

УДК.541.18.045:66.0

РАЗРАБОТКА И ИСЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЭКОНОМИЧНЫХ ВЫПАРНЫХ АППАРАТОВ

А.И.Ершов, Ю.П.Лунчук, И.М.Плехов
(БГТУ, г.Минск)

Процессы выпаривания растворов относятся к числу наиболее энергоемких, поскольку связаны с переводом вещества из одного агрегатного состояния в другое, т.е. жидкости в пар. При этом удельные затраты энергии на единицу испаряемой влаги существенно зависят от способов их проведения, аппаратурного оформления и степени использования вторичного тепла.

Как известно, при концентрировании растворов одно- и многократным испарением влаги в типовых выпарных аппаратах для интенсификации теплообмена предложены технические решения с естественной и принудительной циркуляцией раствора [1], а для снижения температурных потерь на гидростатический эффект и устранения разложения термолабильных продуктов - пленочные аппараты и роторно-лопастные [2]. Из них роторные аппараты сложны по устройству и требуют установки электропривода, что приводит к дополнительным энергозатратам, а конструкции пленочного типа имеют большие габариты.

Во вновь созданной авторами конструкции подогрев раствора и испарение из него влаги при кипении осуществляется с помощью нагревательных устройств плоско-овальной формы, расположенных горизонтально секциями. Причем раствор подогревается и кипит в межэлементном пространстве, а греющий пар движется и конденсируется внутри нагревательных элементов.

Благодаря секционированному расположению у наружной поверхности нагревательных элементов возникает организованный контур циркуляции кипящего раствора вместе с пузырьками вторичного пара в зазорах между элементами вверх, а в зазорах между секциями вниз из-за существенной разности плотностей восходящего и нисходящего потоков. Это обусловлено тем, что поверхность теплообмена, приходящаяся на единицу объема раствора в зазорах между элементами в несколько раз больше, чем в зазорах между секциями. Перегрев же раствора и температурные потери на гидростатический эффект устраняются благодаря его низкому уровню в зоне кипения.

Разработка методики расчета таких аппаратов потребовала проведения исследований по изучению влияния на интенсивность протекания процессов геометрии и расположения нагревательных элементов, величины движущей силы и физико-химических свойств

растворов. Опыты осуществлялись на лабораторных моделях с горизонтальным расположением нагревательных элементов, эквивалентный диаметр которых составлял 0.012 и 0.018 м, а поверхность теплообмена равнялась 0.11 м^2 в одной 3-элементной секции, 0.51 и 0.92 м^2 в 3-элементных секциях. Теплоносителем служил водяной пар, а упариваемой средой - вода, растворы карбамида, капролактама и сахара. Выбор растворов определялся, во-первых, возможностью практической реализации данных аппаратов в производстве и, во-вторых, необходимостью изменения свойств растворов в широких пределах:

- вязкости $\nu = 0,295 \cdot 10^{-6} + 1,167 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$;
- плотности $\rho_{\text{ж}} = 958 + 1200 \text{ кг}/\text{м}^3$;
- теплопроводности $\lambda = 0,315 + 0,683 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$;
- теплоемкости $C = 3,0 + 4,23 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$;
- поверхностного натяжения $\sigma = 37,5 \cdot 10^{-3} + 64 \cdot 10^{-3} \text{ Н}/\text{м}$.

Давление в зоне кипения менялось от атмосферного до разряжения 0.05 МПа , а греющего пара от 0.12 до 0.25 МПа , в результате чего менялась и движущая сила процесса от 6 до $30 \text{ }^\circ\text{C}$.

Согласно проведенным наблюдениям и замерам установлено, что раствор кипит во всем объеме межэлементного пространства и обеспечивается организованный контур циркуляции, интенсивность которого зависит от величины движущей силы Δt и расположения самих элементов. При разных значениях Δt имеют место 3 режима кипения: конвективный, пузырьковый и пленочный. Минимально допустимая полезная разность температур, обеспечивающая стабильную работу аппарата, равна $9-10 \text{ }^\circ\text{C}$. При $\Delta t = 15-25 \text{ }^\circ\text{C}$ наблюдается режим пузырькового кипения, при котором с увеличением полезной разности температур возрастает значение коэффициента теплопередачи и удельной тепловой нагрузки. При увеличении Δt выше 25 величина удельной тепловой нагрузки начинает снижаться, что свидетельствует о "кризисе" кипения, соответствующем переходу пузырькового кипения в пленочное [3].

В результате обработки экспериментальных данных получены графические зависимости коэффициента теплопередачи K , плотности теплового потока q и удельного паросъема W от движущей силы процесса Δt с учетом геометрии нагревательных устройств и свойств растворов. Эти зависимости свидетельствуют о сохранении общих физических закономерностей, установленных для тепловых процессов при кипении жидкости, и тем самым подтверждают корректность постановки опытов. Кроме того, теплотехнические параметры у воды и водных растворов неорганических веществ превосходят таковые у растворов органических веществ, что также согласуется с известными закономерностями.

Выполнена сравнительная технико-экономическая оценка характеристик исследованного аппарата и выпарных аппаратов с кожухотрубной нагревательной камерой (см. журнал "Химическое и нефтяное машиностроение", №5, 1967), показавшая преимущества нового варианта.

Таким образом, результаты исследований подтвердили перспективность использования выпарных аппаратов с минимальными температурными потерями на гидростатический эффект для концентрирования растворов в химической, пищевой, фармацевтической и других отраслях промышленности.

В частности, разработан технический проект опытно-промышленного выпарного аппарата для регенерации осадительной ванны - раствора роданистого натрия в цехе "Нитрон" ПО "Полимир", где в настоящее время эксплуатируются две двухкорпусные выпарные установки производительностью 40 т/час по упариваемой влаге. В одном из 2 корпусов каждой установки используется первичный водяной греющий пар, а во втором - вторичный пар раствора. При этом удельный расход греющего водяного пара в среднем составляет 0.55 кг/кг, что приводит к большим энергозатратам и завышенной стоимости готового продукта. В качестве нагревательных устройств применяются вертикальные кожухотрубные теплообменники с высотой труб 3-4 метра, в которых из-за наличия гидростатического эффекта снижается движущая сила процесса выпаривания и имеет место частичное разложение раствора.

Опытно-промышленный выпарной аппарат включает в себя четыре ступени концентрирования в одном корпусе и рассчитан на производительность 40 т/ч по упариваемой влаге. Удельный расход греющего пара при этом составит 0.29 кг/кг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Выпарные трубчатые аппараты для химических производств. Каталог. - М.: ЦИНТИ, 1985.
2. Соколов В.Н., Яблоков М.А. Аппаратура микробиологической промышленности. - Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. - 168-210
3. Сенеш Э., Надабан П. Процессы выпаривания в пищевых производствах. - М.: Из-во "Пищевая промышленность", 1969. - 13-73