

Технология выпаривания



Выпарные установки применяются в технологии для концентрирования или разделения растворов, суспензий и эмульсий.

Требуемым конечным продуктом обычно является концентрированная, но все еще пригодная для перекачки жидкость. В процессе выпаривания может также решаться задача извлечения летучих компонентов или дистиллята, например, в системах отделения растворителей. В ходе этих процессов обычно требуется достичь и сохранить определенное качество продукта.

Это требование наряду со многими другими привело к разработке разнообразных типов выпарных аппаратов, рабочих режимов и схем компоновки.

Компания GEA Wiegand внесла существенный вклад в разработку технологии выпаривания. Первым выпарным аппаратом Wiegand был созданный в 1908 году запатентованный многокорпусной выпарной аппарат с циркуляцией раствора. Этот аппарат концентрировал жидкости с беспрецедентной для того времени мягкостью и эффективностью. Он отличался удобством управления и компактной конструкцией.

Дальнейшее техническое развитие привело к созданию в 1952 году первого выпарного аппарата с падающей пленкой Wiegand, который в дополнение к тем же, но значительно усовершенствованным чертам, обладал новыми возможностями обработки, особенно в отношении термолabileльных продуктов. В то же время существенно улучшился и тепловой КПД выпарных аппаратов.

Благодаря этим преимуществам выпарной аппарат с падающей пленкой фактически вытеснил другие типы выпарных аппаратов из многих сфер применения. Выпарные аппараты с естественной и принудительной циркуляцией раствора в некоторой степени сохранили свое значение, тогда как специальные типы аппаратов – спиральные, противоточные, с перемешиванием – используются только для решения особых задач.



Благодаря непрерывным исследованиям и разработкам, продолжающимся много десятилетий, а также опыту создания нескольких тысяч установок, GEA Wiegand обладает широчайшими техническими знаниями и способна предложить оптимальную установку практически для любого продукта и всего многообразия возможных задач, условий эксплуатации и требуемых значений производительности.

В собственном центре исследований и разработок GEA Wiegand имеется множество лабораторных и пилотных установок для проведения тщательных анализов и испытаний в области выпаривания и дистилляции. В этом исследовательском центре изменяются важнейшие физические характеристики продукта, такие как температурная депрессия, поверхностное натяжение, растворимость и максимально достижимая концентрация. Некоторые из пилотных установок являются передвижными и могут быть установлены на предприятии заказчика. Сбор данных и моделирование работы установок производится посредством новейших компьютерных программ.

Испытания ведутся в различных типах трубных и пластинчатых выпарных аппаратов и дистилляционных колонн. К настоящему времени на наших установках было испытано более 3000 типов продуктов. Алфавитный список этих продуктов начинается с аминов и заканчивается яблочным соком.

Содержание

Исследования и разработки	2	Критерии выбора конструкции, компоновки и режима работы выпарных установок	19
Примеры продукции выпарных установок GEA Wiegand	3	Компоненты выпарных установок	19
Типы выпарных аппаратов	4	Контрольно-измерительная аппаратура	22
Специальные типы выпарных аппаратов	11	Изготовление, транспортировка, монтаж, ввод в эксплуатацию и послепродажное обслуживание выпарных установок	23
Материальный баланс выпарных установок	14		
Эффективность использования энергии в выпарных установках	15		

Примеры продукции выпарных установок GEA Wiegand

В выпарных установках GEA Wiegand, которых насчитывается более 4000, успешно сгущают самые разные продукты. Ниже перечислены их основные группы. Более подробные сведения можно найти в специальных списках обрабатываемых продуктов.



Химическая и фармацевтическая промышленность

Щелочи	Растворы гидроксида натрия и гидроксида калия
Органические кислоты	Аскорбиновая кислота, лимонная кислота
Неорганические кислоты	Фосфорная кислота, азотная кислота
Растворы солей	Нитрат аммония, сульфат аммония, сульфат натрия
Амины	Мочевина, диэтиламин
Спирты	Метанол, этанол, глицерин, гликоль, изопропанол
Органические соединения	Ароматические соединения, ацетон, раствор капролактама, синтетический клей, ароматические вещества
Фармацевтические растворы	Ферменты, антибиотики, лекарственные экстракты, заменители сахара, сорбитол, сорбоза, глюконаты
Суспензии	Каолин, карбонат кальция
Сточные воды	Отработанная техническая вода, промывная вода, эмульсии масла и т.д.

Пищевая промышленность и производство напитков

Молочные продукты	Цельное и обезжиренное молоко, сгущенное молоко, сыворотка и продукты из нее, белки пахты, растворы лактозы, молочная кислота
Растворы белков	Соевая сыворотка, кормовые дрожжи, цельное яйцо
Фруктовые соки	Апельсиновый и другие цитрусовые соки, яблочный сок, клюквенный сок, соки тропических фруктов
Овощные соки	Свекольный сок, томатный сок, морковный сок
Крахмалопродукты	Глюкоза, декстроза, фруктоза, инвертный сахар, мальтоза, крахмальный сироп, декстрин
Сахар	Патока, белый рафинированный сахар, промой, инулин
Экстракты	Экстракты кофе и чая, экстракт хмеля, экстракт солода, экстракт дрожжей, пектин, мясной и костный экстракты
Гидролизаты	Гидролизат сыворотки, суповые приправы, протеиновые гидролизаты
Пиво	Безалкогольное пиво, сусло

Переработка натуральных органических продуктов

Продукты брожения	Глутамат, лизин, бетаин
Клей и желатин	Технический и пищевой желатин, мездровый и костный клей
Эмульсии	Мисцелла
Экстракты	Дубильный экстракт
Барда	Зерновая и картофельная барда, барда от производства виски, дрожжевая бражка
Замочная вода	Кукурузная и сорговая замочная вода
Клеевая вода	Стоки скотобойни, рыбный подпрессовый бульон, сок, отжатый из фруктовой кожуры, жомопрессовая вода, стоки прессов для волокна
Сточные воды с органическими веществами	Промывочная вода, стоки от производства пшеничного и картофельного крахмала, навозная жижа
Кровь	Цельная кровь, плазма

Типы выпарных аппаратов

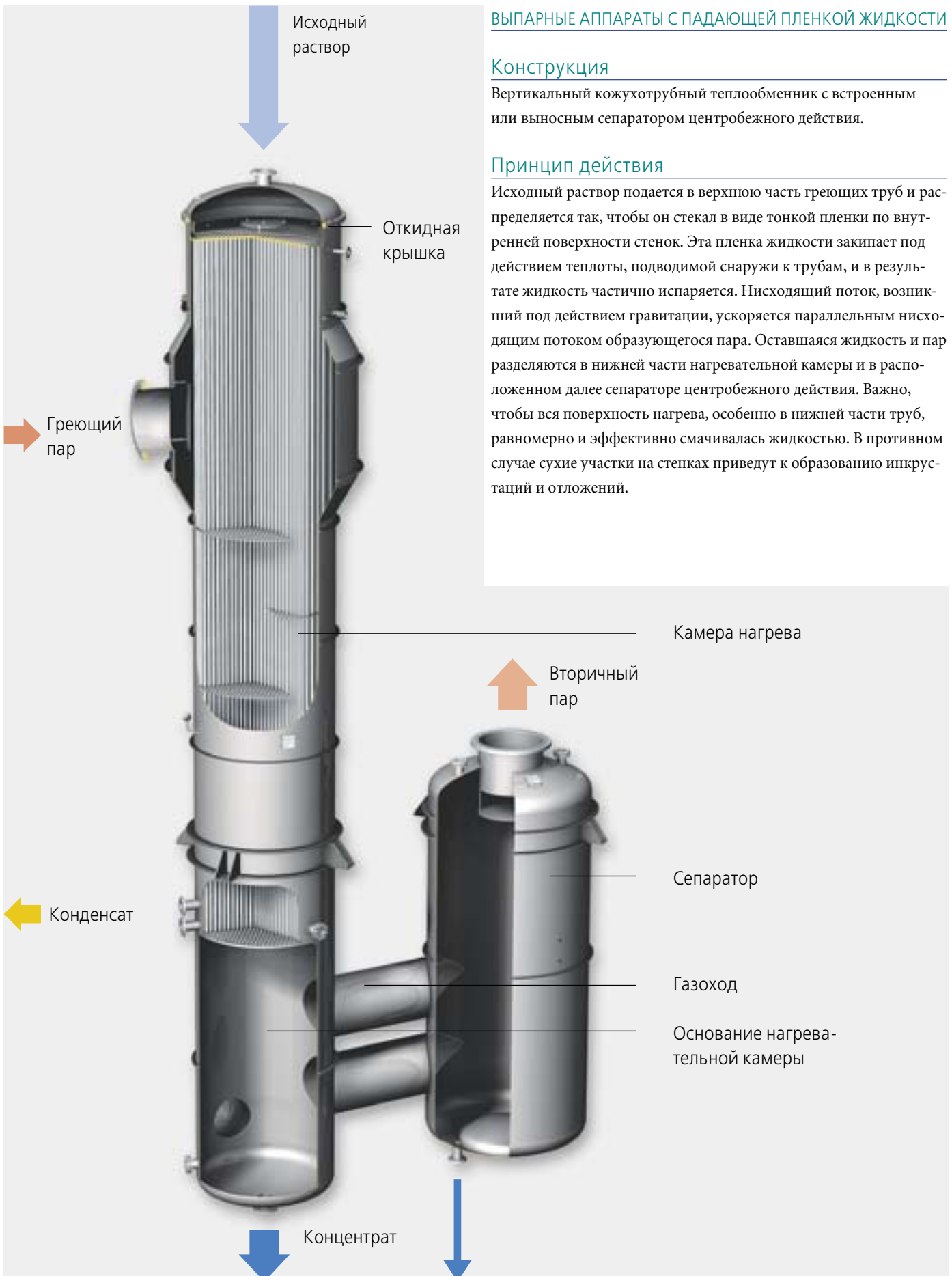
ВЫПАРНЫЕ АППАРАТЫ С ПАДАЮЩЕЙ ПЛЕНКОЙ ЖИДКОСТИ

Конструкция

Вертикальный кожухотрубный теплообменник с встроенным или выносным сепаратором центробежного действия.

Принцип действия

Исходный раствор подается в верхнюю часть греющих труб и распределяется так, чтобы он стекал в виде тонкой пленки по внутренней поверхности стенок. Эта пленка жидкости закипает под действием теплоты, подводимой снаружи к трубам, и в результате жидкость частично испаряется. Нисходящий поток, возникший под действием гравитации, ускоряется параллельным нисходящим потоком образующегося пара. Оставшаяся жидкость и пар разделяются в нижней части нагревательной камеры и в расположенном далее сепараторе центробежного действия. Важно, чтобы вся поверхность нагрева, особенно в нижней части труб, равномерно и эффективно смачивалась жидкостью. В противном случае сухие участки на стенках приведут к образованию инкрустаций и отложений.





Два примера систем распределения жидкости, сверху – перфорированная распределительная камера, внизу – пластинчато-трубчатый распределитель

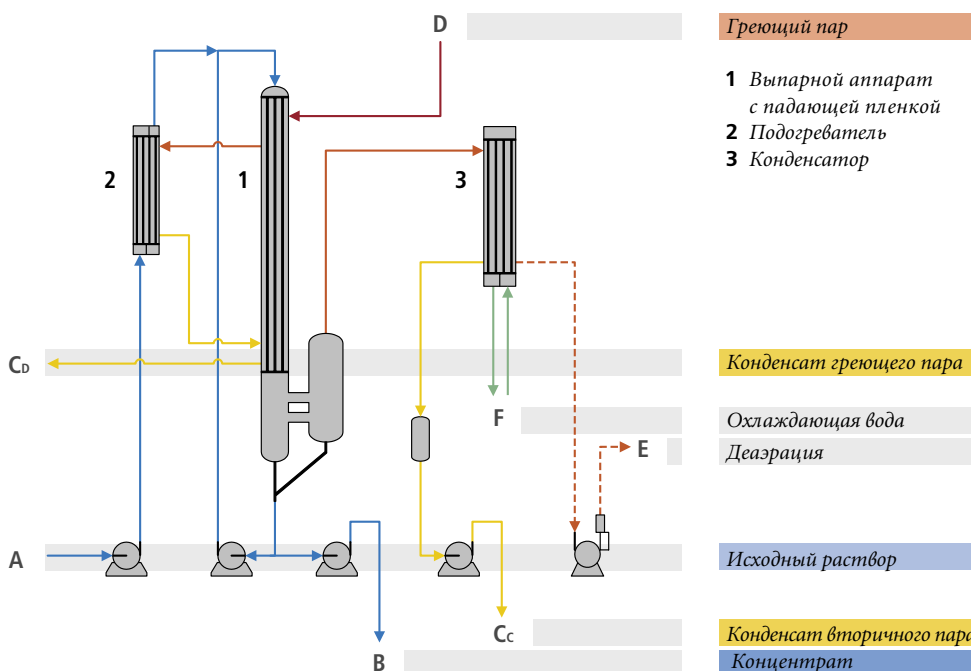
Для полного смачивания важно установить в верхней части выпарного аппарата подходящую систему распределения. Коэффициент смачивания увеличивается при использовании более длинных греющих труб, разделении аппарата на несколько секций или рециркуляции продукта.

Особенности

- **Наилучшее качество продукта** – благодаря мягкому выпариванию, которое протекает, как правило, под вакуумом, и очень короткому времени пребывания продукта в выпарном аппарате.
- **Высокая эффективность использования энергии** – реализуемая посредством многокорпусной конструкции, с применением термического или механического компрессора вторичного пара, и основанная на минимальной теоретически возможной разности температур.
- **Простота управления процессом и автоматизации** – из-за малого количества жидкости выпарные аппараты с падающей пленкой быстро реагируют на изменения подводимого потока энергии, вакуума, расхода сырья, концентраций и т.д. Это является важным условием для получения конечного продукта со стабильными характеристиками.
- **Гибкое управление** – быстрый пуск и простое переключение с рабочего режима на режим чистки или на производство другого продукта.

Области применения

- В установках производительностью до 150 т/час, аппарат занимает относительно малую площадь.
- Эти аппараты особенно подходят для обработки термолabile продуктов.
- Концентрирование жидкостей, содержащих малое количество твердых веществ и не вызывающих слишком интенсивной инкрустации.

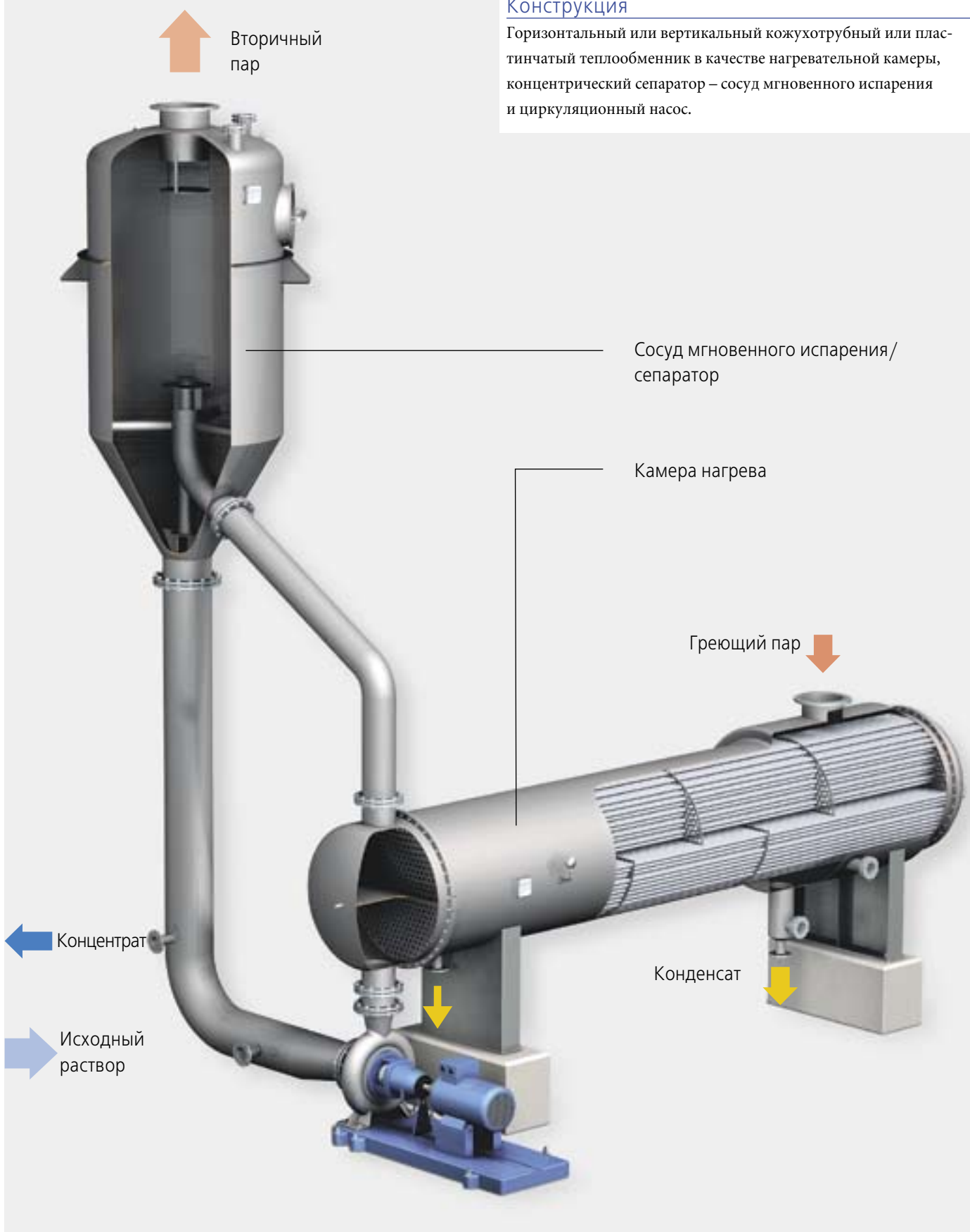


Типы выпарных аппаратов

ВЫПАРНЫЕ АППАРАТЫ С ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ

Конструкция

Горизонтальный или вертикальный кожухотрубный или пластинчатый теплообменник в качестве нагревательной камеры, концентрический сепаратор – сосуд мгновенного испарения и циркуляционный насос.



Принцип действия

Жидкость циркулирует через нагревательную камеру под действием насоса. В камере нагрева жидкость нагревается относительно температуры кипения в сепараторе на величину гидростатического давления. В сепараторе давление жидкости резко снижается, в результате часть жидкости мгновенно испаряется. Поскольку в аппарате поддерживается циркуляция жидкости, скорость потока в трубах и температуру жидкости можно регулировать в соответствии с особенностями продукта независимо от заранее выбранной разности температур.

Особенности

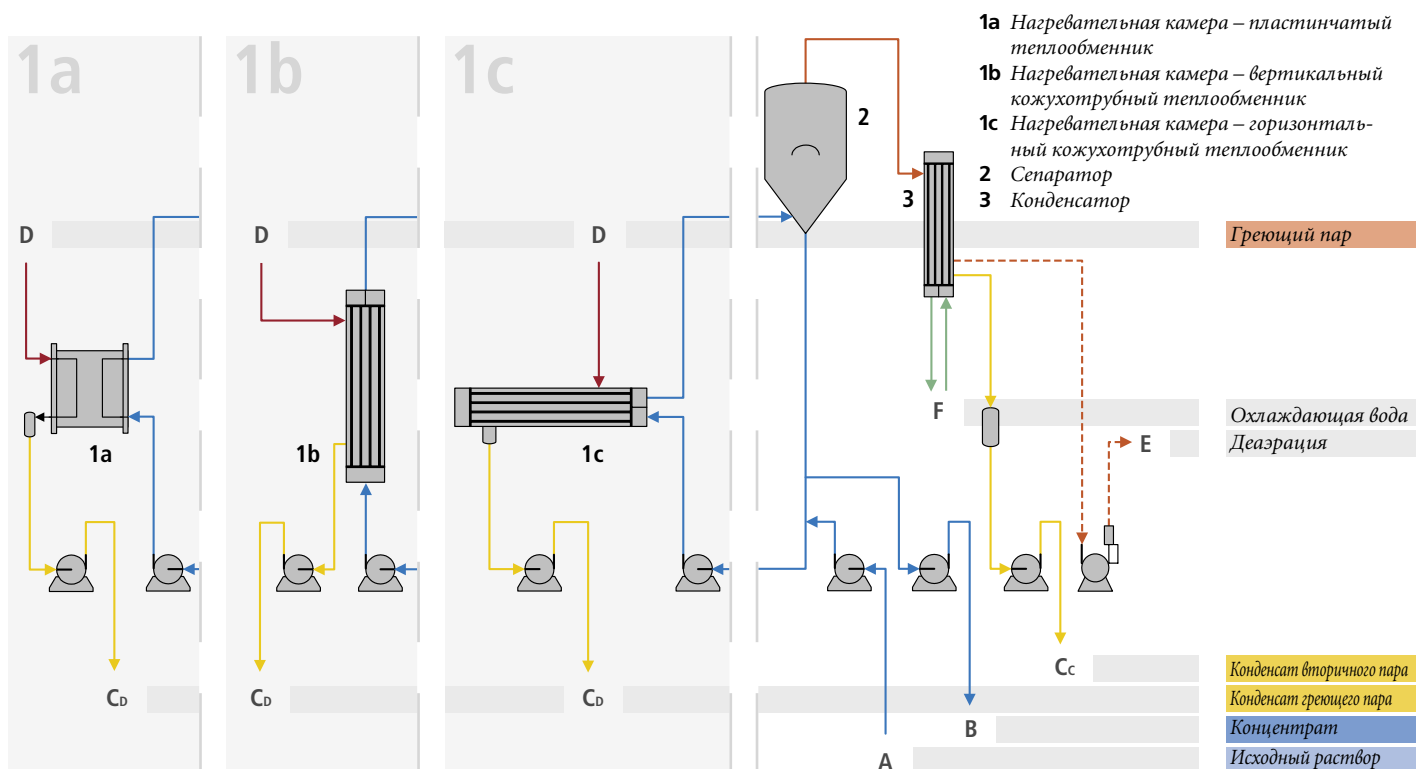
- **Длительный рабочий период** – кипение и испарение идет не на греющих поверхностях, а в сепараторе. Поэтому загрязнение нагревательной камеры из-за инкрустаций и осаждения сводится к минимуму.
- **Оптимизация теплообменной поверхности** – скорость потока в трубах определяется работой циркуляционного насоса.

Применение

- Обработка жидкостей с высокой вязкостью или склонным к зарастанию греющих поверхностей.
- Выпарные аппараты с принудительной циркуляцией прекрасно приспособлены для выпарной кристаллизации солевых растворов.



2-корпусная установка с падающей пленкой и с принудительной циркуляцией, работающая по противоточной схеме. Установка оборудована системой дистилляции для очистки конденсата вторичного пара от солей и органических соединений. Производительность: 9000 кг/час, концентрирование до 65 % с.в.



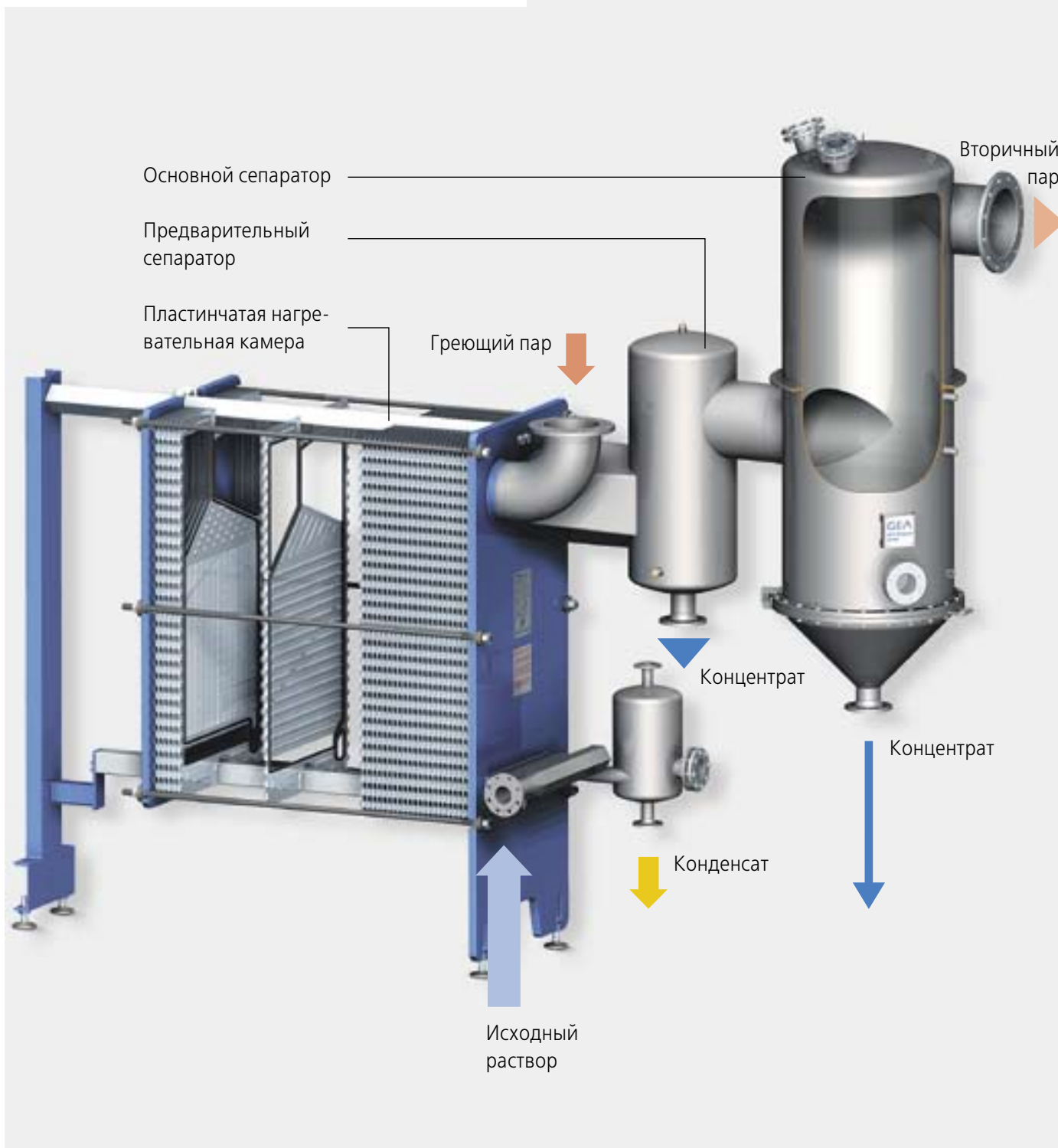
Типы выпарных аппаратов

ПЛАСТИНЧАТЫЕ ВЫПАРНЫЕ АППАРАТЫ

Конструкция

Пластинчатый теплообменник, сепаратор.

В рамном аппарате установлены специальные пластины, которые направляют продукт и греющую среду по чередующимся каналам. Прокладки, которые уплотняют пластины, помещены в пазы специальной формы и не требуют применения адгезивов. Эти прокладки можно устанавливать и снимать без применения инструментов.



Принцип действия

Продукт и греющая среда движутся в противотоке через соответствующие каналы. Специальная форма пластин в сочетании с правильно подобранным расстоянием между ними обеспечивает сильную турбулентность, т.е. усиливает теплопередачу.

Интенсивный теплообмен вызывает кипение продукта, и образующийся пар увлекает оставшуюся жидкость в виде восходящей пленки в паровой канал пакета пластин. Остаточная жидкость и пар разделяются в расположенном далее сепараторе центробежного действия. Широкий входной канал и восходящий поток обеспечивают оптимальное распределение продукта по всему поперечному сечению теплообменника.



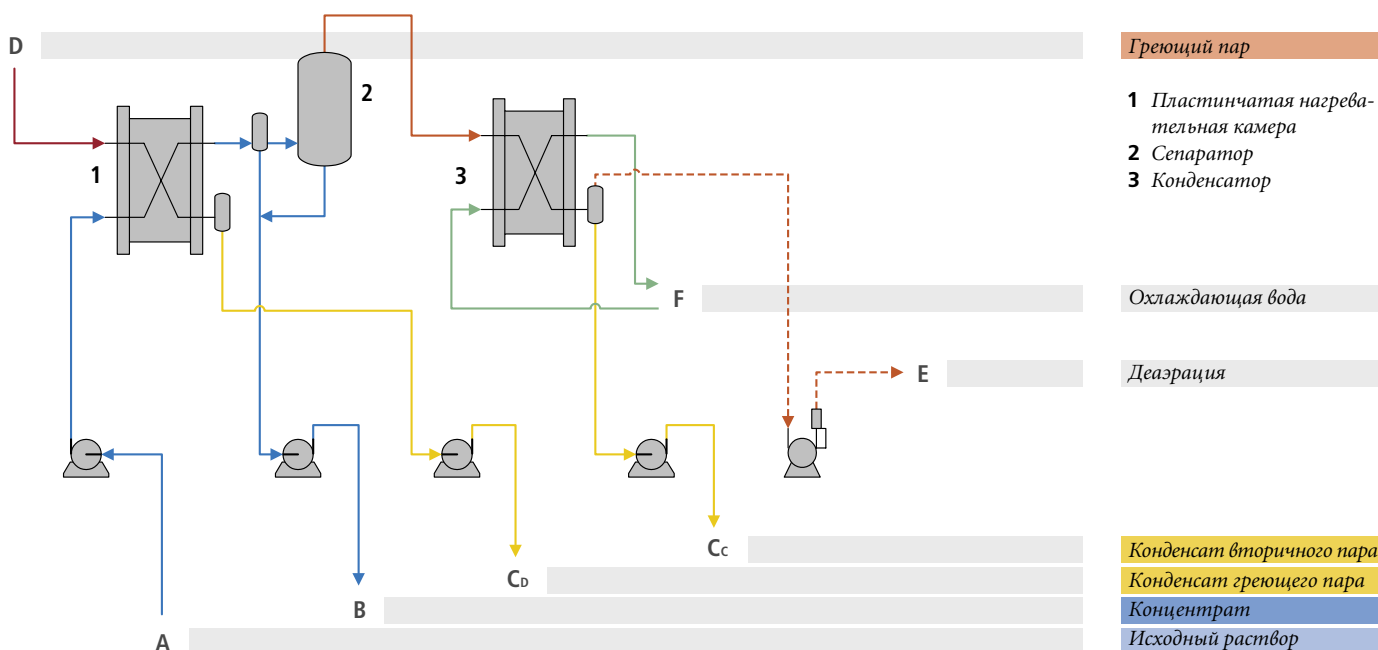
Особенности

- **Использование различных греющих сред** – благодаря размерам и форме пластин систему можно нагревать как горячей водой, так и паром.
- **Высокое качество продукта** – поскольку испарение происходит равномерно в особо мягких условиях за один проход.
- **Малое монтажное пространство** – в силу компактной конструкции, коротких соединительных труб и небольшой – не более 3–4 м – общей высоты.
- **Простой и быстрый монтаж** – поскольку крупные транспортные узлы поставляются в собранном виде.
- **Гибкое регулирование производительности** – посредством установки или удаления пластин.
- **Простота обслуживания и чистки** – поскольку пакет пластин легко разбирается.

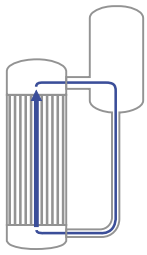
Применение

- В установках низкой и средней производительности.
- Для жидкостей, содержащих малое количество нерастворенных сухих веществ и слабо загрязняющих теплообменную поверхность.
- Для термолabileльных продуктов, для высоковязких продуктов, а также для выпаривания в особых условиях, при этом используется схема с циркуляцией раствора.

Многокорпусной пластинчатый аппарат для выпаривания фруктозы. Производительность по выпаренной воде: 16 т/час



Типы выпарных аппаратов



ВЫПАРНЫЕ АППАРАТЫ С ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ

Конструкция

Короткий вертикальный кожухотрубный теплообменник с расположенным сверху выносным сепаратором.

Принцип действия

Концентрируемая жидкость подается в аппарат снизу и поднимается по греющим трубам по принципу газлифта или восходящей пленки. Под действием подводимой снаружи теплоты пленка жидкости на внутренней поверхности труб закипает. Поднимающийся пар увлекает с собой жидкость вверх по трубам.

Жидкость отделяется от пара в расположенном ниже по потоку сепараторе и возвращается по обратной трубе в выпарной аппарат, что обеспечивает стабильную и равномерную циркуляцию. Чем больше разность температур между нагревательной камерой и камерой кипения, тем больше интенсивность испарения и, соответственно, циркуляция жидкости и интенсивность теплообмена.

Разделение камеры кипения на несколько отдельных камер с собственными системами циркуляции жидкости позволяет достичь высокой конечной концентрации при значительно меньшей площади теплообмена, чем в традиционном аппарате с циркуляцией раствора. Конечный Концентрат отводится из последней камеры. В первых камерах теплопередача значительно выше за счет более низкой вязкости и температурной депрессии раствора.

Особенности

■ **Быстрый пуск и очень высокая удельная производительность** – поскольку в аппарате содержится очень мало жидкости благодаря относительно малой длине (1-3 м) и малому диаметру греющих труб.

Применение

- Выпаривание термостабильных продуктов при необходимости высоких коэффициентов концентрирования.
- Выпаривание жидкостей, сильно загрязняющих теплообменные поверхности, а также неньютоновских жидкостей, если кажущуюся вязкость можно уменьшить за счет высокой скорости потока.
- Циркуляционный выпарной аппарат с разделенной камерой кипения и верхним расположением сепаратора можно применять в качестве концентратора.



3-корпусной циркуляционный аппарат для выпаривания глициринового раствора. Производительность по выпаренной воде: 3 600 кг/час

- 1 Камера нагрева
- 2 Сепаратор
- 3 Конденсатор

Греющий пар

Деаэрация

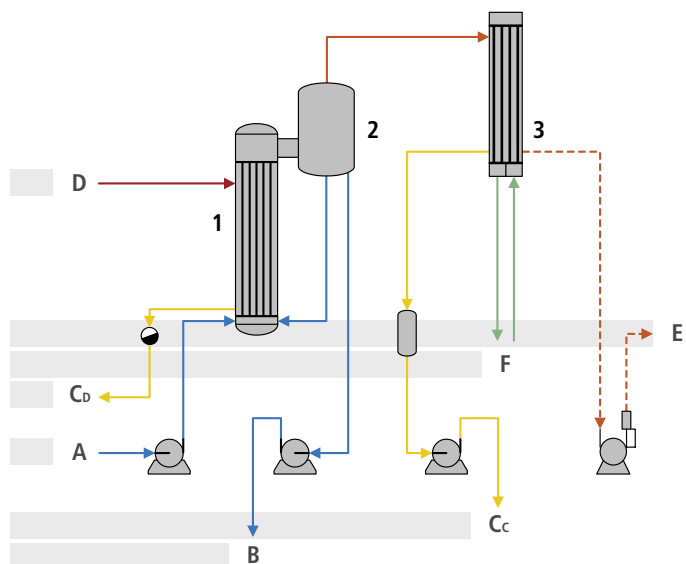
Охлаждающая вода

Конденсат греющего пара

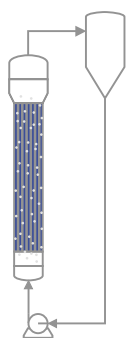
Исходный раствор

Конденсат вторичного пара

Концентрат



Специальные типы выпарных аппаратов



ВЫПАРНЫЕ АППАРАТЫ С ПСЕВДООЖИЖЕННЫМ СЛОЕМ

Конструкция

Вертикальный теплообменник с псевдоожженным слоем (во внутритрубном пространстве содержатся твердые частицы – стеклянные, керамические или стальные шарики, – которые увлекаются потоком жидкости), сепаратор – сосуд мгновенного испарения и циркуляционный насос.

Принцип действия

Тот же принцип действия, что и в выпарном аппарате с принудительной циркуляцией. Восходящий поток жидкости захватывает твердые частицы, которые оттирают и очищают греющие поверхности. Они проходят через трубы нагревательной камеры вместе с жидкостью. В верхней части камеры частицы отделяются и возвращаются на вход нагревательной камеры. Попадающая в сепаратор перегретая жидкость мгновенно вскипает и частично испаряется.

Особенности

■ **Длительный рабочий период** – благодаря непрерывной очистке греющей поверхности твердыми частицами, что одновременно улучшает теплообмен.

Применение

- Обработка продуктов, сильно загрязняющих стенки стандартных аппаратов с принудительной циркуляцией раствора.
- Обработка жидкостей низкой и средней вязкости.



ВЫПАРНЫЕ АППАРАТЫ ДЛЯ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИСТИЛЛЯЦИИ

Конструкция

Вертикальный кожухотрубный теплообменник с расположенными внутри греющих труб концентрическими трубчатыми конденсаторами и соосным сепаратором в нижней части аппарата.

Принцип действия

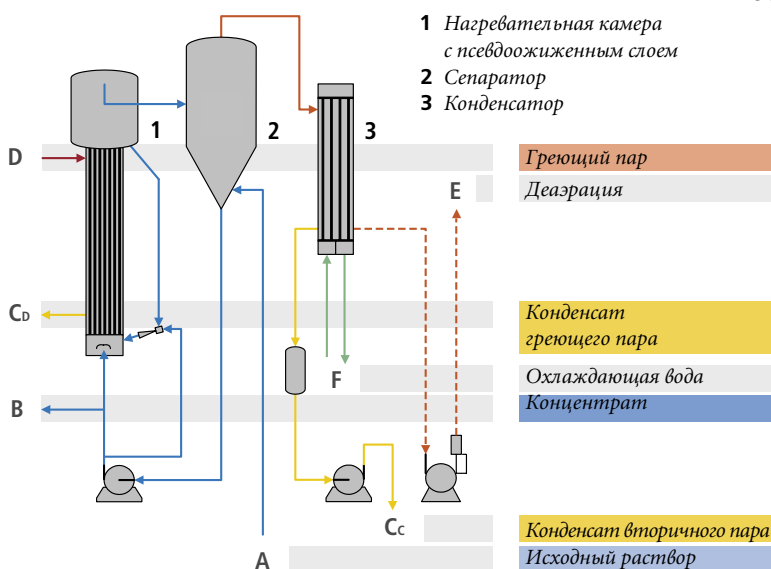
Жидкость равномерно распределяется по греющим трубам и стекает по их внутренней поверхности в виде тонкой пленки. Наружный нагрев труб приводит к кипению этой пленки. Образующийся пар конденсируется на внешней поверхности трубчатых конденсаторов, и дистиллят стекает вниз. Дистиллят и сгущенный продукт отдельно выгружаются из нижней части выпарного аппарата.

Особенности

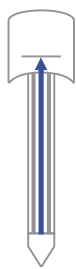
- **Мягкие условия выпаривания продукта** – благодаря очень низкому давлению и температуре, кратковременному контакту и однократному прохождению жидкости. Дистилляция может происходить при остаточном давлении от 1 мбар до менее чем 0,001 мбар. Наличие встроенных трубчатых конденсаторов устраняет потери давления из-за потока пара.
- **Оптимальная конструкция** – в системе нет движущихся деталей, что исключает механический износ.
- **Низкие капитальные затраты.**
- **Аппараты могут обеспечивать высокую производительность по испаренной влаге.**

Применение

- Особо термолабильные неводные растворы.



Специальные типы выпарных аппаратов



ВЫПАРНЫЕ АППАРАТЫ С ВОСХОДЯЩЕЙ ПЛЕНКОЙ

Конструкция

Вертикальный кожухотрубный теплообменник с верхним сепаратором пара.

Принцип действия

Концентрируемая жидкость подается в аппарат снизу и поднимается по принципу газлифта или восходящей пленки.

Под действием подводимой снаружи теплоты пленка жидкости на внутренней поверхности труб закипает и частично испаряется. Поднимающиеся пузыри пара увлекают с собой жидкость вверх по трубам. В процессе этого подъема образуется еще больше пара. В результате на стенках формируется “восходящая” пленка. Пар и жидкость затем разделяются в смонтированном сверху сепараторе.

Особенности

- **Высокая разность температур между греющей камерой и камерой кипения** – это обусловлено необходимостью подъема жидкости по трубам высотой 5-7 м и образования восходящей пленки.
- **Высокая турбулентность жидкости** – из-за восходящего движения против силы тяжести. По этой причине выпарные аппараты с восходящей пленкой хорошо приспособлены для обработки продуктов высокой вязкости или со значительной тенденцией к загрязнению поверхностей.
- **Стабильная высокоэффективная работа** – обусловленная рециркуляцией продукта и широким диапазоном рабочих условий.

Применение

- Для достижения высоких коэффициентов концентрирования, для обработки продуктов высокой вязкости или со значительной тенденцией к загрязнению греющих поверхностей.
- В режиме однократного прохода, благодаря очень короткому времени контакта, могут использоваться в качестве концентраторов.

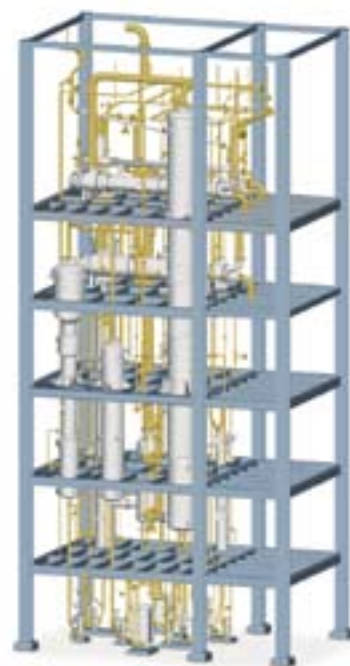


ПРОТИВОТОЧНЫЕ ОРОСИТЕЛЬНЫЕ ВЫПАРНЫЕ АППАРАТЫ

Конструкция

Кожухотрубный теплообменник, нижняя часть нагревательной камеры больше, чем, например, у аппаратов с восходящей пленкой, смонтированный сверху сепаратор имеет встроенную систему распределения жидкости.

Противоточная оросительная выпарная установка с секцией ректификации для очистки оливкового масла



Принцип действия

Как и в выпарных аппаратах с падающей пленкой, жидкость подается сверху и распределяется по трубам аппарата, но пар движется вверх в противотоке с жидкостью.

Особенности

- **Частичная дистилляция** – в концентрате уменьшается доля летучих компонентов. Этот процесс можно усилить подачей разделяющего агента – пара или инертного газа – в нижнюю часть нагревательной камеры.

Применение

- Данный тип выпарных аппаратов применяется в тех случаях, когда необходим интенсивный теплообмен между жидкостью и паром. В условиях противоточного движения пара и жидкости возможно протекание химических реакций.



ВЫПАРНЫЕ АППАРАТЫ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ

Конструкция

Нагреваемый через рубашку сосуд, оборудованный мешалкой.

Выпарной аппарат с перемешиванием, применяемый в качестве концентратора экстракта дрожжей. Производительность по выпаренной воде 300 кг/ч



Принцип действия

В сосуд периодически загружается жидкость, доводится до кипения при непрерывном перемешивании и выпаривается до требуемой концентрации.

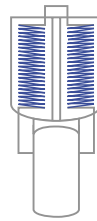
Если концентрат непрерывно заменять исходным раствором, поддерживая постоянную концентрацию, установку можно эксплуатировать в полунепрерывном режиме.

Особенности

■ **Низкая производительность по испаренной воде** – из-за малой площади поверхности теплообмена. По этой причине для работы аппарата требуется высокая разность температур между нагревательной рубашкой и камерой кипения. Если это позволяют свойства продукта, греющую поверхность можно увеличить за счет погружных змеевиков.

Применение

- Обработка высоковязких, пастообразных или волокнистых продуктов, свойства которых допускают многочасовое выпаривание или требуют его.
- Может также применяться в качестве концентратора продукта, полученного на аппарате предварительного выпаривания, работающем в непрерывном режиме.



ЗМЕЕВИКОВЫЕ ВЫПАРНЫЕ АППАРАТЫ

Конструкция

Теплообменник со спиральными греющими трубами и установленным внизу сепаратором центробежного действия.

Принцип действия

Упариваемая жидкость стекает вниз в виде кипящей пленки, двигаясь параллельно с потоком пара. Расширяющийся пар оказывает на пленку сдвигающее воздействие. Кривизна канала приводит к возникновению вторичного потока, который накладывается на поток, идущий по оси трубы. Создающаяся при этом турбулентность значительно улучшает теплообмен, особенно в случае высоковязких жидкостей.

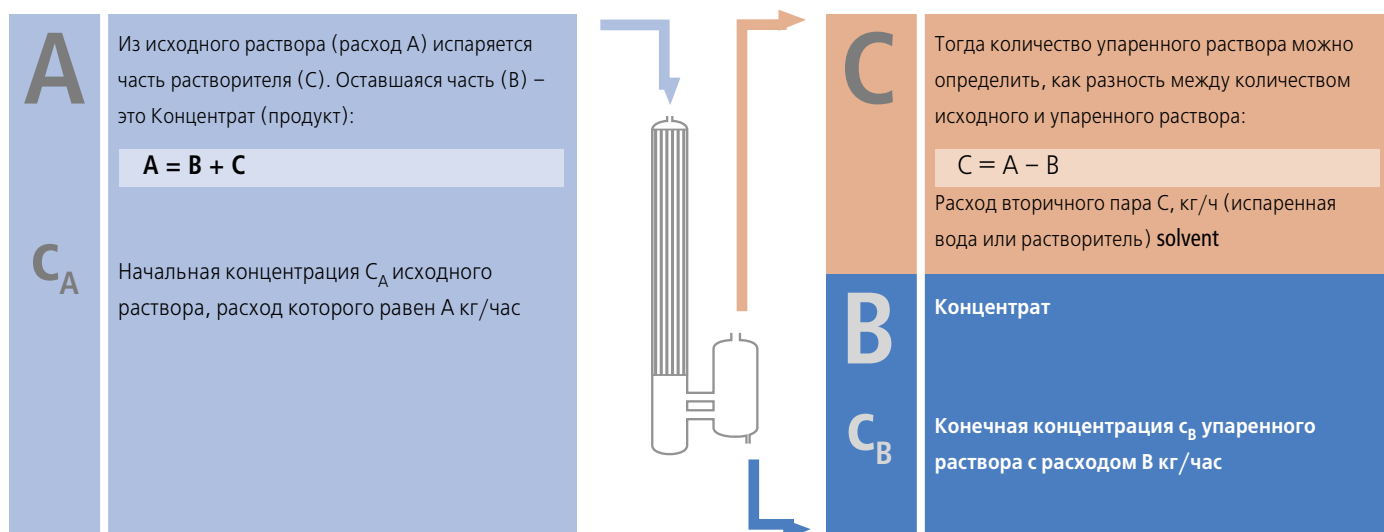
Особенности

- **Малые размеры аппарата** – за счет своей спиральной формы трубы большой длины, т.е. с большой греющей поверхностью, помещаются в аппарате относительно малой высоты.
- **Высокие коэффициенты концентрирования** – в силу большой разности температур и однократного прохождения жидкости.

Применение

- Обработка продуктов с высокой концентрацией и вязкостью, например, концентрирование желатина.

Материальный баланс выпарных установок



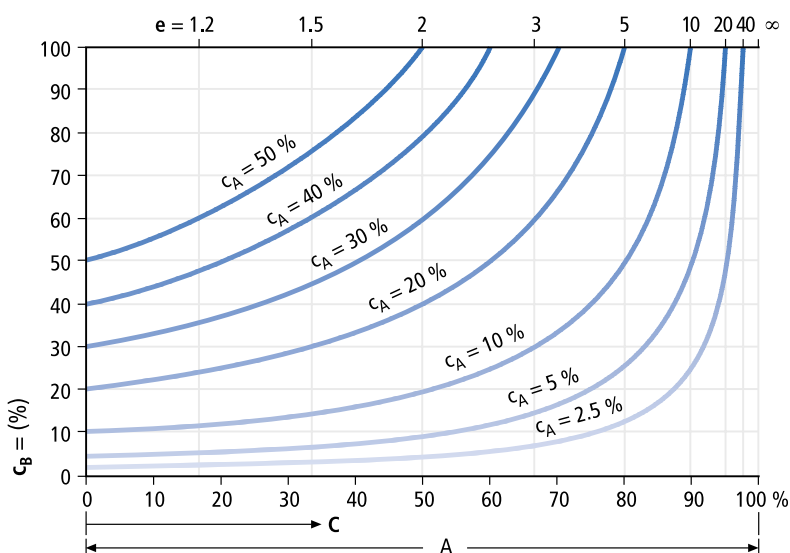
e Коэффициент концентрирования – это мера концентрирования исходного раствора:

$$e = \frac{A}{B} = \frac{c_B}{c_A}$$

Коэффициент концентрирования можно также определить, как соотношение концентраций исходного и упаренного растворов (массовые % сухого вещества).

Если растворитель испаряется из исходного раствора A с постоянной скоростью, концентрация в начале процесса возрастает медленно, а затем со все большей скоростью к теоретическому предельному значению. После этого удаление растворителя становится невозможным. Чем ниже начальная концентрация c_A, тем круче поднимается кривая концентрации. Эта зависимость имеет большое значение для управления выпарными аппаратами и, в случае высоких коэффициентов концентрирования, для разделения процесса на стадию предварительного выпаривания и стадию концентрирования.

Для расчета непрерывного процесса выпаривания удобнее использовать не общие количества растворов и пара, а массовые расходы. Расходы A, B и C измеряются в кг/час. Приведенные выше соотношения не изменяются.



Если известны концентрации или коэффициент концентрирования, количество концентрата и образовавшегося пара можно рассчитать следующим образом:

Данное	Искомое	Формула
Количество исходного раствора A	C	$C = A \cdot \frac{e - 1}{e}$
	B	$B = A \cdot \frac{1}{e}$

Слева: кривые роста конечной концентрации в процессе выпаривания при различных значениях начальной концентрации.

Эффективность использования энергии в выпарных установках

Эксплуатационные расходы выпарной установки в значительной степени определяются потребляемой энергией.

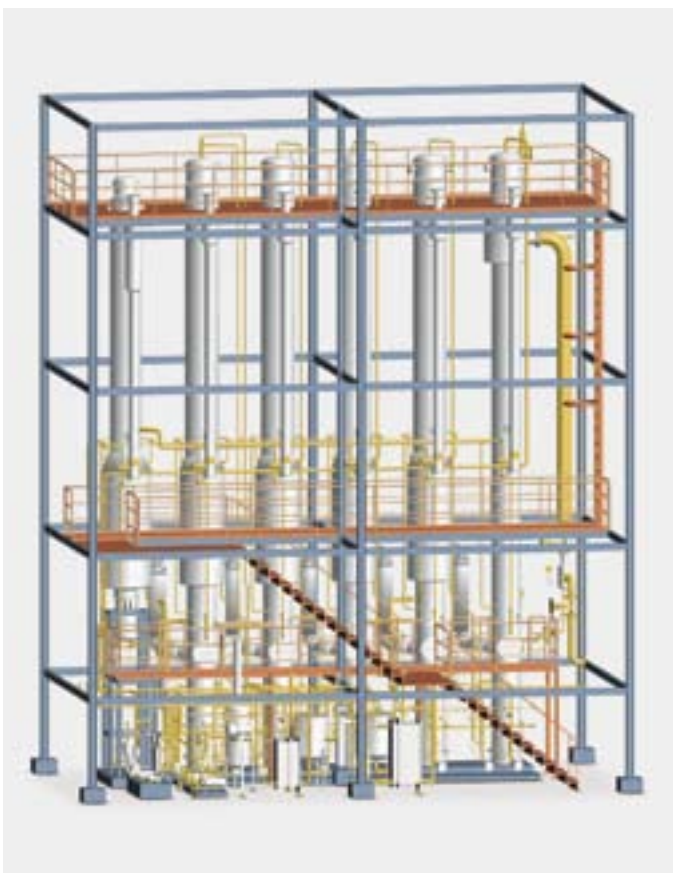
При установившемся рабочем режиме должен существовать баланс между энергией, поступающей в систему, и отводимой из нее.

Разумное проектирование установки позволяет привести потребление энергии в соответствие с требованиями заказчика.

Существует три основных способа экономии энергии:

- многокорпусное выпаривание
- применение термической компрессии
- применение механической компрессии

Использование одного из этих способов позволяет значительно снизить потребление энергии. Часто существует возможность сочетать два таких способа для сокращения капитальных и эксплуатационных затрат. В наиболее сложных выпарных установках могут применяться все три способа.



5-корпусная выпарная установка с падающей пленкой для концентрирования яблочного сока; установка обогревается свежим паром и оснащена системой извлечения ароматических веществ. Производительность по выпаренной воде: 12 000 кг/час

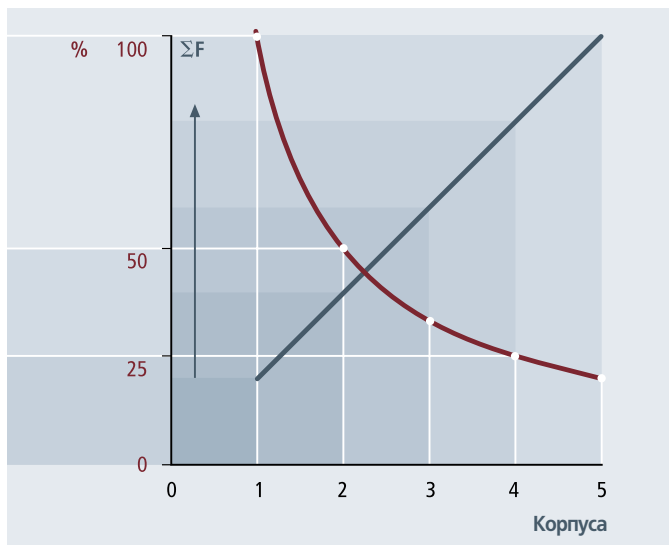
Многокорпусное выпаривание

При рассмотрении теплового баланса однокорпусной выпарной установки видно, что теплосодержание (энтальпия) вторичного пара приблизительно равно количеству теплоты, подводимой с греющей стороны теплообменника. В общем случае для испарения воды с расходом около 1 кг/ч требуется 1 кг/ч свежего пара, т.к. удельная теплота парообразования на стороне нагрева и на стороне продукта приблизительно одинакова.

Если вторичный пар, образовавшийся под действием первичного источника энергии, использовать в качестве греющего во втором корпусе аппарата, расход энергии сократится приблизительно на 50 %. Тот же принцип можно использовать в следующих корпусах и сэкономить еще больше энергии.

	Свежий пар	Вторичный пар	Удельный расход пара:
в 1-корпусном аппарате	1 кг/ч	1 кг/ч	100%
в 3-корпусном аппарате	1 кг/ч	3 кг/ч	33%

Максимальная температура нагрева в первом корпусе и самая низкая температура кипения в последнем корпусе образуют общую разность температур, которая распределяется по всем корпусам аппарата. Соответственно, разность температур в каждом корпусе уменьшается с увеличением числа корпусов. По этой причине греющие поверхности каждого корпуса требуется увеличить, чтобы обеспечивать требуемую производительность по выпаренной влаге при меньшей разности температур (Δt). В первом приближении можно считать, что площадь поверхностей теплообмена во всех корпусах растет пропорционально числу корпусов. Следовательно, капитальная стоимость установки значительно увеличивается, а дополнительная экономия энергии уменьшается.



Снижение удельного расхода греющего пара (%) и рост общей площади теплообмена ΣF с увеличением количества корпусов

Эффективность использования энергии в выпарных установках

Термическая компрессия вторичного пара

В аппарате с термической компрессией вторичного пара пар из камеры кипения сжимается за счет энергии свежего пара до давления, превышающего давление в нагревательной камере. Соответственно давлению повышается и температура насыщенного пара, что позволяет использовать его в качестве греющего.

Для сжатия вторичного пара в этом случае применяются паровые эжекторы. Они работают по принципу струйного насоса. В них нет движущихся частей, что исключает механический износ. Это обеспечивает максимальную техническую надежность.

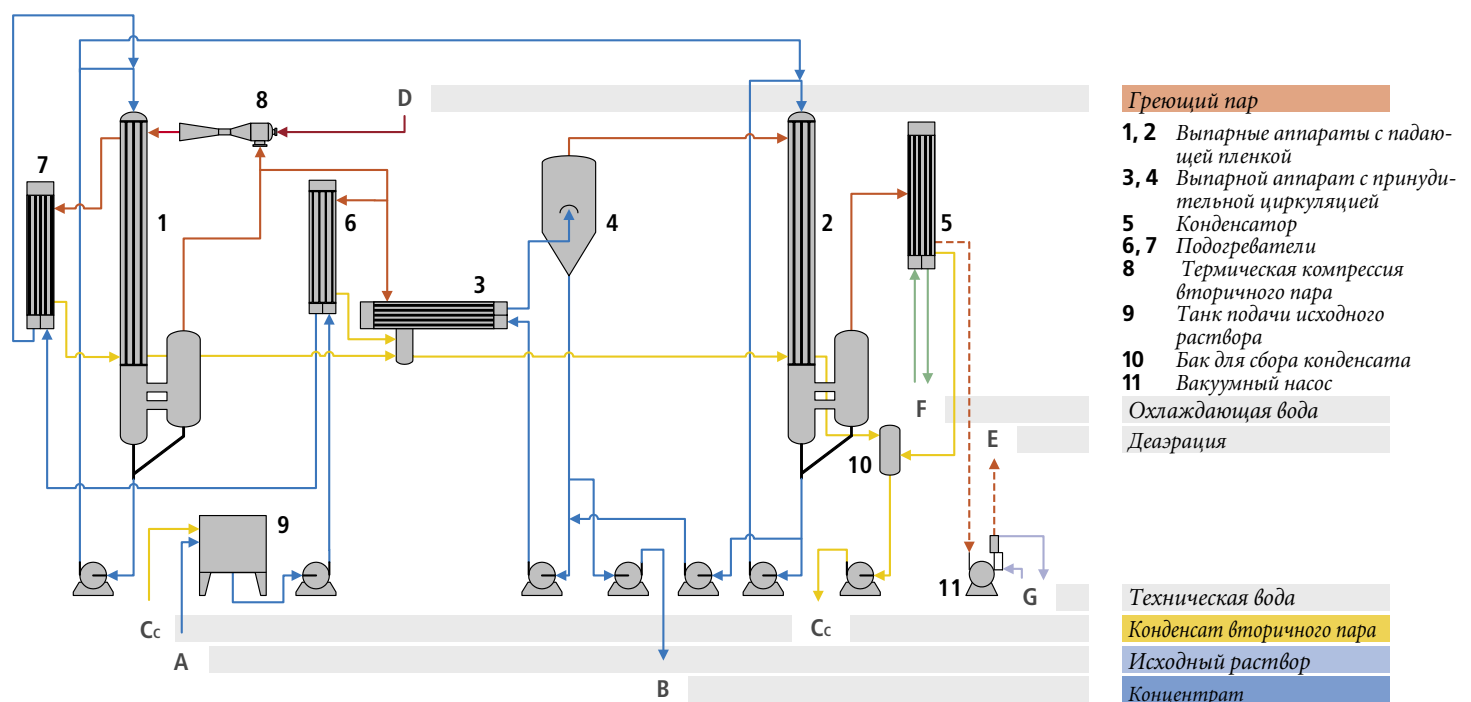
В отношении экономии свежего пара (энергии) термическая компрессия вторичного пара аналогична дополнительному корпусу выпарного аппарата.

Для работы термической компрессии вторичного пара требуется, так называемый, движущий пар, т.е. определенное количество свежего пара. Это количество пара оказывается избыточным и его приходится направлять в следующий корпус или в конденсатор. Энергия избыточного пара приблизительно равна общей энергии движущего пара.



3-корпусная выпарная установка с падающей пленкой жидкости и принудительной циркуляцией с термическим компрессором вторичного пара для концентрирования сточных вод от производства глутамата натрия.

Производительность по выпаренной воде: 50 т/час



Механическая компрессия вторичного пара

Выпарные установки с механической компрессией вторичного пара отличаются особенно низким потреблением энергии. Если пароструйный компрессор сжимает только часть вторичного пара, то в полном тепловом насосе весь вторичный пар сжимается механическим компрессором. Количество электрической энергии, необходимой для сжатия вторичного пара до давления греющего пара, значительно меньше энтальпии вторичного пара. Принцип действия такого устройства сходен с тепловым насосом. Энергия конденсата пара часто используется для подогрева исходного раствора. Количество рассеиваемой теплоты при такой схеме значительно снижено, поскольку сам выпарной аппарат реутилизует ту энергию, которая обычно отводится охлаждающей водой через конденсатор. В зависимости от рабочих условий может потребоваться добавка небольшого количества свежего пара или конденсация небольшого количества избыточного пара для поддержания теплового баланса выпарного аппарата и обеспечения стационарных рабочих условий.

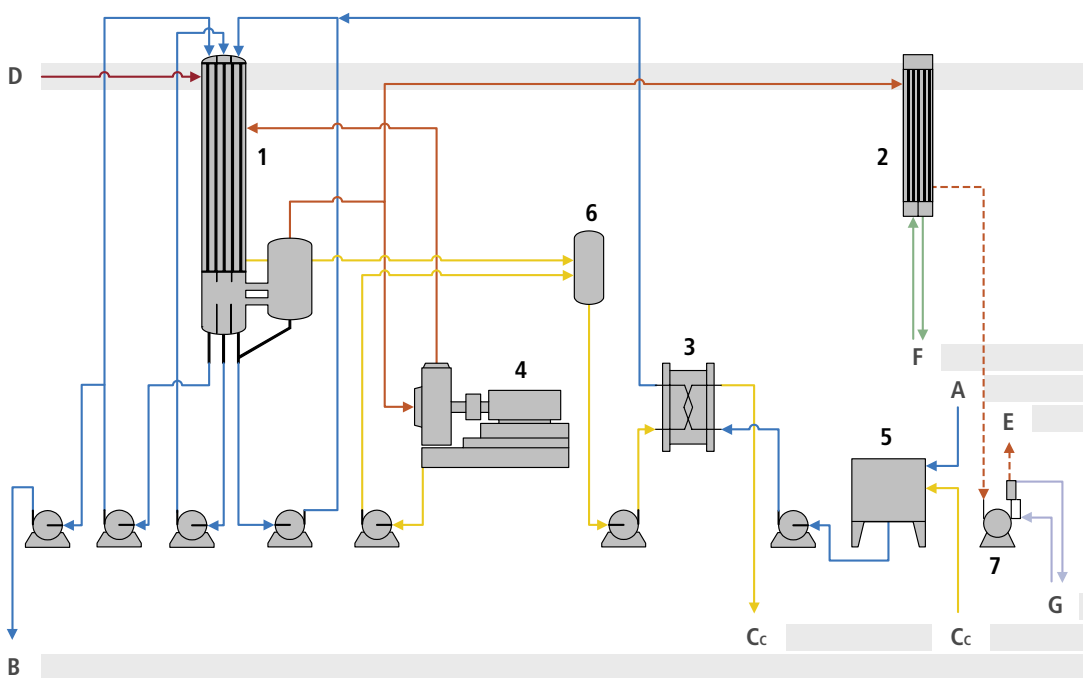
В качестве машин для сжатия пара в выпарных установках используются одноступенчатые радиальные вентиляторы в силу простоты их конструкции и удобства обслуживания. Это могут быть высоконапорные вентиляторы или турбокомпрессоры.

1-корпусная выпарная установка с падающей и механической компрессией вторичного пара для концентрирования промывной воды от выработки пшеничного крахмала.

Производительность по выпаренной воде: 17000 кг/час

Такие машины работают при высоких скоростях потока и обеспечивают высокие или очень объемные расходы и отношение давлений от 1:1,2 до 1:2. Нормальная частота вращения лежит в диапазоне от 3000 до 18000 об/мин. Для создания более высокого давления можно использовать многоступенчатые компрессоры.

(см. брошюру «Выпаривание с применением механического компрессора вторичного пара»)

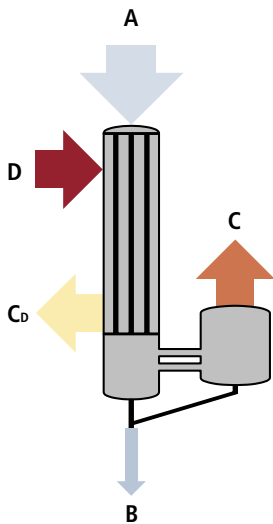


- | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|
| Греющий пар | |
| 1 | Выпарные аппараты с падающей пленкой |
| 2 | Конденсатор |
| 3 | Пластинчатый теплообменник |
| 4 | Компрессор вторичного пара |
| 5 | Танк подачи исходного раствора |
| 6 | Бак для сбора конденсата |
| 7 | Вакуумный насос |
| Охлаждающая вода | |
| Деаэрация | |
| Техническая вода | |
| Техническая вода | |
| Конденсат вторичного пара | |
| Концентрат | |

Эффективность использования энергии в выпарных установках

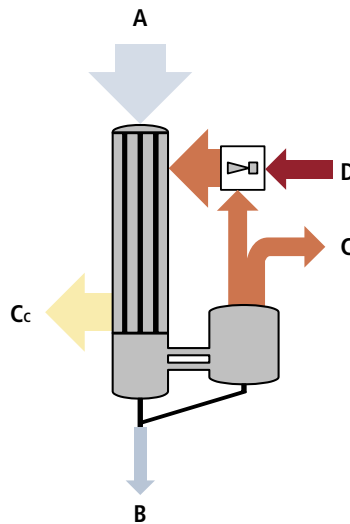
Схемы потоков вещества и энергии в выпарных аппаратах с разными типами нагрева

Нагрев свежим паром



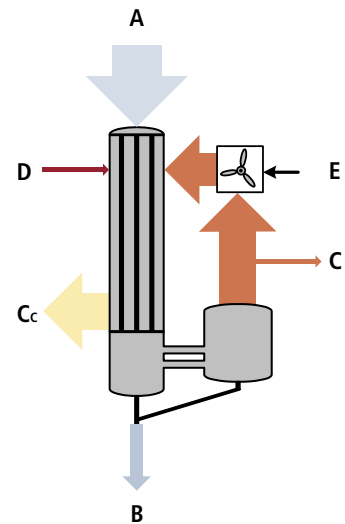
При рассмотрении теплового баланса одно-корпусной выпарной установки видно, что теплосодержание (энтальпия) образовавшегося вторичного пара (C) приблизительно равно количеству теплоты (D), подводимой с греющей стороны теплообменника. В общем случае для испарения воды с расходом 1 кг/ч требуется 1 кг/ч острого пара, т.к. удельная теплота парообразования на стороне нагрева и на стороне продукта приблизительно одинаковы.

Термокомпрессия



Для работы эжектора требуется, так называемый, движущий пар, т.е. определенное количество острого пара. Это количество пара оказывается избыточным для эжектора и должно направляться в следующий корпус или в конденсатор. Энергия избыточного пара приблизительно соответствует энергии движущего пара.

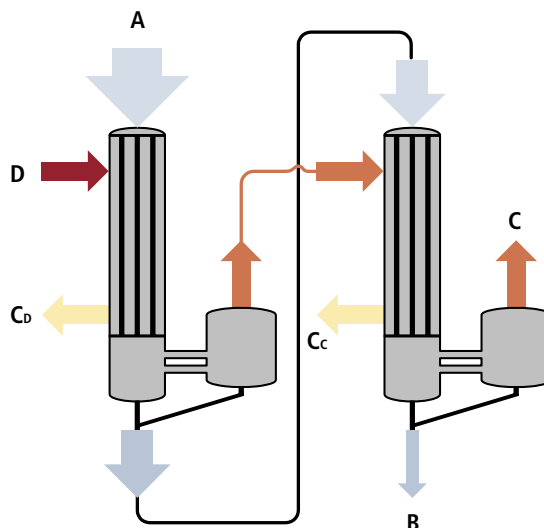
Механическая компрессия



Выпарные установки с механическим сжатием вторичного пара отличаются особенно низким потреблением энергии. По принципу действия такие установки сходны с тепловым насосом. Почти весь вторичный пар сжимается за счет электроэнергии и возвращается в аппарат. Установка требует минимального расхода острого пара – как правило, только при пуске. Количество сбросной теплоты, которую требуется рассеивать, при такой схеме значительно сокращается.

2-корпусная конструкция

Если вторичный пар, произведенный за счет первичной энергии, используется в качестве греющего пара во втором корпусе выпарного аппарата, общий расход энергии в системе снижается приблизительно на 50%. Применение данного принципа в остальных корпусах позволяет сэкономить еще больше энергии.



- A Исходный раствор
- B Концентрат
- C Конденсат
- C_c Конденсат вторичного пара
- C_b Конденсат греющего пара
- D Греющий пар
- E Электроэнергия

Критерии выбора конструкции, компоновки и режима работы выпарных установок

При конструировании выпарных установок необходимо учитывать множество различных, зачастую противоречивых требований. Они определяют конструкцию и компоновку системы, параметры технологического процесса и экономические показатели.

Выпарные установки GEA Wiegand выделяются высоким качеством, эффективностью и совершенством конструкции. Это результат внимательного отношения к вышеуказанным критериям и индивидуальным требованиям заказчика. Особый упор делается на обеспечение надежности и удобства эксплуатации.

Важнейшие из этих требований:

■ **производительность и рабочие данные**, такие как количества веществ, концентрации, температуры, число рабочих часов в году, условия смены продукта, параметры управления и т.д.;

■ **характеристики продукта**, такие как термочувствительность, вязкость и реологические свойства, возможность вспенивания, загрязнения поверхностей и инкрустации, особенности кипения и т.д.;

■ **требования в отношении рабочей среды**, например, пара, охлаждающей воды, электроэнергии, чистящих жидкостей, запасных частей и т.д.;

■ **выбор конструкционных материалов** и качества отделки поверхностей;

■ **капитальная стоимость и окупаемость**; затраты на зарплату эксплуатационного и обслуживающего персонала;

■ **местные условия**, такие как доступное пространство, климат (при наружной установке), линии подачи энергии и продукта, платформы для обслуживания и т.д.;

■ **законодательная и нормативная база** в отношении охраны труда, техники безопасности, ограничения шума, охраны окружающей среды и т. д, в зависимости от специфики проекта.

Компоненты выпарных установок

Главной частью любой выпарной установки является нагревательная камера. Кроме нее необходимо несколько дополнительных компонентов.

Важнейшие из них – это конденсаторы, подогреватели, насосы, фитинги, воздушные клапаны, вакуумные системы и системы очистки.

Если процесс требует разделения веществ, установки могут оснащаться ректификационными колоннами, аппаратами мембранной фильтрации, скрубберами и системами извлечения ароматических веществ.

Для бесперебойной работы установка оснащается первоклассным контрольно-измерительным оборудованием и компьютерной системой мониторинга.

Защитное оборудование, тепловая и звуковая изоляция и, разумеется, внимательное отношение ко всем деталям, обеспечивают безопасность эксплуатации установки.

GEA Wiegand конструирует, производит и поставляет готовые к эксплуатации выпарные установки. Наш опыт и доскональное знание всех компонентов позволяет подобрать для каждой задачи именно то оборудование, которое обеспечит надлежащую работу всей установки.

Компоненты выпарных установок

Подогреватели и нагреватели

В большинстве случаев исходный раствор требуется нагреть до температуры кипения перед подачей в нагревательную камеру. Как правило, для этой цели применяются кожухотрубные или пластинчатые подогреватели.

Выпарные аппараты

Выбор типа выпарного аппарата зависит от особенностей конкретной задачи и характеристик продукта.

Сепараторы

Каждый выпарной аппарат оборудуется устройством для отделения пара от жидкости. В зависимости от области применения это могут быть сепараторы центробежного или гравитационного действия с отбойниками или без них. Главные критерии при выборе их конструкции – это эффективность разделения, потеря давления и требуемая периодичность чистки.

Конденсаторы

Вторичный пар по возможности используют в качестве греющего в следующих корпусах и подогревателях или, после сжатия, в том же корпусе выпарного аппарата. Образующийся в последнем корпусе выпарной установки вторичный пар, теплоту которого невозможно утилизировать, приходится конденсировать. Выпарные установки могут оснащаться поверхностными конденсаторами или конденсаторами смешения, а охлаждающей средой может служить как вода, так и воздух.

Системы деаэрации и вакуумирования

Вакуумные насосы требуются для поддержания вакуума в выпарной установке. Они удаляют из процесса проникающий в установку воздух, а также неконденсирующиеся газы, в том числе те, что присутствовали в исходном растворе. В зависимости от размеров и режима работы выпарной установки в ней используются струйные или водокольцевые насосы.

Насосы

Выбор насосов определяется широким кругом условий, связанных с особенностями конструкции и режима эксплуатации установки. Основные критерии выбора насосов – это свойства продукта, высота всасывания, расходы и отношение давлений в установке. Для маловязких продуктов применяются, в основном, центробежные насосы. Высоковязкие продукты требуют использования объемных насосов. Для перекачки жидкостей с высоким содержанием твердой фазы или кристаллизующихся продуктов применяются другие типы насосов, например, осевые. Тип и размер насоса, его скорость, тип уплотнений и используемые материалы зависят от особенностей конкретной задачи и условий эксплуатации.

Системы чистки

В зависимости от свойств продукта греющие поверхности могут покрываться накипью или загрязнениями. В большинстве случаев такие отложения можно удалить химическими средствами. Соответственно, выпарная установка оборудуется необходимыми компонентами – емкостями для моющих жидкостей, дополнительными насосами и фитингами. Это оборудование, которое позволяет мыть установку без ее демонтажа, обычно называется системой безразборной мойки - CIP. Моющие средства выбираются в соответствии с типом отложений. Эти средства проникают внутрь инкрустаций и растворяют их или отделяют от поверхности, которая остается чистой и, если требуется, стерильной.

Скрубберы

Необходимость в скрубберах возникает в том случае, если установка нагревается не острым паром, а отработанными газами другого процесса, например, паром из сушилки. Такой пар необходимо очистить перед подачей в нагревательную камеру выпарной установки во избежание ее загрязнения.

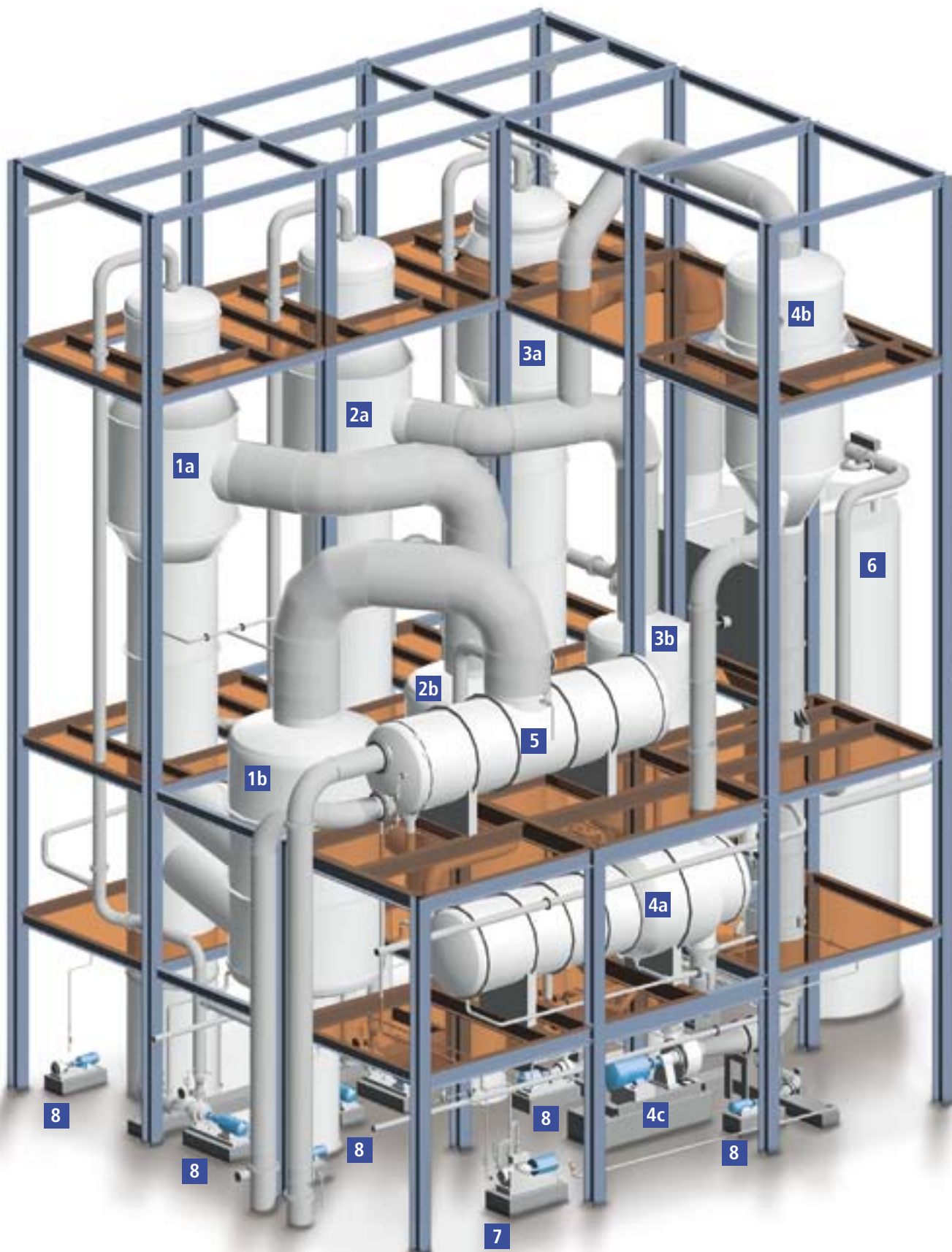
Системы очистки конденсата

Несмотря на оптимизированную конструкцию каплеотделителей, чистота конденсата может оказаться ниже требуемой, особенно если продукт содержит летучие компоненты. В зависимости от условий эксплуатации конденсат можно дополнительно очистить в ректификационной колонне или на установке мембранной фильтрации.

Материалы

Материалы, из которых изготовлена установка, определяются свойствами продукта и требованиями заказчика. В установках применяются разнообразные материалы, выбор которых зависит от коррозионных свойств продукта при рабочих условиях. Чаще всего применяется нержавеющая сталь. При особых требованиях могут использоваться хастеллой, титан, никель, медь, графит, обрешиненная сталь или синтетические материалы. Разумеется, установка проектируется и изготавливается в соответствии с международными стандартами, директивами и нормами.

4-корпусная установка для выпаривания кукурузной барды в составе 3-корпусного аппарата с падающей пленкой и однокорпусного аппарата с принудительной циркуляцией. Выпарная установка нагревается отработанным паром из сушилки, который очищается в скруббере. Производительность по испаренной влаге: 130 т/час



1a,b Выпарной аппарат с падающей пленкой с сепаратором центробежного действия
2a,b Выпарной аппарат с падающей пленкой с сепаратором центробежного действия
3a,b Выпарной аппарат с падающей пленкой с сепаратором центробежного действия
4a,b,c Выпарной аппарат с принудительной циркуляцией, оборудованный сосудом мгновенного испарения – сепаратором гравитационного действия и циркуляционным насосом.

5 Поверхностный конденсатор
6 Скруббер пара
7 Вакуумный насос
8 Насосы продукта и конденсата

Контрольно-измерительная аппаратура

Главная цель процесса выпаривания – получение продукта с постоянной конечной концентрацией. Поэтому важно поддерживать стабильность всех рабочих параметров, таких как давление греющего пара, подача продукта, давление в корпусах аппарата, которые могут повлиять на работу установки или изменить материальный и тепловой баланс.

Выпарные установки GEA Wiegand оснащаются необходимой контрольно-измерительной аппаратурой согласно техническим требованиям и пожеланиям заказчика. Мы поставляем как традиционные системы управления, так и сложные управляющие комплексы.

1. Ручное управление

Управление установкой осуществляется с помощью клапанов с ручным управлением. Периодически необходимо отбирать пробы сгущенного продукта. Этот тип управления подходит для простых установок или для продуктов, допускающих небольшие колебания качества.

2. Полуавтоматическая система управления

Важнейшие параметры, такие как давление греющего и вторичного пара, расход сырья, плотность сгущенного раствора и уровень жидкости, поддерживаются соответствующими регуляторами и записываются регистратором данных. Двигателями насосов и клапанами оператор управляет вручную с панели управления.

3. Полуавтоматическая система управления на основе ПЛК

Управление установкой осуществляется программными регуляторами, реализуемыми посредством программируемого логического контроллера (ПЛК), а ввод команд и контроль работы установки выполняется через персональный компьютер (ПК). Оператор вручную управляет регуляторами, двигателями и клапанами с ПК. Система способна реализовать небольшие запрограммированные последовательности, такие как “режим чистки”. Все ключевые измеренные величины регистрируются и отображаются на мониторе. Контрольно-измерительные приборы и автоматика выбираются на основе технических условий GEA Wiegand и заказчика.



4. Автоматическая система управления на основе ПЛК

Расширенная версия системы на базе ПЛК реализует запрограммированные последовательности – пуска, переключения на другой продукт, производства продукта, чистки и останова.

С помощью информационных шин можно организовать централизованную систему контроля и управления установкой. Уставки и другие ключевые параметры вводятся через окна графического дисплея. Установка обладает функцией самоконтроля и автоматически переключается в безопасный режим в случае эксплуатационных неполадок. Применение систем с несколькими пультами управления делает работу операторов более удобной.

5. Система управления процессом

Установкой управляет одна или несколько автоматических систем, которые могут быть интегрированы в уже имеющиеся на заводе системы управления. Такая система управления особенно удобна в случае производства нескольких продуктов или периодических процессов.

Изготовление, транспортировка, монтаж, ввод в эксплуатацию и послепродажное обслуживание выпарных установок



Завод GEA Wiegand расположен в г. Бекум, Вестфалия. Он занимает площадь более 6500 м², здесь производятся и готовятся к транспортировке крупные узлы наших установок.

Малые установки могут полностью собираться на заводе-изготовителе и поставляться в виде одного или нескольких подготовленных к соединению блоков. Большинство установок, однако, в силу их размеров собирается на месте.

Выпарные установки могут отличаться очень сложной компоновкой, и их ввод в эксплуатацию требует определенного опыта. Поэтому такая задача поручается опытным специалистам, которые могут обучить персонал заказчика.

Каждая установка для своей оптимальной работы требует квалифицированного обслуживания. Для такого обслуживания нужны специалисты, способные, при необходимости, немедленно выявить и устранить причину неполадок, и свести к минимуму потери из-за простоя оборудования. Вы можете воспользоваться услугами подготовленных специалистов нашей технической службы. Они досконально знают все тонкости этой работы и произведут техническое обслуживание и ремонт быстро и тщательно. Наша служба доставки запасных частей отлично организована. Укажите заводские коды и названия изделий, и мы вышлем заказанные запасные части или прејскуранты на них.

Краткий обзор нашего ассортимента

Выпарные установки

для концентрирования всех видов жидких пищевых продуктов, органических и неорганических растворов, сточных вод и других жидких материалов в однокорпусных или многокорпусных аппаратах с полным или частичным тепловым насосом, оснащенных необходимыми компонентами для нагревания, охлаждения, дегазации, кристаллизации, ректификации и т. д.

Мембранная фильтрация

для концентрирования жидких пищевых продуктов, технической воды, органических и неорганических растворов и сточных вод; для отделения примесей с целью повышении качества продукта и регенерации ценных материалов; установки основаны на технологиях, являющихся собственностью GEA Filtration, Гудзон, США.

Установки дистилляции и ректификации

для разделения многокомпонентных смесей, например, для регенерации органических растворителей, для производства, очистки и обезвоживания биоспирта разного качества.

Технологические линии для производства спирта,

включая оборудование для обработки и сбраживания сырья, дистилляции спирта, обработки и сушки барды.

Установки для кристаллизации

различных продуктов, а также соленых сточных вод.

Изучение продукта, инжиниринг

установок, входящих в ассортимент нашей продукции.



Представитель «ГЕА Виганд» в России

Россия • 105094 • Москва • ул.Семеновский Вал • д.6 • стр. 1

Телефон: +7 495 787 2020 • Факс: +7 495 787 2022 • E-mail: gewi@niro.ru • www.gea-wiegand.ru

GEA Wiegand GmbH • Einsteinstrasse 9–15 • D-76275 Ettlingen • Germany • Phone: +49 (0) 72 43 / 7 05-0

Fax: +49 (0) 72 43 / 7 05-3 30 • E-Mail: info@gea-wiegand.de • Internet: www.gea-wiegand.com