

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Горные машины»

И.Е. Рухля

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ
ПОЛУЧЕНИЯ КАЛИЯ ХЛОРИСТОГО ИЗ СИЛЬВИНИТА
И ИХ ОПИСАНИЕ**

Учебно-методическое пособие
для студентов специальности 1-36 10 01
«Горные машины и оборудование»
по направлению 1-36 10 01-03 «Горные машины и оборудование
(обогачительно-перерабатывающее производство)»

Учебное электронное издание

Минск
БНТУ
2011

УДК 622.2 (075.8)
ББК 33.3 Я 7

Автор:
И.Е. Рухля

Рецензенты:

Г.А. Куптель, доцент кафедры «Горные работы», кандидат технических наук, доцент;

А.А. Кологривко, доцент кафедры «Горные работы», кандидат технических наук, доцент

В пособии приведены технологические схемы получения калия хлористого из сильвинита флотационным, галургическим и комбинированным флотационно-галургическим методом и их описание.

Белорусский национальный технический университет,
пр-т Независимости, 65 г. Минск, Республика Беларусь,
тел. (017) 292-77-52 факс (017) 292-91-37.

Регистрационный номер № ЭИ БНТУ/ФГДЭ20-2.2011

© Рухля И.Е., 2011
© Рухля И.Е., компьютерный дизайн, 2011
© БНТУ, 2011

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	5
1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ КАЛИЯ ХЛОРИСТОГО ИЗ СИЛЬВИНИТА ФЛОТАЦИОННЫМ МЕТОДОМ.....	5
2. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.....	6
2.1. Дробление и измельчение калийной руды с предварительной и поверочной классификацией	6
2.2. Обесшламливание руды.....	8
2.3. Флотация сильвина, выщелачивание натрия хлористого и обезвоживание концентрата	8
2.4. Классификация и обезвоживание хвостов флотации	10
2.5. Сгущение шламовых отходов	10
2.6. Сушка калия хлористого.....	10
2.7. Гранулирование концентрата	11
2.8. Облагораживание гранулята.....	13
2.9. Удаление отходов производства.....	14
2.10. Складирование и погрузка готовой продукции.....	14
3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ КАЛИЯ ХЛОРИСТОГО ИЗ СИЛЬВИНИТА ГАЛУРГИЧЕСКИМ МЕТОДОМ.....	15
4. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.....	15
4.1. Дробление руды с предварительным грохочением	15
4.2. Подогрев щелоков	17
4.3. Растворение руды	17
4.4. Обезвоживание галитовых отходов и их промывка.....	17
4.5. Осветление насыщенного щелока.....	18
4.6. Кристаллизация хлористого калия	18
4.7. Сгущение и центрифугирование хлоркалиевой суспензии	20
4.8. Сушка калия хлористого, его гранулирование и облагораживание гранулята	20
4.9. Удаление отходов производства.....	21
4.10. Складирование и погрузка готовой продукции.....	21
5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ КАЛИЯ ХЛОРИСТОГО ИЗ СИЛЬВИНИТА КОМБИНИРОВАННЫМ ФЛОТАЦИОННО-ГАЛУРГИЧЕСКИМ МЕТОДОМ.....	21

6. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.....	22
6.1. Дробление и измельчение калийной руды (сильвинита) с предварительной и поверочной классификацией	22
6.2. Обесшламливание руды.....	22
6.3. Основная флотация сильвина и перечистка чернового концентрата.....	22
6.4. Гидроклассификация, флотосгущение и обезвоживание флотоконцентрата.....	24
6.5. Растворение хвостов флотации и сгущенного продукта II стадии обесшламливания	24
6.6. Обезвоживание галитовых отходов	24
6.7. Осветление насыщенного щелока.....	24
ЛИТЕРАТУРА	25

ПРЕДИСЛОВИЕ

Калий наряду с азотом и фосфором – один из важных элементов, необходимых для питания и развития растений.

Кроме того, калий является эффективным средством против накопления радионуклидов цезия и стронция в растениях. Калий ввиду высокой химической активности в чистом виде в природе не встречается, а только в виде соединений. Свыше 90 % калия, вырабатываемого в виде растворимых солей, применяют в сельском хозяйстве в качестве минеральных удобрений.

Как источник калия наибольшее значение имеет калийная руда – сильвинит – природная механическая смесь сильвина KCl , галита $NaCl$, являющихся растворимыми солями и глинисто-песчаных примесей, так называемого нерастворимого осадка (НО). Содержание хлористого калия в сильвините около 30 %, остальное составляет галит, нерастворимый осадок и другие примеси.

Калийное удобрение – калий хлористый, получаемое из сильвинита, содержит 95 % KCl . Поэтому калийная руда подвергается переработке и обогащению с получением конечного продукта соответствующего техническим условиям.

1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ КАЛИЯ ХЛОРИСТОГО ИЗ СИЛЬВИНИТА ФЛОТАЦИОННЫМ МЕТОДОМ

Технологический процесс получения калия хлористого из сильвинита флотационным методом включает следующие операции:

1. Дробление и измельчение калийной руды с предварительной и поверочной классификацией;
2. Обесшламливание руды;
3. Флотация сильвина, выщелачивание натрия хлористого и обезвоживание концентрата;
4. Классификация и обезвоживание хвостов флотации;
5. Сгущение шламовых отходов;
6. Сушка калия хлористого;
7. Гранулирование концентрата;
8. Облагораживание гранулята;
9. Удаление отходов производства;
10. Складирование и погрузка готовой продукции.

2. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

2.1. Дробление и измельчение калийной руды с предварительной и поверочной классификацией

При комбайновом способе добычи калийная руда поступает на обогатительную фабрику кусками размером 0–150 мм.

Исходя из основного принципа подготовительных отделений «не дробить ничего лишнего» руда, поступающая на обогатительную фабрику, подвергается предварительной классификации на грохоте 1 (рис. 1). После грохочения надрешетный продукт направляется в дробилку 2.

Дробление руды для флотационного обогащения осуществляется до крупности 0–10 (20) мм, оптимальный размер частиц калийной руды 0,25–0,8 мм. В дробленной руде содержится значительное количество таких частиц. Поэтому проводится предварительное грохочение руды в дуговых ситах 3 с выделением готового по крупности класса.

Дуговые сита представляют собой дугообразную решетку с поперечным расположением колосников относительно потока пульпы. Руда перед подачей в дуговые сита смешивается с оборотным маточником из расчета 1,3–1,5 м³ на тонну руды, образуя пульпу.

Весь дальнейший процесс переработки и обогащения калийной руды осуществляется в водной среде.

После предварительной классификации надрешетный продукт дуговых сит поступает на измельчение в мельницу 4.

Для измельчения калийной руды используются только стержневые мельницы, представляющие собой барабан, заполненный на 30–40 % объема цилиндрическими стержнями диаметром 60–90 мм. При вращении барабана и перекачивании стержней происходит измельчение руды и оттирка сильвина от глинисто-песчаных примесей, которые переходят в тонкий класс 0,07–0 мм и вместе с жидкой фазой образуют так называемый шлам.

Исходя из практики работы обогатительных фабрик, после предварительной классификации на мельницы поступает около 60 % исходной массы руды. Измельченная в стержневых мельницах руда поступает на поверочную классификацию в дуговые сита 5, надрешетный продукт которых возвращается на доизмельчение и представляет собой циркулирующую нагрузку. Подрешетный продукт дуговых сит предварительной и поверочной классификации объединяется и направляется на операцию обесшламливания.

В результате непрерывного удаления измельченной руды по такой схеме (в замкнутом цикле) достигается минимальное переизмельчение и шламообразование.

2.2. Обесшламливание руды

При содержании в калийной руде более 3 % нерастворимого осадка производится многостадийное механическое и флотационное обесшламливание. Для этого используются гидроциклоны, гидросепараторы-сгустители и флотационные машины.

Измельченная руда в виде пульпы подается на I стадию обесшламливания в гидроциклон 6. Слив гидроциклона, в котором содержится основная масса нерастворимого осадка, направляется на II стадию обесшламливания в гидросепаратор-сгуститель 7. Пески гидроциклонов подаются на V стадию в перечистные гидроциклоны 10. Пески гидросепараторов II стадии поступают на III стадию обесшламливания в гидросепараторы 8, пески которых направляются на IV стадию обесшламливания в пневмомеханические флотационные машины 9 для шламовой флотации. Сливы гидросепараторов II и III стадий обесшламливания объединяются с пенным продуктом шламовой флотации IV стадии и направляются в гидросепаратор 11 для сгущения шламовых отходов и удаления их в шламохранилище. Слив гидроциклонов V стадии направляется в питание I стадии обесшламливания.

Камерный продукт шламовой флотации и пески гидроциклонов V стадии обесшламливания поступают на сильвиновую флотацию.

Для ускорения сгущения и осаждения шламов в пульпу добавляют специальные реагенты, вызывающие коагуляцию или флокуляцию, т.е. слипание мельчайших минеральных частиц и образование относительно крупных, быстро осаждающихся агрегатов.

Для флотационного обесшламливания на IV стадии используются пневмомеханические флотационные машины, которые должны обеспечивать заданную объемную производительность.

Для обеспечения обратной флотации в питание машин постоянно подается флокулянт, а камерный продукт обрабатывается реагентом-депрессором, что позволяет флотировать шламы, а в камерный продукт отправлять сильвин.

2.3. Флотация сильвина, выщелачивание натрия хлористого и обезвоживание концентрата

Процесс флотации сильвина состоит из основной, контрольной, нескольких перечистных операций и операции выщелачивания натрия хлористого.

Пески гидроциклонов V стадии обесшламливания, содержащие основную массу сильвина, поступают в контактный чан 13, где обрабатываются реагентом-депрессором для предотвращения взаимодействия частиц минералов нерастворимого осадка с собирателем сильвина и перевода их в пенный продукт. Из контактного чана пульпа

поступает в приемный карман флотационной машины 12 основной флотации, туда же дозируется реагент-собиратель. Во вторые камеры флотмашины подается обработанный депрессором в контактном чане 14 камерный продукт IV стадии обесшламливания (шламовой флотации). При таком вводе питания более тонкие, имеющие повышенную удельную поверхность частицы сильвина, обрабатываются собирателем после более крупных частиц, что позволяет повысить флотационную способность крупных фракций и уменьшить расходы реагентов.

Основная флотация ведется в пяти флотационных камерах, пенный продукт которых (черновой концентрат), содержащий 72-77 % KCl , направляется на I перечистку в трехкамерную флотмашину 15. Камерный продукт основной флотации («богатые» хвосты) направляется в двухкамерную флотмашину 57 для контрольной флотации, где в пенный продукт выделяется часть несфлотированных при основной флотации частиц сильвина. Камерный продукт контрольной флотации (хвосты флотации) направляется на классификацию, обезвоживание и далее на солеотвал.

Пенный продукт I перечистки переходит в двухкамерную флотмашину 16 на II перечистку, а камерный продукт возвращается в контактный чан 13.

После II перечистки пенный продукт (флотационный концентрат) с максимальным содержанием калия хлористого направляется на I стадию обезвоживания в барабанный вакуум-фильтр 17. Камерный продукт II перечистки объединяется с пенным продуктом контрольной флотации и направляется в слив стержневых мельниц.

В результате рассмотренных операций обогащения получается флотационный концентрат с содержанием калия хлористого 90-92 % на сухое вещество, что не соответствует техническим требованиям на готовую продукцию. Поэтому для повышения содержания калия хлористого в конечном продукте обезвоженный в вакуум-фильтре 17 флотационный концентрат (кек концентрата) поступает в операцию выщелачивания натрия хлористого во флотационную машину 18. Фильтрат с вакуум-фильтра направляется в питание I перечистой флотации. Для выщелачивания натрия хлористого вместе с кеком концентрата во флотмашину 18 подается выщелачивающий раствор объемом 3-5 м³ на 100 т руды. Выщелачивающим раствором является «красная» вода – промывные воды систем пылегазоочистки отделений гранулирования и сушки, содержащие только незначительное количество калия хлористого. Выщелачивание натрия хлористого из сильвинового концентрата повышает содержание калия хлористого в последнем и обеспечивает таким образом соответствие готовой продукции первому сорту (массовая доля калия хлористого на сухое вещество не менее 95 %). Флотационная машина в данном случае используется как аппарат, обеспечивающий активизацию (за счет работы импеллера) растворения натрия хлористого «красной» водой.

После выщелачивания флотационный концентрат в виде пульпы поступает на II стадию обезвоживания в центрифугу 19, где доводится до влажности 5,0–8,5 %. Полученный таким образом кек концентрата направляется на сушку. Фугат центрифуги 19 подается в гидроциклон 20 для сгущения. Пески гидроциклонов возвращаются на обезвоживание в центрифугу 19, а слив подается в машину выщелачивания 18.

2.4. Классификация и обезвоживание хвостов флотации

Хвосты флотации с массовой долей калия хлористого до 3 % по твердой фазе поступают на классификацию в гидроциклон 21. Слив гидроциклонов направляется на I стадию обезвоживания – сгущение в сгустители 22. Слив сгустителей используется как оборотный маточник.

Пески гидроциклонов и сгустителей поступают на II стадию обезвоживания – фильтрацию в барабанные вакуум-фильтры 23 или ленточные вакуум-фильтры. Кек хвостов с массовой долей влаги не более 10 % удаляется и складывается на солеотвале.

Фильтрат вакуум-фильтров перекачивается на сгущение.

2.5. Сгущение шламовых отходов

Слив сгустителей обесшламливания 7, 8 вместе с пенным продуктом шламовой флотации 9 направляется в шламовые сгустители 11 для сгущения глинисто-солевого шлама. Слив сгустителей – осветленный маточник поступает в баки оборотного маточника. Пески сгустителей 11 разбавляются оборотным рассолом и откачиваются на шламохранилище.

Для увеличения скорости осаждения глинисто-солевых шламов в питание сгустителей 11 подается раствор флокулянта, позволяющего образовывать агрегаты и тем самым повысить скорость их осаждения.

2.6. Сушка калия хлористого

Технологический процесс сушки калия хлористого сушильным аппаратом «кипящего слоя» состоит из следующих операций:

- сжигание топлива и получение теплоносителя с заданными параметрами;
- подача в сушилку теплоносителя и кек концентрата;
- сушка кек концентрата до заданной влажности;
- транспортирование готового продукта и отходящих газов;
- очистка отходящих газов от пыли KCl и NaCl, хлористого водорода, оксидов азота и углерода, паров флотореагентов и нейтрализация стоков мокрой стадии очистки.

Кек концентрата влажностью до 8,5 % поступает в сушильный аппарат «кипящего слоя» 24. Под газораспределительную решетку подается горячий воздух, получаемый при сжигании газа. За счет

действия газового потока, проходящего через решетку, калий хлористый переходит во взвешенное состояние и визуально имеет вид кипящей жидкости. В таком состоянии калий хлористый высушивается до влажности 0,1-0,5 % и «стекает» в скребковый конвейер 56, оборудованный выдвижными решетками со щелевыми отверстиями. Не прошедшие через щели спекшиеся частицы концентрата направляются в отделение грануляции, а подрешетный продукт поступает в пневмокласификатор 55 для отдувки мелких фракций и пневмокласификации по классу 0,1 мм или по требованию заказчика. Обеспыленный концентрат заданного гранулометрического состава поступает в смеситель 33, где обрабатывается реагентами – пылеподавателем и антислеживателем. Готовый мелкий обеспыленный калий хлористый подается на склад или в отделение погрузки. Часть высушенного калия хлористого подается на грануляцию. Образовавшаяся в процессе сушки пылегазовоздушная смесь направляется в циклон 26 для сухой очистки и далее в аппарат 28 для мокрой очистки смеси. Уловленная в циклонах пыль направляется на гранулирование.

Слив мокрой очистки, содержащий неуловленную в циклонах пыль калия хлористого и натрия хлористого, а также растворенный хлористый водород, поступают на осветление в сгустители газоочистки 29. Для нейтрализации образовавшейся в сливе соляной кислоты в питание сгустителя 29 подается 2 % водный раствор кальцинированной соды.

Разгрузка сгустителя направляется в шламохранилище.

Часть осветленного слива сгустителей возвращается в аппараты мокрой очистки, а остальная часть («красная» вода) направляется на выщелачивание натрия хлористого. Очищенные в аппарате 28 на 97–98,8 % газы направляются в дымовую трубу 25 высотой 50–100 м, что обеспечивает рассеивание остаточного содержания вредных примесей и соблюдение допустимых концентраций этих веществ у поверхности земли.

После пневмокласификации концентрата образовавшаяся пылевоздушная смесь также проходит двухступенчатую очистку в циклоне 32 и аппарате 30 мокрой очистки. Циклонная пыль пневмокласификаторов объединяется с циклонной пылью сушильных аппаратов и направляется в отделение грануляции. После мокрой очистки в аппарате 30 воздух выбрасывается в атмосферу, а слив направляется в сгуститель 29. Питание аппаратов мокрой очистки осуществляется «красной» водой, т.е. осветленным сливом сгустителя 29.

2.7. Гранулирование концентрата

Гранулирование улучшает физические и агрохимические свойства калия хлористого: снижается пыление при перегрузках, уменьшается слеживаемость, возрастает усваиваемость растениями в течение всего вегетационного периода. Гранулированный калий хлористый можно

хранить и перевозить навалом, снижая расходы на перевозку и внесение его в почву.

Технологический процесс гранулирования включает следующие операции:

- сушка и подогрев поступающего концентрата;
- прессование концентрата;
- рассев прессата;
- дробление плитки;
- рассев дробленной плитки для выделения кондиционного по гранулометрическому составу продукта.

Для обеспечения оптимальных условий гранулирования температура концентрата, поступающего на прессование, должна быть 110-130 °С. С этой целью концентрат непосредственно перед прессованием подогревается в сушильных аппаратах 36 «кипящего слоя». Для более эффективного использования сушильного аппарата вместе с высушенным концентратом подается часть кека концентрата после фильтрования, который смешивается с высушенным концентратом, циклонной пылью сушильного отделения и пневмокласификаторов.

Приготовленная таким образом шихта после предварительной гомогенизации реагентом-модификатором в смесителе 34 направляется для улучшения физико-химических свойств гранул в смеситель-агломератор 35, где дополнительно обрабатывается структурообразующим реагентом. Из смесителя 35 шихта влажностью 3–4 % поступает в сушильный аппарат «кипящего слоя» 36, где высушивается до влажности не более 0,5 % и подогревается до температуры 110-130 °С.

Готовый к прессованию концентрат направляется в валковый пресс 37 с гладкой или профилированной поверхностью, где подвергается сжатию давлением (10 ± 1) МПа. В результате пластического деформирования образуется плитка толщиной 5–8 мм на гладковалковых прессах и 14–20 мм на прессах с профилированной поверхностью. Выход плитки составляет 30–40 % от всего материала, поступившего на прессование. Неспрессованный концентрат (ретур) отсеивается от плитки на неподвижных грохотах 38 и вновь возвращается на прессование или на подогрев в аппарат 36.

Надрешетный продукт с неподвижных грохотов подвергается дроблению в ударно-отражательных мельницах 39. Из мельниц плитка подается на просеивающую машину 40 с двумя ситами, где осуществляется классификация по трем фракциям: крупная, более 4 мм – надрешетный продукт верхнего сита; от 2 до 4 мм – надрешетный продукт нижнего сита, товарный продукт (гранулят) и мелкая фракция; менее 2 мм – подрешетный продукт нижнего сита. Выход гранулята 15–20 %.

Крупная фракция (более 4 мм) поступает на додрабливание в центробежную дробилку 41 и возвращается на повторную классификацию в просеивающую машину. Товарный продукт (гранулят)

направляется на облагораживание. Мелкая фракция (менее 2 мм) – ретур – возвращается на повторное прессование или подогрев в аппарат 3. По требованию заказчика размер готового продукта (гранулята) может меняться.

Пылегазовоздушная смесь из аппаратов сушки и подогрева концентрата 36 подвергается сухой очистке в циклонах 42 и мокрому пылегазоулавливаю в скруббере «Вентури» 43 и осадительном скруббере 44.

Уловленная циклонная пыль возвращается в питание валковых прессов, а слив скруббера, предварительно обработанный раствором кальцинированной соды, направляется в шламовый сгуститель.

Пылевые фракции, образующиеся в процессе грануляции, удаляются местными отсосами в системы пылегазоулавливания, аналогичные ранее рассмотренной.

2.8. облагораживание гранулята

При дроблении спрессованной плитки получают зерна неправильной формы с острыми кромками и множеством микротрещин, что снижает механическую прочность и товарные качества готового продукта: увеличивается содержание мелких фракций, резко возрастает пыление, ухудшаются сыпучесть и рассеиваемость. Поэтому для улучшения качественных показателей гранулированного калия хлористого проводится дополнительная обработка – облагораживание гранул.

Гранулят из операции гранулирования поступает на обеспыливание в аппарат 45 «кипящего слоя», аналогичный пневмокласификатору 55, после чего обеспыленный гранулят увлажняется в двухвальном смесителе 54 водой, подаваемой в автоматическом режиме, в количестве 1 % от поступающей массы продукта. При перемешивании и перемещении увлажненных гранул происходит истирание кромок и острых краев, поверхностный слой гранул растворяется, что приводит к исчезновению микротрещин. После такой обработки гранулят поступает в сушильный аппарат 50 «кипящего слоя», где высушивается до влажности не более 0,06 %. При этом происходит перекристаллизация и зарастание микротрещин и неровностей гранул с образованием более прочного поверхностного слоя, чем сама спрессованная гранула. Высушенный и нагретый продукт из сушильного аппарата поступает в охладитель 51, представляющий собой аппарат «кипящего слоя». Охлаждение происходит путем подачи через решетку воздуха с образованием на ней псевдоожиженного слоя.

Пылегазовоздушная смесь из обеспыливателя и сушильного аппарата отсасывается вентиляторами и подвергается мокрому пылеулавливаю в скрубберах «Вентури» 46, 49 и осадительных скрубберах 47, 48, слив которых направляется в шламовый сгуститель 53.

Охлажденный продукт поступает в барабанный смеситель 52 для обработки гранул реагентами в целях снижения пылимости и влагопоглощения (при поставке потребителю в условиях повышенной влажности воздуха). Обработанный реагентами обеспыленный, окатанный и охлажденный гранулят подается на склад готовой продукции или погрузку.

2.9. Удаление отходов производства

К отходам производства калия хлористого флотационным методом относятся галитовые и шламовые отходы.

При переработке сильвинита на каждую тонну получаемых удобрений приходится 3–4 тонны галитовых отходов. Основным компонентом галитового отвала является хлористый натрий (до 93 %). Кроме того, галитовые отвалы содержат небольшое количество хлористого калия (до 3 %), хлористого магния, нерастворимого осадка (до 5 %), а также незначительное количество адсорбированных флотореагентов.

В настоящее время основное количество галитовых отходов складывается на поверхности земли, для чего кек хвостов флотации после обезвоживания на барабанных вакуум-фильтрах 23 системой ленточных конвейеров транспортируется на солеотвал.

Галитовые отходы являются источником засоления почв и подземных вод и наносят существенный вред окружающей природной среде.

Глинисто-солевые шламы представляют собой 69–82 % суспензию нерастворимого осадка в маточном рассоле, содержащем 10–12 % KCl и 20–22 % NaCl и воду.

После сгустителей 11, 29 и 53 шламовые отходы, разбавленные обратным рассолом, транспортируются трубопроводным гидротранспортом на шламохранилище.

При хранении жидкая фаза отстаивается, а также пополняется за счет атмосферных осадков. Осветленный таким образом рассол возвращается на обогатительную фабрику и используется для обеспечения баланса воды в технологических целях и для разбавления сгущенных шламовых отходов перед гидротранспортом на шламохранилище. Образовавшиеся избытки объема рассола в шламохранилище могут подаваться для закачки в поглощающие горизонты земли.

2.10. Складирование и погрузка готовой продукции

Готовый продукт с массовой долей KCl не ниже 95 % и массовой долей воды не более 0,5 % системой конвейеров подается на складирование.

Погрузка готового продукта в железнодорожные вагоны со склада хранения осуществляется системой конвейеров. При необходимости, с

целью снижения пылимости мелкого калия хлористого, предусмотрена дополнительная его обработка реагентами пылеподавителями непосредственно перед погрузкой в железнодорожные вагоны.

Калий хлористый гранулированный при погрузке со склада подается на просеивающую машину фирмы «Rheum», где обеспечивается заданный потребителем гранулометрический состав. С целью сохранения физико-механических свойств готовый продукт подвергается обработке реагентом.

3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ КАЛИЯ ХЛОРИСТОГО ИЗ СИЛЬВИНИТА ГАЛУРГИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Технологический процесс получения калия хлористого из сильвинита галургическим методом включает следующие операции:

1. Дробление руды с предварительным грохочением;
2. Подогрев щелоков;
3. Растворение руды;
4. Обезвоживание галитовых отходов и их промывка;
5. Осветление насыщенного щелока;
6. Кристаллизация калия хлористого;
7. Сгущение и центрифугирование хлоркалиевой суспензии;
8. Сушка калия хлористого, его гранулирование и облагораживание гранулята;
9. Удаление отходов производства.

4. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

4.1. Дробление руды с предварительным грохочением

Из зерен сильвинита крупнее 5 мм сильвин выщелачивается не полностью, что приводит к потерям калия хлористого с отвалом. Поэтому калийная руда, поступающая от шахтных подъемов, подается на грохот 1 (рис. 2) для предварительного грохочения до крупности 5 мм. При этом необходимо иметь в виду, что наличие в растворяемом сильвините большого количества мелких частиц (0,02 мм и менее) приводит к нежелательному увеличению в получаемом растворе глинистого и солевого шламов.

Допускается массовая доля фракций в руде более 5 мм – не более 17 %, менее 1 мм – не более 48 %.

Надрешетный продукт грохотов направляется в молотковую дробилку 2, отрегулированную на заданную крупность частиц.

Подрешетный продукт и выгрузка дробилок объединяются и подаются в расходный бункер 4 отделения растворения или на склад 3.

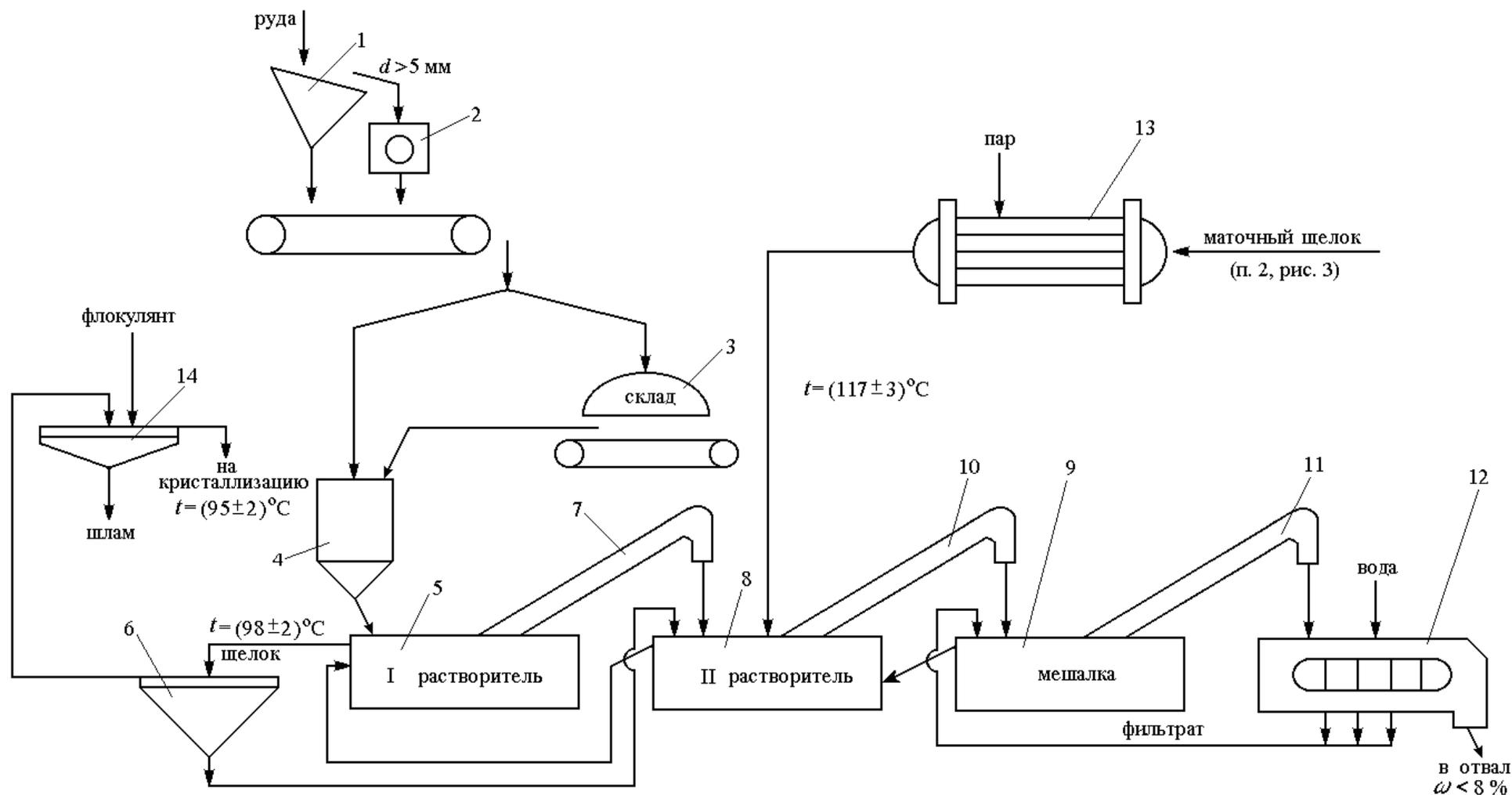


Рис. 2. Технологическая схема получения калия хлористого из сильвинита галургическим методом (отделения дробления, растворения руды, обезвоживания хвостов и осветления насыщенного щелока):
 1 – грохот; 2 – дробилка; 3 – резервный склад; 4 – бункер расходный; 5 – I шнековый растворитель; 6 – сгуститель типа «Брандес»; 7, 10, 11 – элеваторы обезвоживающие; 8 – II шнековый растворитель; 9 – мешалка шнековая; 12 – ленточный вакуум-фильтр; 13 – подогреватель щелока; 14 – отстойник типа «Дорр»

4.2. Подогрев щелоков

Процесс растворения руды осуществляется горячим щелоком, который перед подачей в отделение растворения нагревается до $t = (117 \pm 3) ^\circ\text{C}$ в подогревателе 13, теплоносителем которого является пар.

4.3. Растворение руды

Отделение растворения руды состоит из трех последовательно работающих шнековых растворителей.

Дробленая руда из расходного бункера 4 подается в I шнековый растворитель 5. Одновременно с рудой в растворитель 5 поступает так называемый средний щелок из II шнекового растворителя 8. После частичного растворения руда из I растворителя наклонным элеватором 7 с сетчатыми ковшами транспортируется во II шнековый растворитель 8. Туда же подается горячий растворяющий маточный щелок из подогревателя 13 и слив со шнековой мешалки 9. Во II растворителе достигается практически полное выщелачивание сильвина из калийной руды. Галитовые отходы из II растворителя направляются в шнековую мешалку 9, служащую для утилизации тепла отходов и довыщелачивания калия хлористого из отвала маточником, фильтратом и промывной водой. Таким образом, в I растворителе получаем насыщенный горячий щелок с массовой долей KCl до 20 % и содержащий солевой и глинистый шламы*.

4.4. Обезвоживание галитовых отходов и их промывка

Из шнековой мешалки 9 охлажденные галитовые отходы выгружаются наклонным элеватором 11 с сетчатыми ковшами в ленточный вакуум-фильтр 12.

Галитовые отходы содержат 12–17 % маточного раствора. Поэтому для уменьшения потерь калия хлористого отходы дополнительно промывают водой на фильтре. Отфильтрованные галитовые отходы с массовой долей KCl не более 3,0 % и массовой долей воды не более 8 % удаляются в отвал.

*88 % по массе частиц солевого шлама Верхнекамского месторождения, разрабатываемого галургическим методом, имеют величину больше 0,074 мм, а 84 % по массе частиц глинистого шлама имеют величину меньше 0,05 мм.

4.5. Осветление насыщенного щелока

Горячий насыщенный щелок из I шнекового растворителя 5 направляется для отделения солевого шлама в отстойники 6 типа «Брандес». Сгущенный солевой шлам из сгустителя возвращается во II растворитель 8 на дорастворение. Насыщенный щелок, очищенный от солевого шлама, поступает в отстойник 14 типа «Дорр» для отделения глинистого шлама. Сгущенная суспензия глинистого шлама после промывки водой для снижения потерь КСl направляется на шламохранилище, а осветленный насыщенный щелок с температурой $t = (95 \pm 2) ^\circ\text{C}$ поступает на кристаллизацию. Для ускорения осаждения глинистого шлама в щелок вводят коагулянт.

4.6. Кристаллизация хлористого калия

Насыщенный щелок, очищенный от солевого и глинистого шламов, с температурой $t = (95 \pm 2) ^\circ\text{C}$ направляется на кристаллизацию. Кристаллизация калия хлористого осуществляется в ряде последовательно установленных вакуум-кристаллизаторах 1 (рис. 3), которые разделены вертикальными перегородками на несколько ступеней.

Вакуум-кристаллизационная установка (ВКУ) представлена девятнадцатью ступенями испарения (I–XIX). Горячий, очищенный, насыщенный щелок с массовой долей калия хлористого до 20 % подается в I ступень вакуум-кристаллизатора 1 и далее последовательно проходит все XIX ступеней. В каждой ступени щелок кипит за счет подачи вакуума и за счет испарения охлаждается.

В результате испарения части воды и охлаждения щелока кристаллизуется калий хлористый. Из последней XIX ступени охлажденная до температуры $(37 \pm 5) ^\circ\text{C}$ хлоркалиевая суспензия направляется на сгущение.

Паровоздушная смесь первых девяти ступеней испарения поступает в межтрубное пространство поверхностных конденсаторов 2. На каждую ступень испарения предназначен отдельный поверхностный конденсатор. В трубное пространство поверхностного конденсатора IX ступени испарения подается из сгустителя 3 маточный щелок, который пройдя все поверхностные конденсаторы, на выходе нагревается до $t = 70\text{--}80 ^\circ\text{C}$. Таким образом осуществляется утилизация тепла сокового пара первых девяти ступеней ВКУ.

Конденсат сконденсированного в первых девяти поверхностных конденсаторах сокового пара через гидрозатвор направляется для промывки оборудования и др. Девять ступеней испарения и девять ступеней конденсации составляют I часть ВКУ.

Последующие десять ступеней испарения (X–XIX) связаны с конденсаторами смешения 4 и составляют II часть ВКУ. Здесь также на каждую ступень испарения приходится отдельный конденсатор смешения.

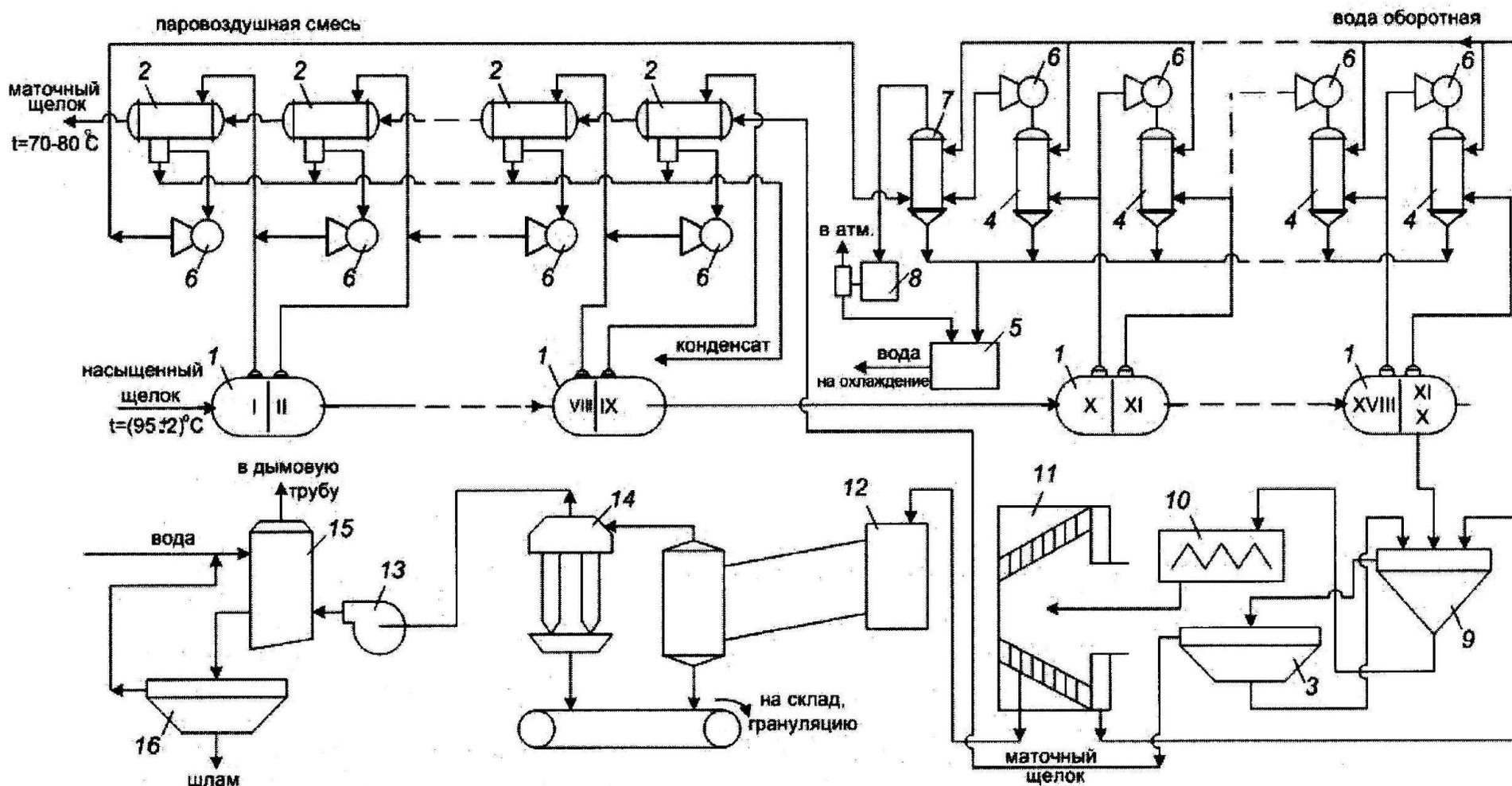


Рис. 3. Технологическая схема получения калия хлористого голургическим методом (отделение кристаллизации, центрифугирования и сушки):

1 – горизонтальные вакуум-кристаллизаторы (I-IV степени); 2 – поверхностные конденсаторы; 3 – сгуститель; 4 – конденсаторы смешения; 5 – бак-гидрозатор; 6 – эжекторные насосы; 7 – сводный конденсатор; 8 – вакуум-насос; 9 – отстойник типа «Брандес»; 10 – мешалка; 11 – центрифуга; 12 – сушильный барабан; 13 – дымосос; 14 – батарейный циклон; 15 – комбинированный очиститель пыли; 16 – шламный сгуститель

В конденсаторах смешения, орошаемых оборотной водой, поступающей из трубопровода, происходит конденсация сокового пара, поступившего из (X-XIX) ступеней вакуум-кристаллизаторов. Вода вместе со сконденсированным паром направляется в бак-гидрозатвор 5 и далее на охлаждение.

Несконденсированные пары и газы всех конденсаторов отсасываются эжекторными насосами 6, причем эжектируемая смесь отсасывается из конденсатора последующей ступени и нагнетается в конденсатор предыдущей ступени.

Из конденсатора XIX ступени испарения паровоздушная смесь перегоняется таким образом в конденсатор X ступени и далее в сводный конденсатор 7, также орошаемый водой.

Аналогично отсасываются газы из I части ВКУ, начиная IX ступени испарения. После прохождения поверхностного конденсатора I ступени парогазовая смесь направляется в сводный конденсатор смешения 7, откуда сконденсированные пар и вода также поступают в бак-гидрозатвор 5, а газы вакуум-насосом 8 выбрасываются в атмосферу.

4.7. Сгущение и центрифугирование хлоркалиевой суспензии

Хлоркалиевая суспензия из ВКУ поступает в отстойники 9 типа «Брандес» для разделения на кристаллы и маточный щелок. Сгущенная суспензия перекачивается в мешалку 10 и оттуда поступает в центрифугу 11. Слив отстойников 9 направляется в сгуститель 3, где отстаивается и сгущается мелкодисперсная часть кристаллизата, возвращаемая обратно в отстойник 9. Слив сгустителя 3, т. е. маточный щелок, направляется в поверхностный конденсатор 2 IX ступени испарения для подогрева и повторного использования в отделении растворения.

Отфугованный в центрифуге 11 влажный осадок с массовой долей воды до 8 % подается на сушку. Фугат перекачивается в отстойники 9. На центрифугах для получения продукта, содержащего до 98 % KCl, кристаллы промывают водой для удаления маточного раствора и снижения содержания NaCl.

4.8. Сушка калия хлористого, его гранулирование и облагораживание гранулята

Калий хлористый после обезвоживания в центрифугах с массовой долей воды не более 8 % подается в сушильный барабан 12.

В сушильном барабане лопастной насадкой, расположенной в цилиндрической части барабана, калий хлористый при вращении барабана перемещается до выгрузки. Параллельно с хлористым калием в сушильном барабане движутся горячие топочные газы, которые и сушат материал.

Высушенный и нагретый калий хлористый выгружается из сушильных барабанов с массовой долей воды не более 0,5 % и поступает на склад или подается на грануляцию и обогащение гранул (см. технологическую схему переработки и обогащения калийной руды флотационным методом рис. 1).

Отходящие дымовые газы из сушильного барабана отсасываются дымососом 13 и подвергаются двухстадийной очистке: сухой – в батарейных циклонах 14 и мокрой – в комбинированных очистителях пыли 15.

Уловленная в циклонах пыль выгружается на конвейер готового продукта, а очищенные отходящие газы выбрасываются в атмосферу через дымовую трубу.

На мокрой стадии очистки улавливаются пыль калия хлористого и хлористый водород. Шламовый продукт комбинированных очистителей пыли после нейтрализации 2 %-м раствором кальцинированной соды перекачивается на осветление в сгуститель 16, слив сгустителя возвращается на комбинированные очистители пыли.

4.9. Удаление отходов производства

К отходам производства калия хлористого относятся галитовые и шламовые отходы. Основным содержанием галитовых отходов является хлористый натрий и незначительное количество (до 3,1 %) калия хлористого. В отличие от флотационного метода обогащения отходы галургического метода не содержат токсичных веществ, что создает благоприятные предпосылки их дальнейшей переработки.

Галитовые отходы после обезвоживания в ленточных вакуум-фильтрах 12 (см. рис. 2) с массовой долей воды до 8 % и массовой долей калия хлористого до 3,1 %, шламовые отходы после отстойника «Дорра» 14 и сгустителя 16 (см. рис. 3) транспортируются и хранятся аналогично, как и при флотационном методе.

4.10. Складирование и погрузка готовой продукции

Складирование и погрузка калия хлористого, полученного галургическим методом, аналогично флотационному методу обогащения сильвинита.

5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ КАЛИЯ ХЛОРИСТОГО ИЗ СИЛЬВИНИТА КОМБИНИРОВАННЫМ ФЛОТАЦИОННО-ГАЛУРГИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Технологический процесс включает следующие операции:

1. Дробление и измельчение калийной руды (сильвинита) с

предварительной и поверочной классификацией;

2. Обесшламливание руды;
3. Основная флотация сильвина и перечистка черного концентрата;
4. Гидроклассификация, флотосгущение и обезвоживание флотоконцентрата;
5. Растворение хвостов флотации и сгущенного продукта II стадии, обесшламливания;
6. Обезвоживание галитовых отходов;
7. Осветление насыщенного щелока;
8. Кристаллизация калия хлористого;
9. Сгущение и обезвоживание хлоркалиевой суспензии;
10. Сушка флотоконцентрата;
11. Сушка кристаллизата;
12. Гранулирование калия хлористого;
13. Облагораживание гранул;
14. Удаление отходов производства;
15. Складирование и отгрузка готовой продукции.

6. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

6.1. Дробление и измельчение калийной руды (сильвинита) с предварительной и поверочной классификацией

Данная операция технологического процесса осуществляется, как и при флотационном методе переработки (см. рис. 1).

6.2. Обесшламливание руды

Измельченная руда в виде пульпы направляется на I стадию обесшламливания в гидроциклон 1 (рис. 4). Пески гидроциклонов, содержащие основную массу сильвина, поступают в отделение флотации, а слив – в гидросепаратор-сгуститель 3 на II стадию обесшламливания. Слив сгустителя содержит нерастворимый остаток и после сгущения транспортируется на шламоохранилище.

6.3. Основная флотация сильвина и перечистка черного концентрата

Пески гидроциклонов 1 после их обработки реагентами поступают во флотационную машину 2 на основную флотацию. Пенный продукт флотационных машин (черновой концентрат), содержащий 72–77 % калия хлористого, подается на перечистку во флотационную машину 4. После перечистки флотационный концентрат поступает на обезвоживание.

6.4. Гидроклассификация, флотосгущение и обезвоживание флотоконцентрата

Флотоконцентрат после перечистки подается на гидроклассификацию по классу 0,25 мм в гидроциклон 5, пески которого поступают на обезвоживание в центрифугу 6. Слив гидроциклонов, содержащий фракцию 0,25 мм калия хлористого, после сгущения во флотмашине 7 направляется в дисковый вакуум-фильтр 8. Камерный продукт перечистки возвращается на основную флотацию.

Флотационный концентрат после центрифуги и дискового вакуум-фильтра, так называемый кек концентрата, влажностью до 8,5 % поступает на сушку и дальнейшую переработку согласно ранее рассмотренной схеме (см. рис. 1).

6.5. Растворение хвостов флотации и сгущенного продукта II стадии обесшламливания

Камерный продукт флотмашин 2 – «богатые» хвосты, содержащие галит и некоторое количество калия хлористого направляются на галургическую переработку в растворитель 9. Туда же поступают осадок гидросепараторов-сгустителей 3 и пыль калия хлористого систем обеспыливания.

Пройдя растворители 9, 10 и мешалку 11 несфлотированная часть калия хлористого растворяется горячим маточным щелоком, поступившим из подогревателя 12, а галитовые отходы перемещаются из растворителя 9 наклонными элеваторами 13, 14, 15 с сетчатыми ковшами. При этом растворитель-мешалка 11 служит для утилизации тепла галитовых отходов и довыщелачивания калия хлористого.

6.6. Обезвоживание галитовых отходов

Галитовые отходы, пройдя растворители 9, 10, и мешалку 11, наклонным элеватором 15 направляются в ленточный вакуум-фильтр 16, где обезвоживаются и дополнительно промываются водой. Фильтрат возвращается в мешалку, а галит влажностью до 8 % транспортируется на солеотвал.

6.7. Осветление насыщенного щелока

Горячий, насыщенный щелок, содержащий солевой и глинистые шламы, из I растворителя поступает в отстойник 17 типа «Брандес» для отделения солевого шлама. Сгущенный солевой шлам из отстойника 17 возвращается во II растворитель для дорастворения, а слив направляется в отстойник 18 типа «Дорр» для отделения глинистого шлама. Сгущенные глинистые шламы транспортируются на шламохранилище.

Насыщенный, горячий, очищенный от солевого и глинистого шламов щелок направляется на кристаллизацию и дальнейшую переработку согласно ранее принятой схеме (см. рис. 3).

ЛИТЕРАТУРА

1. Печковский, В.В. Технология калийных удобрений / В.В. Печковский. – Минск: Высшая школа, 1978. – 301 с.
2. Абрамов. А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых: в 2 т. / А.А. Абрамов. Т. 2 – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2004. – 509 с.
3. Нормы технологического проектирования калийной и соляной промышленности: в 2 ч. – Минск: Белнефтепром, 1966. – Ч. 2. Флотационные и галургические обогатительные фабрики / ред. комиссия: М.Ф. Блюм. – 233 с.
4. Рухля, И.Е. Технология переработки и обогащения полезных ископаемых: учебно-методическое пособие / И.Е. Рухля. – Минск: БНТУ, 2009. – 56 с.