14,83/5,3
5-7	22,89/12,6	42,87/13,2	27,51/12,2	15,67/6,2
3-5	17,89/12,4	16,16/13,6	18,38/12,3	10,80/7,5
2,5-3	11,67/12,1	4,38/13,0	13,47/11,9	6,85/12,3
2-2,5	13,89/77,9	2,24/11,6	8,56/11,8	11,23/10,4
1,5-2	7,22/11,3	0,46/12,9	2,85/5,0	15,80/6,8
-1,5	1,11/8,3	0,22	0,46/4,1	22,24/11,6
Сумма фракций 2-7	66,34	65,65	67,92	44,55
Прочность на сбрасывание сырых окатышей по фракциям, шт: +10	6,9	8,4	8,0	5,5
7-10	4,9	10,2	15,0	5,7
5-7	10,3	13,4	14,0	9,2
3-5	19,3	30	16,0	10,6
Прочность на раздавливание сырых окатышей по фракциям, кг/ок: +10	-	0,44	0,94	0,7
7-10	0,56	0,49	0,68	0,35
5-7	0,43	0,34	0,50	0,33
3-5	0,30	0,26	0,29	0,25
Прочность на раздавливание сухих окатышей по фракциям ^{xx)} , кг/ок: +10	0,96/-	1,44/1,33	1,02/1,20	0,57/0,44
7-10	0,37/1,98	0,66/0,67	0,64/0,98	0,41/0,15
5-7	0,45/0,78	0,54/0,71	0,41/0,72	0,36/0,22
3-5	0,25/0,43	0,43/0,82	0,33/0,37	0,22/0,16

^{x)} В числителе содержание фракций, а в знаменателе их влажность, ^{xx)} В числителе сухие окатыши, а в знаменателе прокаленные при 500°C в течение 15 мин

Прочность сырых окатышей по фракциям на сбрасывание показывает, что мелкие фракции выдерживают большее количество сбрасываний. Так классы 7-10 мм, 5-7 мм, 3-5 мм выдерживают соответственно в 1,2; 1,6 и 2,6 раз больше сбрасываний, чем фракция плюс 10 мм. Прочность сырых окатышей по фракциям на раздавливание показывает, что мелкие гранулы менее прочны по сравнению с крупными. Так фракция 5-7 мм, 7-10 мм и плюс 10 мм выдерживают нагрузку в 1,4; 1,9; 2,5 раза большую, чем

гранулы фракции 3-5 мм. Окатыши, полученные из шихты меньшей влажности (опыты 1 и 4) при сушке мало упрочняются, а полученные из шихты большей влажности (опыты 2 и 3) упрочняются при сушке больше. Это подтверждает вывод о том, что сталеплавильные шламы, распределяясь более равномерно по всей массе окомкованных гранул, упрочняют гранулы подобно бентониту. Прочность сухих окатышей по фракциям на раздавливание показывает, что и в этом случае мелкие гранулы менее прочные, чем крупные. Так, средняя прочность фракций 5-7 мм, 7-10 мм и плюс 10 мм в 1,4; 1,7 и 3,2 раза больше, чем фракции 3-5 мм.

Для установления поведения сырых окатышей различных фракций при «термическом шоке» они помещались в муфельную печь, нагретую до 500°C и выдерживались в течение 15 мин. Затем в холодном состоянии их испытывали на раздавливание. Изготовленные из нормально увлажненных шихт прокаленные окатыши дополнительно упрочняются, а при обжиге окатышей из шихт меньшей влажности (опыт 4) происходит некоторое снижение прочности всех фракций окатышей. В среднем во всех опытах при прокаливании окатыши упрочняются в 1,4-1,8 раза по сравнению с высушенными окатышами

Результаты данных исследований могут быть рекомендованы для использования на аглофабриках Украины при организации раздельной шихтоподготовки.

В связи с ужесточением требований по охране окружающей среды, а также увеличением стоимости природного сырья, утилизация железосодержащих отходов обоснована как с экологической, так и с экономической точек зрения. Для эффективного использования заскладированных шламов в агломерационном производстве требуется внедрение мероприятий по повышению качества подготовки многокомпонентных аглошихт. Предлагаемая технология гомогенизации с применением цепного роторного дезинтегратора-смесителя позволяет повысить использование в шихте заскладированных шламов, не требует больших инвестиций, а также хорошо вписывается в существующие на аглофабриках схемы подготовки шихт.

Список литературы: 1. Утилизация тонкодисперсных железосодержащих шламов / Степанов Б.Я., Постовалов И.П., Геладзе Ю.Н. и др. // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической информации. – 1983.- № 12. – С. 46-48. 2. Организация подготовки железосодержащих отходов и использование их в производстве агломерата / А.Т. Корж, Ю.А. Гердий, А.К. Иванов, Ю.В. Гирин // Металл и литье Украины. – 1996. - № 9-10. – С. 38-41. 3. Исследование процессов обезвоживания и подготовки железосодержащих шламов к утилизации / Ирбаев И.К., Головкин В.К., Кулишкин С.Н. и др. // Сталь. – 1996. - № 11. – С. 71-74. 4. Воропаев Е.М., Борисов В.М. Использование пылей и шламов металлургических заводов в агломерационном производстве // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической информации. – 1980.- № 1. – С. 3-14. 5. Разработка конструкции цепного роторного дезинтегратора-смесителя для гомогенизации агломерационных шихт / Г.С. Клягин, В.И. Ростовский, Я.Ю. Пономарева, А.В. Кравченко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сборник научных трудов / ДонГТУ Донецк, 2002. – С. 78-84. 6. Вегман Е.Ф., Пыриков А.Н., Жак А.Р. Интенсификация агломерационного процесса. – М.Машиностроение, 1995. – 126с. 7. Хайдуков В.П., Иноземцев Н.С., Пономарев В.Н. Методы интенсификации агломерационного процесса. – Воронеж: Изд-во ВПИ, 1977. – 48 с. 8. Куценко В.Ф., Кунин Л.Е., Белоусова В.Т. Агломерация предварительно гранулированного железорудного концентрата // Обогащение руд. – 1977. - № 2. – С. 29-32. 9. Кунин Л.Е., Куценко В.Ф. Исследование технологии

получения мелких окатышей для агломерации из концентрата Лебединского ГОКа // Обогащение руд. – 1978. - № 6. – С. 18-21.

Сдано в редакцию 04.05.05
Рекомендовано д.т.н., проф. Бухач А.

НЕЛИНЕЙНАЯ ТЕОРИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Крючков Ю.С., Кипреев Ю.Н. (НУК, г. Николаев, Украина)

The non-linear theory of complicated systems under momentary load has been worked out. It allows to carry out calculations of their dynamics up to destructions of members. Shear of keys results in weakening of dynamic angular displacements of objects but results in shear on the plane of fastening, which is necessary to take into account in calculations. Experiments carried out on natural objects confirmed the basic propositions of the worked out theory.

В настоящее время в технически развитых странах широко используются химические и теплообменные аппараты корпусного типа (химические и атомные реакторы, крекинг - колонны и т.п.). В связи с большой экологической опасностью при авариях этих объектов, они подлежат обязательному расчету на действие кратковременных нагрузок (взрывов, сейсмических волн или иных ударных процессов). Поскольку при интенсивных кратковременных воздействиях в связях этих объектов могут возникать нелинейные явления, то принципиально их необходимо рассчитывать как нелинейные системы.

Расчету нелинейных систем при кратковременном воздействии посвящено несколько работ [1, 3, 9, 10], в которых рассмотрен ряд простейших нелинейных задач (одно-двухмассовые системы), для решения которых использованы фазово-плоскостные методы (Лямозна, Джекобсена, Ю.С. Крюčkова). Недавно вышедшая книга [2] ничего нового не добавила к работам [1, 3, 9, 10]. Однако реальные установки, особенно судовые, намного сложнее и представляют пространственные многомассовые системы с пространственно ориентированными опорными и неопорными нелинейными связями [5, 7]. Расчету таких сложных систем посвящен ряд работ [4, 6] и др. В данной статье приводится нелинейная теория обобщенной сложной установки с учетом конструктивных (предварительная затяжка фундаментных болтов) и физических (нелинейная упругость, пластическая деформация, трение, гистерезис и т.п.) особенностей связей.

На рис. 1 показана судовая паропроизводящая атомная установка, которая может служить эталоном сложной системы.

Бак железо-водной защиты (ЖВЗ) **3** крепится по торцам к поперечным переборкам **6** с помощью упругопластических амортизаторов **7**. На монтажной плите **2** в центре установлен реактор **1**, несущий приводы СУЗ **10** и выемную часть (активную зону) **5**. Реактор крепится фундаментными болтами с накладными планками **4** (башмаками) [4, 5]. Блок парогенератор – циркуляционный насос (**8, 9**) установлен на баке ЖВЗ и закреплен аналогичным узлом **4**. Радиальное перемещение реактора и перемещение парогенераторов вдоль осей патрубков обеспечивается шпонками [4]. Парогенераторы соединяются с реактором патрубками **11**.

Все агрегаты и бак ЖВЗ считаются твердыми телами.