

Автор ер.
к 45

Одесский технологический институт пищевой промышленности им. М.В.Ломоносова

На правах рукописи

КОЦАРЕНКО ВИКТОР АЛЕКСЕЕВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫПАРНЫХ УСТАНОВОК ПРОИЗВОДСТВА
ХЛОРИСТОГО КАЛЬЦИЯ КАК ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ

05.13.07 – автоматическое управление и регулирование,
управление технологическими процессами
(промышленность)

Пер.учет 19 84

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Одесса - 1980

Работа выполнена в Ордена Трудового Красного Знамени
Государственном научно-исследовательском и проектном инсти-
туте основной химии (г.Харьков).

Научный руководитель: кандидат технических наук, старший
научный сотрудник СЕМКЕ А.В.

Официальные оппоненты: заслуженный деятель науки и техники
УССР, доктор технических наук,
профессор ВАРЛАМОВ М.Л. ;
доктор технических наук, профессор
ЕФИМОВ В.Т.

Ведущее предприятие: Ордена Ленина Лисичанский содовый
завод им. В.И.Ленина.

Защита состоится "25" 04 1980 г. в 14⁰⁰ час.
на заседании специализированного совета Д 068.35.01 при
ком технологическом институте пищевой промышленности
Моносова, 270039, Одесса-39, ул.Свердлова, 112.

но ознакомиться в библиотеке Одесского
тута пищевой промышленности

03 1980 г.

ОНАХТ

02.10.12

Исследование выпарнь



v013474

Актуальность проблемы.

XXV съезд КПСС обязал хозяйственные органы "разрабатывать и осуществлять мероприятия по охране окружающей среды", "активнее вести разработку и внедрение технологических процессов, обеспечивающих уменьшение отходов и их максимальную утилизацию". Дальнейшими постановлениями Совета Министров СССР предусмотрены мероприятия, реализация которых позволит прекратить сброс в бассейны рек отходов содового производства - дистиллерной жидкости. Одним из основных путей решения этой проблемы является организация крупнотоннажных производств хлористого кальция (ХК), что позволяет не только прекратить сброс дистиллерной жидкости (ДЖ) в водоемы, но и получить нужный для народного хозяйства продукт.

В основу технологии получения ХК из ДЖ положен метод выпаривания. Надежное и экономичное функционирование таких крупнотоннажных производств ХК невозможно без надежно действующих автоматических систем управления (АСУ) и в первую очередь процессами выпаривания, поскольку в данном производстве затраты на этой стадии составляют 60% от общих затрат по производству. Анализ литературных источников показал, что для автоматизации управления режимом работы выпарных установок (ВУ) в производстве ХК требуется разработка в теоретическом и практическом плане ряда нетрадиционных для ВУ принципов управления, связанных главным образом с необходимостью соблюдения определенных жестких концентрационных режимов в каждом из корпусов ВУ и снижением производительности ВУ в результате инкрустации греющих поверхностей.

Целью работы является разработка, исследование и промышленная реализация АСУ выпарными установками производства ХК, разработка принципов автоматического управления выпарными установками, работающими с жесткими ограничениями концентрационного режима каждого

корпуса или нескольких корпусов; выбор структуры АСУ режимом работы ВУ в производстве ХК из дистиллерной жидкости методом выпаривания; разработка математической модели ВУ с переменной структурой материальных потоков и учетом кристаллизации хлористого натрия с целью синтеза АСУ и моделирования переходных процессов; исследование АСУ с помощью АВМ и ЭЦВМ, оптимизация работы ВУ с целью обеспечения максимальной средней производительности в цикле "работа-чистка", исследование специальных средств регулирования, разработанных для реализации автоматического управления, рассмотрение результатов промышленной реализации АСУ.

Научная новизна работы.

В данной работе выполнен анализ особенностей существующих технологических схем производства хлористого кальция из дистиллерной жидкости, разработаны принципы автоматического управления выпарными установками, работающими с жесткими ограничениями концентрационного режима каждого корпуса или нескольких корпусов. Разработана методика получения математического описания переходных режимов ВУ, представленной как система с переменной структурой. Предложен способ линеаризации математической модели объекта с переменной структурой системой дифференциальных уравнений с коэффициентами, которые принимают определенные постоянные значения в соответствии с изменением материальных потоков, подаваемых в корпуса ВУ. Предложена методика получения уравнений переходных режимов, учитывающих процесс кристаллизации соли при упаривании.

Разработана методика определения оптимального цикла работы ВУ, учитывающая количество соли, выпавшей за пробег, исходя из максимума производительности или минимума себестоимости единицы продукции.

Разработан специальный алгоритм обработки экспериментальных

данных с целью получения динамических характеристик промышленных объектов и отдельных элементов АСУ.

Практическая ценность работы.

Предложен способ моделирования на АВМ объектов с переменной структурой. На основе метода фазовых портретов выполнен анализ переходных режимов работы ВУ. Изучено влияние настроечных параметров нелинейных и логических элементов АСУ на характер переходных процессов.

Определена структура АСУ, типы регуляторов и их настройки для ВУ, работающих с рециклом "затравки" и в режиме "самозатравки", а также определены отклонения параметров, при которых не удастся осуществить управление концентрационным режимом выпаривания.

Определен оптимальный цикл работы ВУ в условиях засоления продукционного корпуса, на примере ВУ с рециклом "затравки", который достаточно хорошо совпадает с данными промышленной эксплуатации.

Приведено описание разработанных и внедренных автоматических систем управления концентрационным режимом работы ВУ производства хлористого кальция и нестандартных приборов, определены их статические и динамические характеристики, полученные экспериментально с использованием методов планирования. Составлена программа и инструкция по алгоритму обработки экспериментальных данных для получения динамических характеристик.

Объем работы. Диссертационная работа представлена на 178 страницах машинописного текста, состоит из предисловия, пяти глав, выводов и приложений. Работа содержит 47 рисунков и 13 таблиц. Список использованной литературы содержит 185 наименований работ советских и зарубежных авторов.

Результаты исследований.

На рис. 1 и 2 приведены две схемы работы ВУ производства хлористого кальция, существенно снижающие инкрустацию греющих поверхностей. Сущность первой сводится к тому, что в каждом из корпусов ВУ поддерживается определенный концентрационный режим (режим "самозатравки"), второй - к созданию рецикла "затравки". Анализ схемы с "самозатравкой" показал, что она может быть реализована как система с переменной структурой, и математическая модель такой ВУ будет в каждом конкретном случае определяться этой структурой. Поэтому нами определены в начале структура и регулирующие воздействия АСУ, а затем получена модель, отображающая как частные особенности процесса, так и изменение схемы ВУ для каждого конкретного случая соединения корпусов установки.

Выбор управляющих воздействий АСУ выпарной установкой, работающей в режиме "самозатравки" выполнен с использованием понятия степеней свободы химико-технологической системы (ХТС). При рассмотрении промежуточного корпуса (рис.1) как вершины топологической модели многокорпусной выпарной установки (МВУ) с учетом заданных ограничений и традиционных схемных решений была установлена избыточная информационная связь. Это приводит к необходимости дополнительного ввода в систему одной свободной информационной переменной. Приведенный анализ показал целесообразность использования в качестве такой информационной переменной массового потока исходной ДЖ, подаваемой в каждый корпус МВУ. Для решения двухмерной задачи - поддержания уровня и концентрации раствора в каждом корпусе при наличии 2-х входных потоков разработан принципиально новый метод управления, который исключает возможность одновременной подачи 2-х входных потоков в корпус ВУ, при этом необходимое соотношение величин входных потоков осуществляется варьированием

интервалов времени подачи каждого потока в корпус. Принципиальная схема устройства показана на рис.1. Сущность его сводится к тому, что логическое устройство осуществляет выбор одного из двух потоков, поступающих в " $n+1$ " корпус в зависимости от концентрации раствора в " n -ом" корпусе. Таким образом, мы имеем систему с переменной структурой. При построении систем регулирования ВУ, работающих с внешним рециклом "затравки", необходимо учитывать обязательный вывод "затравки" из упаренной дистиллерной жидкости до начала выпадения кристаллов хлористого натрия, и появление в результате этого двух стадий выпарки. Отсутствие ограничений по концентрационному режиму для I-го корпуса, иной характер ограничения концентрационного режима на предварительной и последующей стадиях упаривания, а также наличие промежуточной емкости позволили применить традиционные системы регулирования для поддержания концентрационного режима ВУ, работающей с внешним рециклом "затравки", но при этом возникает задача согласования производительности предварительной и последующей стадий упаривания. Необходимость соблюдения ограничений концентрационных режимов задаваемых в виде неравенств $v_{n\min} \leq v_n \leq v_{n\max}$, разная степень инкрустации корпусов в процессе работы ВУ приводит к тому, что вероятность "автоматического" совпадения производительности 2-х стадий упаривания практически равна "0". Мерой рассогласования производительности может служить уровень в промежуточной емкости, а возможность изменения концентрации раствора в пределах, заданных неравенствами, позволяет изменять величину входных и выходных потоков и использовать эти потоки в качестве управляющих в системе согласования нагрузок. Структурная схема АСУ режимом работы ВУ с внешним рециклом "затравки" представлена на рис. 2. Сущность её сводится к тому, что логическое устройство управляет

величиной входных потоков 2-х стадий выпарки путем изменения задания концентрационных режимов в зависимости от уровня жидкости в промежуточной емкости.

Математические модели ВУ, использованные для синтеза и исследования систем управления получены на основе материальных и энергетических балансов с использованием зависимостей, отображающих физические связи режимных параметров отдельных корпусов, при этом, исходя из рекомендаций большинства литературных источников, мы ограничились системой линейных дифференциальных уравнений, применение которых дает наилучший эффект при исследованиях подобного рода. При составлении математической модели принят ряд общеизвестных допущений с целью упрощения модели. На основе материального и энергетического балансов получены уравнения, описывающие переходные процессы по концентрации и температуре раствора в отклонениях от установившегося режима.

$$M_n \frac{d\Delta X_n}{dt} = a_{1n} \Delta X_n + a_{2n} \Delta S_n + a_{3n} \Delta X_{n-1} + a_{4n} \Delta W_n + a_{5n} \Delta t_{n-1} \quad (I)$$

где: M_n - значение инерционности корпуса ВУ (масса раствора, теплоемкость) ;

X_n - технологический параметр (концентрация, температура раствора) ;

$S_n; W_n$ - массовый расход раствора и выпаренной воды ;

t_n - температура теплоносителя ;

a_{in} - коэффициент ;

n - индекс "n-го" корпуса.

При этом в уравнении (I) по концентрации раствора коэффициент a_5 равен нулю. Используя статические зависимости, отображающие физические связи режимных параметров отдельных корпусов ВУ были получены дополнительные уравнения. Изменения температуры тепло-

носителя и раствора, теплоты парообразования при малых отклонениях могут быть представлены как частные производные изменений давления и концентрации в виде зависимостей:

$$\Delta \chi_{in} = \sum_{i,j=1}^2 \frac{\partial \chi_{in}}{\partial y_{jn}} \Delta y_{jn} \quad (2)$$

Математическую модель переходных режимов МВУ получили, используя математическое описание процесса выпаривания в каждом корпусе.

С целью уточнения математической модели ВУ предложена методика получения уравнений переходных режимов, учитывающая процесс кристаллизации *NaCl*, суть которой сводится к рассмотрению материального баланса по жидкой и твердой части суспензии, при этом соотношение количеств *NaCl* и *CaCl₂* определялось по диаграмме растворимости системы *CaCl₂-NaCl-H₂O*.

Незначительные отличия (10-15%) динамических характеристик, полученных экспериментально на одном из предприятий подотрасли и характеристик, полученных на основе предложенной модели, подтверждает адекватность модели объекту исследования.

Особый интерес представляет методика получения математической модели ВУ, работающей в режиме "самозатравки", так как в этом случае мы имеем систему с переменной структурой материальных потоков. Возможные варианты соединения корпусов ВУ представлены на

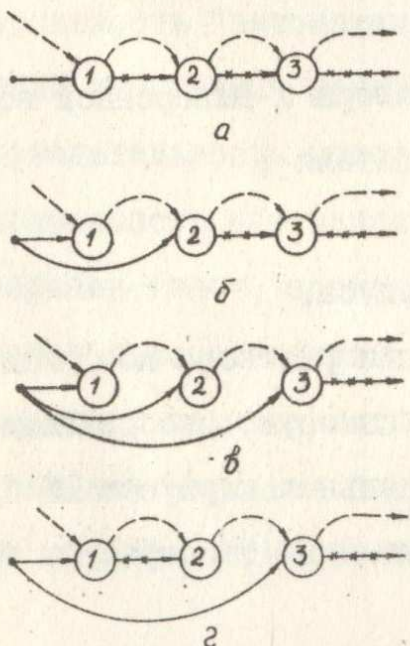


рис.3. Получить математическое описание переходных режимов такой ВУ экспериментальным путем не представляется возможным. Была разработана методика получения описания переходных режимов ВУ для указанного случая. В качестве установившегося режима принят теоретически

Рис. 3 Варианты соединения корпусов ВУ.

возможный непрерывный режим подачи раствора в корпуса ВУ одновременно 2-мя потоками $S_1 ; S_{g2}$ и $S_2 ; S_{g3}$. В общем случае уравнения переходных режимов по концентрации и температуре раствора при любых возможных переключениях n -го корпуса ВУ, при наличии 2-х входных потоков раствора имеют следующий вид:

$$M_n \frac{d\Delta\chi_n}{dt} = a_{1n} \Delta\chi_n + a_{2n} \Delta S_n + a_{3n} \Delta\chi_{n-1} + a_{4n} \Delta W_n + \\ + a_{5n} \Delta t_{n-1} + a_{6n} \Delta S_{n-1} + a_{7n} \Delta S_g + a_{8n} \Delta S_{gn} + \\ + a_{3n}^* \Delta\chi_{n-1} + a_{5n}^* \Delta\chi_g. \quad (3)$$

Индекс "g" относится к исходной дистиллерной жидкости.

Уравнения вида (3) нелинейны, т.к. коэффициенты a_{3n}^* и a_{5n}^* представляют собой отклонения расходов входных ΔS_{gn} и выходных ΔS_n потоков. Линеаризация таких уравнений путем полного исключения (отбрасывания) произведений отклонений переменных недопустима, так как отклонения расходов потоков ΔS_n , ΔS_{gn} соизмеримы с их значением в статическом режиме S_n , S_{gn} при малых отклонениях других переменных. Учитывая, что значение расходов ΔS_n , ΔS_{gn} ($n = 1, 2$) представляют собой суммы вида $S_n + \Delta S_3 + \sum_{j=1}^n \Delta W_j$, в которых постоянная величина $S_n \gg \Delta S_3 + \sum_{j=1}^n \Delta W_j$, произведения отклонений переменных $\Delta S_n \Delta\chi_n$, $\Delta S_{gn} \Delta\chi_g$ могут быть заменены линейными членами вида $S_n \Delta\chi_n$, $S_{gn} \Delta\chi_g$. Таким образом математическая модель переходных режимов объекта с переменной структурой - ВУ, работающей в режиме "самозатравки", может быть представлена системой дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами. В уравнениях (3) коэффициенты при неизвестных изменяются, однако для каждой конкретной структуры эти коэффициенты принимают определенные постоянные значения в соответствии с изменением структуры ВУ. Такая система описывает переходные режимы ВУ с изменяющейся структурой соединения отдельных корпусов

между собой и используется для анализа работы ВУ и разработки АСУ.

Для получения математической модели ВУ, работающей с внешним рециклом "затравки" система уравнений 3-х корпусной ВУ должна быть дополнена уравнениями испарителя, отстойника и емкости. При их получении были использованы традиционные методы. При описании испарителя процесс самоиспарения воды в результате снижения давления считается безинерционным, тогда изменение концентрации раствора в испарителе можно представить следующей зависимостью:

$$\frac{d\Delta\chi_u}{d\tau} = a_{1u}\Delta\chi_2 - a_{2u}\Delta\chi_u \quad (4)$$

где: $\Delta\chi_2$ - изменение концентрации раствора во 2-м корпусе.

При моделировании переходных процессов ВУ, работающей с рециклом "затравки" совместно с АСУ, согласование нагрузки предварительной и последующей стадий упаривания моделируется неравенствами, согласно которым осуществляют изменение задания регуляторам концентрации раствора в зависимости от уровня в емкости "среднего" раствора.

$$\left. \begin{array}{l} \Delta\chi_{23} = 0 \\ \Delta\chi_{23} = \alpha_2 h_e \leq \chi_{2\text{ог}} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{при } h_e > h_{e\text{min}1} \\ \text{при } h_e \leq h_{e\text{min}1} \end{array} \quad (5)$$

$$\left. \begin{array}{l} \Delta\chi_{33} = 0 \\ \Delta\chi_{33} = \alpha_3 h_e \leq \chi_{3\text{ог}} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{при } h_e < h_{e\text{max}1} \\ \text{при } h_e \geq h_{e\text{max}1} \end{array} \quad (6)$$

Исследование объекта управления и синтез АСУ выполнен на АВМ по фазовым портретам и осциллограммам для ВУ производства хлористого кальция, работающими по 2-м различным технологическим схемам: с "самозатравкой" и рециклом "затравки". При моделировании ВУ, работающей в режиме "самозатравки" определено влияние нелинейных элементов АСУ на характер переходных процессов. Показано, что для согласования работы 2-х стадий упаривания для ВУ, работа-

ющей с рециклом "затравки" АСУ должны включать логическое устройство. При определении влияния настроечных параметров регуляторов и логического устройства на динамику работы системы согласования нагрузки и изменение уровня в промежуточной емкости использованы данные эксперимента, выполненного по плану ПФЭ 2².

В работе рассмотрены некоторые вопросы оптимизации работы ВУ и в частности задача определения оптимального режима работы ВУ при условии изменения коэффициентов теплообмена по корпусам, которое обусловлено 2-мя причинами: относительно медленной инкрустацией греющих поверхностей солями кальция и относительно быстрым засолением производственного корпуса ВУ.

В качестве критериев оптимизации при определении оптимального времени работы ВУ за цикл "работа-чистка", как правило рассматриваются максимум производительности и минимум себестоимости, при этом время чистки ВУ принимается постоянным (не зависящим от времени работы ВУ). Нами сделана попытка уточнить определение оптимального цикла работы ВУ в условиях засоления производственного корпуса (на примере ВУ, работающей с рециклом "затравки"), представив массу выпавшей соли в аппарате (а следовательно и время её растворения) как функцию времени работы ВУ. Принимая в качестве основных предпосылок следующие зависимости:

- скорость растворения соли пропорциональна разности концентраций;
 - количество выпавшей соли пропорционально времени работы ВУ;
- и учитывая, что растворение происходит при постоянном объеме, а для интенсификации процесса растворения поддерживается значение концентрации соли в растворе значительно меньшее, чем концентрация насыщенного раствора, время цикла может быть представлено следующим соотношением:

$$\tau_{ц} = \tau_{р} \left(1 + \frac{V}{Nq_{н}} \right) + \mathcal{L} \quad (7)$$

- где: τ_p - время работы ВУ;
- V, N - соответственно скорость отложения и константа растворения соли ;
- g_n - количество соли в насыщенном растворе ;
- L - часть времени цикла, связанная с подготовкой к промывке и пуском в эксплуатацию ВУ после промывки.

Определение оптимального цикла работы ВУ осуществлено путем решения нелинейной системы уравнений, представляющей статическую модель ВУ, полученную на основе математического описания динамики процесса упаривания. Решение нелинейной системы осуществлено с помощью итерационного метода Ньютона по разработанному алгоритму. При этом среднечасовое количество выпаренной воды за цикл определялось из соотношения

$$W_{cp} = \frac{1}{\tau_{ц}} \int_0^{\tau_p} W d\tau_p \quad (8)$$

и стоимость единицы выпаренной воды (по изменяющимся в зависимости от длительности цикла статьям)

$$\zeta = \frac{1,1 [V\zeta_1 + W_{0ц}\zeta_2\tau_n + \zeta_2 \int_0^{\tau_p} W_0 d\tau_p]}{\int_0^{\tau_p} W d\tau_p} \quad (9)$$

где: $W, W_0, W_{0ц}$ - расход соответственно выпаренной воды, греющего пара, пара на подогрев и циркуляцию растворителя ;

ζ_1, ζ_2 - стоимость растворителя, греющего пара;

V - объем растворителя ;

τ_n, τ_p - время промывки и работы ВУ.

Программа, реализующая алгоритм, комбинированная - на языке АП и в кодах ЭВМ "Напри-2". Часть программы, составленная на ЯАП, позволяет легко заменить аналитическое выражение для коэффициента теплопередачи продукционного корпуса. Значение коэффициента теплопередачи продукционного корпуса (рис.4) предложено кусочно

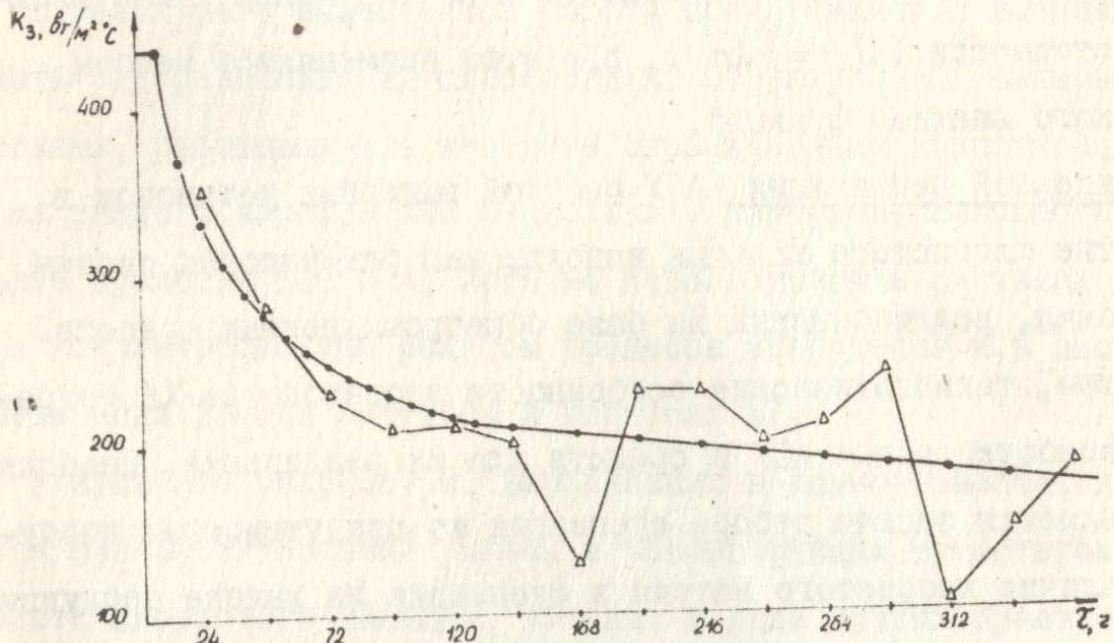


Рис.4 Изменение коэффициента теплопередачи продукционного корпуса
 Δ - экспериментальные данные, \bullet - данные аппроксимации.

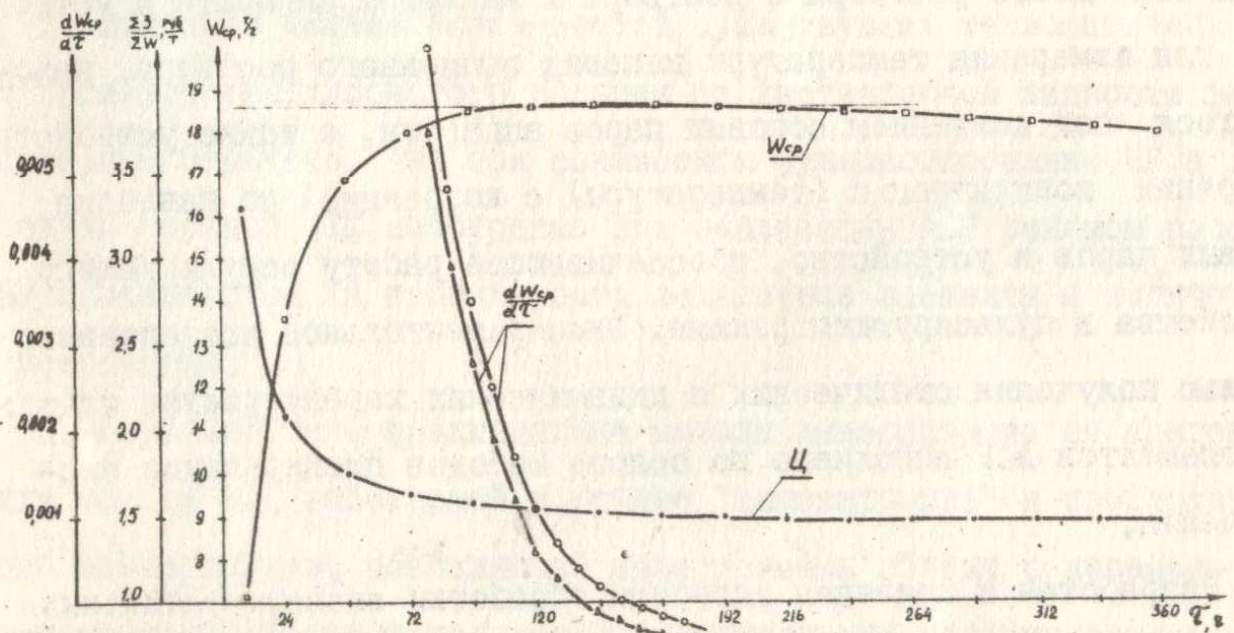


Рис.5 Характер изменения $W_{cp}, \frac{dW_{cp}}{dt}, U$ за пробег ВУ.
 Циркуляция растворителя \circ - принудительная, Δ - естественная.

аппроксимировать по данным экспериментальных исследований.

Оптимальное значение τ_p (рис.5) для ВУ определялось исходя из максимума производительности за цикл ($W_{cp} = \max$) или минимума себестоимости ($C_c = \min$), при этом применялись методы классического анализа функций.

При промышленной реализации АСУ работой выпарных установок в производстве хлористого кальция использован ряд типовых систем регулирования, реализованных на базе общепромышленных средств. Вместе с тем, технологические особенности производства ХК потребовали разработки новых АСУ и средств для их реализации. Наиболее сложной является задача отбора суспензии из производственных корпусов ВУ. Наличие хлористого натрия в суспензии на выходе производственного корпуса, а также высокая концентрация раствора не позволяет использовать стандартные приборы для непосредственного измерения концентрации ХК.

В связи с этим был предложен способ регулирования процесса выпаривания растворов нелетучих солей по разности температур кипения эталонного раствора и раствора в выпарном аппарате и устройство для измерения температуры кипения эталонного раствора, находящегося под давлением соковых паров аппарата, а также устройство измерения концентрации (температуры) с коррекцией по давлению соковых паров и устройство, обеспечивающее работу регулирующего устройства в пульсирующем режиме. Экспериментальное исследование с целью получения статических и динамических характеристик отдельных элементов АСУ выполнено на основе методов планирования эксперимента.

Разработан и приведен алгоритм обработки экспериментальных данных на ЭЦВМ "Наири-2", пригодный для определения динамических

Характеристик как объектов управления, так и отдельных элементов АСУ.

В результате выполненной работы представляется возможным сделать ряд рекомендаций относительно структуры АСУ выпарными установками, работающими с жесткими ограничениями концентрационного режима каждого корпуса или нескольких корпусов. Разработаны нетиповые средства КИП и А, которые используются в системах управления концентрационным режимом процесса упаривания и в системах стабилизации уровня раствора в корпусах ВУ.

Результаты разработок, выполненных в данной работе, используются при проектировании новых и реконструкции существующих производств хлористого кальция, а также в ряде других производств (хлористого аммония, бариевых солей и др.).

Суммарный экономический эффект от использования разработок на 2-х предприятиях подотрасли составляет ~ 110 тыс.руб. в год.

В ы в о д ы.

1. Выполнен анализ особенностей существующих технологических схем производства хлористого кальция из дистиллерной жидкости выпариванием. Отмечено, что при совместном функционировании ВУ и АСУ как одной сложной ХТС необходимо при реализации АСУ режимом работы ВУ производства ХК использовать нелинейные элементы и логические устройства.

2. Показано, что традиционные методы линеаризации не пригодны для модели ВУ, работающей в режиме "самозатравки" и предложен способ линеаризации, позволяющий моделировать объект с переменной структурой системой уравнений с постоянными коэффициентами. Предложена методика получения математической модели ВУ, которая учитывает кристаллизацию соли в производственном корпусе и доста-

К. О. 13474

точно хорошо совпадает с экспериментальными данными.

3. Предложен способ моделирования на АВМ объектов с изменяющейся структурой, приведено логическое устройство, с помощью которого формируется (включается) требуемая структура объекта.

4. На основе метода фазовых портретов выполнен анализ переходных режимов работы ВУ совместно с АСУ. Изучено влияние настроечных параметров нелинейных и логических элементов АСУ на характер переходных процессов. Определена структура АСУ, типы регуляторов и их настройки для ВУ, работающих с рециклом "затравки" и в режиме "самозатравки", а также определены отклонения параметров при которых не удастся осуществить управление концентрационным режимом выпаривания.

5. Вопрос оптимизации работы ВУ рассмотрен исходя из принципа декомпозиции задач глобальной оптимизации ХТС на ряд локальных целевых функций для отдельных элементов.

6. Разработан алгоритм расчета оптимального времени работы на основе математической модели ВУ. В качестве критерия оптимизации при этом принимается максимальная производительность ВУ или минимум себестоимости единицы продукции за цикл "работа-чистка". По алгоритму составлена программа для ЭВМ "Наири-2". Часть программы составлена на ЯАП и позволяет легко заменить аналитическое выражение коэффициента теплопередачи как функцию времени работы ВУ. Для ВУ, работающей с внешним рециклом "затравки" в производстве хлористого кальция, рассчитан оптимальный цикл "работа-промывка". Опыт эксплуатации показал, что ошибка в определении оптимального времени работы ВУ между промывками, по предложенной методике, практически отсутствует.

7. Приведено описание разработанных и внедренных автоматических систем управления концентрационным режимом работы ВУ производ-

ства хлористого кальция.

8. Проведено экспериментальное исследование на основе методов планирования эксперимента и получены статические и динамические характеристики отдельных элементов АСУ.

9. Разработан и приведен специальный алгоритм обработки экспериментальных данных на ЭЦВМ "Наири-2" пригодный для определения динамических характеристик как объектов управления так и отдельных элементов АСУ.

10. Для реализации разработанных АСУ созданы нестандартные устройства для определения концентрации упариваемого раствора.

11. С целью обеспечения работы регулирующего органа в режиме пульсаций, разработан генератор прямоугольных импульсов. Скважность выходного сигнала генератора изменяется в пределах $0,1 + 1$, и не зависит от периода генерируемых импульсов.

12. Разработанные АСУ режимом работы ВУ и сданные в промышленную эксплуатацию на двух предприятиях подотрасли позволили увеличить производительность установки, стабилизировать концентрационный режим, улучшить условия труда, при этом дополнительная прибыль составляет ~ 110 тыс. руб. за год. Использование разработанной программы для обработки экспериментальных данных с целью получения динамических характеристик промышленных объектов дает экономический эффект ~ 9000 руб.

Основные положения диссертационной работы

изложены в следующих публикациях:

1. Семке А.В., Коцаренко В.А., Кравцов В.Е. Выбор структуры автоматической системы управления режимом работы выпарных установок в производстве хлорида кальция. - В кн.: Автоматизация процессов содового производства. - Л.: Химия, 1975, с.62-67.

2. Семке А.В., Кравцов В.Е., Медведовский В.Б., Коцаренко В.А., Кравец Н.И., Шалаев И.Н. Регулирование выгрузки суспензий из аппаратов непрерывного действия.- Там же, с. 129-134.

3. Коцаренко В.А., Семке А.В. Математическая модель переходных режимов процесса упаривания кристаллизующихся растворов в производстве хлористого кальция.- В кн.: Автоматизация и механизация производств основной химической промышленности.- Харьков, 1977, с.18-23.

4. Семке А.В., Коцаренко В.А., Дудченко Е.И. Моделирование переходных режимов процесса упаривания кристаллизующихся растворов в производстве хлористого кальция.- Там же, с. 23-29.

5. Семке А.В., Коцаренко В.А., Дудченко Е.И. Статические и динамические характеристики датчика температуры кипения эталонного раствора.- Харьков, 1976.- 21с.- Рукопись представлена НИОХИМом. Деп. в ОНИИТЭХИМ, Черкассы, № 906/76.

6. Семке А.В., Коцаренко В.А. Математическая модель выпарной установки, работающей с внешним рециклом "затравки" в производстве хлористого кальция.- Харьков, 1978.- 13с.- Рукопись представлена НИОХИМом. Деп. в ОНИИТЭХИМ, Черкассы, № 1912/78.

7. Дудченко Е.И., Семке А.В., Коцаренко В.А., Рудай В.И. Использование ЭВМ при обработке кривых разгона объектов регулирования.- Харьков, 1978.- 10с.- Рукопись представлена НИОХИМом. Деп. в ОНИИТЭХИМ, Черкассы, № 1938/78.

8. Семке А.В., Коцаренко В.А., Колоницкий М.И. Математическая модель выпарной установки, работающей в режиме "самозатравки".- В кн.: Технология и автоматизация производств основной химической промышленности.- Харьков, 1978, с. 46-62.

9. А.с. 409719 (СССР). Способ автоматического управления работой многокорпусной выпарной батареи / А.В.Семке, В.А.Коцаренко.-

Опубл. в Б.И., 1974, №1.

Ю. А.с. 468635 (СССР). Устройство для автоматического регулирования режима работы многокорпусной выпарной батареи / А.В.Семке, В.Е.Кравцов, П.В.Скрыпник, В.А.Коцаренко, Н.И.Холоденко.-

Опубл. в Б.И., 1975, №16.

II. А.с. 470665 (СССР). Пневматический генератор импульсов / В.Е.Кравцов, В.Б.Медведовский, В.А.Коцаренко, Н.И.Кравец.- Опубл. в Б.И., 1975, №8.

I2. А.с. 662112 (СССР). Устройство для автоматического регулирования концентрации упариваемого раствора / В.А.Коцаренко, А.В.Семке, В.Е.Кравцов.- Опубл. в Б.И., 1979, №18.

По материалам диссертации сделаны доклады:

I. Математическая модель переходных режимов выпарных установок при упаривании кристаллизующихся растворов на примере производства хлористого кальция. Коцаренко В.А., Семке А.В.

Всесоюзное совещание - Математическое моделирование, системный анализ и оптимизация промышленного, энергетического и транспортного теплообменного оборудования. 1976, Киев.

2. Определение оптимального времени работы выпарной установки между промывками. Семке А.В., Коцаренко В.А.

Всесоюзное совещание - Обмен опытом по вопросам математического моделирования и системного анализа технологических процессов.

Киев, 1978.