

Проект №	7G02
№ документа	PCC-7G02-00-93-826-PR
Изменение №.	0
Ревизия №	A
Стр.	1 / 25

Программа пусконаладочных работ и ввода в эксплуатацию установки по производству сульфата калия

Раздел: ППНР и ПНР

A	2026.5.22	Выпущено для рассмотрения	Лю Чжицзинь	Чжэн Дэдун	Ван Линь		
Рев.	Дата	Цель выпуска	Подготовил	Проверил	Утвердил	Согласовал	Заказчик
Объект		Инженерные сети			Код объекта/установки		7G02-30
Установка		Установка по производству сульфата калия			Стадия проекта		ЕРС



Строительство завода по производству
минеральных удобрений

СОДЕРЖАНИЕ

1	Общие данные.....	3
2	Описание технологического процесса	3
3	Разграничение ответственности.....	7
4	Организация пусконаладочных работ.....	7
5	Условия начала пусконаладочных работ (ПНР)	9
6	Пусконаладочные работы	12
7	Аварийные ситуации и меры по их ликвидации на установке по производству сульфата калия	23

1 Общие данные

Параметр	Описание	Примечание
Исходное сырье	Хлорид калия и серная кислота	
Технология	Стандартная печь Мангейма × 28 технологических линий	2 линии в резерве
Общая производственная мощность	260 000 т/год	
Коэффициент эксплуатации	24 ч/сут, 8000 ч/год	
Эксплуатационная гибкость	60~110%	

2 Описание технологического процесса

Основные технологические блоки установки по производству сульфата калия (7G21-30):

- 1) 7G21-31 – Блок подачи KCl в реакционные модули;
- 2) 7G21-32 – Блок реакционных модулей;
- 3) 7G21-33 – Парк буферных резервуаров H₂SO₄;
- 4) 7G21-34 – Промежуточный склад хранения K₂SO₄;
- 5) 7G21-35 – Отделение абсорбции HCl;
- 6) 7G21-36 – Блок очистки отходящих газов;
- 7) 7G21-37 – Резервуарный парк HCl;
- 8) 7G21-38 – Блок уплотнения сульфата калия.

2.1 Блок подачи KCl в реакционные модули

Сырьевой хлорид калия (KCl) со склада хранения твердых веществ транспортируется ленточным конвейером KCl в промежуточный бункер KCl (21-31V1) установки 7G21-30.

Затем сырьевой KCl подается ленточным конвейером KCl (21-31X1) в соответствующий погрузочный бункер KCl (21-31V2).

Далее KCl поступает в весовой дозатор KCl (21-31X2) для точного взвешивания, после чего подается в шнековый транспортер KCl (21-31X3) перед загрузкой в реактор.

Вышеуказанные бункеры оснащены двумя датчиками уровня с сигнализацией по верхнему и нижнему пределам, которые также заблокированы с подающими ленточными конвейерами. Технологическая блокировка по верхнему уровню закрывает шиберную заслонку подачи конвейера, а блокировка по нижнему уровню открывает ее.

Промежуточный бункер KCl (21-31V1) оснащен системой обеспыливания KCl (21-31X6) для улавливания пыли, образующейся при падении материала. Данная аспирационная система является общей для промежуточного бункера KCl и погрузочного бункера KCl.

2.2 Блок реакционных модулей

Сырьем для получения сульфата калия являются хлорид калия и концентрированная серная кислота. Реакция протекает в две стадии: на первой стадии образуется бисульфат калия, на второй стадии - сульфат калия. Вышеуказанная реакция является эндотермической, а необходимое тепло обеспечивается за счет сжигания природного газа. Побочным продуктом реакции является хлороводород. Концентрированная серная кислота подается в реактор из напорного бака серной кислоты. Регулирование расхода осуществляется с помощью регулирующего клапана.

Вышеуказанные реакции протекают в реакторе K_2SO_4 (21-32R1). Печь состоит из следующих конструктивных частей (сверху вниз): камера сгорания (топка), реакционная камера и система привода. Температура в камере сгорания составляет около 1300 градусов Цельсия, в реакционной камере – около 550 градусов Цельсия. Реактор работает под разрежением, поэтому в штатном режиме работы утечка хлороводорода исключена. Реактор имеет три выходных патрубка технологических сред: верхний патрубок – для отвода дымовых газов, центральный патрубок – для вывода хлороводорода и нижний патрубок – для выхода сульфата калия.

Отходящие газы с температурой около 600 градусов Цельсия поступают в теплообменник отходящих газов (21-32E1) для предварительного нагрева воздуха для горения.

Сухой хлороводород с температурой около 550 °C охлаждается в установке охлаждения HCl (21-35E2,

графитовый теплообменник). Охлаждающей средой служит оборотная вода, а в головной части блока охлаждения используется соляная кислота для улавливания и растворения частиц пыли, уносимых сухим газом.

Твердый сульфат калия поступает в установку охлаждения и дробления K_2SO_4 (21-32X1), которая выполняет две функции: охлаждение и измельчение. Температура твердого сульфата калия снижается с 550 до 80 градусов Цельсия. Затем

порошкообразный сульфат калия проходит через уплотнительное устройство K2SO4 (21-32X2) и подается на разгрузочный ленточный конвейер K2SO4 (21-34X1).

Реактор оснащен контрольно-измерительными приборами для контроля, сигнализации и блокировки по температуре и давлению. При превышении верхнего температурного предела технологическая блокировка закрывает клапан подачи природного газа; при падении температуры ниже установленного предела система автоматического регулирования открывает клапан подачи природного газа. При выходе давления за верхний или нижний допустимый предел система регулирования корректирует частоту вращения вентилятора.

2.3 Парк буферных резервуаров H2SO4

Концентрированная серная кислота с установки производства серной кислоты подается по трубопроводу в четыре резервуара серной кислоты (21-33TK1~4). Резервуары оснащены сигнализацией и технологическими блокировками по верхнему и нижнему уровням.

При этом резервуары TK1 и TK2 используются для подачи сырья на реакторы 32R1~14, а резервуары TK3 и TK4 – для подачи на реакторы 32R15~28.

2.4 Промежуточный склад хранения K2SO4

Порошкообразный сульфат калия транспортируется разгрузочным ленточным конвейером K2SO4 (21-34X1) к ковшовому элеватору K2SO4 (21-34X3). Вблизи загрузочного патрубка ковшового элеватора предусмотрена система дозирования нейтрализатора. В качестве нейтрализатора используется тяжелый карбонат калия, который необходим для нейтрализации остатков серной кислоты, содержащейся в порошкообразном сульфате калия. Данная система состоит из погрузочного бункера нейтрализатора (21-34V1) и весового дозатора нейтрализатора (21-34X2). Расход нейтрализатора невелик, поэтому на протяжении всего процесса загрузка реагента в бункер выполняется вручную.

Затем сульфат калия проходит через саморазгружающуюся установку обезжелезивания (21-34X4), которая служит для удаления металлических включений из потока материала.

После этого материал поступает в мельницу для тонкого измельчения K2SO4 (21-34X5) для размолва с целью обеспечения требований к крупности сырья, подаваемого на блок уплотнения.

Порошкообразный сульфат калия поступает в бункер продукции K2SO4 (21-34V2) для промежуточного хранения. Верхняя часть бункера оснащена аспирационной системой, предназначенной для улавливания пыли, образующейся при работе ленточного конвейера, ковшового элеватора, установки дробления и другого оборудования. Снаружи бункера установлен циркуляционный охлаждающий вентилятор для снижения температуры порошкообразного сульфата калия

примерно с 80 до 40 градусов Цельсия.

В завершение готовый сульфат калия транспортируется на блок гранулирования с помощью ленточного конвейера K2SO4 (21-38X1).

2.5 Отделение абсорбции HCl

Хлороводород поступает из установки охлаждения HCl (21-35E2) после снижения его температуры с 450 до 35 градусов Цельсия. Затем газ направляется в скруббер серной кислоты (21-35T1), где в качестве абсорбирующего раствора используется разбавленная соляная кислота для удаления следового количества серной кислоты из газового потока. Данный процесс протекает с выделением тепла, поэтому для охлаждения поглотительного раствора предусмотрен внешний циркуляционный теплообменник – установка охлаждения кислоты (21-35E1), в которой в качестве охлаждающей среды используется обратная вода. После вышеуказанной очистки газ содержит лишь следовые количества серной кислоты, а основную его часть составляют хлороводород и воздух.

Далее хлороводород поступает в четырехступенчатый трубчатый пленочный абсорбер (21-35T2~T5), изготовленный из полифениленсульфида (ППС) с высокой теплопроводностью. Процесс абсорбции является экзотермическим, поэтому для отвода тепла применяется обратная вода. В нижней части каждой колонны установлена соответствующая емкость циркуляции (21-35V3~V6). Потоки газа и жидкости в процессе абсорбции движутся противотоком, то есть концентрация соляной кислоты в абсорбционных колоннах последовательно снижается: наибольшая концентрация соляной кислоты (31 мас. %) фиксируется в 1-м трубчатом пленочном абсорбере (21-35T2), а наименьшая (5 мас. %) – в 4-м абсорбере (21-35T5). Готовая соляная кислота перекачивается из 1-й емкости циркуляции (21-35V3) в резервуарный парк соляной кислоты.

Отходящие газы потока хлороводорода после пленочных абсорберов проходят через две ступени скрубберов HCl (21-35T6~T7) и двухступенчатую колонну очистки (21-35T8~T9), после чего сбрасываются в атмосферу в соответствии с экологическими нормативами.

2.6 Блок очистки отходящих газов

Отходящие газы из реактора сбрасываются в атмосферу через дымовую трубу.

2.7 Резервуарный парк HCl

Соляная кислота из производственного блока подается по трубопроводу в резервуары соляной кислоты (21-37TK1~4) и в дальнейшем направляется в качестве сырья на установку по производству дикальцийфосфата (DCP).

2.8 Блок уплотнения сульфата калия

Порошкообразный сульфат калия направляется конвейером в смеситель-распылитель, где непрерывно контактирует со связующим раствором и полностью

перемешивается до однородного состояния. Затем смешанный материал распределяется питателем-делителем в блок грануляции для экструзионного гранулирования. После завершения грануляции материалы централизованно транспортируются ленточным конвейером в машину для формования гранул. Частицы, соответствующие требованиям, поступают на полный технологический цикл сушки, отсева и охлаждения, после чего проходят финальную сортировку для отбора кондиционного продукта. На выходе получают готовые гранулы товарного качества. Отсеянный порошок (некондиционная фракция) возвращается в систему гранулирования на повторный цикл переработки.

3 Разграничение ответственности

3.1 Обязанности Подрядчика

- 1) Разработка процедур проведения пусконаладочных работ.
- 2) Разработка стандартных процедур по эксплуатации.
- 3) Планирование пусконаладочных работ.
- 4) Мобилизация всего инженерно-технического и специализированного персонала, необходимого для проведения пусконаладочных работ и ввода в эксплуатацию.
- 5) Обеспечение безопасности персонала и сохранности материальных ценностей объектов строительства, а также предотвращение загрязнения окружающей среды в ходе проведения пусконаладочных работ и ввода в эксплуатацию.

3.2 Обязанности Заказчика

- 1) Проведение пусконаладочных работ и ввода в эксплуатацию технологических установок силами эксплуатационного персонала Заказчика под руководством Подрядчика.
- 2) Обеспечение присутствия персонала Заказчика, прошедшего обучение у Подрядчика, для работы под руководством Подрядчика на этапе пусконаладочных работ и ввода в эксплуатацию.

4 Организация пусконаладочных работ

4.1 Организационная структура и должностные обязанности

Пусконаладочные работы (ПНР) представляют собой этап передачи объекта от группы предпусконаладочных работ (ППНР) к группе пусконаладочных работ (ПНР), в связи с чем данные две группы должны взаимодействовать друг с другом и контролировать каждое мероприятие.

Организационная структура ПНР находится под управлением менеджера по пусконаладочным работам и состоит преимущественно из двух групп: Первая – эксплуатационная группа, вторая – группа обеспечения. Обе группы должны тесно взаимодействовать друг с другом для эффективного проведения всех мероприятий – от этапа ПНР до приемки объекта.

Менеджер по пусконаладочным работам несет общую ответственность за

проведение ПНР. Группа обеспечения находится под управлением начальника группы обеспечения ПНР и состоит из секторов по механическому оборудованию, динамическому оборудованию, электроснабжению и КИПиА. Супервайзеры Поставщиков находятся в подчинении у данной группы.

Организационная структура ПНР формируется из квалифицированного персонала Подрядчика, выполняющего руководящую роль, и эксплуатационного персонала Заказчика, который оказывает содействие в проведении пусконаладочных работ. Благодаря такой совместной организационной структуре работы могут выполняться быстрее и эффективнее, а также обеспечивается непрерывный процесс передачи опыта и технологий в период проведения предпусконаладочных и пусконаладочных работ.

4.2 Менеджер по пусконаладочным работам (ПНР)

Обязанности:

- 1) Руководство и координация работы группы ПНР при проведении всех пусконаладочных мероприятий – от этапа ПНР до приемки объекта.
- 2) Регулярное проведение совещаний с Заказчиком для обсуждения хода и текущего статуса ПНР, а также эксплуатационных испытаний.
- 3) Консультирование Заказчика по вопросам графика и программы работ по мере необходимости.
- 4) Координация действий и решение проблемных вопросов, затрагивающих несколько участков.

4.3 Инженер пусконаладочных работ

Обязанности:

- 1) Оказание содействия менеджеру по ПНР в руководстве группой пусконаладки и консультирование Заказчика по вопросам проведения ПНР.
- 2) Разработка детального графика пусконаладочных работ.
- 3) Разработка детальной процедуры проведения пусконаладочных работ.
- 4) Координация действий с инженерами Заказчика по вопросам осуществления технического надзора и непосредственного выполнения пусконаладочных работ на объектах.

4.4 Инженер по эксплуатации

Обязанности:

- 1) Изучение, оценка и определение оптимальных технологических режимов работы.
- 2) Выявление и устранение неполадок, а также оказание содействия в ходе пусконаладочных работ на объектах.
- 3) Координация действий и решение проблемных вопросов, затрагивающих несколько участков, в период проведения предпусконаладочных и пусконаладочных работ.

- 4) Разработка стандартных процедур по эксплуатации.
- 5) Руководство действиями операторов при выполнении технологических операций.

4.5 Инженер по механической части/КИПиА/электротехнической части

Обязанности:

- 1) Технический надзор за проведением подготовительных работ и техническим обслуживанием оборудования по своему направлению специализации.
- 2) Технический надзор за деятельностью специалистов Поставщиков.
- 3) Ведение и анализ отчетной документации и технических данных по оборудованию.
- 4) Проверка результатов предпусконаладочных работ, выполнение пусконаладочных работ и проведение регламентного технического обслуживания.

4.6 Менеджер по технике безопасности

Роль менеджера по технике безопасности подробно описана в общей организационной структуре площадки в разделе обеспечения безопасности при проведении пусконаладочных работ.

4.7 Эксплуатационный персонал Заказчика

Эксплуатационный персонал Заказчика, который будет объединен с эксплуатационным персоналом Подрядчика, должен пройти необходимый курс обучения до начала предпусконаладочных работ для получения базовых знаний о химическом комплексе и четкого понимания задач, подлежащих выполнению в ходе предпусконаладочных и пусконаладочных работ.

4.8 Технические специалисты Поставщиков

Технические специалисты Поставщиков, привлечение которых необходимо для выполнения специфических операций по оборудованию, принимают участие в этапе пусконаладочных работ в составе организационной структуры пусконаладки Подрядчика.

5 Условия начала пусконаладочных работ (ПНР)

5.1 Передача объекта по завершении механомонтажных работ

До начала ПНР установки по производству сульфата калия должна быть выполнена передача объекта по завершении механомонтажных работ. Выполнение процедуры передачи по завершении механомонтажных работ создает предварительные условия для проведения комплексных пусконаладочных работ. Для передачи объекта по завершении механомонтажных работ необходимо выполнение следующих условий:

- 1) Завершение механомонтажных работ в соответствии с проектной документацией.

- 2) Получение положительной предварительной оценки качества работ.
- 3) Завершение и приемка гидравлических/пневматических испытаний, продувки, очистки, испытаний на герметичность, а также установки постоянных заглушек взамен временных на трубопроводах технологических и инженерных сред.
- 4) Завершение и приемка испытаний на прочность под давлением, неразрушающего контроля и очистки статического оборудования.
- 5) Завершение пусконаладочных работ блока обратного водоснабжения.
- 6) Успешное завершение предпусконаладочных работ (ППНР).
- 7) Приемка пусконаладочных работ по электротехнической части и системам КИПиА.
- 8) Демонтаж временных строительных сооружений в пределах территории установки, завершение работ по вертикальной планировке, а также высокая степень готовности работ по антикоррозионной защите, теплоизоляции и криогенной защите.
- 9) Согласование изменений в проекте, влияющих на проведение ПНР, устранение замечаний по недоделкам; четкое распределение ответственности по всем оставшимся незавершенными задачам.
- 10) Полная очистка площадки с вывозом всех строительных материалов.

5.2 В объем передачи объекта по завершении механомонтажных работ входят следующие пять пунктов:

- 1) Верификация и передача фактически выполненных объемов работ в соответствии с графиком реализации.
- 2) Предоставление, рассмотрение и утверждение документации по предварительной оценке качества и журналов предпусконаладочных работ.
- 3) Передача специализированного монтажного инструмента, а также излишков запасных частей и материалов (ЗИП).
- 4) Согласование графиков устранения замечаний и недоделок.
- 5) Передача технической документации, поставляемой в комплекте с оборудованием.

5.3 Прочие подготовительные работы

5.3.1 Инструктаж по процедуре пусконаладочных работ (ПНР)

- 1) Обеспечено наличие руководств по эксплуатации и техническому обслуживанию, а также технологических схем трубопроводов и КИП (СТИКИП) – минимум по одному комплекту на смену. Процедуры проведения ПНР систем распределены среди всех старших операторов.
- 2) Для каждого этапа ПНР имеются письменные инструкции, содержание которых доведено до сведения всего персонала – от руководства до операторов.
- 3) Разработаны и внедрены планы ликвидации аварий.

5.3.2 Сырье и смазочные материалы

- 1) Обеспечен достаточный запас сырья и смазочных масел.

- 2) Завершены работы по установке всех уплотнений и набивок.
- 3) Утверждены процедуры фильтрации смазочных материалов, точки смазки оборудования четко идентифицированы.

5.3.3 Запасные части

Подготовлено достаточное количество запасных частей для обеспечения потребностей в период ПНР. Склад запасных частей (ЗИП) функционирует в рабочем режиме.

5.3.4 Лабораторный анализ

- 1) Организована лаборатория (аналитическая лаборатория) с утвержденными методиками проведения регулярных анализов.
- 2) Подтверждена готовность по параметрам анализа (методы, периодичность), калибровке приборов, наличию реагентов и квалификации лаборантов.
- 3) Определены точки отбора проб, закреплено пробоотборное оборудование и распределены зоны ответственности.
- 4) Проведены тренировочные (имитационные) отборы проб и анализы.

5.3.5 Техническое обслуживание и ремонт (ТОиР)

- 1) Определены объемы работ и зоны ответственности службы технической поддержки.
- 2) Сформирована группа технической поддержки ПНР, составлен график дежурств персонала, а сам персонал идентифицирован.
- 3) Выделены инструменты и оборудование для проведения ремонтных работ.
- 4) Определены места размещения службы технической поддержки.
- 5) Критически важные материально-технические ресурсы для проведения ТОиР размещены на площадке в зонах оперативного доступа.

5.3.6 Системы связи

- 1) Функционирует сеть оперативно-диспетчерской связи (телефония).
- 2) Предусмотрены резервные линии связи для оперативных постов.
- 3) Налажена и протестирована система телефонной пожарной сигнализации.

5.3.7 Техника безопасности, пожарная безопасность и аварийное реагирование

- 1) Внедрена система нарядов-допусков (на огневые работы, въезд автотранспорта) и введен запрет на курение.
- 2) На рабочих местах имеются исправные средства пожаротушения и СИЗ; персонал обучен правилам их применения.
- 3) Обеспечено соблюдение требований по ношению СИЗ на площадке; персонал прошел базовое обучение оказанию первой медицинской помощи.
- 4) Предохранительные клапаны (ПК): испытаны, откалиброваны, имеют подтвержденное давление срабатывания, а также опломбированы; запорная арматура до и после ПК опломбирована в открытом положении.
- 5) Сосуды, работающие под давлением, зарегистрированы и аттестованы уполномоченным органом по государственному контролю в сфере

промышленной безопасности.

6 Пусконаладочные работы

6.1 Первоначальная сушка реакторной печи

6.1.1 Цель и требования к сушке печи

По окончании футеровки огнеупорными материалами и до ввода в эксплуатацию реакторная печь должна пройти процедуру сушки.

Основной целью сушки печи является испарение и полное удаление влаги, содержащейся в огнеупорах, теплоизоляционных материалах и других конструктивных элементах печи. Данное мероприятие стабилизирует тепловое расширение и смещение всех частей футеровки печи, а также предотвращает растрескивание и скалывание, вызванные испарением влаги и изменением кристаллической структуры материалов при резком нагреве или охлаждении. Таким образом обеспечивается нормальная производственная эксплуатация и продлевается срок службы реакторной печи.

Процессы сушки и пусконаладки должны осуществляться непрерывно. Если немедленная пусконаладка после завершения строительства печи невозможна, сначала необходимо выполнить предварительную сушку для обеспечения полного обезвоживания футеровки. В зимний период после сушки следует принять меры по теплоизоляции во избежание морозного повреждения футеровки. Повторный нагрев и подъем температуры проводятся непосредственно при готовности к вводу в эксплуатацию для сохранения целостности печи.

6.1.2 Подготовительные работы перед сушкой печи

Поскольку печь вводится в эксплуатацию сразу после завершения сушки, все механическое оборудование, электрические системы и контрольно-измерительные приборы (КИПиА), связанные с технологическим процессом реактора, должны пройти предварительную обкатку и индивидуальные испытания. Основные подготовительные мероприятия включают в себя следующее:

1) Комплексный осмотр внутренних компонентов реакционной камеры

Проверить параллельность гребковых валов мешалки относительно поверхности реакционного пода.

Оценить качество сварных швов мешалки и защитных гильз.

Проверить надежность фиксации и правильность установки рабочих зубьев мешалки.

Подтвердить, что зазор от зубьев мешалки до реакционного пода находится в пределах допустимого диапазона.

Обеспечить беспрепятственную циркуляцию среды в системе охлаждения вала мешалки.

Проверить надежность крепления и горизонтальность выравнивания распределителя.

Убедиться в беспрепятственном прохождении потоков и отсутствии истирающего контакта на трубопроводах подачи серной кислоты и хлорида калия, вводимых в печь.

Обеспечить плавную и равномерную выгрузку материала и подачу кислоты из распределителя.

- 2) Проверить плавность вращения вала мешалки и подтвердить номинальную скорость его вращения; продолжительность обкатки должна составлять не менее 8 непрерывных часов.
- 3) Осмотреть все технологические дверцы печи, взрывозащитные клапаны, люки-лазы и смотровые стекла для обеспечения герметичности уплотнений и легкости открытия/закрытия.
- 4) Проверить и полностью затянуть все болтовые соединения бандажей печи.
- 5) Провести тщательную внутреннюю и наружную очистку печи перед началом сушки. Внутри реакционной камеры не должно оставаться никакого строительного мусора или остатков черных металлов.
- 6) Проверить целостность монтажа и проходимость технологических трубопроводов подачи серной кислоты и хлорида калия к распределителю. Все связанное оборудование должно успешно пройти индивидуальные испытания на холостом ходу.
- 7) Система сжигания и удаления отходящих газов
- 8) Выполнить обкатку воздуходувки и дымососа отходящих газов. Осмотреть воздушный теплообменник для обеспечения беспрепятственного прохода по газоходам и надежной работы шиберов отходящих газов.
- 9) Подтвердить, что все приборы измерения температуры, давления, а также электротехническое оборудование откалиброваны, поверены и находятся в исправном рабочем состоянии.
- 10) Подготовить на площадке достаточное количество огнетушителей.

6.1.3 Технологическая операция сушки печи

- 1) По окончании футеровочных работ полностью открыть все люки, взрывозащитные клапаны и шиберы отходящих газов для естественной вентиляционной сушки в течение не менее 7 непрерывных суток. В последние два дня допускается включение дымососа для интенсификации циркуляции воздуха в газоходах и ускорения процесса сушки.
- 2) Сушку печи выполнять в строгом соответствии с «Графиком первоначального подъема температуры при сушке». Все температурные показатели относятся к температуре внутри реакционной камеры.
- 3) Порядок проведения сушки

1. От температуры окружающей среды до 80 °С (низкотемпературная зона). Газовое сопло первой ступени (малое сопло) разжигается с регулированием подачи воздуха и объема форсированной тяги для обеспечения крайне медленного темпа нагрева. Скорость испарения влаги из футеровки печи строго контролируется во избежание образования усадочных трещин и деформации швов новой или перефутерованной печи вследствие чрезмерно быстрого нагрева, что позволяет сохранить целостность печи и продлить срок ее службы. Данный этап занимает около 6 суток. Подъем температуры осуществляют постепенно с выдержкой при постоянных значениях. С учетом сверхнизкой скорости нагрева (0,417 °С/ч), в случае слишком быстрого фактического роста температуры произвести регулировку путем герметизации печи или изменения объемов приточного и вытяжного воздуха. Последовательно включить систему воздушного охлаждения основного агрегата и подачу оборотной воды на графитовый теплообменник, одновременно запуская подачу оборотной воды на нагнетательный охладитель.

2. 80~140 °С: Переходный этап от низких температур к средним. Поддерживать давление горючего газа на низком уровне, сохраняя медленную скорость нагрева 0,625 °С/ч. Регулировать температуру путем изменения давления природного газа, форсированной тяги и объема подаваемого воздуха. Если фактическую температуру невозможно удерживать в пределах установленной скорости, применить режим периодического нагрева. Данный этап длится около 4 суток и сопровождается повышенным испарением влаги из футеровки печи.

3. 140~200 °С: Среднетемпературная зона. Поддерживать скорость нагрева на уровне 0,83 °С/ч с применением тех же методов регулирования, что и для диапазона 80~140 °С. Продолжительность этапа составляет около 3 суток, при этом происходит непрерывное удаление остаточной внутренней влаги.

4. 200~410 °С: Переходный этап от средних температур к высоким. Скорость нагрева контролируют на уровне 1,25 °С/ч в течение примерно 6 суток. К этому моменту вся влага из корпуса печи (включая под печи) полностью удалена, что позволяет разжечь основную (большую) горелку. При достижении температуры свода печи 400 °С в бункер сырья загружают 1–1,2 тонны хлорида калия для подготовки к пуску.

5. 410~500 °С: Высокотемпературная зона. Увеличить давление природного газа соответствующим образом с применением аналогичных методов регулирования. Поддерживать скорость нагрева на уровне 2,5 °С/ч в течение примерно 2 суток. При достижении температуры 420 °С на реакционный под равномерно распределить около 2 тонн хлорида калия для защиты конструкции пода от повреждений при начале штатной подачи сырья. При подъеме температуры до 500 °С весь процесс первоначальной сушки считается практически завершенным; общая продолжительность составляет около 21 суток.

4) Меры предосторожности при сушке печи

1. В ходе подъема температуры необходимо регистрировать показания температуры печи каждый час, построить график фактического подъема температуры и сравнивать его с эталонной кривой. Фактическая кривая должна максимально совпадать с заданной; сушку осуществляют строго по предусмотренному температурному градиенту.
2. Вести тщательное наблюдение за состоянием горения. В случае затухания пламени немедленно закрыть отсечной клапан горючего газа и полностью открыть вентилятор принудительной тяги для продувки воздухом в течение 20 минут перед повторным розжигом. Данное требование является критически важным.
3. В случае отключения электроэнергии или аварийного отключения воздухоудвки и дымососа во время сушки немедленно закрыть отсечной клапан горючего газа, открыть продувочную свечу и шибер отходящих газов, оперативно выяснить причину и доложить в диспетчерскую службу. Повторный розжиг и возобновление сушки допускаются только после устранения неисправности.
4. Строго контролировать скорость нагрева; чрезмерно быстрый подъем температуры запрещен во избежание повреждения печи и сокращения срока ее службы.
5. Выделяющийся испаряемый конденсат необходимо своевременно дренировать во избежание его попадания в дымосос.
6. На входе в камеру сгорания поддерживают небольшое разрежение; работа под избыточным давлением не допускается.
7. Обеспечить полное сгорание природного газа для предотвращения сажеобразования.
8. Не допускать засорения теплообменников отходящих газов, вспомогательных трубопроводов и клапанов, которое может нарушить процесс подъема температуры и привести к повреждению оборудования.
9. Своевременно ввести в эксплуатацию систему воздушного охлаждения основного агрегата. В среднетемпературной зоне запускать основной агрегат периодически для поддержания в исправном состоянии, а в высокотемпературной зоне – обеспечивать его непрерывную работу.
10. По мере роста температуры своевременно производить регулировку стяжных бандажей корпуса печи и анкерных тяг свода печи. Данное требование является критически важным.

6.2 Пусковые операции установки производства сульфата калия

6.2.1 Подготовка к подаче сырья

1. Перед заступлением на смену необходимо надеть соответствующие средства индивидуальной защиты (СИЗ), подготовить рабочий инструмент и журналы учета.

2. Осмотреть все оборудование, электротехнические устройства, приборы и другие средства для подтверждения отсутствия неисправностей.
3. Проверить все трубопроводы, арматуру и емкостное оборудование на рабочем месте, убедившись в их целостности, исправности и отсутствии утечек.
4. Проверить все полевые приборы, автоматические регулирующие клапаны и средства контроля; подтвердить, что их отображаемые и регулируемые значения откалиброваны и не имеют погрешностей.
5. Осмотреть внутреннее пространство и наружную часть печи, чтобы убедиться в отсутствии оставленных металлических предметов или другого постороннего мусора. Проверить все дверцы печи, смотровые лючки и горелки для подтверждения герметичности и легкости открытия/закрытия.
6. Проверить целостность монтажа и проходимость трубопровода подачи серной кислоты к распределителю печи и трубопровода подачи хлорида калия к распределителю печи.
7. Проверить качество монтажа и состояние смазки гребковых валов мешалки, рабочих зубьев и приводных устройств. Выполнить пробный кратковременный пуск (толчок) для подтверждения исправного состояния, после чего запустить воздухоподувку и дымосос отходящих газов, а затем выполнить пусконаладку и запуск самой мешалки. Обкатка должна продолжаться в течение одной смены (около 8 часов) для контроля рабочих параметров; при возникновении любых отклонений неисправности должны устраняться незамедлительно.
8. Подтвердить исправное состояние воздушного теплообменника, воздухоподувки, дымососа отходящих газов, дымовой трубы и системы подачи хлорида калия, а также обеспечить достаточный запас сырья.
9. Проверить состояние смазки вентиляторов и насосов.
10. Подготовить огнетушители и подтвердить полную готовность системы противопожарной защиты.

6.2.2 Нормальный пуск установки производства сульфата калия

1. После получения распоряжения о пуске включить воздухоподувку и дымосос отходящих газов для продувки системы реакторной печи. Через 15 минут остановить дымосос, открыть шибер газохода и установить давление в системе на уровне около 5 Па. Вызвать персонал отдела технического контроля для отбора проб газа из камеры печи на анализ на содержание горючих газов.
2. По согласованию с постом мониторинга реакции сульфата калия дать команду на открытие регулирующих клапанов горючего газа и воздуха. Сначала открыть отсечной клапан газового сопла первой ступени (операцию выполняет старший оператор) и разожгите его, после чего открыть отсечной клапан основного сопла и

произвести его розжиг. При розжиге малого сопла входной шибер воздухоудвки держать открытым наполовину; при розжиге основного сопла шибер вентилятора открыть полностью, точно регулируя воздушную заслонку перед печью для поддержания полного и стабильного горения. После стабильного загорания основного сопла закрыть клапан малого сопла. После розжига дать команду старшему оператору на регулировку мощности горения (на посту сульфата калия соотношение горючего газа и воздуха корректируют по цвету пламени в печи). Включить дымосос для поддержания небольшого разрежения на входе в камеру сгорания. (В случае затухания пламени при розжиге печи систему обязательно продувают повторно, а розжиг печи возобновляют в строгом соответствии с рабочей инструкцией).

3. После розжига камеры сгорания печи дать команду на пост производства кислоты для запуска циркуляционного насоса скруббера серной кислоты, циркуляционного насоса улавливания хвостовых газов и дымососа хвостовых газов потока хлороводорода, а также проверить исправность всего оборудования.

4. При получении сообщения от поста мониторинга реакции сульфата калия о достижении в реакционной камере температуры 120 °С открыть клапан воздушного охлаждения мешалки и запустить мешалку кратковременными толчками.

5. За четыре часа до начала подачи сырья в реакторную печь загрузить около 3 тонн хлорида калия (толщина слоя материала примерно 70–80 мм), предпочтительно сульфата калия, для формирования защитного слоя по всей поверхности пода печи. Данную операцию по загрузке выполняет персонал поста реакции сульфата калия.

6. До того, как температура в каждой зоне реакторной печи достигнет нормальных рабочих параметров, запустить насос серной кислоты для ее подачи в напорный бак до появления перелива, после чего перевести насос в режим циркуляции. Наполнить бункер хлорида калия материалом для обеспечения его непрерывной подачи из бункера.

7. Запустить шнековый транспортер хлорида калия с установленным соотношением подачи и настроить его на заданную скорость вращения; открыть клапан подачи серной кислоты и отрегулировать его до нормальных показаний расходомера серной кислоты. На начальном этапе загрузки сначала подать хлорид калия, а затем ввести 98% серную кислоту.

8. В зависимости от условий выгрузки на выходе из реакторной печи обеспечить своевременный пуск охлаждающего толкателя сульфата калия и уплотнительного устройства; одновременно открыть запорную арматуру подачи оборотной воды на охлаждающий толкатель и оперативно ввести его в эксплуатацию при поступлении продукта на выгрузку.

6.2.3 Процедура нормального останова

1. Прекратить подачу сырья. Последовательно закрыть клапан подачи серной кислоты и остановить подачу хлорида калия.
2. Отключить подачу горючего газа, остановить воздухоподувку и дымосос, после чего закрыть выходной шибер отходящих газов для сохранения тепла.
3. Сообщить на пост производства соляной кислоты об останове установки.
4. Дать на пост мониторинга реакции команду на закрытие главного входного клапана горючего газа и открыть продувочную свечу.
5. После полной выгрузки всего материала из охлаждающего толкателя, последовательно остановить толкатель, уплотнительное устройство и ленточный конвейер.
6. После останова провести тщательный осмотр и техническое обслуживание всего оборудования для подготовки к следующему пуску. Обеспечить беспрепятственный проток сред в графитовом охладителе и системе охлаждающего воздуха основного агрегата во избежание перегрева оборудования.
7. Открыть шибер отходящих газов для естественного охлаждения, регулируя его положение так, чтобы скорость снижения температуры не превышала 15 °С/ч. Остановить основной агрегат при падении температуры в реакционной камере до 200 °С. Отключить подачу воздуха на охлаждение мешалки при снижении температуры ниже 60 °С.
8. В процессе охлаждения запрещается открывать смотровые лючки и дверцы печи. Во избежание растрескивания карбидокремниевового свода внутри печи разрешается постепенно открывать дверцы только после того, как температура в реакционной камере опустится ниже 100 °С.
9. По мере охлаждения реакторной печи своевременно затягивать стяжные бандажки корпуса и анкерные тяги свода печи.

6.3 Пусковые операции системы соляной кислоты

6.3.1 Требования к пуску и предпусковая подготовка

Требования к пуску

1. Обеспечена подача энергоресурсов, все необходимые материалы находятся на площадке, и все предпусковые подготовительные работы полностью завершены.
2. Все оборудование соответствует условиям для проведения индивидуальных испытаний.

6.3.2 Предпусковая подготовка

1. Перед заступлением на смену необходимо надеть все требуемые средства индивидуальной защиты.
2. Подготовить к пуску необходимые материалы и средства: журналы учета работы оборудования и средства лабораторного контроля.
3. Осмотреть оборудование, трубопроводы и арматуру системы для подтверждения их исправного состояния и отсутствия утечек.
4. Проверить подачу воды и электроэнергии.
5. Выполнить водную промывку системы абсорбции HCl.
6. Подтвердить полное завершение монтажа системы.
7. Убедиться, что оборудование системы и технологические трубопроводы очищены.
8. Заполнить скруббер серной кислоты, пленочный абсорбер, емкость циркуляции и скруббер отходящих газов свежей водой до 1/2 уровня жидкости; проверить исправность уровнемеров и циркуляционных насосов, после чего настроить циркуляцию по соответствующим контурам. При подтверждении нормального режима работы систем плавно поднять уровень жидкости в аппаратах до 100% от номинального значения. Продолжать циркуляцию до тех пор, пока вода на выходе из насосов не станет прозрачной, после чего прекратить подпитку водой и полностью ее сдренировать.
9. Не допускать работы насосов всухую и засорения всасывающих патрубков насосов посторонними предметами.
10. При первоначальном пуске заполнить скруббер серной кислоты, емкость циркуляции и скруббер отходящих газов технической водой до 50% уровня.

6.3.3 Пуск

1. После получения уведомления о пуске от поста реакторной печи последовательно запустить насос смешанной кислоты и циркуляционный насос. Арматура на указателях уровня в этот момент должна находиться в открытом положении. Перед запуском насосов открыть клапаны на всасе и нагнетании для полного заполнения перекачиваемой средой и сглаживания воздуха, после чего закрыть клапан на нагнетании. При отсутствии отклонений нажать кнопку «Пуск». После стабилизации работы насоса медленно открыть клапан на нагнетании.
2. Настроить работу каждой колонны в режиме самоциркуляции; оставить входные клапаны промежуточных резервуаров соляной кислоты (А, В) в открытом положении, а также открыть клапан на линии от выхода насоса смешанной кислоты к графитовому теплообменнику.

3. Произвести пуск дымососа: открыть соответствующие клапаны, провернуть вал вентилятора вручную на несколько оборотов и при отсутствии аномалий нажать кнопку «Пуск». После выхода на стабильные обороты медленно открыть выходной шибер, а затем отрегулировать степень его открытия в соответствии с требованиями реакторной печи для поддержания надлежащего разрежения.
4. Открыть запорную арматуру на линиях подвода и отвода оборотной воды графитового теплообменника и пленочного абсорбера. Проверить систему оборотного водоснабжения и обеспечить беспрепятственный поток воды.
5. Уведомить пост реакторной печи о готовности к началу подачи сырья и запуску производства.
6. После начала штатной подачи сырья, надлежащим образом открыть клапан подачи технической воды для производства кислоты и осуществлять регулярный контроль концентрации получаемой соляной кислоты. При достижении заданного уровня смешанной кислоты в емкости циркуляции, открыть запорную арматуру в направлении промежуточного резервуара и произвести последовательную перекачку каждой жидкой фазы. Объем подпиточной воды и объемы перекачки жидкости по каждой колонне определить исходя из условий поддержания нормального рабочего уровня (1/2–2/3 по индикатору уровня) и обеспечения кондиционной концентрации соляной кислоты.
7. Обеспечить строгий контроль выбросов отходящих газов во избежание превышения предельно допустимых выбросов.
8. Обеспечить постоянный плановый осмотр всех работающих кислотных насосов; работа насосов «всухую» запрещена во избежание повреждения оборудования. При обнаружении любых отклонений в работе насосов незамедлительно уведомить персонал службы ТОиР.
9. При достижении заданного уровня соляной кислоты в промежуточном резервуаре вызвать персонал лаборатории для отбора проб и проведения анализа кислоты. Обеспечить поддержание концентрации соляной кислоты в пределах $31 \pm 0,5\%$. Кондиционную соляную кислоту перекачивают в резервуарный парк хранения.

6.3.4 Процедура останова

1. После получения уведомления об останове от поста реакторной печи, плавно снизить расход технической воды на производство кислоты, а также постепенно уменьшить объем перекачки кислоты из скруббера отходящих газов и скруббера серной кислоты, в соответствии с динамикой изменения концентрации соляной кислоты на выходе.
2. При снижении расхода технической воды до минимума с последующим полным прекращением подачи и уменьшении объема циркуляции смешанной кислоты до

следовых значений, произвести останов дымососа отходящих газов и всех насосов перекачки кислоты.

3. Закрыть запорную арматуру на линиях смешанной и соляной кислот.
4. Закрыть запорную арматуру на линиях подачи технической воды и всю запорную арматуру подачи подпиточной воды.
5. Закрыть запорную арматуру на линиях подвода и отвода оборотной воды графитового теплообменника и пленочного абсорбера.
6. После останова всего оборудования выполнить техническое обслуживание, уход и осмотр для подготовки к последующему пуску.

6.4 Правила техники безопасности и охраны труда

1. Все ременные шкивы на приводном оборудовании должны быть оснащены защитными кожухами.
2. Лестницы должны быть оборудованы поручнями, площадки обслуживания – защитными ограждениями, а подземные резервуары – закрыты крышками.
3. Регулярно проверять целостность строительных конструкций всех стальных площадок, лестниц и ферм перекрытий; при обнаружении любых дефектов незамедлительно проводить ремонтные работы.
4. Фланцевые соединения напорных кислотопроводов, расположенные в зонах рабочих мест и проходов, должны быть полностью закрыты пластиковыми защитными кожухами.
5. Все электрооборудование должно иметь заземление для защиты от статического электричества.
6. Запрещается осматривать, ремонтировать или перешагивать через работающее оборудование, а также через оборудование, которое остановлено, но еще не пришло в полное состояние покоя.
7. При приближении к вращающемуся оборудованию женщины-работницы должны убирать волосы (включая длинные косы) полностью под защитные головные уборы.
8. Операторы, занятые на участках производства и обращения с кислотами, во время работы должны носить защитные очки и четко знать назначение, а также направление открытия и закрытия всей запорно-регулирующей арматуры.
9. При проведении операций по наливу, сливу и транспортировке кислот необходимо использовать кислотостойкие средства индивидуальной защиты (СИЗ) и защитные очки. Для переноски бутылей или бочек с кислотой следует использовать специальные предназначенные для этого приспособления; переноска на веревках или на плечах строго запрещена.

10. Перед началом ремонта кислотопроводов, кислотных насосов и арматуры необходимо полностью сдренировать остатки кислоты из трубопровода до его разборки и начала технического обслуживания. Ремонтный персонал обязан носить защитные очки. Приступая к разборке, следует остерегаться выброса остатков кислоты; при необходимости следует использовать кислотостойкие резиновые перчатки и спецодежду для защиты от кислот. При первой подаче кислоты после проведения технического обслуживания весь находящийся на площадке персонал должен надеть защитные очки и находиться в безопасной зоне для контроля отсутствия утечек кислоты.

11. При проведении сливо-наливных операций с кислотой нахождение персонала на цистерне не допускается; строго запрещается допускать перелив кислоты.

12. Перед проведением сварочных и ремонтных работ на резервуарах для хранения кислоты необходимо полностью слить из них кислоту. Перед началом сварки необходимо открыть крышку люка-лаза. При необходимости проведения огневых работ необходимо выполнить тщательную химическую очистку и полное вытеснение газа, а также обеспечить надлежащее противопожарное расстояние. До начала огневых работ проводят отбор проб и анализ воздушной среды с оформлением наряда-допуска на выполнение огневых работ в соответствии с установленным порядком. Для выполнения работ внутри резервуара необходимо оформить наряд-допуск на выполнение работ в замкнутом пространстве. К сварочным работам разрешается приступать только после получения положительных результатов всех проверок; на месте проведения работ должны быть подготовлены первичные средства пожаротушения.

13. Запрещается работать в перчатках вблизи находящихся в движении вращающихся элементов оборудования (валов, муфт и т. п.), а также при проведении работ по их смазыванию. Категорически запрещается производить протирку работающего оборудования.

14. При проверке температуры электродвигателя на ощупь рука должна быть сухой, а проверку следует выполнять тыльной стороной пальцев.

15. При включении или отключении рубильников необходимо использовать защитные перчатки; во избежание ожогов от электрической дуги следует стоять сбоку от рубильника, а не прямо перед ним. Переключения выполнять уверенным и быстрым движением. При работе с другими выключателями руки должны быть сухими; управление выключателями мокрыми руками строго запрещено.

16. Ручное дробление материалов на реакционном поду печи допускается только после полной остановки основного оборудования и при обязательном присутствии назначенного дежурного наблюдающего лица.

17. Перед началом технического обслуживания вращающегося оборудования

необходимо выполнить останов оборудования, отключить электропитание с помощью выключателя, вывесить на месте выключателя предупреждающий знак «Не включать! Работают люди», и только после этого приступить к работам по техническому обслуживанию.

18. При необходимости организации освещения при работах внутри емкостного оборудования разрешается применение переносных светильников напряжением не более 36 В. В течение всего времени проведения работ снаружи оборудования должен обеспечиваться непрерывный контроль со стороны назначенного наблюдателя.

19. Нахождение людей под поднятым грузом категорически запрещается; на участке проведения работ должны быть хорошо различимые предупреждающие знаки.

20. В случае аварийного отключения электроэнергии или внезапного прекращения электроснабжения необходимо отключить вводной рубильник и перевести автоматические выключатели всего работающего оборудования в положение «Отключено» (Off). Перед проведением ремонта электрических цепей необходимо отключить соответствующий автоматический выключатель.

21. Перед подачей напряжения необходимо проверить все рабочее оборудование и убедиться, что все автоматические выключатели находятся в положении «Отключено»; подтвердить отсутствие отклонений и только после этого включить главный рубильник.

7 Аварийные ситуации и меры по их ликвидации на установке по производству сульфата калия

Проявление неисправности	Причина неисправности	Способ устранения
Избыточное давление внутри реакторной печи	1. Аварийный останов дымососа 2. Превышение допустимого сопротивления в системе абсорбции HCl. 3. Засорение теплообменника. 4. Повреждение пода печи.	1. Выявить причину и вызвать службу ТОиР для устранения неисправности. 2. Локализовать точку сопротивления и устранить неисправность. 3. Немедленно прекратить горение и произвести очистку. 4. Произвести технологический останов печи для технического обслуживания и ремонта.

Повышенное образование агломератов (комков) в продукте.	1. Недостаточный расход серной кислоты. 2. Слишком высокая скорость подачи хлорида калия. 3. Низкая температура в реакционной камере. 4. Неравномерное распределение материала.	1. Скорректировать расход серной кислоты в соответствии с установленным соотношением компонентов. 2. Контролировать темп загрузки, используя метод частой подачи малыми дозами с постепенным выводом на технологический режим. 3. Повысить рабочую температуру в реакционной камере. 4. Проверить условия выгрузки материала и состояние скребков мешалки, при необходимости снизить нагрузку.
Высокое содержание хлорид-ионов (Cl^-) в готовой продукции.	1. Избыточный расход хлорида калия. 2. Недостаточный расход серной кислоты. 3. Низкая температура в реакционной камере.	1. Снизить расход подачи хлорида калия. 2. Увеличить расход подачи серной кислоты. 3. Повысить температуру и соответствующим образом увеличить расход серной кислоты.
Повышенная кислотность готовой продукции.	1. Избыточный расход серной кислоты. 2. Низкая температура в реакционной камере. 3. Занижение показаний расходомера серной кислоты.	1. Снизить расход подачи серной кислоты. 2. Повысить рабочую температуру в реакционной камере. 3. Вызвать персонал КИПиА для калибровки расходомера.
Образование гидравлического затвора в колонне	1. Перекрестная утечка сред. 2. Чрезмерно высокий уровень жидкости в колонне.	1. Произвести останов для технического обслуживания блока охлаждения. 2. Отрегулировать расход для снижения уровня жидкости.

Низкая производительность насоса	1. Неисправность насоса 2. Засорение всасывающего трубопровода насоса. 3. Низкий уровень жидкости в колоннах и емкостях.	1. Вызвать персонал службы ТОиР для проведения ремонта. 2. Прочистить трубопровод. 3. Отрегулировать расход для обеспечения требуемого уровня жидкости.
Низкая концентрация соляной кислоты	1. Попадание воды в блок охлаждения. 2. Избыточная подача воды и разбавленной кислоты. 3. Низкая эффективность работы пленочного абсорбера.	1. Произвести останов для технического обслуживания. 2. Отрегулировать расход подаваемых сред. 3. Произвести останов для технического обслуживания.
Низкая эффективность охлаждения	1. Засорение трубопроводов. 2. Недостаточный расход оборотной воды. 3. Повреждение перегородки блока охлаждения.	1. Прочистить трубопровод. 2. Увеличить расход оборотной воды. 3. Провести ревизию и ремонт оборудования. 4. Выполнить очистку распределителя.
Низкое разрежение в реакторной печи	1. Закупорка проходного сечения трубопровода отходящих газов. 2. Неисправность дымососа. 3. Чрезмерно высокий уровень жидкости в	1. Прочистить трубопровод. 2. Вызвать персонал службы ТОиР для проведения ремонта. 3. Отрегулировать расход для снижения уровня жидкости.