

УДК 66.048.54.

Нечипоренко Д.И., Фокин В.С., Пономаренко Е.Д., Нечипоренко С.Д.

## **К ВОПРОСУ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ ВЫПАРИВАНИИ РАСТВОРОВ**

В настоящее время во всем мире и в частности в Украине чрезвычайно остро стоят вопросы снижения энергозатрат и ограничения вредных выбросов в окружающую среду практически во всех отраслях производства.

Снижение энергозатрат и уменьшение вредных выбросов может быть достигнуто только разработкой и внедрением в производство новых рациональных тепловых схем, теплоиспользующих аппаратов и конструкций которые предусматривали бы такое распределение теплоносителей применительно к технологическому процессу, при котором обеспечивались бы заданные технологическим регламентом параметры (температура, концентрация, давление, разрежение и т.д.) при минимальном расходе тепловой и электрической энергии.

При составлении рациональных тепловых схем необходимо учитывать и использовать новейшие достижения в аппаратном оформлении и в теплотехнических расчетах.

Важнейшим участком тепловой схемы любого производства где возникает необходимость в концентрировании растворов, является выпарная установка (ВУ), предназначенная для сгущения какого либо раствора до заданного процентного содержания сухих веществ.

Процесс выпаривания нашел широкое применение в химической, пищевой и фармацевтической промышленности, а также при очистке сточных вод от различных токсиантов. При этом довольно часто приходится сталкиваться с необходимостью выпаривания термолабильных (термонестойких) растворов – растворов которые при повышенных температурах довольно быстро начинают разлагаться и теряют свои свойства.

Помимо сгущения растворов ВУ снабжает отделения завода паром необходимого потенциала. С целью экономии первичного пара процесс выпаривания производится в многокорпусных ВУ с многократным использованием теплоты вторичного пара. Принцип многоступенчатого выпаривания дает значительный экономический эффект по сравнению с одноступенчатым.

Таким образом, необходимость решения этих задач послужила основанием для постановки и проведения комплексного теоретического и экспериментального исследования работы ВУ для выпаривания термонестойких растворов с числом корпусов от 2-х до 10-и, различных конструкций и при различных исходных данных.

В настоящее время многокорпусные выпарные установки (МВУ), применяемые для выпаривания растворов, являются потребителями большого количества тепла пара и требуют значительных капитальных затрат.

Одной из главных задач снижения этих затрат, является усовершенствование поверхности нагрева греющей камеры и уменьшение расхода греющего пара на единицу выпаренной воды, достигаемое за счёт параллельной подачи питающего раствора по корпусам МВУ и подогрева исходного раствора до температуры близкой к температуре кипения вторичными теплоносителями – конденсатом греющего пара и экстрапаром первого корпуса.

Поэтому была разработана математическая модель процессов выпаривания в МВУ. Метод математического моделирования ВУ разработан для следующих целей:

- 1) исследования и разработки новых, более совершенных тепловых схем и нового оборудования ВУ;
- 2) оптимального проектирования ВУ;
- 3) определения возможности применения серийно выпускаемых выпарных установок для конкретных условий производства.

Математическое моделирование на ПЭВМ уже пришло на смену существующим методам расчета ВУ и другого теплоиспользующего оборудования, которое обычно применяется при тепловых расчетах и проектировании. Такая замена обусловлена, прежде всего, тем, что применяемые ранее методы ручного расчета МВУ, несмотря на их многократное улучшение, отличаются большой трудоемкостью и сравнительно невысокой точностью. Последнее вызвано тем, что расчет ведется раздельно для составных частей комплекса, а также без учета целого ряда факторов, претерпевающих изменение при переходе от одного варианта ВУ к другому и при изменении условий работы.

Поэтому для расчёта МВУ был создан программный комплекс «МВУ». Для разработки автоматизированной системы расчета работы МВУ, кроме полученной математической модели, необходимо было создать программное обеспечение. А для реализации программного обеспечения автоматизированной системы необходимо выбрать удобный пользователю оконно-диалоговый интерфейс и современные средства моделирования: численные методы решения выпарных установок, функции отклика, план проведения факторного эксперимента, способ нахождения целевой функции.

Программный комплекс «МВУ» реализован на языке Visual Pascal в среде Delphi 5.5b и может быть использован на любых IBM совместимых полиномах в операционных средах Windows 9x и позволяет выполнять теплотехнологические расчёты с целью установления температурных режимов, а также распределение материальных и тепловых потоков между корпусами установки.

Программа даёт возможность выполнять расчёты для реализации процессов выпаривания, различных конструкций аппаратов, схем подогрева и типов раствора. Расчёт полностью автоматизирован.

В основу алгоритма расчета была положена принципиальная схема прямоточной выпарной станции представленная на рис. 1.

В этой схеме максимальное количество подогревателей исходного раствора было принято  $n_k+3$ . Действительное количество подогревателей может быть меньше максимального и выбирается в зависимости от конкретных условий производства.

С помощью программного комплекса «МВУ» авторами было проведено исследование влияния температуры греющего пара на поверхность теплообмена при других прочих равных условиях для четырехкорпусной и пятикорпусной ВУ.

Для четырех корпусной ВУ (рис. 2) видно, что повышение температуры греющего пара на 15 °С приводит к уменьшению необходимой поверхности нагрева в среднем по всем корпусам почти на 800 м<sup>2</sup>, т.е. более чем на 70 %.

Для пяти корпусной ВУ (рис. 3) видно, что повышение температуры греющего пара на 15 °С приводит к уменьшению необходимой поверхности нагрева в среднем по всем корпусам более чем на 800 м<sup>2</sup>, т.е. почти на 80 %.

Далее было проведено 144 численных эксперимента по изучению влияния параллельной подпитки на эффективность выпаривания в четырехкорпусной ВУ. Питательный раствор, подаваемый на первый корпус, соответствовал  $f_1=(50, 60, 70 \text{ и } 80) \%$ . Для каждой подпитки было рассмотрено по девять вариантов при естественной и искусственной циркуляции с изменением последовательности подачи конденсата и экстрапара во второй и третий подогреватели из первого корпуса.



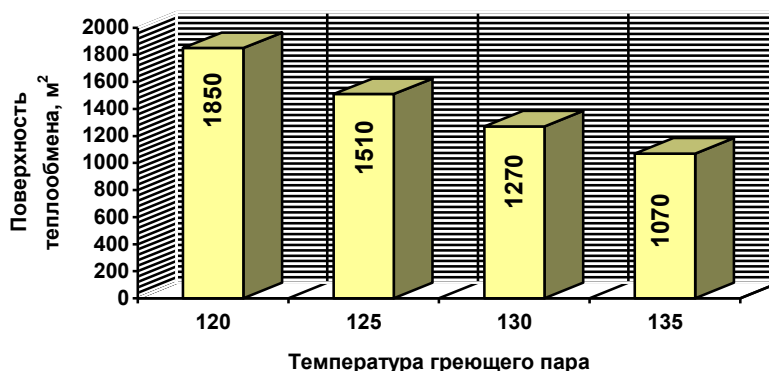


Рисунок 2 – Зависимость поверхности теплообмена от температуры греющего пара четырехкорпусной ВУ

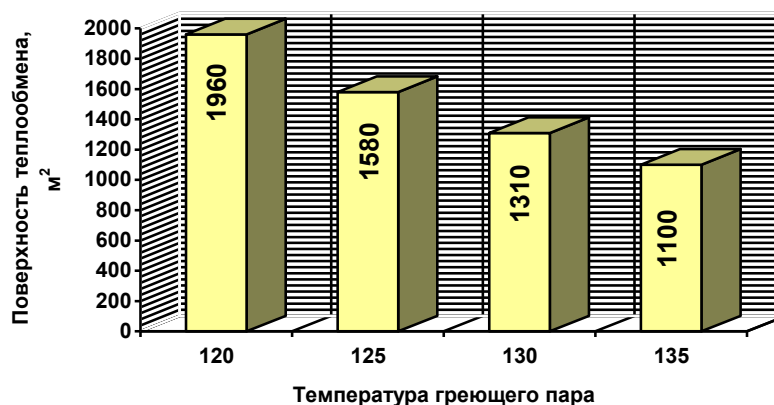


Рисунок 3 – Зависимость поверхности теплообмена от температуры греющего пара пятикорпусной ВУ

Установлено, что зависимость влияния изменения процентного отношения питающего раствора по корпусам МВУ на расход греющего пара и площадь поверхности теплообмена при естественной и искусственной циркуляции имеет следующий характер.

При схеме подогрева раствора во втором подогревателе – конденсатом греющего пара первого корпуса, а в третьем экстрапаром первого корпуса, площади поверхностей теплообмена МВУ больше, чем в случае подогрева раствора в порядке обратном вышеуказанному, при естественной и искусственной циркуляции раствора.

Таким образом, в процессе анализа остается два варианта, их графики приведены на рис. 4, соответственно с естественной и искусственной циркуляцией раствора, при одной схеме подогрева раствора. Когда второй подогреватель обогревается конденсатом греющего пара первого корпуса, а третий – экстрапаром. Они соответствуют следующему распределению питающего раствора по корпусам МВУ: первый  $f_1=80\%$ , второй  $f_2=20\%$ , третий  $f_3=0\%$ , четвертый  $f_4=0\%$ .

Далее был проведен анализ расхода греющего пара всего эксперимента и выбраны варианты с естественной и принудительной циркуляцией, (рис. 5) при следующем распределении питающего раствора по корпусам МВУ: первый  $f_1=50\%$ , второй  $f_2=35\%$ , третий  $f_3=15\%$ , четвертый  $f_4=0\%$ .

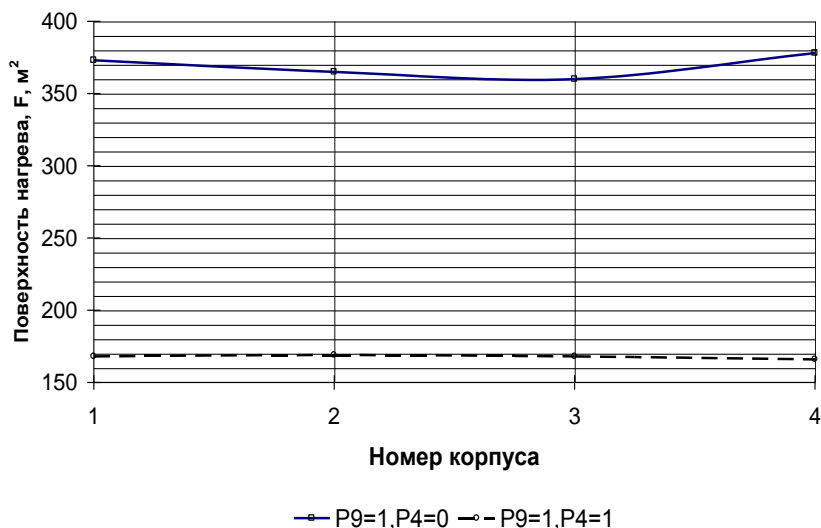


Рисунок 4 – Зависимость площади поверхности теплообмена от количества питающего раствора при  $f_i = (80-20-0-0)\%$  при естественной (-□-) и принудительной (-○-) циркуляции

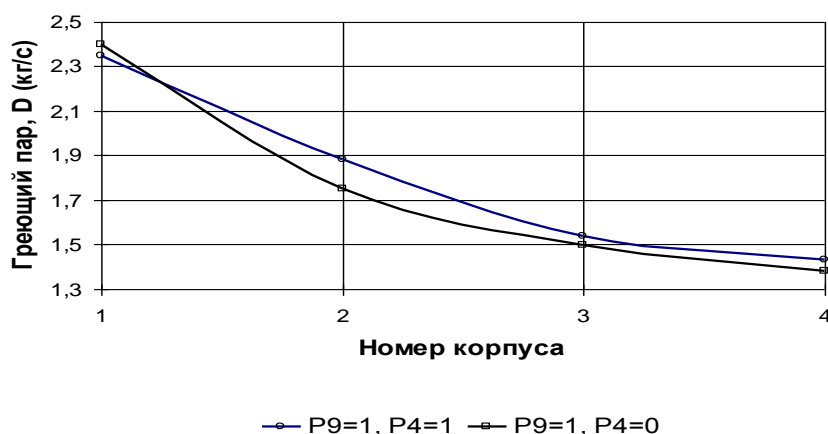


Рисунок 5 – Зависимость расхода греющего пара от подпитки по корпусам МВУ  $f_i=(50-35-15-0)\%$  при естественной (-□-) и принудительной (-○-) циркуляции

Из проведенного анализа численного эксперимента можно сделать следующие выводы:

1. Повышение температуры греющего пара приводит к значительному снижению поверхности нагрева греющей камеры ВА. Однако повышение температуры в свою очередь очень сильно влияет на термостойкие растворы. Поэтому необходимо выбирать такие конструкции греющих камер в которых время нахождения термостойких растворов сводилось бы до минимума.

2. При подаче питающего раствора на первый корпус МВУ  $f_1=(50, 60, 70, 80)\%$ , признак соответствующий схеме подогрева раствора, когда второй подогреватель обогревается конденсатом греющего пара первого корпуса, а третий – экстрапаром первого корпуса, исключается, так как наблюдается рост площади поверхности теплообмена.

3. Из всех рассмотренных вариантов предпочтителен вариант с искусственной циркуляцией, так как в этом случае площадь поверхности теплообмена уменьшается на 50 % (распределение подпитки по корпусам  $f_i=(80-20-0-0)$  %, но увеличиваются энергозатраты на дополнительное силовое оборудование и его эксплуатацию.

4. Площади при естественной циркуляции и распределении подпитки по корпусам  $f_i=(50-35-15-0)$  % возрастают на 17 %, в сравнении с подпиткой  $f_1=(60; 70$  и  $80-0)$  %, а при принудительной на 11 %.

5. Расход греющего пара при естественной и искусственной циркуляции и распределении  $f_i=(50-35-15-0)$  % меньше на 9 % , чем при подпитке  $f_1=(60; 70$  и  $80)$  %.

Проведение численного эксперимента на основе программного комплекса МВУ значительно расширяет возможности исследователя и позволяет существенно сократить время на его проведение, что даёт возможность анализировать процессы, протекающие в МВУ, при различных режимах её работы. А так же выдавать рекомендации об условиях максимально эффективной работы МВУ при изменении входных параметров исходного продукта.

Разработанный программный комплекс может служить базой для проведения экспериментов практически с любыми растворами.

#### **Условные обозначения**

$f_i$  – количество вариантов подпиток исходного раствора для МВУ;  $(f_1-f_n)$  – количество исходного раствора для подпитки по корпусам МВУ;  $P_9=0$  – подогрев раствора в ПЗ осуществляется экстрапаром 1-го корпуса, а в П2 – конденсатом греющего пара 1-го корпуса;  $P_9=1$  – подогрев раствора в ПЗ осуществляется конденсатом греющего пара 1-го корпуса, а в П2 – экстрапаром 1-го корпуса;  $P_4=0$ , – выпарной аппарат естественной циркуляции с вынесенной зоной кипения;  $P_4=1$ , – выпарной аппарат принудительной циркуляции с вынесенной зоной кипения;  $BA 1, BA 2, \dots, BA N$  – BA соответственно по ступеням подогрева;  $П1, П2, \dots, ПN$  – номера принятых подогревателей исходного раствора;  $D$  – греющий пар;  $W_1, W_2, \dots, W_n$ , – вторичные пары соответственно по корпусам МВУ;  $G_0$  – исходный раствор;  $G_1, G_2, \dots, G_n$  – упаренный раствор соответственно по корпусам МВУ;  $t'_1, t'_2, \dots, t'_n$ , – температуры исходного раствора после подогревателей;  $E_1, E_2, \dots, E_n$ , – экстрапары соответственно по корпусам BA.

#### **Литература**

1. Л.П. Перцев, Э.М. Ковалев, В.С. Фокин. Трубчатые выпарные аппараты для кристаллизующихся растворов. – Москва: “Машиностроение, 1982. 135 с.
2. И.Д. Зайцев, Г.Г. Асеев. Физико-химические свойства бинарных и многокомпонентных растворов неорганических веществ. – Г.: “Химия”, 1988. 415 с.
3. РД РТМ 26-01-95-83. Установки выпарные многокорпусные для растворов, содержащих твердую фазу. Метод теплового и гидромеханического расчета / Фокин В.С., Аносов Ю.Н., Данилов Ю.Б. и др./ – Харьков: Укрниихиммаш, 1983. 49 с.
4. Путинцев В.Н., Нечипоренко Д.И., Фокин В.С., Понаморенко Е.Д. К вопросу энергосбережения при выпаривании электролитических щелоков // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2002. – №4. – С.20–24.