

$$\frac{N_p}{N_{\max}} \left(\frac{\lambda_x^2}{\pi^2} + \gamma_Q \frac{EA_{\text{eff}}}{Q} \right) \frac{R_y}{E} + \frac{M_x}{M_{x\max}} \leq 1 \rightarrow \frac{N_p}{N_{\max}} \frac{\lambda_x^2}{\pi^2} \left(1 + \gamma_Q \frac{\pi^2 EA_{\text{eff}}}{\lambda_x^2 Q} \right) \frac{R_y}{E} + \frac{M_x}{M_{x\max}} \leq 1. \quad (13)$$

Але за (10) $N_{\max} = R_y A_{\text{eff}}$, а критична сила без урахування деформації зсуву перерізу дорівнює: $N_{\text{crd}} = \pi^2 EA_{\text{eff}} / \lambda_x^2$, тоді останнє рівняння миттєво переходить до відношення.

$$\frac{N_p}{N_{\text{crd}}} \left(1 + \gamma_Q \frac{N_{\text{crd}}}{Q} \right) + \frac{M_x}{M_{x\max}} \leq 1. \quad (14)$$

В окремих випадках більш привабливим є розгорнутий вираз рівняння (14):

$$\frac{N_p}{N_{\max}} \frac{1}{\pi^2} \frac{\mu_x^2 s^2}{i_{\text{xeff}}^2} \left(1 + \gamma_Q \frac{\pi^2 EA_{\text{eff}} i_{\text{xeff}}^2}{\mu_x^2 s^2 Q} \right) \frac{R_y}{E} + \frac{M_x}{M_{x\max}} \leq 1. \quad (15)$$

Розрахунки показують, що два методологічні підходи є альтернативними, дають близькі оцінки несучої спроможності арки і більшу впевненість у прийнятті рішення щодо несучої спроможності аркової конструкції.

Висновки та перспективи. Розроблений методологічний підхід є універсальним і може бути використаний для перевірки стійкості наскрізних аркових сталевих конструкцій, так з (12) і (8) перейдемо до умовної зведеної гнучкості арки ($\bar{\lambda}_{\text{xeff}}$):

$$\varphi = \frac{\sigma_{\text{cr}}}{R_y} = \frac{\pi^2}{\lambda_{\text{xeff}}^2} \frac{E}{R_y}; \quad \bar{\lambda}_{\text{xeff}}^2 = \lambda_{\text{xeff}}^2 \frac{R_y}{E}; \quad \varphi = \frac{\pi^2}{\bar{\lambda}_{\text{xeff}}^2}.$$

$$\frac{N_p}{N_{\max}} \frac{\bar{\lambda}_{\text{xeff}}^2}{\pi^2} + \frac{M_x}{M_{x\max}} \leq 1.$$

Таким чином, отримані формули (12-15) слід використовувати при перевірці стійкості арок з гнучкістю піварки $\bar{\lambda}_{\text{xeff}} \geq \pi$. При умові $\bar{\lambda}_{\text{xeff}} < \pi$ перевірку стійкості рекомендується виконувати за формулами (2,9).

Основним напрямком розвитку методологічних підходів щодо перевірки стійкості аркових конструкцій є числові дослідження коефіцієнтів розрахункової довжини арок з урахуванням піддатливості опор при обпиранні арок на колони та напіврами, визначення оптимальної конструкції арки з урахуванням визначення редукованого перерізу в залежності від навантаження, а також експериментальне та теоретичне уточнення впливу деформації зсуву перерізу різних за формою тонкостінних профілів. Особливими науковими задачами є визначення впливу початкових недосконалостей геометрії абрису аркової конструкції та гнучкості арки на несучу спроможність.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

- Білик С. І. Рациональная форма геометричной схемы рамного каркаса з карнизними похилими елементами навколо функціонального об'єму / С. І. Білик // Прикладна геометрія та інженерна графіка: міжвід. наук. зб. / МОН України, КНУБА. – К., 2004. – Вип. 74. – С. 228–235.

- Кузнецов В. В. Легкие металлические конструкции комплектной поставки, пути дальнейшего их совершенствования // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 1988. – № 7 – с. 14-15.
- Трофимов В. И., Каминский А. М. Легкие металлические конструкции зданий и сооружений. Учебное пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2002. – 576 с.
- Беленя Е.И., Балдин В.А., Ведеников Г.С.. Металлические конструкции. / Под. общ. ред. Е.И. Беленя. - М.: Стройиздат, 1991. – 687 с.
- Еремеев П.Г., Киселев Д.Б., Арменский М.Ю., К проектированию бескаркасных конструкций арочных сводов из холодногнутых тонколистовых стальных профилей. // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2004. – № 7.
- Динник А.Н., Лесков В.Н. Повздовжній угин та його застосування в техніці. - Харків-Дніпропетровськ: Тех. видав, 1932 – 164 с.
- Ефимов А. С. К расчету больших прогибов и устойчивости пологих арок и стержней при локальных нагрузках. Исслед. по теор. пластин и оболочек, 1967, 5, 203–220.
- Смирнов А.Ф. Устойчивость и колебания сооружений. – М.: Трансжелдориздат, 1958. – 572 с.
- Снитко Н.К. Устойчивость стержневых систем в упруго-пластической стадии. – Л.: Стройиздат, 1968. – 248 с.
- Тимошенко С.П. Устойчивость стержней, пластин и оболочек. – М.:Наука, 1971. – 808 с.
- Александров А.В., Травуш В.И., Матвеев А.В. О расчете стержневых конструкций на устойчивость., «Промышленное и гражданское строительство».- М.: 2002, №3, с.16-19.
- Білик С.І. Методика розрахунку на стійкість сталевих рам із двотаврів зі змінною висотою стінки / С.І. Білик // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди / Зб. наук. праць / МОН України / НУВГП. – Рівне, 2008. – Вип. 16. – Ч.2. – С. 73-78.

УДК 691.3

ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПЕСКА

д.т.н., проф. **Большаков В.И.***,

д.т.н. **Кириарский А.С.**, д.т.н. **Савицкий Н.В.***

фирма «Инжиниринг Доберсек ГмбХ»(Германия),

*Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры

Аннотация.

Предложены инновационные технологии обогащения песка и гравия по крупности и плотности с применением грохотов, гидроциклонов, противоточных гидроклассификаторов и отсадочных машин. Обоснована целесообразность использования водно – шламowych схем с неглубоким осветлением слива без применения флокулянтов.

Актуальность проблематики и постановка задачи.

Песок и гравий относятся к числу полезных ископаемых, которые находят широкое применение в строительной промышленности, что ранее не

требовало глубокого их обогащения ввиду умеренных требований к качеству товарных продуктов и наличию месторождений со значительными запасами высококачественного минерального сырья *in situ*. Сейчас ситуация изменилась по причине, с одной стороны, ужесточения требований к качеству песка и гравия, поставляемого на рынок, и, с другой стороны, истощением богатых месторождений и ухудшения обогатимости такой горной массы. Кроме того, расширяется ассортимент товарных концентратов со специфическими свойствами. В настоящее время в Германии производится около 305 млн. т песка и гравия с перспективой увеличения до 364 млн. т в 2010 году, при этом значительная часть его поставляется на продажу после предварительного обогащения по крупности и плотности, а при необходимости, и по смачиваемости и контрастности в электрических и магнитных свойствах, что свидетельствует о разработке разветвленных технологических схем переработки указанного минерального сырья. Удельный расход песка и гравия на каждого среднестатистического жителя ФРГ, продолжительность жизни которого составляет 70 лет, составляет 324 тонны в течение всей жизни.

Отличительной особенностью этих полезных ископаемых есть сравнительно невысокая их стоимость при значительном массовом выходе товарного концентрата, что требует изыскания эффективных и простых, элегантных и высокопроизводительных, рентабельных и экологически чистых технологических решений.

Цель настоящих исследований. В настоящей работе предпринята попытка на базе сложившейся на западных предприятиях, в частности немецких карьерах и обогатительных установках, практики по переработке строительного песка сформулировать перспективную технологию обогащения упомянутого сырья исходя из классических основ при разделении продуктов в условиях сложившихся обогатительных переделов при обработке различных видов минерального сырья.

Содержательная часть исследований.

Добыча песка и гравия.

Месторождения песка и гравия разрабатываются открытым способом. При незначительной обводненности песчаных пластов назначается сухой способ извлечения и доставки горной массы на обогатительную установку, при этом используется типовое горное оборудование типа механической лопаты, погрузчика и автосамосвалов. В случае сильной обводненности залежей применяется гидродобыча с применением земснаряда. Последний оборудуется специальным рыхлителем и позволяет вести горные работы на глубину до 30м. Гидросмесь перекачивается насосом по пульпопроводу, который крепится на специальном подвижном понтоне. Содержание твердого в перекачиваемой пульпе колеблется в пределах от 10 до 30% (по массе), в в большинстве случаев не превышает 16%. Обычно гидротранспорт песчаной гидросмеси осуществляется в два приема: сначала материал подается на промежуточную пульпонасосную станцию, установленную на борту карьера и оснащенную бустерным центробежным насосом, посредством которого пульпа транспортируется непосредственно на обогатительную установку. Такой способ гидротранспорта позволяет производить попутную оттирку зерен песка в процессе их движения по трубопроводу. В то же время такая система требует значительных затрат электроэнергии, сопряжена с риском

«посадки» напорного трубопровода ввиду резких колебаний консистенции гидросмеси, гранулометрии твердых частиц и температуры окружающей среды. В этой связи практикуется конвейерная подача предварительно обезвоженной гидросмеси на обогатительный комплекс, при этом исходная пульпа направляется на первичное обезвоживание и обесшламливание горной массы на борту карьера, осуществляемое при помощи элеваторного колесного обезвоживающего агрегата, конструктивно состоящего из ванны, элеваторного колеса, оснащенного ковшами и электропривода. Производительность такого агрегата составляет 1500 – 2400 м³/час, что при содержании твердого на уровне 15% означает массовую нагрузку в пределах 248 – 397 т/час. Горная масса влажностью 20-25% ленточными конвейерами транспортируется на удаление до нескольких километров к месту размещения обогатительной установки.

Обогащение строительного песка.

Обогащение строительного песка осуществляется по крупности и плотности, для чего применяют традиционное горное оборудование типа грохотов, промывочных скруббер – бутар, противоточных и центробежных гидроклассификаторов, отсадочных машин. При необходимости имеет место дробление гальки и крупнозернистых песков в щековых или конусных дробилках. На первом этапе исходный продукт рассеивается на несколько машинных классов, при этом крупный материал подвергается гидравлической отсадке, а мелкие классы подвергаются промывке и обесшламливаются в гидроциклонах, а затем направляются в противочные двух- или трехпродуктовые гидроклассификаторы. Крупность машинных классов назначается на основе требований существующих стандартов.

Для рассева материала используются вибрационные грохоты с сегрегацией зерен, при этом удельная производительность грохота может назначаться по таблице 1[1].

Таблица 1

Удельная объемная производительность грохота с металлическим ситом

Размер ячеек сита, мм	Удельная объемная нагрузка, м ³ /(м ² ·час)	Размер ячеек сита, мм	Удельная объемная нагрузка, м ³ /(м ² ·час)	Размер ячеек сита, мм	Удельная объемная нагрузка, м ³ /(м ² ·час)
0,6	3,2	8,0	17	40	38
0,8	3,7	10	19	50	42
1,17	4,4	16	25,5	80	56
2,03	5,5	20	28	100	63
3,15	7,0	25	31		
5,0	11,0	31,5	34		

Исходя из заданной удельной нагрузки, определяем общую производительность грохота по следующей формуле:

$$Q = c \cdot q \cdot F \cdot K \cdot l \cdot m \cdot n \cdot o \cdot p, \text{ м}^3/\text{час}$$

Здесь c -коэффициент использования поверхности сита; q -удельная объемная производительность на 1м² сита с квадратными отверстиями, м³/м²·час;

F -рабочая площадь просеивающей поверхности; k -поправочный коэффициент, учитывающий содержание в питании зерен размером меньше половины отверстия сита; l - поправочный коэффициент, учитывающий содержание в питании зерен размером больше отверстия сита; m - поправочный коэффициент, учитывающий эффективность грохочения, которая, в свою очередь, определяется в зависимости от содержания в питании зерен размером меньше отверстия сита в питании и продуктах грохочения; n - поправочный коэффициент, учитывающий тип обрабатываемого материала; o - поправочный коэффициент, учитывающий влажность обрабатываемого материала; p - поправочный коэффициент, учитывающий способ грохочения материала (сухой или мокрый). Численные значения указанных поправочных коэффициентов можно найти в соответствующих справочниках, например, в нормах технологического проектирования [1].

Крупнокусковая фракция, например, размером более 3 мм, направляется в отсадочные машины, работающие по принципу гравитационного разделения по плотности и крупности зерен в вертикальном потоке воды, пульсирующим с определенной частотой и амплитудой, при этом различают машины с подвижным и неподвижным отсадочным решетом. В последнем случае используют сжатый воздух для создания необходимого режима пульсаций разделительной среды. Разделение имеет место в тесненных условиях, при этом при нисходящем движении разделительной среды более тяжелые частицы оседают быстрее более легких, а при восходящем движении легкие зерна опережают тяжелые, в результате чего в верхних слоях формируется легкая фракция, а в нижних – тяжелая фракция. Граничная плотность разделения составляет 2700 кг/м^3 . Схематически отсадочная машина представлена на рис.1.

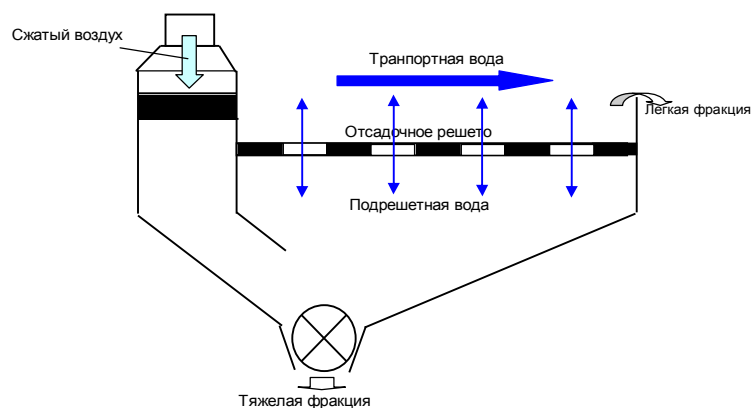


Рис.1. Принципиальная схема отсадочной машины воздушно – пульсационного типа

Производительность отсадочной машины определяется по удельной нагрузке на 1м^2 площади отсадочного решета. Производительность отсадочной машины по разгружаемой легкой фракции определяется по формуле:

$$Q=3,6 \cdot B \cdot H \cdot v \cdot \delta \cdot \mu, \text{ т/час}$$

Где: B - ширина отсадочного решета, м; H – высота слоя материала на отсадочном решете выше сливного порога в момент взвешивания материала, м; v – средняя продольная скорость движения материала, м/сек; δ – плотность зерен материала, т/м^3 ; μ - коэффициент разрыхления материала в момент его взвешивания.

Производительность отсадочных машин часто определяют по нормам удельной производительности по исходному материалу на 1м^2 площади отсадочного решета, которую можно принять на уровне $5-10 \text{ т/(м}^2 \cdot \text{час)}$. С уменьшением крупности перерабатываемого материала повышают частоту пульсаций подрешетной воды при сравнительно малой амплитуде. Получаемую легкую фракцию после осадки обезвоживают, для чего применяют обезвоживающие грохоты или элеваторы.

Мелкая фракция поступает на промывку в скруббер – бутары, куда по оросительной трубе под давлением $0,1-0,2 \text{ МПа}$ подается также оборотная вода с содержанием твердого не более 2г/л в количестве $2-3\text{м}^3/\text{т}$. В зависимости от промывистости песка время дезинтеграции обычно составляет $2-3$ минуты. Для обеспечения заданного времени обработки песка производится расчет технологических и конструктивных параметров процесса.

При подаче исходного материала при влажности 6% и последующем добавлении оборотной воды содержание твердого в рабочей зоне колеблется от $24,6$ до $32,7\%$, что обеспечивает эффективное разрыхление, распускание и, как следствие, дезинтегрирование в воде глины, цементирующей и обволакивающей кварцевые зерна.

Частоту вращения барабана (n) рекомендуется принимать равной $30-40\%$ критической [2]:

$$n = \frac{10 - 12}{\sqrt{r}}, \text{ об/мин,}$$

где r - радиус барабана, м. Например, при радиусе 1000мм частота вращения барабана составляет $10,0-12,0$ об/мин. Задавая угол наклона 2° , вычисляем скорость продольного перемещения материала в барабане диаметром $1,0\text{м}$ по следующей формуле:

$$v = 0,105 \cdot r \cdot n \cdot \text{tg} 2\varphi, \text{ м/сек}$$

где φ - угол наклона барабана, град.

Тогда получаем расчетную величину скорости

$$v = 0,105 \cdot 1,0 \cdot 11,0 \cdot 0,0629 = 0,0727, \text{ м/сек}$$

Сделав допущение, что рабочее время составляет 1,72мин или 103,2сек, находим необходимую длину барабана

$$L = v \cdot t = 0,0727 \cdot 103,2 = 7,5 \text{ м}$$

Если на этом технологическом переделе преследуется цель дополнительно произвести оттирку песка, например для удаления оксидных пленок железа с поверхности зерен, то рассмотренные выше параметры требуют существенных изменений. Эффективная оттирка материала протекает при содержании твердого более 70%, что требует сокращения расхода оборотной воды до 0,4 м³/т. Допуская содержание твердого на уровне 50%, мы вынуждены снизить расход воды до 1,0 м³/т, что отрицательно влияет на процесс дезинтеграции.

Что касается конструктивных параметров, то оттирка требует увеличения частоты вращения барабана, итогом чего есть уменьшение времени пребывания материала в рабочей зоне аппарата, что неблагоприятно как для оттирки, так и для процесса дезинтеграции. Поэтому оттирку предпочтительнее осуществлять в отдельном цикле при содержании твердого в исходной суспензии более 70% (по массе).

После промывки и при необходимости оттирки песка производят его обесшламливание, для чего предпочтительнее использовать гидроциклоны, в которых имеет место разделение зерен минерального сырья по двум основным разделительным признакам: крупности и плотности. Существенную роль при этом играет также плотность и вязкость разделительной среды, шероховатость и форма частиц. Законы падения минеральных зерен в воде справедливы лишь для условий свободного падения, при котором исключается влияние одной частицы на другую. Чем меньше содержание твердого в суспензии, тем меньше взаимовлияние зерен и, как следствие, выше эффективность разделения по крупности. С повышением содержания твердого в суспензии возрастает концентрация частиц в единице объема суспензии, что обуславливает стесненный режим обогащения, при котором преобладает разделение по плотности частиц. Таким образом, в рабочей зоне гидроциклона наблюдается несколько характерных областей, а именно: область свободного осаждения частиц в центробежном поле (А), область центробежного разделения в стесненных условиях (С) и переходная область между ранее обозначенными областями (В). Эти области указаны на рис.2.

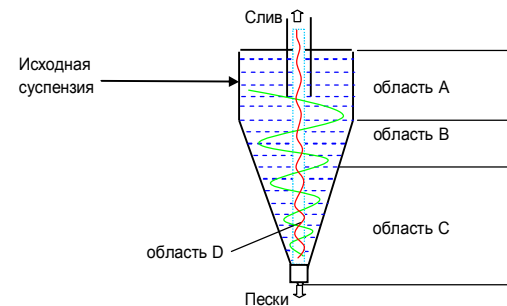


Рис.2. Характерные области при разделении частиц в гидроциклоне

С уплотнением суспензии изменяются и свойства разделительной среды: возрастает ее вязкость и плотность. Принято считать, что наиболее эффективно гидроклассификация по крупности протекает при содержании твердого в диапазоне от 10 до 15%. Уплотнение разделительной среды до 15 – 30% ухудшает показатели разделения, а при дальнейшем повышении содержания твердого до 35% и более исключает нормальный режим работы гидроклассификатора, так как последний превращается в сепаратор, работающий по другому разделительному признаку – плотности частиц. Стремление совместить эти процессы сопряжены с нарушением необходимого режима разделения и, как следствие, повышением взаимозасорения продуктов разделения, что выражается в увеличении средневероятного отклонения (E_{pm}), а графически имеет место снижение крутизны сепарационной характеристики.

Физический смысл такого явления состоит в том, что легче привести в равновесие систему с одним, нежели с двумя и более разделительными признаками.

Эффективность разделения по крупности оценивается обычно по формуле Т.Г.Фоменко [3] и по формуле Ханкока – Луйкена – Дина. Первая формула представляется нам предпочтительнее ввиду того, что она учитывает качество не только слива по нижнему классу, но и песков по верхнему классу. Эта формула имеет вид

$$\varepsilon = \frac{(\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2)}{100}, \%$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ - извлечение менее 44мкм в слив и более 44мкм в пески соответственно, %.

Эффективность разделения по крупности менее 44мкм определялась также по формуле Ханкока – Луйкена - Дина:

$$\eta = \frac{(\alpha - \theta) \cdot (\beta - \alpha)}{\alpha \cdot (1 - \alpha) \cdot (\beta - \theta)} \cdot 100, \%$$

где α, β, θ - содержание расчетного класса крупностью менее 10мкм соответственно в питании, сливе и песках гидроциклона, в долях единицы.

Минимальное содержание твердого в суспензии, равное 5,0 – 10,0%, позволяет достичь высокой эффективности гидроклассификации, значительного извлечения расчетного класса и выхода сливного продукта дисперсионной стерильности, при этом размер граничного зерна разделения составляет 45,3 – 46,5мкм, что позволяет реализовать настоящий процесс в гидроциклонах большого диаметра. Работа установки при высоком содержании твердого на уровне 55 – 65% приводит к резкому снижению эффективности гидроклассификации до 19-40,65%, извлечения, при этом размер граничного зерна разделения не превышает 14,3мкм, что означает использование гидроциклонов малого диаметра. Принято считать, что рассмотренные технологические режимы воплощают собой два принципиально несовместимых процесса: разделение по плотности и разделение по крупности. В разбавленных суспензиях имеет место осаждение зерен в свободных условиях, когда основным разделительным признаком есть размер частиц, в концентрированных суспензиях процесс протекает в стесненных условиях, при этом доминирует разделение по плотности. Гидроциклон конструктивно являет собой симбиоз гидроклассификатора и сепаратора, так как в верхней его области действительно содержание твердого незначительное и близкое к условиям свободного осаждения, в то время как в нижней его части, чем ближе к песковой насадке, тем эта тенденция больше, присутствует концентрированная суспензия и гравитационное обогащение подчиняется другим законам, в которых определяющей доминантой есть плотность зерен. Гравитационная сепарация протекает в разделительной среде, удельное содержание тонких частиц крупностью менее 10-40мкм в которой позволяет нам назвать ее тяжелой суспензией, при этом коническая конфигурация песковой насадки предопределяет значительный градиент напряженности гравитационного поля, обусловленного действием центробежной силы и силы Архимеда. В таких условиях обогащения беспредметно говорить о поведении отдельно взятой частицы в бесконечно малый отрезок времени dt , так как разделение по плотности начинается по истечении определенного времени t , необходимого для формирования специфической постели в области С, на кинетический характер изменения концентрации твердого в которой справедливо указывают авторы[4,5]. Тяжелая суспензия находится в псевдооживленном состоянии, что объясняется наличием зоны разрежения, обозначенной на рис. 2 областью D, и высоким содержанием твердого. В области высококонцентрированной суспензии каждая частица может рассматриваться как отдельный осциллятор, частота и амплитуда колебаний которого зависит от концентрации твердых частиц. Чем больше содержание твердого в зоне сепарации, тем выше частота колебаний

отдельной частицы и меньше амплитуда этих колебаний, при этом уместно воспользоваться неопределенностями Гейзенберга для условий макроскопических тел, которые в данном случае можно сформулировать следующим образом: стремление точно установить импульс системы в каждый момент времени dt приводит к ошибке в определении местонахождения частицы (в составе слива и песков), т.е. в вычислении эффективности гравитационного обогащения и, наоборот, стремление выявить достоверно местонахождение частицы приводит к погрешностям в определении импульса системы. В зависимости от содержания твердого в питании гидроциклона он может работать как гидроклассификатор, сепаратор или двухфункциональный гравитационный аппарат, совмещающий в себе два процесса: разделение по крупности и плотности минеральных частиц.

Очистив гидросмесь от шламов, назначают следующую технологическую операцию – противоточную гидроклассификацию. Особенность настоящего процесса состоит в том, что разделение зерен по крупности осуществляется практически в свободных условиях, поэтому расход воды здесь значительный. Покажем это на конкретном примере противоточного гидроклассификатора производительностью по твердому 120т/час, диаметр которого составляет 5000мм, а площадь поперечного сечения - 19,6м². В данном аппарате выделяется по крупности три продукта: менее 0,1мм, 0,1-0,5мм и 0,5-3,0мм. Гидроклассификация производится от мелкого к крупному.

Частицы менее 0,1мм переходят в слив. Скорость восходящей струи воды определяется по наиболее крупному минеральному зерну наименьшей плотности, т.е. по зерну кварца плотностью 2,6-2,7т/м³ и крупностью 0,12мм, средняя скорость свободного падения которых согласно табличным данным, составляет 12 мм/сек [1].

Скорость стесненного падения частиц кварца в 2,76 раза меньше скорости свободного падения и составляет 12/2,76=4,34мм/сек. Зная скорость восходящей струи воды, можем определить ее расход

$$V_{\text{вос}} = v \cdot f = 15,62 \cdot 19,6 = 306,23 \text{ м}^3/\text{час}$$

где v - скорость стесненного падения частиц, 15,62м/час; f - площадь поперечного сечения гидроклассификатора, 19,6м². По уточненным данным изготовителя таких аппаратов расход воды в сливе составляет 322,65 м³/час.

Принимая содержание твердого в сливе на уровне 1,41% (R=Ж:Т =69,92), получаем количество твердого

$$V_{\text{т}} = V_{\text{в}}/R = 322,65/69,92 = 4,61 \text{ т/час}$$

Тогда производительность по сливу составляет

$$Q_{\text{сл}} = V_{\text{т}} + V_{\text{вос}} = 4,61/2,6 \times 322,65 = 324,42 \text{ т/час}$$

Производительность по осадку определяется как разность между массой исходного материала и его количеством, переходящим в слив, т.е.

$$Q_{ос} = Q_{исх} - Q_{сл} = 114,6 - 4,61 = 109,99 \text{ т/час}$$

Принимая содержание твердого в осадке 69,93%(R=Ж: T=0,43368), вычисляем объем воды в составе осадка гидросайзера

$$V_{в.ос} = Q_{ос} \times R = 109,99 \times 0,43368 = 47,70 \text{ м}^3/\text{час}$$

Объем воды для противоточной гидроклассификации составляет

$$V_{в.общ} = V_{в.сл} + V_{в.ос} = 322,65 + 47,70 = 370,35 \text{ м}^3/\text{час}$$

Тогда объем пульпы, поступающей на гидросайзер, равен

$$V_T = Q_{исх}/\delta + V_{в.общ} = 114,6/2,6 + 370,35 = 414,4 \text{ м}^3/\text{час}$$

Содержание твердого в исходной пульпе составляет 38%, поэтому для разбавления пульпы перед противоточной гидроклассификацией потребуется вода в количестве 114,1 м³/час. Расход свежей воды, подаваемой для создания восходящего потока, составляет 183,37 м³/час.

Для создания восходящего потока требуется свежая вода без примеси флокулянтов и высокодисперсных частиц при удельном расходе 1,6 м³/т песка.

Загрязнение продуктов разделения в условиях противоточной гидроклассификации представлено в таблице 2.

Таблица 2

Нормы засорения продуктов разделения

Продукты разделения	Крупность примеси, мм	Норма засорения, %
Слив	> 0,1	3,0
Продуктивная фракция 0,1-0,5мм	> 0,5	6,0
Зернистые пески 0,5-3мм	< 0,5	15,0

Водно – шламовое хозяйство

При обогащении песков и гравия мокрым способом образуется шламовая суспензия с содержанием твердого 2-5% и дисперсностью частиц твердой фазы 95% класса – 70мкм. Объем шламовых вод для установок производительностью не менее 100т/час может достигать 700 – 1000м³/час,

что свидетельствует о необходимости сгущения и последующего обезвоживания сгущенного продукта на ленточных вакуум – фильтрах. В последнем случае достигается замкнутый водооборот и исключается необходимость гидротранспорта и складирования отходов производства в наружных илонакопителях.

Для сгущения глинистых суспензий обычно применяют радиальные сгустители. Расчет сгустителя производится в следующей последовательности. Как видно, хвостовая пульпа отличается большой разжиженностью и высокой дисперсностью частиц твердой фазы. Без применения флокулянтов скорость осветления такой разбавленной суспензии составляет 0,00016 – 0,000236 м/сек, а с применением флокулянтов на порядок меньше. Скорость осветления хвостовой суспензии с применением флокулянтов и без них определяется экспериментально по традиционной методике Клевенджера – Коу с применением обычных мерных цилиндров вместимостью 1 – 2л. Удельную площадь осаждения рассчитывают по следующей формуле:

$$S_{уд} = (R_{исх} - R_{сг}) / (K \cdot V \cdot \gamma_{ж}), \text{ (м}^2 \cdot \text{ час) / т}$$

где R_{исх} и R_{сг} – отношение Ж:Т по массе соответственно в исходном и сгущенном продуктах; V – скорость осветления хвостовой пульпы, рассчитанная по кинетическим кривым осаждения частиц, как частное от деления высоты осветленного слоя на время отстаивания, м/час; K – коэффициент, учитывающий отношение эффективно используемой поверхности осаждения сгустителя, 0,7 – 0,8; γ_ж – плотность суспензии, т/м³.

Задаваясь экспериментально установленными данными при условии сгущения пульпы до 30-40%, получаем расчетное значение удельной площади осаждения.

Тогда общая площадь осаждения равняется

$$S_{общ} = S_{уд} \cdot Q, \text{ м}^2$$

где Q – часовая производительность установки по отходам, т/час.

Зная общую площадь осаждения и площадь осветления типовых радиальных сгустителей, назначаем тип сгустителей и их количество для обработки заданного объема суспензии.

Ввиду того, что при переработке песков допускается загрязнение слива на уровне 2г/т, представляет интерес применения водно – шламовых схем с неглубоким осветлением слива, для чего достаточно шламовые воды сбросить в зумпф, откуда центробежным насосом они подаются на гидроциклоны, работающие в режиме сгущения, а не гидроклассификации, при этом слив направляется полностью или частично в оборот, а сгущенный продукт обезвоживается на ленточных вакуум – фильтрах. В этом случае исключается применение флокулянтов, что позволяет сократить эксплуатационные расходы и упростить водно – шламовый комплекс.

ВЫВОДЫ

Разработаны теоретические основы технологии обогащения строительного песка исходя из классических основ при разделении продуктов в условиях сложившихся обогатительных переделов при обработке различных видов минерального сырья.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Нормы технологического проектирования предприятий промышленности нерудных строительных материалов. Ленинград.-Стройиздат. – 1977.- 368с.
2. Справочник по обогащению руд. В 3-х т. Гл.ред. О.С.Богданов. Т.1.Подготовительные процессы. М.: Недра, 1972.- 448с.
3. Т.Г.Фоменко, В.С.Бутовецкий, Е.И.Погарцева. Водно – шламовое хозяйство углеобогатительных фабрик. – М.: Недра, 1974.
4. Neesse, Th., Schneider, M., Mechanotronik für eine Hydrozyklonbattery. Aufbereitungstechnik 40. – 1999, p.160-165.
5. Neesse, Th., Donhauser, F. Advances in the Theory and Practice of Hydrocyclone Technique.

УДК 691.3**ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА СИНТЕТИЧЕСКОГО ГИПСА ПРИ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ**

д.т.н., проф. **Большаков В.И.***,

д.т.н. **Кирнарский А.С.**, д.т.н. **Савицкий Н.В.***

фирма «Инжиниринг Доберсек ГмбХ»(Германия),

**Приднeпровская государственная академия строительства и архитектуры*

Аннотация

Представлены технологические особенности получения синтетического гипса при десульфурации дымовых газов тепловых электростанций с подробным анализом схем обезвоживания гипсовой суспензии после мокрого известкового связывания диоксидов серы в абсорбционных колоннах. Изложен расчет водно – шламовой схемы при работе с гидроциклонами и ленточными вакуум – фильтрами, сгустительными устройствами и центрифугами, указаны недостатки и преимущества различных вариантов компоновки технологического оборудования при обезвоживании гипса.

Актуальность проблематики и постановка задачи исследований.

Одним из условий природосберегающего режима работы различных типов теплоэлектростанций, работающих на угле, мазуте или природном газе, является эффективная очистка продуктов сгорания от диоксидов серы, для чего применяется десульфурация дымовых газов, основным побочным продуктом которой есть искусственный гипс (ДДС-гипс).

В Европе искусственный гипс, так называемый REA-Gips, производится уже 25 лет, при этом за этот период реализовано 100 млн. тонн такого сырья.

В настоящее время в 17 европейских странах ежегодно получают 16 млн. тонн гипса при очистке дымовых газов. Наиболее совершенные системы этой технологии разработаны в Германии. Не случайно на немецких электростанциях, работающих на буром и каменном угле, ежегодно производится 7,5 млн. тонн искусственного гипса, используемого в строительной промышленности в качестве заменителя природного гипса. На одной современной электростанции мощностью 750 МВт, в топках которой сжигается обогащенный энергетический каменный уголь с содержанием серы от 0,6 до 1,0%, при эффективности улавливания диоксидов серы мокрым известняковым способом 95% получают ежечасно 9-14 т высококачественного ДДС - гипса.

Такой продукт находит широкое применение в строительной промышленности при производстве бетона и гипсокартонных плит при условии, что он удовлетворяет требованиям по влажности (не более 10%) и белизне (Стандарт ФРГ VGB-M 701e, 1991).

Цель настоящих исследований. В настоящей работе на базе сложившейся на западных предприятиях технологии, в частности германских, предложена технология получения синтетического гипса при десульфурации дымовых газов тепловых электростанций.

Содержательная часть исследований.**1. Десульфурация дымовых газов известковым раствором**

Согласно традиционной технологии очистки дымовых газов на первом этапе имеет место удаление из их состава механических примесей типа летучей золы, инертных компонентов, для чего применяют электрофильтры. Коэффициент пылеулавливания таких устройств равен 95%.

На втором этапе происходит химическое взаимодействие диоксидов серы (SO₂) с карбонатом кальция, подаваемого циркуляционными насосами в абсорбционную колонну в виде известкового молока, при этом дымовые газы после противоточной обработки рабочим карбонатным раствором с содержанием твердого 10-20% могут вытяжным вентилятором выбрасываться в атмосферу (одностадийная сероочистка, рис.1) или направляться на перемешку во вторую абсорбционную колонну (двухстадийная сероочистка). Очищенный от диоксидов серы и пыли дымовой газ на выходе из абсорбционного отделения имеет температуру не менее 130°С.