

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ
ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ВЫПАРНЫХ УСТАНОВОК С ТЕПЛОВЫМ НАСОСОМ**
Study of the possibility of creating of high-performance evaporators with heat pump

Л. А. Минухин, профессор, доктор технических наук,
Г. А. Меньшенин, студент Уральского государственного аграрного университета
(Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42)

Аннотация

Рассматривается возможность снижения расхода греющего пара на выпаривание путем использования теплового насоса, в том числе пароструйного. Показано, что при определенных соотношениях давления греющего пара, вторичного пара и исходного пара высокого давления эффективность 1-корпусной выпарной установки становится соизмеримой с эффективностью 3–5-корпусной выпарной установки.

Ключевые слова: выпарной аппарат, удельный расход, пароструйный инжектор, греющий пар, вторичный пар.

Summary

There is considered the possibility of reducing of the consumption of heating steam for evaporation by using a heat pump, including a steam. It is shown that for certain ratios of pressure of the heating steam, secondary steam and high pressure steam source efficiency of monohull evaporator becomes comparable with the efficiency of the initial 3–5-hull evaporator.

Keywords: evaporator, flow rates, steam injector, heating steam, secondary steam.

Как известно [4, 7], выпаривание осуществляют для концентрирования растворов, выделения растворенного вещества или получения чистого растворителя. При этом одной из важнейших характеристик выпарных установок, предназначенных для этих целей, являются удельные затраты энергии на выпаривание. Характеристикой удельных затрат энергии, как правило, являются отношение количества греющего пара, потребляемого установкой, к количеству выпаренной воды из исходного раствора при концентрировании или непосредственно отношение расхода тепловой энергии на выпаривание к упомянутому выше количеству выпаренной воды.

В этой статье рассматриваются возможности снижения энергозатрат в выпарных аппаратах с тепловым насосом.

В выпарных аппаратах с тепловым насосом (или с термокомпрессией вторичного пара) вторичный пар сжимается до давления греющего пара и используется для обогрева того же аппарата, в котором он образуется. Для сжатия пара применяют компрессоры или пароструйные инжекторы. Таким образом, в тепловых насосах, или трансформаторах тепла, затрачиваемая извне энергия используется для повышения температуры вторичного пара.

В механических тепловых насосах пар сжимается с помощью турбокомпрессора; при малой производительности применяют ротационные компрессоры. На рис. 1 показана одно-корпусная выпарная установка со сжатием всего вторичного пара в компрессоре (а) и в пароструйном инжекторе (б).

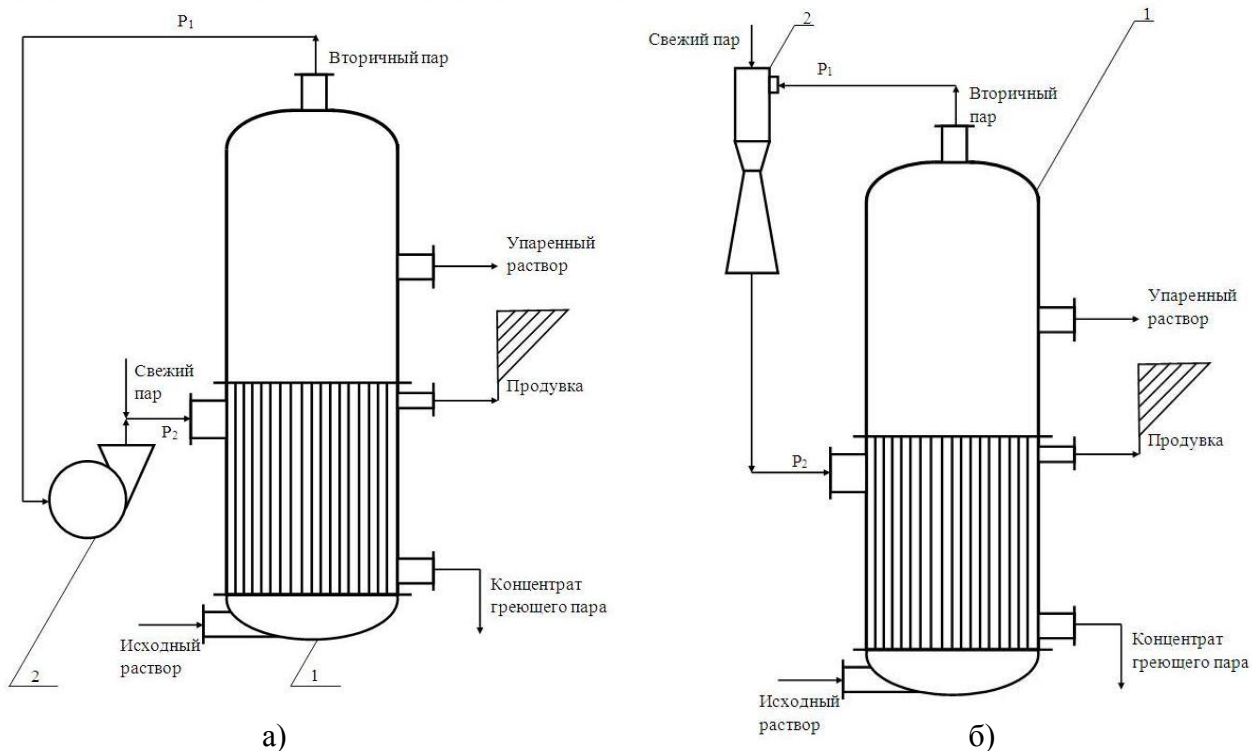


Рис. 1: а) выпарная установка с механическим тепловым насосом;

б) выпарная установка с пароструйным тепловым насосом: 1 – выпарной аппарат; 2 – турбокомпрессор

При пуске аппарата раствор подогревается свежим паром до кипения, после чего выпаривание производится за счет работы, затрачиваемой в компрессоре (механическое выпаривание). При этом теоретически добавки свежего пара не требуется; на практике обычно добавляют немного пара со стороны в связи с расходом тепла на подогрев раствора и потерями в окружающую среду.

В пароструйных тепловых насосах рабочий пар высокого давления расширяется в сопле инжектора и засасывает вторичный пар. Из инжектора выходит смесь паров при некотором среднем давлении. При применении пароструйного инжектора образуется избыток вторичного пара, который может быть использован для обогрева последующих корпусов многокорпусной выпарной установки, в частности для двухкорпусной выпарной установки, как это показано на рис. 2 [4].

Повышенный потенциал греющего пара (при давлении в греющей камере порядка 110–115 кПа пар ТЭЦ, используемый в качестве греющего, имеет потенциал 150–180 кПа) в данной установке позволяет снизить расход на 10–15 % [4].

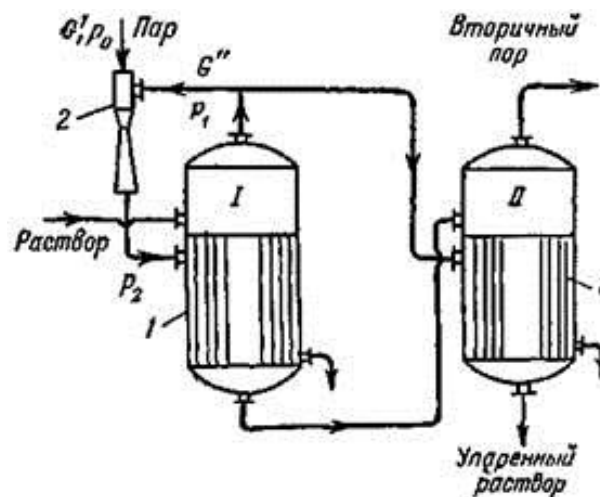


Рис. 2. Выпарная установка с пароструйным тепловым насосом: 1 – выпарной аппарат; 2 – инжектор

Преимуществами пароструйных тепловых насосов перед механическими насосами являются простота устройства, дешевизна и надежность в работе. Принципиальная конструктивная схема пароструйного инжектора представлена на рис. 3 [4].

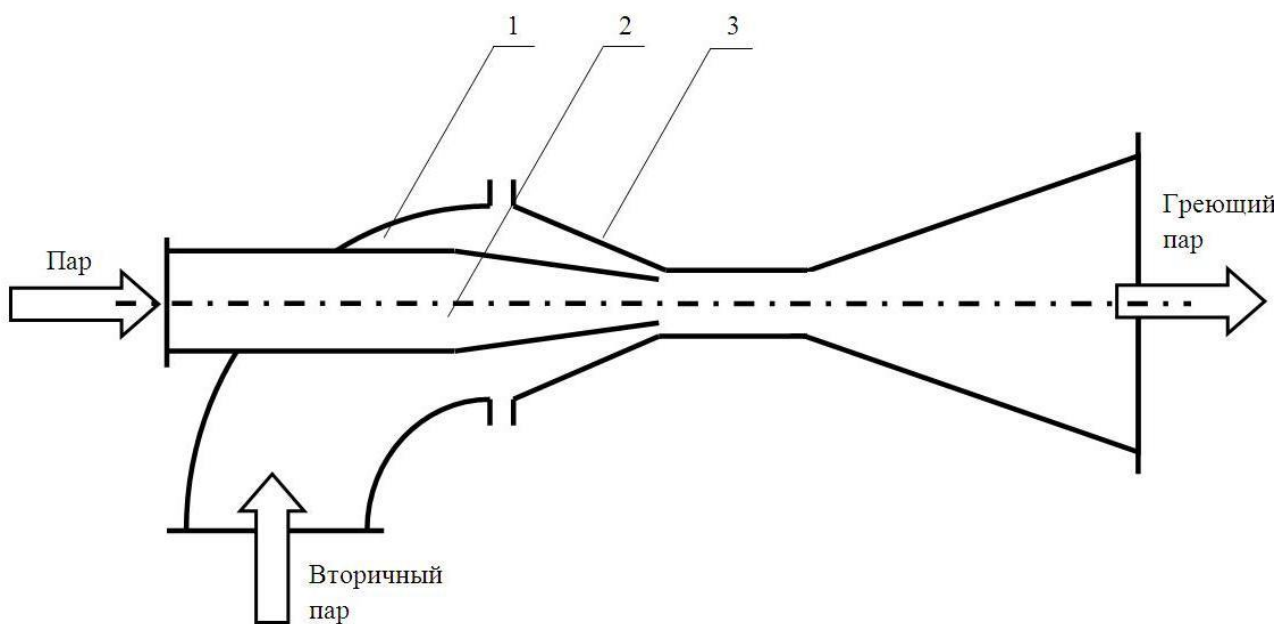


Рис. 3. Схема пароструйного инжектора: 1 – камера всасывания; 2 – сопло; 3 – диффузор

Пароструйными инжекторами снабжены однокорпусные установки, применяемые в молочной и консервной промышленности, и первые корпуса многокорпусных выпарных установок в сахарной промышленности.

В инжекторе при помощи рабочего (острого) пара высокого давления повышают давление вторичного пара до параметров греющего пара. Благодаря этому дорогостоящий греющий пар частично заменяется сжатым в инжекторе вторичным паром.

Пароструйный инжектор включает три основных части: камеры всасывания 1, сопла 2 и диффузоры 3. Проходя сопло, рабочий пар расширяется, давление его падает, а скорость

вырастает до 1000 м/с и выше. Выходя из сопла с такой большой скоростью, рабочий пар пролетает через камеру всасывания в диффузор, увлекая за собой вторичный пар и смешиваясь с ним. В диффузоре скорость пара уменьшается, а его давление по длине возрастает, т. е. пароструйный инжектор работает по принципу преобразования потенциальной энергии в кинетическую в сопле и, наоборот, кинетической в потенциальную – в диффузоре [7].

Разнообразие конструкций выпарных аппаратов, схем их использования и требований, предъявляемых к схемам и аппаратам, осложняет выбор аппарата для конкретного случая выпаривания. Поэтому в каждом отдельном случае надо руководствоваться следующими общими требованиями.

Аппарат должен удовлетворять технологическим условиям выпаривания данного конкретного продукта. Если продукт не выдерживает длительного воздействия температуры (термолабильные растворы), то предпочтительнее аппараты с кратковременным пребыванием раствора, вакуум-аппараты и аппараты с термокомпрессией. Если продукт кристаллизуется, то в большинстве случаев требуется надежная организованная циркуляция во избежание осаждения кристаллов. Для жидкостей с большой вязкостью выбирают трубные аппараты с большим диаметром кипячительных труб; для небольшого количества продуктов применимы рубашечные аппараты с мешалками.

Для обеспечения минимальной разности в давлении между греющим паром и вторичным паром поверхность нагрева аппарата должна обеспечивать высокие коэффициенты теплопередачи. Были проанализированы выпарные аппараты с естественной циркуляцией раствора и вынесенной зоной кипения, выпарные аппараты с принудительной циркуляцией раствора, пленочные выпарные аппараты, в том числе пленочно-роторные [3].

Выпарной аппарат с естественной циркуляцией раствора и вынесенной греющей камерой требует перепада температур между концентрируемой жидкостью минимум 10 °С, к тому же обладает низким коэффициентом теплопередачи, и требует при работе более высоких температур, чем это требуется для производства концентрированного свекольного сока [3].

Выпарные аппараты с принудительной циркуляцией раствора обладают хорошим коэффициентом теплопередачи и способны работать при небольших перепадах температур (6–8 °С), но работа циркуляционного насоса требует значительных энергетических затрат [3].

Выпарные аппараты с пленочной греющей камерой, в частности выпарной аппарат с падающей пленкой, пригодны для растворов, обладающих хорошей текучестью (молока, сыворотки, плодово-ягодных соков, слабоконцентрированных бульонов). Эти аппараты имеют достаточно высокий коэффициент теплопередачи и могут работать при небольших полезных разностях температур, порядка 3–6 °С [3].

Пленочно-роторные выпарные аппараты целесообразнее применять для вязких или кристаллизующихся сред, к тому же они требуют больших энергетических затрат [3].

Многокорпусные выпарные аппараты требуют высоких температур, что неприемлемо для производства концентрированного свекольного сока, их использование более выгодно для термостойких жидких сред. К тому же несколько корпусов требуют больших затрат на изготовление установки и большей занимаемой производственной площади, а это, в свою очередь, отрицательно сказывается на себестоимости конечного продукта.

Выпарные аппараты, в которых применяются турбокомпрессоры и пароструйные инжекторы, более эффективны. Установлено, что при использовании турбокомпрессоров можно достичь 50%-й экономии первичного пара, но суммарная экономия незначительна, так как сам турбокомпрессор требует энергозатрат на свою работу. Уже разработанные пароструйные

инжекторы предлагают коэффициент инжекции U_{\max} 1,1–1,6, что позволяет заметно экономить [7].

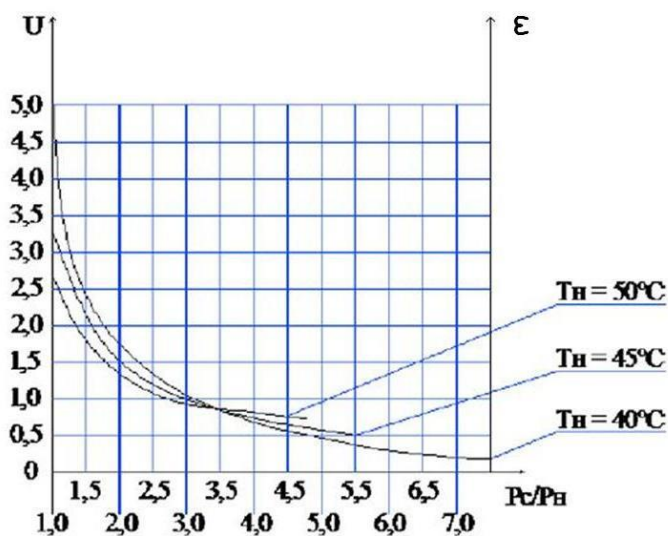


Рис. 4. График зависимости коэффициента инжекции от степени сжатия

Из графика и расчетов видно, что чем меньше степень сжатия, тем выше коэффициент инжекции. Степень сжатия, в свою очередь, зависит от значения давлений греющего и вторичного пара, соответственно P_c и P_n , и, следовательно, от полезной разности температур между греющей камерой и сепаратором, которая должна быть как можно меньшей, что и показал приведенный выше расчет режимов выпаривания.

С другой стороны, коэффициент инжекции при постоянном давлении инжектируемого пара будет тем выше, чем больше значение давления рабочего (острого) пара, что и определило задачу проекта – создание установки с высоким значением рабочего давления.

Затраты работы на сжатие пара повышаются с увеличением разности давлений, а следовательно, и разности температур насыщения греющего и вторичного пара. При этом работа приблизительно пропорциональна указанной разности температур. Так как эта разность равна температурному напору плюс депрессии, затрата работы возрастает с увеличением депрессии раствора. На практике применение тепловых насосов целесообразно при депрессии не более 10–12 °С.

Экономическая целесообразность применения выпарных аппаратов с тепловым насосом определяется соотношением стоимости энергии, затрачиваемой на сжатие вторичного пара, и стоимости свежего греющего пара на данном предприятии. В одних случаях выпарной аппарат с тепловым насосом может оказаться экономичнее многокорпусной вакуум-батареи, в других – наоборот.

Целесообразность применения теплового насоса может быть в каждом отдельном случае определена путем технико-экономических расчетов. Показателем его экономичности является отношение стоимости энергии, затрачиваемой на сжатие вторичного пара в компрессоре, к стоимости свежего пара, подаваемого на выпарную установку. В некоторых случаях это отношение может оказаться настолько малым, что применение одноступенчатого выпарного аппарата с тепловым насосом становится более экономичным, чем даже применение многоступенчатой выпарной установки.

По условиям теплопередачи более выгодны многокорпусные аппараты с противотоком раствора и паров. Здесь начальный раствор движется по направлению от последнего корпуса к первому, а первичный и вторичные пары – в обратном направлении, так что раствор конечной концентрации (наиболее вязкий) выпаривается при самой высокой температуре. Однако существенным недостатком данной схемы является необходимость перемещения раствора в сторону нарастающего давления, что требует установки насосов между корпусами или применения выпарных аппаратов с принудительной циркуляцией раствора. Кроме того, концентрированный раствор, уходя из корпуса I (при высокой температуре), уносит большее количество тепла, чем в предыдущем случае.

Таким образом, наиболее перспективным путем создания экономичных выпарных установок являются использование выпарных аппаратов с падающей пленкой и применение пароструйных инжекторов.

Библиографический список

1. Видлер С. И. Выбор, расчет и применение парожеткорных вакуум-насосов. Передовой научно-технический и производственный опыт. 1963. № 20-63-319/7. 35 с.
2. Горбатюк В. И. Процессы и аппараты пищевых производств. М. : Колос, 1999. 335 с.
3. Кавецкий Г. Д., Васильев Б. В. Процессы и аппараты пищевой технологии. 2-е изд. М. : Колос, 2000. 551 с.
4. Минухин Л. А. Расчет сложных процессов тепло и массообмена в аппаратах пищевой промышленности. М. : Агропромиздат, 1986. 170 с.
5. Плановский А. Н., Рамм В. М., Каган С. З. Процессы и аппараты химической технологии. М. : Химия, 1966. 640 с.
6. Процессы и аппараты пищевых производств. Методические указания к выполнению лабораторной работы. Расчет парового кожухотрубного нагревателя для специальности 170600 / Л. А. Минухин; Екатеринбург : Уральский государственный экономический университет, 1995. 41 с.
7. Стабников В. Н., Баранцев В. И. Процессы и аппараты пищевых производств. 2-е изд. М. : Пищевая промышленность, 1974. 360 с.