



sushilka22.ru

ИП Хананов Николай Владимирович

ИНН 226500871573, ОГРНИП 324220200035542,  
р/с 40802810612960002047 в филиале "Центральный" банка ВТБ (ПАО)  
тел: +7-906-968-1922  
e-mail: sales@sushilka22.ru

# Типовое руководство по эксплуатации вакуумно-выпарных установок (ВВУ)

## Введение

Данное техническое руководство разработано на основе стандартов, технической документации и передового опыта производителей вакуумно-выпарного оборудования. Документ охватывает полный цикл работы с ВВУ различных типоразмеров: от установки и пуско-наладки до эксплуатации, технического обслуживания и ремонта.

Вакуумно-выпарные установки представляют собой высокоэффективное технологическое оборудование для концентрирования жидких растворов, очистки сточных вод и извлечения ценных компонентов из промышленных отходов. Работа установок основана на физическом принципе кипения и конденсации паров обрабатываемой жидкости при пониженном давлении, что позволяет достигать существенной экономии энергии и повышения эффективности процесса.

## 1. Устройство вакуумно-выпарных установок

### 1.1 Основные компоненты ВВУ

Промышленная вакуумно-выпарная установка состоит из нескольких ключевых компонентов, собранных в прочной механической конструкции, обеспечивающей контроль процесса и уровень автоматизации для безопасной работы с минимальным надзором.

#### Корпус испарителя (выпарной аппарат)

Корпус представляет собой герметичную емкость цилиндрической формы, которая может устанавливаться вертикально или горизонтально. Благодаря высокой механической прочности к внутреннему давлению и вакуумированию, корпуса изготавливаются из металлических материалов, обычно из нержавеющей стали AISI 304 или AISI 316L (EN 1.4404). Для агрессивных сред применяются специальные сплавы: дуплекс SAF 2205, супердуплекс SAF 2507, титан, графит или покрытия из фторуглеродных смол.

Внутренний объем рассчитан с учетом расширения паров. В верхней части располагается сепаратор капель для предотвращения уноса жидкости с парами.

### **Теплообменник**

Теплообменник является критически важным элементом ВВУ, обеспечивающим передачу тепла обрабатываемой жидкости. Существует несколько типов конструкций:

**Погружные пластинчатые теплообменники** – инновационная разработка, представляющая собой электросварные пластины, погруженные непосредственно в обрабатываемый продукт. Конструкция обеспечивает значительные свободные пространства между пластинами, что существенно облегчает очистку от отложений.

- **Погружные змеевиковые теплообменники** – традиционная конструкция с ограниченным пространством между витками, затрудняющая удаление отложений.
- **Кожухотрубные теплообменники** – используются в установках большой производительности с естественной и принудительной циркуляцией. Располагаются внешне относительно корпуса испарителя.
- **Теплообменники с рубашкой** – применяются в установках для получения концентратов высокой плотности и кристаллизации.

### **Сепаратор капель (каплеуловитель)**

Сепаратор располагается в верхней части корпуса испарителя и предназначен для отделения жидких капель от паровой фазы. Конструктивно выполняется в виде набивки из колец Рашига, сетчатых дефлегматоров или пластинчатых элементов. Эффективная работа сепаратора критически важна для получения высококачественного дистиллята без уноса загрязнений.

### **Конденсатор паров**

Конденсатор обеспечивает охлаждение и конденсацию паров, образующихся при кипении жидкости. В зависимости от типа установки применяются различные конструкции:

- Кожухотрубные конденсаторы с охлаждающей водой
- Пластинчатые теплообменники
- Конденсаторы с воздушным охлаждением в тепловых насосах
- Барометрические конденсаторы с прямым контактом

## **Вакуумная система**

Вакуумная система создает и поддерживает разрежение внутри испарителя, снижая температуру кипения обрабатываемой жидкости. Наиболее распространенные системы создания вакуума:

- Жидкостно-кольцевые вакуумные насосы – обеспечивают глубокий вакуум 33-60 мбар при высокой надежности
- Эжекторы Вентури – простая конструкция без движущихся частей
- Ротационные пластинчато-лопастные насосы – для лабораторных установок

## **Насосы**

Система включает несколько типов насосов для различных функций:

- Циркуляционный насос – обеспечивает принудительную циркуляцию жидкости через теплообменник
- Насос отвода концентрата – автоматический или ручной режим работы
- Насос отвода конденсата – для транспортировки дистиллята

## **1.2 Типы вакуумно-выпарных установок**

### **Установки с тепловым насосом (однокорпусные)**

Работа основана на холодильном цикле газа в замкнутом контуре. Хладагент сжимается компрессором, повышая давление (19-21 бар) и температуру (70-80°C), затем циркулирует через теплообменник испарителя, передавая тепло жидкости и поддерживая кипение. При работе испарителя под низким давлением (40 мбар) температура кипения составляет около 35-40°C.

После теплообменника хладагент расширяется через расширительный клапан, снижая давление (4-8 бар) и температуру (10-15°C). Проходя через второй теплообменник (конденсатор), тот же хладагент конденсирует пары, образовавшиеся при испарении. Энергопотребление составляет 130-170 кВт·ч на кубический метр дистиллята.

### **Установки с тепловым насосом (двухкорпусные)**

Представляют эволюцию однокорпусных установок с повышенной энергоэффективностью. Тепловая энергия испаренного продукта в первом корпусе используется для нагрева второго испарительного корпуса, что обеспечивает экономию электроэнергии на 40% по сравнению с однокорпусными моделями.

## **Установки с механической рекомпрессией паров (МРП/МВР)**

Технология основана на рекуперации теплоты конденсации дистиллята в качестве источника тепла для испарения входящего потока. Температура пара, образующегося при испарении, повышается путем механического сжатия ротационным нагнетателем или компрессором пара. Сжатый (перегретый) пар при прохождении через теплообменник испарителя одновременно нагревает жидкость и конденсируется, что экономит использование хладагента.

Работа под вакуумом, создаваемым ротационным нагнетателем или вспомогательным вакуумным насосом, позволяет поддерживать температуры кипения и паров в диапазоне 60-90°C. Энергопотребление составляет 36-100 кВт·ч/м<sup>3</sup> в зависимости от конфигурации.

## **Многокорпусные установки (МКУ)**

Состоят из набора взаимосвязанных испарителей, в которых вакуум прогрессивно увеличивается от первого к последнему корпусу, что вызывает снижение температуры кипения. Пар, образующийся в одном корпусе, используется как нагревающий агент для следующего корпуса, создавая каскадный эффект. Дистиллят конденсируется через градирню, требующую минимального расхода воды.

Установки используют горячую воду или пар из внешнего контура в качестве источника энергии, что позволяет максимально использовать избыточные остаточные потоки тепла. Могут быть однокорпусными, двухкорпусными или трехкорпусными:

- Однокорпусные: потребление 600 ккал/л
- Двухкорпусные: потребление 300 ккал/л (экономия 50%)
- Трехкорпусные: потребление 200 ккал/л (экономия 66%)

## **1.3 Материалы конструкции**

Выбор материалов конструкции имеет фундаментальное значение для долговечности и надежности ВВУ. Применяются следующие материалы:<sup>[16][17][10][2]</sup>

### **Стандартные материалы:**

- AISI 304 и 316L – аустенитная нержавеющая сталь для применений с низкой коррозионной активностью

### **Специальные материалы для агрессивных сред:**

- Дуплекс SAF 2205 (EN 1.4462) – для умеренно агрессивных сред

- Супердуплекс SAF 2507 (EN 1.4410) – для высококоррозионных применений
- Карбид кремния – для теплообменников в высококоррозионных средах
- Графит – для особо агрессивных жидкостей
- Титан – для растворов с хромовой, плавиковой кислотами
- Фторуглеродные смолы – антикоррозионные покрытия толстого слоя

## **2. Подготовка к работе**

### **2.1 Предмонтажная инспекция**

Перед началом установки необходимо провести тщательную инспекцию оборудования:

#### **Проверка комплектности:**

- Верифицировать наличие всех компонентов согласно спецификации поставки
- Осмотреть оборудование на предмет повреждений при транспортировке
- Идентифицировать серийный номер и артикул на заводской табличке
- Проверить комплектность документации (паспорт, сертификаты, руководство)

#### **Складское хранение:**

При необходимости временного хранения до монтажа:

- Хранить в сухом вентилируемом помещении при температуре 0-40°C
- Относительная влажность не более 80% без конденсации
- Защитить от прямых солнечных лучей и атмосферных осадков
- Периодически прокручивать валы насосов и компрессоров вручную

### **2.2 Требования к месту установки**

#### **Размещение оборудования**

Установка должна размещаться в месте, соответствующем следующим требованиям:

- Фундамент достаточно прочный для выдерживания веса установки, пол ровный для предотвращения вибрации и шума

- Достаточное пространство вокруг установки для обслуживания, с минимальными зазорами для входа и выхода воздуха
- Наличие дренажа с достаточным пространством для установки сифона с минимальным перепадом 75 мм между выходами дренажа установки и канализацией
- Оборудование не предназначено для использования в потенциально взрывоопасной атмосфере

#### **Условия окружающей среды:**

- Рабочая температура: от +5°C до +40°C
- Температура хранения: от 0°C до +40°C
- Влажность: 10-95% относительной влажности (без конденсации)
- Атмосферное давление: 90-110 кПа (нормальное атмосферное давление)
- Адекватная вентиляция для отвода тепла и паров
- Защита от прямых солнечных лучей на чувствительных зонах (панель управления, приборы, экраны)

#### **Высотные параметры:**

- Оставить минимум 2,5 метра свободной высоты над установкой для обслуживания
- Учитывать высоту подъема жидкостей при расчете гидравлических систем

## **2.3 Подключение инженерных коммуникаций**

### **Электрическое подключение**

Электрическое подключение должно выполняться в соответствии с действующими стандартами и российскими нормами:

- Установить автоматический выключатель с номинальным током согласно паспортным данным
- Обеспечить надежное заземление в соответствии с классом защиты оборудования (обычно IP54)
- Проверить соответствие напряжения питания номинальному (стандартно 400 В, 3 фазы + PE, 50 Гц)
- Допустимое отклонение напряжения:  $\pm 10\%$  от номинального
- Дисбаланс фаз: не более 2%
- Защита двигателей тепловыми реле, настроенными на номинальный ток  $\pm 5\%$

**Проверка направления вращения:** Перед заливкой масла проверить правильность направления вращения двигателей:

- Кратковременно включить двигатель и проверить направление вращения вала
- Правильное направление: против часовой стрелки при взгляде со стороны вентилятора двигателя
- При неправильном вращении поменять местами любые две фазы на клеммной колодке

### **Гидравлические подключения**

#### **Входной трубопровод обрабатываемой жидкости:**

- Диаметр трубопровода не меньше входного патрубка испарителя
- Установить фильтр грубой очистки для защиты от твердых частиц
- Предусмотреть запорную арматуру для изоляции при обслуживании
- Минимальное давление подачи: 0,5 бар
- Максимальный перепад давления в линии подачи: не более 0,5 бар

#### **Трубопровод конденсата (дистиллята):**

- Выход конденсата должен быть свободным, без ограничений
- Не погружать выходной патрубок в сборную емкость
- Максимально допустимое противодавление:
  - Установки МРП: 50 мбар
  - Установки с тепловым насосом: 100-300 мбар
  - Термальные установки: 100-300 мбар
- Трубопровод конденсата изолировать для предотвращения конденсации

#### **Трубопровод концентрата:**

- Спроектировать максимально коротким с минимальным количеством фитингов
- Предусмотреть возможность легкого опорожнения
- Установить запорную арматуру для изоляции насоса при обслуживании

#### **Вакуумный трубопровод:**

- Использовать трубопровод размером не меньше входного патрубка насоса
- Трубопровод должен предотвращать попадание конденсата и жидкости в вакуумный насос
- При необходимости установить сепаратор конденсата
- Обеспечить герметичность всех соединений для предотвращения подсоса воздуха

## **Система охлаждения**

### **Для установок с водяным охлаждением:**

- Давление воды на входе: 1,5-2,0 бар
- Температура охлаждающей воды: максимум 30°C
- Качество воды: фильтрованная, жесткость < 150 ppm (рекомендуется деминерализованная)
- Расход охлаждающей воды согласно техническим данным установки
- Предусмотреть обратный клапан для предотвращения обратного потока

### **Для установок с тепловым насосом:**

- Контур охлаждения хладагента должен быть герметичен
- Регулярная проверка уровня хладагента квалифицированным персоналом

## **Система отопления (для термальных установок)**

### **Паровой обогрев:**

- Давление пара: 1,5-3,0 бар (согласно спецификации)
- Температура насыщенного пара: 70-90°C (зависит от числа корпусов)
- Установить конденсатоотводчики на выходе конденсата пара
- Предусмотреть систему контроля давления пара

### **Обогрев горячей водой:**

- Температура входа: минимум 70-90°C
- Перепад температуры: 7°C
- Обеспечить постоянную циркуляцию для предотвращения температурных колебаний

## **Система сжатого воздуха**

Все установки требуют подключения сжатого воздуха для приборов контроля и автоматики:

- Давление: 6 бар
- Качество: сухой, очищенный от масла и твердых частиц
- Точка росы: минимум -40°C
- Установить редуктор давления и фильтр-влагоотделитель

## **2.4 Предпусковая подготовка**

### **Очистка системы**

Перед заполнением установки провести промывку всей гидравлической системы:

- Удалить монтажный мусор, сварочный шлак, масла из трубопроводов
- Промыть систему чистой водой или специальным промывочным раствором
- Установить временный байпас для защиты теплообменников от загрязнений при промывке
- После промывки демонтировать байпас и установить постоянные соединения
- Проверить чистоту всех фильтров и сеток

### **Проверка герметичности**

Провести испытания на герметичность

#### **Гидравлическое испытание:**

- Заполнить систему водой
- Поднять давление до испытательного (обычно  $1,5 \times$  максимальное рабочее давление)
- Выдержать под давлением минимум 30 минут
- Визуально осмотреть все соединения на наличие утечек
- Снизить давление и слить воду

#### **Вакуумное испытание:**

- Подключить вакуумметр высокой точности
- Закрыть все клапаны и создать вакуум
- Изолировать систему от вакуумного насоса
- Контролировать изменение вакуума в течение 15 минут
- Приемлемая скорость утечки:  $< 5$  мбар за 15 минут
- При превышении нормы провести поиск утечек методом гелиевого течеискателя или мыльного раствора

### **Калибровка приборов**

Перед пуском проверить и откалибровать все контрольно-измерительные приборы:

- Манометры и вакуумметры
- Термометры и термопары
- Датчики уровня
- Расходомеры
- Датчики давления
- Контроллеры рН (при наличии)

Калибровку проводить с использованием эталонных приборов с действующими сертификатами.

### **3. Запуск в работу (пусконаладка)**

#### **3.1 Первичный пуск установки**

Первичный пуск вакуумно-выпарной установки является критически важным этапом, требующим тщательного соблюдения последовательности операций.

##### **Подготовительный этап**

##### **Заполнение вакуумных насосов маслом:**

Для жидкостно-кольцевых вакуумных насосов:

- Использовать рекомендованное производителем масло (обычно минеральное)
- Заполнить через маслозаливное отверстие до уровня 3/4 на смотровом стекле
- Количество масла: согласно паспорту насоса
- Не добавлять масло при работающем насосе
- Не использовать масла с моющими присадками – они засоряют выпускные фильтры

Для ротационных пластинчато-лопастных насосов:

- Проверить уровень масла в смотровом стекле (должен быть между минимумом и максимумом)
- Использовать специальное вакуумное масло без присадок
- Температура масла перед пуском должна быть выше +12°C
- При необходимости предварительно прогреть насос

##### **Заполнение установки водой:**

- Открыть все запорные клапаны в системе
- Заполнить испаритель водой через входной патрубок до рабочего уровня
- Проверить отсутствие утечек во всех соединениях
- Убедиться в срабатывании датчиков уровня

### **Предварительная проверка систем**

#### **Система охлаждения:**

- Включить подачу охлаждающей воды
- Проверить расход воды (должен соответствовать техническим данным)
- Убедиться в отсутствии утечек в контуре охлаждения
- Проверить температуру охлаждающей воды на входе (не выше +30°C)

#### **Система отопления (для термальных установок):**

- Включить подачу пара или горячей воды
- Установить требуемое давление/температуру теплоносителя
- Проверить работу конденсатоотводчиков (для паровых систем)
- Убедиться в равномерном прогреве теплообменников

#### **Система сжатого воздуха:**

- Включить подачу сжатого воздуха
- Проверить давление на входе (должно быть 6 бар)
- Убедиться в отсутствии утечек в пневматических линиях
- Проверить работу пневматических клапанов

### **Пуск вспомогательного оборудования**

#### **Последовательность запуска насосов:**

##### **1. Циркуляционный насос (при наличии):**

- Проверить правильность направления вращения кратковременным включением
- Открыть запорные клапаны на всасывании и нагнетании
- Запустить насос и проверить наличие циркуляции по показаниям расходомера
- Измерить ток потребления (должен быть в пределах номинального  $\pm 10\%$ )

- Проверить отсутствие вибрации и посторонних шумов

## **2. Вакуумный насос:**

- Открыть входной клапан вакуумного насоса
- Запустить насос на холостом ходу с закрытым входом испарителя
- Дать поработать 2-3 минуты для проверки работоспособности
- Проверить направление вращения (должно быть против часовой стрелки со стороны двигателя)
- Контролировать уровень масла в смотровом стекле
- Прослушать работу насоса – не должно быть посторонних шумов и стуков

## **3. Насос отвода концентрата:**

- Запустить в тестовом режиме для проверки работоспособности
- Проверить герметичность сальниковых уплотнений
- Настроить таймер автоматического пуска (если предусмотрено)

## **Запуск системы управления**

### **Включение панели управления:**

- Подать питание на панель управления
- Дождаться загрузки программируемого логического контроллера (ПЛК)
- Проверить отображение всех параметров на сенсорном экране HMI
- Убедиться в отсутствии аварийных сигналов
- Проверить работу всех индикаторов и кнопок управления

### **Установка параметров:**

- Задать требуемую температуру нагрева (для установок с тепловым насосом обычно 70-80°C)
- Установить рабочий вакуум (обычно 40-60 мбар для установок с тепловым насосом, 100-300 мбар для термальных)
- Настроить параметры автоматического управления:
  - Уровни включения/выключения подачи продукта
  - Периодичность отвода концентрата
  - Пороги аварийной сигнализации
  - Параметры системы пеногашения (при наличии)

## **3.2 Пуск процесса испарения**

## **Создание вакуума**

1. Закрыть все сервисные и сбросные клапаны
2. Открыть клапан между испарителем и вакуумным насосом
3. Запустить создание вакуума, постепенно открывая вакуумный клапан
4. Контролировать падение давления по вакуумметру
5. Целевой вакуум должен достигаться плавно в течение 10-20 минут
6. При использовании установок МРП включить компрессор пара после достижения стабильного вакуума

## **Рекомендуемые режимы разрежения:**

- Установки с тепловым насосом: 40-60 мбар (температура кипения 35-40°C)
- Установки МРП с принудительной циркуляцией: 50-90 мбар (температура кипения 50-60°C)
- Термальные однокорпусные: 100-150 мбар (температура кипения 42-70°C)
- Термальные двухкорпусные: первый корпус 200-250 мбар, второй корпус 60-80 мбар

## **Нагрев установки**

### **Для установок с тепловым насосом:**

1. Включить компрессор теплового насоса
2. Постепенно увеличивать мощность нагрева
3. Контролировать температуру в испарителе (целевая 35-40°C)
4. Контролировать давление хладагента:
  - Высокое давление: 19-21 бар
  - Низкое давление: 4-8 бар
5. При достижении рабочей температуры начнется кипение жидкости

### **Для термальных установок:**

1. Постепенно открыть клапан подачи пара/горячей воды в теплообменник
2. Контролировать температуру нагрева согласно числу корпусов:
  - Однокорпусные: 70-80°C
  - Двухкорпусные: первый корпус 75°C, второй 60°C
  - Трехкорпусные: 75°C, 60°C, 45°C

3. Обеспечить равномерный прогрев всего объема испарителя
4. Контролировать расход теплоносителя

### **Начало процесса испарения**

1. При достижении температуры кипения начнется образование паров
2. Контролировать интенсивность кипения визуально через смотровое окно (при наличии)
3. Проверить работу сепаратора капель – не должно быть уноса жидкости с парами
4. Контролировать начало конденсации в конденсаторе
5. Проверить появление дистиллята в сборной емкости
6. Измерить качество первых порций дистиллята:
  - Электропроводность (должна быть  $< 10$  мкСм/см для чистой воды)
  - рН
  - Визуальную чистоту

### **Выход на рабочий режим**

1. Постепенно увеличивать нагрузку до номинальной производительности
2. Открыть клапан подачи обрабатываемого продукта
3. Настроить скорость подачи в соответствии с производительностью установки
4. Контролировать стабильность вакуума (отклонение не более  $\pm 5$  мбар)
5. Контролировать стабильность температуры (отклонение не более  $\pm 2^\circ\text{C}$ )
6. Проверить работу системы автоматического отвода концентрата
7. Записать базовые параметры работы:
  - Давление в испарителе
  - Температура кипения
  - Температура конденсации
  - Расход обрабатываемого продукта
  - Расход дистиллята
  - Расход охлаждающей воды
  - Потребляемая мощность
  - Плотность концентрата

### 3.3 Контроль качества процесса

#### Параметры дистиллята

Качественный дистиллят должен соответствовать следующим критериям:

- Электропроводность:  $< 10$  мкСм/см (для деминерализованной воды  $< 1$  мкСм/см)
- pH: 6,5-7,5 (нейтральный)
- Содержание взвешенных веществ: отсутствие
- Отсутствие масляных пленок и эмульсий
- Прозрачность: полная

При отклонениях от нормы:

- Проверить эффективность работы сепаратора капель
- Проверить герметичность системы
- Убедиться в отсутствии уноса летучих компонентов
- Проверить качество исходного сырья

#### Параметры концентрата

- Плотность согласно технологическим требованиям (обычно увеличение в 5-20 раз)
- Вязкость в допустимых пределах для транспортировки насосами
- Температура концентрата при выходе
- Отсутствие кристаллизации в трубопроводах

#### Энергетическая эффективность

Контроль удельного энергопотребления:

- Установки с тепловым насосом однокорпусные:  $150-170$  кВт·ч/м<sup>3</sup>
- Установки с тепловым насосом двухкорпусные:  $100-120$  кВт·ч/м<sup>3</sup>
- Установки МРП:  $36-100$  кВт·ч/м<sup>3</sup>
- Термальные однокорпусные:  $600$  ккал/л ( $700$  кВт·ч/м<sup>3</sup>)
- Термальные двухкорпусные:  $300$  ккал/л ( $350$  кВт·ч/м<sup>3</sup>)
- Термальные трехкорпусные:  $200$  ккал/л ( $230$  кВт·ч/м<sup>3</sup>)

## **4. Эксплуатация**

### **4.1 Режимы работы**

#### **Непрерывная работа**

Вакуумно-выпарные установки ВВУ спроектированы для непрерывной работы 24 часа в сутки, 7 дней в неделю. При правильной эксплуатации и обслуживании оборудование способно работать годами без серьезных простоев.

#### **Ключевые аспекты непрерывной работы:**

- Автоматическое поддержание заданных параметров через ПЛК-систему
- Непрерывная подача исходного продукта с постоянной скоростью
- Автоматический отвод концентрата по таймеру или по сигналу плотномера
- Непрерывный отвод дистиллята
- Система автоматического пеногашения при необходимости
- Удаленный мониторинг параметров работы

#### **Периодическая работа**

При периодическом режиме работы необходимо соблюдать следующие процедуры:

#### **Ежедневный пуск:**

1. Проверить уровень масла в вакуумном насосе
2. Проверить наличие охлаждающей воды
3. Включить вакуумный насос и создать рабочий вакуум
4. Включить систему нагрева
5. Дождаться выхода на рабочую температуру (15-30 минут)
6. Начать подачу обрабатываемого продукта

#### **Ежедневная остановка:**

1. Прекратить подачу исходного продукта
2. Продолжить работу установки до полного испарения нужного количества влаги
3. Выключить систему нагрева

4. После охлаждения отключить вакуумный насос
5. Открыть сбросной клапан для выравнивания давления
6. Отключить систему охлаждения

## **4.2 Контроль процесса**

### **Параметры ежедневного контроля**

#### **Визуальная инспекция:**

- Уровень масла в вакуумном насосе (должен быть между минимумом и максимумом)
- Цвет масла (светлый янтарный – норма, молочный или темный – требуется замена)
- Отсутствие утечек масла, воды, продукта
- Отсутствие необычных звуков и вибрации
- Состояние смотровых окон (при наличии)
- Отсутствие дыма или масляного тумана на выходе вакуумного насоса

#### **Показания приборов:**

- Давление в испарителе (вакуум): должно быть стабильным  $\pm 5$  мбар от заданного
- Температура кипения: стабильная  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  от заданной
- Температура конденсации: контролировать согласно техническим данным
- Расход дистиллята: согласно производительности установки
- Плотность концентрата: в заданных пределах
- Уровень в испарителе: в пределах рабочего диапазона
- Потребляемая мощность: в пределах номинальной  $\pm 10\%$

### **Параметры еженедельного контроля**

- Проверка и очистка входного фильтра (при наличии)
- Проверка герметичности вакуумной системы (тест на падение вакуума)
- Контроль качества дистиллята лабораторными методами
- Инспекция состояния уплотнений насосов
- Проверка работы системы автоматики

- Проверка уровня и состояния пеногасителя (при использовании)

#### **Параметры ежемесячного контроля**

- Проверка работы выпускного фильтра вакуумного насоса
- Проверка состояния теплообменников (по перепаду давления)
- Контроль эффективности теплопередачи
- Инспекция электрических соединений на предмет нагрева и коррозии
- Проверка калибровки контрольно-измерительных приборов
- Проверка работы аварийной сигнализации и защит

### **4.3 Обработка различных типов жидкостей**

#### **Водные растворы с низким содержанием загрязнений**

Идеальны для обработки в установках с тепловым насосом:

- Производительность: 120-100,000 л/сутки
- Температура кипения: 35-40°C
- Степень концентрирования: до 10-15 раз
- Качество дистиллята: высокое (< 10 мкСм/см)

#### **Рекомендации:**

- Регулярная проверка сепаратора капель
- Контроль интенсивности пенообразования
- Поддержание стабильного вакуума

#### **Высококоррозионные жидкости**

Для хромовых, плавиковых, соляных кислот:

- Использовать установки из специальных материалов (титан, карбид кремния, графит)
- Теплообменники с покрытием фторуглеродными смолами
- Повышенное внимание к герметичности систем
- Использование коррозионно-стойких насосов и арматуры

**Рекомендации:**

- Ежедневная визуальная инспекция на предмет коррозии
- Регулярная проверка pH дистиллята и концентрата
- Применение ингибиторов коррозии при необходимости

**Вязкие и склонные к образованию накипи жидкости**

Для пищевых концентратов, экстрактов:

- Использовать установки с внешним теплообменником и принудительной циркуляцией
- Применять установки со скребковым механизмом для очистки теплообменных поверхностей
- Поддерживать высокую скорость циркуляции ( $\geq 1$  м/с)
- Регулярная SIP-мойка (очистка на месте) или механическая очистка

**Рекомендации:**

- Контроль перепада давления в теплообменнике как индикатора загрязнения
- Использование антинакипинов при необходимости
- Регулярная профилактическая очистка

**Жидкости с летучими органическими соединениями**

- Обеспечить надежную герметичность системы
- Использовать систему абсорбции или дожигания паров на выходе вакуумного насоса
- Контролировать качество дистиллята на содержание ЛОС
- Соблюдать требования по взрывобезопасности при работе с легковоспламеняющимися парами

**Жидкости с твердыми взвешенными частицами**

- Обязательная предварительная фильтрация (фильтры 100-500 мкм)
- Использование установок с принудительной циркуляцией
- Регулярная продувка и очистка системы
- Контроль засорения фильтров по перепаду давления

## **4.4 Оптимизация процесса**

### **Энергоэффективность**

Для снижения энергопотребления:

- Использовать многокорпусные установки при высокой производительности (экономия до 66%)
- Поддерживать оптимальный вакуум – излишне глубокий вакуум увеличивает нагрузку на насос
- Обеспечить эффективную изоляцию трубопроводов для минимизации потерь тепла
- Использовать систему рекуперации тепла от конденсата
- Регулярно очищать теплообменники для поддержания высокого коэффициента теплопередачи
- Контролировать температуру охлаждающей воды (чем ниже, тем эффективнее конденсация)

### **Производительность**

Для максимизации производительности:

- Поддерживать оптимальную температуру нагрева
- Обеспечить стабильную подачу исходного продукта
- Контролировать пенообразование (применять пеногасители при необходимости)
- Своевременно удалять концентрат для предотвращения чрезмерного повышения вязкости
- Минимизировать подсос воздуха в вакуумную систему

### **Качество дистиллята**

Для получения дистиллята высокого качества:

- Обеспечить эффективную работу сепаратора капель
- Поддерживать умеренную интенсивность кипения
- Контролировать скорость паров в сепараторе (не превышать расчетную)
- Регулярно контролировать качество дистиллята лабораторными методами
- При необходимости применять двухступенчатую дистилляцию

## **5. Остановка установки**

### **5.1 Плановая остановка**

#### **Кратковременная остановка (до 24 часов)**

1. Прекратить подачу обрабатываемого продукта
2. Продолжить работу установки до полного испарения остатков в испарителе
3. Снизить мощность нагрева до минимума
4. После снижения температуры до 40-50°C выключить нагрев
5. Продолжить работу вакуумного насоса еще 10-15 минут для удаления остаточных паров
6. Выключить вакуумный насос
7. Открыть сбросной клапан для выравнивания давления в испарителе с атмосферным
8. Выключить циркуляционные насосы
9. Закрыть подачу охлаждающей воды (оставить минимальный проток для охлаждения вакуумного насоса)
10. Отключить систему автоматики
11. Оставить оборудование заполненным для предотвращения коррозии

#### **Остановка на несколько дней**

Дополнительно к процедуре кратковременной остановки:

1. Промыть систему чистой водой для удаления остатков продукта
2. Слить воду из испарителя и трубопроводов (если есть риск замерзания)
3. Для вакуумных насосов с масляной смазкой:
  - Снять крышку двигателя и провернуть вал вручную несколько оборотов (дважды в день)
  - Проверить мегаомметром сопротивление изоляции обмоток двигателя (раз в полмесяца)
4. Для редукторов (при наличии):
  - Запускать на 5 минут еженедельно, или
  - Полностью заполнить маслом (слить до нормального уровня перед пуском)
5. Закрыть все входные и выходные патрубки заглушками
6. Установить на установку таблички «Не включать! Ведутся работы!»

## **Остановка на месяц и более (сезонная консервация)**

1. Выполнить полную процедуру остановки на несколько дней
2. Провести полную очистку установки от остатков продукта
3. Промыть дезинфицирующим раствором (при необходимости)
4. Полностью слить всю жидкость из системы
5. Продуть систему сжатым воздухом для удаления остатков влаги
6. Заполнить вакуумные насосы консервационным маслом
7. Провернуть валы насосов и компрессоров на 10 оборотов вручную (периодичность: раз в две недели)
8. Покрыть открытые металлические поверхности антикоррозионной смазкой
9. Загерметизировать все отверстия от попадания пыли и влаги
10. Провести инвентаризацию и заказ необходимых запасных частей для предстоящего ремонта
11. Организовать периодический осмотр оборудования (минимум раз в месяц)

## **5.2 Аварийная остановка**

### **При срабатывании аварийной сигнализации**

Система автоматики должна автоматически выполнить аварийную остановку при возникновении следующих ситуаций:

- Потеря вакуума (превышение максимально допустимого давления)
- Перегрев испарителя (превышение максимально допустимой температуры)
- Потеря охлаждения (отсутствие расхода охлаждающей воды)
- Отсутствие уровня в испарителе (работа на сухую)
- Срабатывание защиты электродвигателей по току
- Утечка хладагента (для установок с тепловым насосом)
- Срабатывание датчиков пожарной безопасности

### **Действия персонала при аварийной остановке:**

1. Не пытаться сразу повторно запустить установку
2. Идентифицировать причину срабатывания защиты по показаниям панели управления
3. Визуально осмотреть установку на предмет утечек, повреждений, возгорания

4. При обнаружении утечек продукта или хладагента:
  - Закрывать запорную арматуру для локализации утечки
  - Обесточить установку
  - Эвакуировать персонал из опасной зоны при необходимости
  - Вызвать аварийную бригаду
5. Задokumentировать событие с указанием времени, причины, показаний приборов
6. Не допускать повторного пуска до выяснения и устранения причины аварийной остановки

### **Аварийная остановка вручную (нажатием кнопки СТОП)**

При обнаружении опасной ситуации персоналом:

1. Немедленно нажать кнопку аварийной остановки на панели управления
2. Система автоматически выполнит:
  - Отключение нагрева
  - Остановку вакуумного насоса
  - Открытие сбросного клапана
  - Остановку всех насосов
3. После остановки оборудования оценить ситуацию и принять необходимые меры

## **6. Вывод в ремонт**

### **6.1 Подготовка к ремонту**

#### **Документация перед ремонтом**

Перед началом ремонтных работ необходимо:

1. Составить наряд-допуск на проведение работ с указанием:
  - Перечня работ
  - Ответственных лиц
  - Мер безопасности
  - Сроков выполнения
2. Провести инструктаж персонала по технике безопасности
3. Подготовить необходимые инструменты, материалы и запасные части
4. Обеспечить наличие средств индивидуальной защиты

5. Подготовить подъемное оборудование при необходимости

### **Процедура обесточивания и изоляции**

#### **Электрическая изоляция:**

1. Отключить питание установки через главный выключатель
2. Повесить предупреждающие таблички на выключатель: «Не включать! Работают люди!»
3. Заблокировать выключатель замком
4. Проверить отсутствие напряжения на всех силовых цепях индикатором напряжения
5. Разрядить конденсаторы (для однофазных двигателей)
6. Заземлить токоведущие части для защиты от наведенного напряжения

#### **Механическая изоляция:**

1. Закрыть все запорные клапаны на входных и выходных трубопроводах
2. Установить заглушки на фланцевых соединениях для предотвращения случайного открытия клапанов
3. Повесить бирки на клапаны с указанием: «Не открывать! Ведутся работы!»
4. Сбросить давление/вакуум в системе через дренажные клапаны
5. Проверить отсутствие остаточного давления манометром

#### **Опорожнение системы**

1. Слить остатки обрабатываемого продукта через дренажный клапан в специальную емкость
2. Промыть систему нейтральным раствором (вода или специальный промывочный раствор)
3. Слить промывочный раствор
4. Продуть систему сжатым воздухом для удаления остатков жидкости
5. Для токсичных или агрессивных продуктов:
  - Провести дополнительную промывку нейтрализующим раствором
  - Проверить отсутствие опасных концентраций паров газоанализатором
  - Обеспечить принудительную вентиляцию
6. Слить масло из вакуумного насоса в специальную емкость для утилизации

#### **Допуск к работе**

После выполнения всех подготовительных мероприятий:

1. Провести финальную проверку выполнения всех пунктов подготовки
2. Проверить наличие и исправность СИЗ у персонала
3. Провести измерения содержания опасных газов в рабочей зоне (при необходимости)
4. Оформить допуск к работе с подписями ответственных лиц
5. Провести предсменный инструктаж бригады

## **6.2 Безопасность при проведении ремонта**

### **Средства индивидуальной защиты (СИЗ)**

Обязательное использование СИЗ при ремонте:

- Защитные очки или лицевой щиток (при механической обработке)
- Защитные перчатки, устойчивые к химикатам (при работе с остатками продукта)
- Спецодежда из негорючих материалов
- Защитная обувь с защитой от ударов и проколов
- Каска (при работе на высоте или под оборудованием)
- Средства защиты органов дыхания (при работе в закрытых пространствах)
- Защита органов слуха (при работе с шумным оборудованием > 85 дБ)

### **Работа в замкнутых пространствах**

При необходимости входа внутрь испарителя или других емкостей:

1. Получить специальный допуск на работу в замкнутом пространстве
2. Обеспечить непрерывную принудительную вентиляцию
3. Провести анализ атмосферы на содержание:
  - Кислорода (должно быть 19,5-23,5%)
  - Токсичных газов (должно быть ниже ПДК)
  - Горючих газов (должно быть ниже 10% НКПР)
4. Обеспечить постоянное наблюдение снаружи
5. Использовать страховочную привязь с тросом для эвакуации
6. Иметь на площадке средства для экстренной эвакуации
7. Использовать искробезопасное освещение и инструмент

8. Обеспечить средства связи между работающим внутри и наблюдающим

### **Работа на высоте**

При работе на высоте более 1,8 метра:

1. Использовать устойчивые леса, подмости или подъемные платформы
2. Применять системы предотвращения падения (ограждения, страховочные привязи)
3. Не использовать самодельные или поврежденные средства подмащивания
4. Обеспечить надежное крепление инструментов для предотвращения падения

### **Работа с электрооборудованием**

1. Работы на электрооборудовании выполняются только квалифицированными электриками
2. Соблюдать процедуру полного отключения и блокирования выключателей с вывешиванием таблички «Не включать. Работают люди»
3. Использовать инструмент с изолированными рукоятками
4. Проверять отсутствие напряжения перед началом работ
5. Использовать диэлектрические перчатки и коврики при работе под напряжением

## **7. Ремонт и техническое обслуживание**

### **7.1 Виды технического обслуживания**

#### **Ежедневное обслуживание**

Выполняется оперативным персоналом:

- Визуальный осмотр оборудования на наличие утечек, посторонних шумов, вибрации
- Проверка уровня масла в вакуумном насосе через смотровое стекло
- Проверка цвета масла (должно быть светло-янтарным, без молочного оттенка)
- Контроль показаний приборов (давление, температура, расход)
- Проверка работы системы охлаждения
- Очистка внешних поверхностей от пыли и загрязнений
- Проверка работы аварийной сигнализации
- Запись параметров в журнал эксплуатации

### **Еженедельное обслуживание**

- Проверка и очистка входного фильтра продукта
- Очистка фильтров вакуумного насоса (входного)
- Проверка герметичности соединений
- Проверка состояния уплотнений насосов (сальников)
- Проверка натяжения приводных ремней (при наличии)
- Проверка креплений оборудования (затяжка болтов)
- Смазка подшипников согласно графику
- Проверка работы автоматических клапанов

### **Ежемесячное обслуживание**

- Проверка и очистка выпускного фильтра вакуумного насоса
- Контроль перепада давления в теплообменниках
- Проверка работы предохранительных клапанов
- Проверка калибровки контрольно-измерительных приборов
- Проверка электрических соединений на перегрев и коррозию
- Измерение сопротивления изоляции электродвигателей (для критичных применений)
- Проверка эффективности сепаратора капель
- Анализ качества дистиллята в лаборатории
- Проверка работы системы пеногашения (при наличии)
- Проверка концентрации антифриза в системе охлаждения (для систем с гликолем)

### **Квартальное обслуживание**

- Замена масла в вакуумном насосе
- Замена масла в редукторах (при наличии)
- Очистка или замена фильтров системы охлаждения
- Проверка состояния теплоизоляции трубопроводов
- Проверка работы дренажных систем
- Очистка вентиляционных решеток и воздухопроводов

- Проверка точности показаний весовых устройств
- Термографическое обследование электрооборудования (для предотвращения перегрева)
- Проверка работы систем блокировок и защит
- Анализ трендов параметров работы для выявления отклонений

#### **Полугодовое обслуживание**

- Замена масла в вакуумном насосе (в зависимости от условий эксплуатации)
- Проверка и регулировка предохранительных клапанов
- Механическая очистка теплообменников при необходимости
- Проверка состояния лопастей вакуумного насоса
- Проверка состояния подшипников (вибродиагностика)
- Замена фильтрующих элементов
- Проверка герметичности системы хладагента (для установок с тепловым насосом)
- Ревизия электрических шкафов с очисткой от пыли
- Проверка работы вентиляторов охлаждения
- Калибровка всех контрольно-измерительных приборов

#### **Годовое обслуживание (капитальный осмотр)**

- Полная замена масла во всех агрегатах
- Замена выпускных фильтров вакуумных насосов
- Вскрытие и ревизия вакуумных насосов с заменой изношенных деталей
- Механическая очистка теплообменников с разборкой
- Очистка внутренних поверхностей испарителя
- Проверка состояния сепаратора капель с очисткой или заменой
- Замена уплотнений насосов и клапанов (комплект прокладок)
- Проверка состояния электродвигателей с измерением сопротивления изоляции
- Проверка и регулировка всех предохранительных устройств
- Гидравлическое испытание сосудов под давлением согласно

- Техническое освидетельствование оборудования под надзором органом (при требовании законодательства)
- Обновление программного обеспечения ПЛК при необходимости
- Проверка системы заземления и молниезащиты

## **7.2 Техническое обслуживание вакуумных насосов**

### **Ротационные пластинчато-лопастные насосы**

#### **Замена масла:**

Периодичность: каждые 500-1000 часов работы или каждые 2-6 месяцев

#### **Процедура:**

1. Разогреть насос до рабочей температуры (50-80°C)
2. Отключить насос и дать стечь маслу в течение 5 минут
3. Открыть сливную пробку и слить масло в емкость для отработки
4. Для промывки (при сильном загрязнении):
  - Залить промывочное масло
  - Запустить насос на 10-15 минут
  - Слить промывочное масло
5. Закрыть сливную пробку
6. Залить свежее вакуумное масло рекомендованной марки через заливное отверстие
7. Уровень масла должен быть на отметке 3/4 на смотровом стекле
8. Запустить насос и проверить уровень после 10 минут работы
9. Утилизировать отработанное масло согласно экологическим нормам

#### **Типы масел:**

- Минеральное вакуумное масло ISO VG 32
- Не использовать масла с моющими присадками
- Для низких температур (< +12°C) использовать масло пониженной вязкости

#### **Замена выпускного фильтра:**

Периодичность: каждые 9-18 месяцев или при засорении

Признаки засорения фильтра:

- Дым или масляный туман на выходе насоса
- Повышенное потребление тока двигателем
- Снижение производительности насоса
- Повышенная температура насоса

Процедура:

1. Остановить насос и дать остыть
2. Открыть выпускной клапан для сброса остаточного давления
3. Открутить крышку фильтра
4. Извлечь старый фильтр (не пытаться очистить и повторно использовать)
5. Заменить уплотнительное кольцо на крышке фильтра
6. Установить новый фильтр, убедившись в правильной ориентации
7. Закрутить крышку с правильным моментом затяжки
8. Утилизировать старый фильтр согласно нормам (может содержать токсичные вещества)

**Замена лопастей:**

Периодичность: при износе или заклинивании

Признаки износа лопастей:

- Невозможность достижения номинального вакуума
- Повышенный шум при работе
- Заклинивание ротора

Процедура (требует квалифицированного персонала):

1. Слить масло из насоса
2. Разобрать насос согласно инструкции производителя
3. Извлечь ротор с лопастями
4. Заменить изношенные лопасти новыми из ремонтного комплекта
5. Проверить состояние подшипников и уплотнений вала

6. Собрать насос с новыми прокладками
7. Залить свежее масло
8. Провести пробный пуск и проверку вакуума

### **Водокольцевые вакуумные насосы**

#### **Замена рабочей жидкости:**

Периодичность: ежедневно или по мере загрязнения

Процедура:

1. Остановить насос
2. Слить загрязненную жидкость через сливной клапан
3. Промыть внутреннюю полость чистой водой
4. Заполнить свежей рабочей жидкостью до требуемого уровня
5. Запустить насос и проверить работоспособность

#### **Рабочие жидкости:**

- Вода (наиболее распространенная)
- Масло (для агрессивных паров)
- Специальные жидкости (для особых применений)

#### **Очистка вакуумной системы:**

Периодичность: ежемесячно или при снижении производительности

Процедура:

1. Отключить насос от системы
2. Демонтировать трубопроводы
3. Очистить внутренние поверхности от отложений механическим способом или химической промывкой
4. Промыть чистой водой
5. Проверить состояние импеллера (лопаточного колеса)
6. При необходимости заменить изношенные детали

7. Собрать систему и проверить герметичность

### **7.3 Техническое обслуживание теплообменников**

#### **Контроль загрязнения теплообменников**

Основной индикатор загрязнения – увеличение перепада давления:

- Измерять перепад давления на входе и выходе теплообменника
- Записывать значения в журнал для отслеживания тренда
- При увеличении перепада на 25-30% от начального значения провести очистку

#### **Химическая очистка (CIP - Cleaning In Place, мойка на месте)**

Применяется для погружных теплообменников без разборки:

**Для удаления органических загрязнений:**

1. Подготовить моющий раствор:
  - Щелочной раствор: 2-4% NaOH, температура 60-80°C
  - Время циркуляции: 2-4 часа
2. Закрыть клапаны подачи продукта
3. Залить моющий раствор в испаритель
4. Включить циркуляционный насос для обеспечения циркуляции раствора
5. Поддерживать температуру раствора нагревом
6. После окончания процесса слить раствор
7. Промыть систему чистой водой до нейтрального pH

**Для удаления минеральных отложений (накипи):**

1. Подготовить моющий раствор:
  - Кислотный раствор: 5-10% лимонной или уксусной кислоты
  - Температура: 40-60°C
  - Время циркуляции: 2-4 часа
2. Провести процедуру аналогично щелочной мойке
3. Тщательно промыть систему водой
4. Нейтрализовать остатки кислоты слабым щелочным раствором

5. Финальная промывка чистой водой

### **Механическая очистка**

Для пластинчатых погружных теплообменников:

1. Остановить и обесточить установку
2. Сбросить давление/вакуум в испарителе
3. Открыть быстрооткрывающийся люк испарителя (если предусмотрено конструкцией)
4. Извлечь пластины теплообменника
5. Очистить пластины механическим способом (скребком, щеткой) и промыть водой под давлением
6. Осмотреть пластины на наличие коррозии и повреждений
7. Заменить поврежденные пластины
8. Установить пластины на место в правильной последовательности
9. Закрыть люк с новой прокладкой
10. Провести гидравлическое испытание на герметичность

Для кожухотрубных теплообменников:

1. Отсоединить теплообменник от системы
2. Снять крышки с обеих сторон
3. Извлечь трубный пучок (при возможности)
4. Очистить трубы механическим способом с использованием ершей и щеток
5. Промыть под высоким давлением
6. Очистить межтрубное пространство
7. Проверить трубы на наличие коррозии и течей
8. При необходимости провести заглушку поврежденных труб или замену трубного пучка
9. Собрать теплообменник с новыми прокладками
10. Провести гидравлическое испытание

## 7.4 Техническое обслуживание насосов

### Центробежные насосы

#### Проверка сальникового уплотнения:

Допустимая утечка: 40-60 капель в минуту

При превышении:

1. Подтянуть сальниковую набивку
2. При невозможности устранения утечки подтяжкой – заменить набивку
3. Процедура замены набивки:
  - Остановить насос
  - Снять сальниковую втулку
  - Извлечь старую набивку
  - Проверить состояние вала (отсутствие выработки)
  - При наличии выработки заменить вал или установить ремонтную втулку
  - Установить новую набивку кольцами с разбежкой стыков на 90°
  - Установить сальниковую втулку и слегка затянуть
  - Запустить насос и отрегулировать затяжку для допустимой утечки

#### Проверка механического торцевого уплотнения (при наличии):

1. Визуальный осмотр на наличие утечек
2. Проверка отсутствия загрязнений в зоне уплотнения
3. При утечках – замена уплотнения:
  - Разобрать насос
  - Извлечь старое уплотнение
  - Очистить посадочные места
  - Установить новое уплотнение согласно инструкции производителя
  - Собрать насос и проверить герметичность

#### Проверка состояния подшипников:

- Периодичность: ежемесячно
- Методы диагностики:
  - Прослушивание стетоскопом (отсутствие посторонних шумов)

- Измерение температуры подшипников (не более 80°C)
- Вибродиагностика (для критичных применений)
- При выявлении дефектов – замена подшипников

## **Мембранные (диафрагменные) насосы**

### **Замена диафрагмы:**

Периодичность: каждые 2-3 года или при повреждении

Процедура:

1. Остановить насос и отключить питание
2. Закрыть запорные клапаны на всасывании и нагнетании
3. Сбросить давление через дренажный клапан
4. Открутить болты крепления головки насоса по звездообразной схеме
5. Снять головку насоса
6. Извлечь старую диафрагму, зафиксировав ее положение
7. Очистить посадочные поверхности изопропиловым спиртом
8. Установить новую диафрагму, обеспечив правильную ориентацию
9. Установить новую прокладку (применить тонкий слой герметика при необходимости)
10. Установить головку насоса
11. Затянуть болты крепления по звездообразной схеме с моментом 15-20 Н·м
12. Открыть запорные клапаны
13. Запустить насос и проверить отсутствие утечек

## **7.5 Обслуживание системы автоматки**

### **Программируемый логический контроллер (ПЛК)**

#### **Резервное копирование программы:**

- Периодичность: ежеквартально и после каждого изменения программы
- Хранить резервные копии в надежном месте
- Проверять работоспособность резервных копий

### **Обслуживание батареи ПЛК:**

- Периодичность проверки: ежегодно
- Замена батареи: каждые 3-5 лет или по индикации контроллера
- Процедура замены:
  - Записать текущую программу на внешний носитель
  - Отключить питание ПЛК
  - Заменить батарею на новую того же типа
  - Включить питание
  - Загрузить программу (если потребуется)

### **Очистка электрических шкафов:**

- Периодичность: ежеквартально
- Обесточить оборудование
- Продуть сжатым воздухом для удаления пыли
- Проверить затяжку всех электрических соединений
- Проверить состояние изоляции проводов

### **Калибровка датчиков**

#### **Датчики давления и вакуума:**

- Периодичность: ежегодно или по требованию точности
- Использовать эталонные приборы с действующими сертификатами
- Процедура:
  - Отключить датчик от системы управления
  - Подключить эталонный прибор
  - Создать несколько контрольных точек давления
  - Сравнить показания датчика и эталона
  - При отклонении > 2% провести регулировку или замену датчика
  - Оформить протокол калибровки

#### **Датчики температуры:**

- Периодичность: ежегодно
- Использовать эталонные термометры

- Проводить проверку в нескольких температурных точках
- Допустимое отклонение:  $\pm 1^{\circ}\text{C}$
- При превышении – замена датчика

#### **Датчики уровня:**

- Периодичность проверки: ежемесячно
- Проверить срабатывание при наполнении и опорожнении
- Очистить датчики от загрязнений
- Проверить надежность крепления

## **7.6 Устранение отложений и коррозии**

### **Предотвращение образования отложений (накипи)**

#### **Методы предотвращения:**

1. Умягчение воды (ионный обмен, обратный осмос)
2. Поддержание pH в оптимальном диапазоне (7,0-8,5)
3. Применение антинакипинов:
  - Полифосфаты
  - Органические ингибиторы
  - Комплексообразователи (ЭДТА)
4. Контроль жесткости воды ( $< 150 \text{ ppm}$ )
5. Периодическая профилактическая очистка

### **Предотвращение коррозии**

#### **Методы предотвращения:**

1. Правильный выбор материалов конструкции
2. Поддержание pH в безопасном диапазоне
3. Применение ингибиторов коррозии:
  - Для железа и стали: нитриты, фосфаты
  - Для медных сплавов: азолы
4. Защита от кислородной коррозии:

- Деаэрация питательной воды
  - Применение кислородных поглотителей (гидразин, сульфиты)
5. Катодная защита (для особо ответственных объектов)
  6. Регулярный контроль скорости коррозии:
    - Установка коррозионных купонов
    - Периодическое взвешивание для определения потери массы
  7. Защитные покрытия поверхностей

### **Контроль качества воды**

Регулярный анализ следующих параметров:

- pH: 7,0-8,5
- Жесткость: < 150 ppm
- Хлориды: < 250 ppm
- Сульфаты: < 250 ppm
- Общее солесодержание: контроль по электропроводности
- Содержание растворенного кислорода: < 0,1 ppm
- Щелочность
- Содержание железа и марганца

Периодичность анализа:

- Ежедневно: pH, электропроводность
- Еженедельно: жесткость, хлориды
- Ежемесячно: полный анализ

## **8. Устранение неисправностей**

### **8.1 Проблемы с достижением вакуума**

**Проблема: Насос не достигает номинального вакуума**

**Возможные причины и решения:**

1. **Загрязнение или окисление масла в вакуумном насосе**

- Признаки: масло темного цвета или молочного оттенка
- Решение: слить старое масло, промыть насос, залить свежее вакуумное масло
- Профилактика: регулярная замена масла каждые 500-1000 часов

## **2. Засорение выпускного фильтра вакуумного насоса**

- Признаки: дым или масляный туман на выходе, повышенный ток двигателя
- Решение: заменить выпускной фильтр и уплотнительное кольцо
- Профилактика: замена фильтра каждые 9-18 месяцев

## **3. Утечка через уплотнение вала насоса**

- Признаки: масляные подтеки на корпусе насоса
- Решение: заменить сальниковое уплотнение вала из ремонтного комплекта
- Профилактика: контроль состояния уплотнений при техническом обслуживании

## **4. Заклинивание лопастей в роторе (для пластинчато-лопастных насосов)**

- Признаки: повышенный шум, вибрация, невозможность достижения вакуума
- Решение: промыть насос промывочным маслом, заменить лопасти из ремонтного комплекта
- Профилактика: использование качественного масла, регулярная замена

## **5. Неправильное направление вращения насоса**

- Признаки: насос работает, но вакуум не создается
- Решение: проверить направление вращения (должно быть против часовой стрелки со стороны двигателя), при неправильном – поменять местами две фазы на клеммной колодке
- Профилактика: проверка направления вращения при монтаже и после любых электромонтажных работ

## **6. Засорение входного фильтра**

- Признаки: низкая производительность, медленное создание вакуума
- Решение: очистить или заменить фильтрующий элемент
- Профилактика: еженедельная проверка и очистка фильтров

## **7. Утечки в вакуумной системе**

- Признаки: невозможность достижения глубокого вакуума, постепенное повышение давления при изоляции от насоса
- Решение: локализовать утечку методом гелиевого течеискателя или мыльного раствора, устранить негерметичность (подтянуть соединения, заменить прокладки, устранить трещины)
- Профилактика: регулярное тестирование герметичности системы

## 8. Неисправность вакуумметра

- Признаки: отсутствие показаний или очевидно неверные значения
- Решение: проверить вакуумметр на эталонной системе, при неисправности – заменить или отправить на калибровку
- Профилактика: ежегодная калибровка приборов

## 8.2 Проблемы с нагревом

**Проблема: Недостаточный нагрев, температура не достигает заданной**

**Для установок с тепловым насосом:**

### 1. Недостаточное количество хладагента

- Признаки: низкое давление в контуре хладагента
- Решение: проверить контур на утечки, устранить негерметичность, дозаправить хладагент квалифицированным специалистом

### 2. Загрязнение теплообменника испарителя

- Признаки: повышенный перепад давления, снижение эффективности теплопередачи
- Решение: провести химическую или механическую очистку теплообменника
- Профилактика: регулярная очистка согласно графику

### 3. Неисправность компрессора теплового насоса

- Признаки: компрессор не запускается или работает с пониженной производительностью
- Решение: проверить электропитание, защитные реле, при неисправности компрессора – замена
- Профилактика: мониторинг параметров работы компрессора

**Для термальных установок:**

### 1. Недостаточное давление или температура пара/горячей воды

- Признаки: температура теплоносителя ниже требуемой
- Решение: увеличить подачу пара/горячей воды, проверить работу котельной установки
- Проверить: открытие регулирующих клапанов, отсутствие засоров в трубопроводах

### 2. Загрязнение теплообменника

- Аналогично установкам с тепловым насосом

### 3. Конденсат не удаляется из парового пространства

- Признаки: пар влажный, снижение эффективности нагрева
- Решение: проверить работу конденсатоотводчиков, прочистить или заменить
- Профилактика: регулярная проверка конденсатоотводчиков

### **8.3 Проблемы с качеством дистиллята**

#### **Проблема: Высокая электропроводность дистиллята**

##### **Возможные причины и решения:**

##### **1. Унос капель жидкости с парами (брызгоунос)**

- Причины: слишком интенсивное кипение, засорение сепаратора капель, пенообразование
- Решение:
  - Снизить интенсивность нагрева
  - Очистить сепаратор капель
  - Применить пеногаситель
  - Снизить скорость паров в сепараторе (уменьшить производительность)

##### **2. Утечка исходного продукта в конденсат**

- Причины: негерметичность теплообменника-конденсатора
- Решение: провести гидравлическое испытание конденсатора, устранить течь или заменить теплообменник

##### **3. Перенос летучих загрязнений**

- Причины: наличие в исходном сырье веществ с низкой температурой кипения (аммиак, летучие органические соединения)
- Решение:
  - Предварительная обработка исходного сырья (отдувка, химическая обработка)
  - Использование двухступенчатой дистилляции
  - Доочистка дистиллята (ионный обмен, адсорбция на активированном угле)

#### **Проблема: Масляные загрязнения в дистилляте**

##### **1. Унос масла из вакуумного насоса**

- Причины: неисправность выпускного фильтра, переполнение маслом, неправильный тип масла

- Решение: заменить выпускной фильтр, проверить уровень масла, использовать рекомендованное масло без присадок

## 2. Попадание масла из системы охлаждения (для установок с тепловым насосом)

- Причины: утечка масла из компрессора в контур хладагента
- Решение: провести ревизию компрессора, заменить неисправные уплотнения

## 8.4 Проблемы с производительностью

### Проблема: Низкая производительность установки

#### Возможные причины и решения:

##### 1. Недостаточная мощность нагрева

- Решение: увеличить подачу теплоносителя, проверить работоспособность нагревательных элементов

##### 2. Загрязнение теплообменников

- Решение: провести очистку теплообменников

##### 3. Недостаточный вакуум

- Решение: устранить причины недостаточного вакуума (см. выше по тексту)

##### 4. Чрезмерное пенообразование

- Причины: высокое содержание поверхностно-активных веществ, белков, взвешенных частиц
- Решение:

- Применить пеногаситель (силиконовые, полигликолевые)
- Снизить интенсивность кипения
- Предварительная обработка сырья (удаление ПАВ)

##### 5. Недостаточное охлаждение конденсатора

- Причины: высокая температура охлаждающей воды, недостаточный расход, загрязнение конденсатора
- Решение:
  - Снизить температуру охлаждающей воды
  - Увеличить расход охлаждающей воды

- Очистить конденсатор

#### **6. Подсос воздуха в вакуумную систему**

- Решение: локализовать и устранить места подсоса воздуха

### **8.5 Проблемы с шумом и вибрацией**

#### **Проблема: Повышенный шум при работе насосов**

##### **Возможные причины и решения:**

#### **1. Изношенные подшипники**

- Признаки: скрежещущий или гудящий звук, повышение температуры подшипников
- Решение: заменить подшипники из ремонтного комплекта

#### **2. Заклинивание лопастей в роторе (для пластинчато-лопастных насосов)**

- Признаки: стуки, щелчки при работе
- Решение: промыть насос, заменить лопасти

#### **3. Неисправный конденсатор (для однофазных двигателей)**

- Признаки: гудение двигателя, затрудненный пуск
- Решение: заменить конденсатор

#### **4. Кавитация в насосе**

- Причины: недостаточное давление на всасывании, наличие газа в жидкости
- Решение: увеличить подпор на всасывании, обеспечить дегазацию жидкости

#### **5. Несоосность соединения насоса с двигателем**

- Решение: провести центровку валов

#### **Проблема: Вибрация установки**

#### **1. Недостаточное крепление оборудования**

- Решение: проверить затяжку всех анкерных болтов

#### **2. Неровная установка на фундаменте**

- Решение: выровнять установку с использованием прокладок

#### **3. Дисбаланс вращающихся частей**

- Решение: провести балансировку роторов насосов и вентиляторов

#### 4. Износ муфт и соединений

- Решение: заменить изношенные муфты

### 8.6 Проблемы с электрооборудованием

**Проблема: Насос/двигатель не запускается**

**Возможные причины и решения:**

#### 1. Отсутствие питания или неправильное напряжение

- Решение: проверить наличие напряжения на клеммах двигателя, соответствие напряжения номинальному

#### 2. Срабатывание тепловой защиты

- Причины: перегрузка двигателя, неправильная настройка защиты, короткое замыкание
- Решение: проверить причину перегрузки, проверить настройку тепловых реле, при необходимости – увеличить уставку на 5%

#### 3. Неисправность конденсатора (однофазные двигатели)

- Решение: проверить конденсатор тестером, при неисправности – заменить

#### 4. Заклинивание ротора насоса

- Причины: попадание посторонних предметов, кристаллизация продукта, отсутствие смазки
- Решение: попытаться провернуть вал вручную, при невозможности – разобрать и устранить причину

#### 5. Слишком низкая температура (< +12°C)

- Причины: загустевание масла при низких температурах
- Решение: прогреть насос перед пуском, использовать масло пониженной вязкости для низких температур

**Проблема: Двигатель работает, но потребляет повышенный ток**

#### 1. Перегрузка насоса

- Причины: засорение фильтров, загрязнение насоса, попадание посторонних частиц
- Решение: очистить фильтры, провести ревизию насоса

## 2. Слишком вязкое масло

- Решение: слить масло, залить масло правильной вязкости

## 3. Неправильное напряжение питания

- Решение: проверить соответствие напряжения номинальному, при необходимости – скорректировать

## 4. Дисбаланс фаз (для трехфазных двигателей)

- Решение: проверить токи во всех трех фазах (разница не должна превышать 10%), устранить причину дисбаланса

## 8.7 Проблемы с перегревом

**Проблема: Насос перегревается (температура > 95°C)**

**Возможные причины и решения:**

### 1. Недостаточное количество масла

- Решение: долить масло до уровня 3/4 на смотровом стекле

### 2. Загрязненное или окисленное масло

- Решение: заменить масло

### 3. Недостаточная вентиляция

- Решение: очистить вентиляционные решетки двигателя, обеспечить приток свежего воздуха

### 4. Высокая температура окружающей среды (> +40°C)

- Решение: снизить температуру окружающей среды с помощью вентиляции или кондиционирования

### 5. Высокая температура всасываемого воздуха/паров

- Решение: охладить пары перед входом в вакуумный насос (промежуточный конденсатор)

### 6. Засорение выпускного фильтра

- Решение: заменить выпускной фильтр

**Проблема: Перегрев теплообменников**

**1. Загрязнение теплообменных поверхностей**

- Решение: провести очистку

**2. Недостаточный расход охлаждающей воды**

- Решение: увеличить расход

**3. Высокая температура охлаждающей воды**

- Решение: снизить температуру воды на входе

Соблюдение изложенных в данном руководстве рекомендаций обеспечит безопасную, эффективную и долговечную эксплуатацию вакуумно-выпарных установок ВВУ.