

66  
E 59

Белорусский технологический институт им. С.М. Кирова

66.02

На правах рукописи

Ельшин Александр Иванович

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ АЛКЕНИЛСУЛФИНАГЛИДРИДА  
ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Специальность 05.17.08 -  
Процессы и аппараты химической технологии

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Минск - 1980

Работа выполнена на кафедре химической техники Новопо-  
лоцкого политехнического института.

Научные руководители: кандидат технических наук, доцент  
Гриченко А.А.,  
кандидат технических наук, доцент  
Плехов И.М.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Ершов А.И.,  
кандидат технических наук  
Рейнфарт В.В.

Ведущее предприятие: Новополоцкий ордена Трудового  
Красного Знамени нефтеперераба-  
тывающий завод им. XXV съезда  
КПСС.

Защита состоится " 3 " декабря 1980 г. в 10 часов  
на заседании специализированного Совета К-056.01.03 по при-  
суждению ученой степени кандидата наук в Белорусском техно-  
логическом институте им. С.М. Кирова по адресу:  
220630, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, БТИ им. С.М. Кирова.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке инсти-  
тута.

Автореферат разослан " 28 " октября 1980 г.

Ученый секретарь специализированного  
Совета к.х.н., с.н.с.

Е.Д.Дзюба

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы

В соответствии с решениями XXV съезда КПСС одной из важнейших задач рационального использования природных ресурсов является экономичное и эффективное применение горюче-смазочных материалов. Практика показывает, что наиболее прогрессивным и экономичным способом получения масел высокого качества является использование присадок, одной из стадий производства которых является очистка от механических и смолообразных примесей, при этом качество и объем выпускаемых присадок в большой мере определяется качеством очистки и производительностью используемого для этих целей оборудования.

5864ар Широко распространенными присадками к маслам являются беззольные присадки типа сукцинимидов, полупродуктом для производства которых служит алкилсукцинангидрид (АСА). Одним из путей повышения эффективности этого типа присадок является получение АСА более высокой степени чистоты, увеличение производительности и экономичности применяемых при этом способов очистки.

Для очистки АСА от загрязнений применяют процесс фильтрования, являющийся лимитирующим звеном в повышении производительности технологического процесса, что требует решения задачи по интенсификации операции фильтрования. Отсутствует решение вопроса оптимального управления процессом фильтрования высоковязких суспензий, в том числе и АСА, при использовании растворителей. Несмотря на обширный поток информации, касающейся различных аспектов эксплуатации и расчетов фильтров, недостаточно изучены вопросы закономерностей фильтрования присадок с применением растворителей. Отсутствует математическая модель процесса фильтрования, что затрудняет разработку мероприятий по интенсификации процесса очистки АСА. Все перечисленные вопросы и определили основную направленность работы, так как комплексный подход к их решению позволит повысить уровень производства, сократить энергетические и сырьевые затраты.

ИЗДАТЕЛЬСТВО  
1986 г. М. 100 стр.

Учитывая широкое применение процессов фильтрования, воды, полученные при решении поставленной задачи, могут быть полезны при очистке высоковязких жидкостей в других отраслях промышленности.

### Цель работы

Исследование физико-химических свойств АСА; разработка обобщенной модели процесса фильтрования с закупориванием пор применительно к очистке АСА; исследование влияния физико-химических свойств вспомогательных фильтрующих веществ (ВФВ) на эффективность фильтрования и обоснование возможности применения высокополярных растворителей в качестве добавок для ускорения процесса очистки АСА; оптимизация и автоматизация процесса фильтрования.

### Научная новизна работы

Предложено и экспериментально проверено модифицированное уравнение для фильтрования с постепенным закупориванием пор при использовании растворителей, получены основные соотношения между константами фильтрования.

Экспериментально установлено наличие при определенных условиях отклонения начального участка фильтрационной характеристики от линейной зависимости для фильтрования с закупориванием пор и получено для такого рода процессов обобщенное уравнение, частными случаями которого являются уравнения фильтрования с постепенным и полным закупориванием пор. Получено упрощенное уравнение для аппроксимации фильтрационных характеристик.

Исследовано влияние физико-химических свойств ВФВ и полярных добавок на эффективность очистки АСА и устойчивость дисперсной фазы растворов АСА.

Получен обобщенный критерий оптимизации процессов фильтрования с закупориванием пор на основе обобщенного уравнения фильтрования. Предложен критерий экономичности для фильтрования вязких жидкостей при повышенных температурах. Разработан критерий экономичности процесса центрифугирования при использо-

вании растворителей для снижения вязкости исходного продукта.

#### Практическая ценность работы

Разработана методика инженерного расчета процесса фильтрования при отклонении начального участка фильтрационной характеристики от линейной зависимости.

Определена группа ВФВ, пригодных для интенсификации процесса фильтрования. Рекомендована оптимальная концентрация полярного растворителя, добавляемого в очищаемый продукт для коагуляции загрязнений. Предложен способ очистки АСА.

Разработана методика расчета оптимальных режимов фильтрования с учетом затрат на фильтрование, промывку, вспомогательные операции, разбавление и нагрев продукта.

Разработаны автоматические системы оптимального управления процессом фильтрования, на основе которых разработан и внедрен опытный образец автоматического устройства оптимального управления фильтром. Экономический эффект от внедрения на установке по производству присадки ВНИИ НП-360 составил 40 тыс. рублей в год.

#### Апробация работы

Основные положения и результаты диссертационной работы доложены и обсуждены: 1) на I Всесоюзной научной конференции "Современные машины и аппараты химических производств" (г. Чимкент, 27-29 сентября 1977 г.); 2) на Всесоюзном совещании "Применение адсорбционных процессов для защиты от загрязнения окружающей среды" (г. Минск, 19-22 сентября 1978 г.); 3) на семинаре "Теоретические основы химической технологии" (г. Москва, 19 января 1979 г., совещание № 304); 4) на II Всесоюзной научной конференции "Современные машины и аппараты химических производств" (г. Чимкент, 23-25 сентября 1980 г.).

#### Публикации

По материалам диссертационной работы опубликовано II статей, получено 4 авторских свидетельства на изобретение.

## Структура и объем работы

Диссертация состоит из 163 страниц машинописного текста, содержит 55 рисунков, 16 таблиц. Библиография включает 187 наименований. Работа состоит из введения, трех глав, обших выводов, основных обозначений и приложений.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### I. Современное состояние вопроса и постановка задачи исследований

В литературном обзоре дан анализ работ отечественных и зарубежных авторов по исследованию процессов фильтрования АСА, присадок и других органических жидкостей, а также рассмотрены состав и причины образования механических и смолообразных загрязнений в процессе получения АСА. В результате анализа предшествующих работ установлено, что наиболее перспективным является процесс фильтрования с применением вспомогательных фильтрующих веществ (ВФВ), однако в литературе отсутствуют систематизированные сведения об основных характеристиках растворов АСА в ксилоле, а также не разработана математическая модель процесса, пригодная для осуществления мероприятий по интенсификации процесса очистки АСА. В частности, отсутствуют рекомендации по оптимизации фильтрования с постепенным закупориванием пор при изменяющихся параметрах фильтруемых суспензий и наличии растворителя, по разработке автоматических устройств, позволяющих вести процесс фильтрования в оптимальных условиях с учетом изменяющихся свойств фильтруемой суспензии. В связи с этим в работе поставлена задача на основе исследования физико-химических свойств растворов АСА в ксилоле разработать обобщенную модель процесса фильтрования применительно к очистке АСА, а также интенсифицировать процесс путем оптимизации и автоматизации работы фильтровального оборудования.

## 2. Экспериментальное и теоретическое исследование процесса фильтрования АСА

Для выбора путей интенсификации процесса очистки АСА от загрязнений методом ИК-спектроскопии проведен качественный анализ состава осадков, образующихся при сепарации и фильтровании в процессе очистки АСА, который показал, что основная часть загрязнений представляет собой смолообразные и кислые продукты сложного строения, находящиеся в кристаллическом и аморфном состоянии. Исследование физико-химических свойств растворов АСА в зависимости от степени разбавления и температуры показало, что природа растворителя и температура раствора оказывают существенное влияние на качество очистки и требуют при разработке мероприятий по интенсификации процесса учета характера межмолекулярных взаимодействий основных компонентов очищаемого раствора между собой.

Фильтрационные характеристики АСА снимались на лабораторной установке, позволяющей фильтровать как под вакуумом, так и под избыточным давлением с автоматической записью объема полученного фильтрата в зависимости от времени фильтрования. Установка содержит фильтр с рубашкой, позволяющий термостатировать фильтруемую суспензию при заданной температуре, емкость с мешалкой для приготовления суспензии АСА с ВФВ и предварительно нагрева раствора. Емкость может быть использована для приготовления суспензии ВФВ при намыве фильтрующего слоя на подложку. Установка содержит автоматические устройства поддержания заданного режима фильтрования. Обработку фильтрационных характеристик проводили с помощью методов наименьших квадратов и непараметрической статистики. В результате установлено, что во всех случаях фильтрование протекает с постепенным закупориванием пор

$$\frac{R\tau}{2} = \frac{\tau}{q} - \frac{1}{W_n}, \quad (1)$$

где  $\tau$  - текущее значение времени фильтрования, с.

Алкенилсукцинангидрид является высоковязкой жидкостью ( $\mu > 1$  Па·с) и перед фильтрованием разбавляется ксилолом, что

приводит к изменению константы  $k$  в уравнении (1) с ростом степени разбавления  $q_p$ . Считая, что отношения объема осадка в порах фильтрующей перегородки или фильтрующего слоя к объему фильтрата для неразбавленного и разбавленного продукта равны

$$x_0 = \frac{V_{oc}}{V} = \frac{V_{oc}(1-q_p)}{V_n} = x'_0(1-q_p), \quad (2)$$

можно записать

$$k = \frac{2x_0}{\pi l_k N_n r_k^2} = \frac{2x'_0(1-q_p)}{\pi l_k N_n r_k^2} = k_1(1-q_p). \quad (3)$$

Экспериментальная проверка соотношения (3) подтвердила линейную зависимость между  $k$  и  $(1-q_p)$ . Учитывая, что  $\mu = \mu(q_p)$ , запишем модифицированное уравнение фильтрования с постепенным закупориванием пор при разбавлении исходного продукта растворителем

$$\frac{\tau}{q} = \frac{2A_1}{A_1 k_1 (1-q_p) \tau + 2\mu(q_p)}, \quad (4)$$

где  $A_1 = \mu W_n = \Delta p / R_{\phi n}$ . Уравнение (4) справедливо при

$$q < q_{np} = 2/[k_1(1-q_p)].$$

Константа  $k_1$  определяется путем пересчета по уравнению (3), если известны значения  $k$  при определенных  $q_p$ .

Обнаружено, что при температуре выше  $100^\circ\text{C}$  имеет место отклонение начального участка фильтрационной характеристики от линейной зависимости. Анализ литературы, посвященной такого рода явлениям, показал, что для фильтрования с постепенным закупориванием пор отсутствуют аппроксимационные уравнения, пригодные для практических расчетов.

Допустим, что процесс фильтрования протекает с закупориванием каждой поры отдельной частицей и постепенным закупориванием пор за счет отложения в них осадка. Полагая, что фильтрующая перегородка имеет поры в виде капилляров одинакового радиуса  $r_k$ ; объемом осадка, образующегося на фильтрующей перегородке за счет закупоривания пор частицами с размером  $r_c > r_k$ , пренебрегаем, считая, что основная часть загрязненной задержи-



вается в порах. Если в  $1 \text{ м}^3$  суспензии находится  $n$  взвешанных частиц радиусом  $r_c > r_k$ , то после получения объема фильтра  $q$  число свободных пор будет равно  $N' = N - nq$ . Считая, что при получении фильтра в количестве  $dq$  отложится осадок в количестве  $x_0 dq$  при изменении толщины осадка в капилляре на  $dr$ , имеем

$$x_0 dq = -2\pi l_k N r dr \quad (5)$$

или после интегрирования

$$q = \frac{\pi l_k (N - nq)(r_k^2 - r^2)}{x_0} \quad (6)$$

Скорость фильтрования в начале процесса и к моменту получения фильтра  $q$  соответственно равна

$$W_H = BN r_k^4; \quad W = \frac{dq}{d\tau} = B(N - nq)r^4 \quad (7)$$

где  $B = (\pi \Delta p) / (8\mu l_k)$ . Выразив  $r_k^2$  и  $r^2$  и подставляя в уравнение (6), после разделения переменных и интегрирования получим обобщенное уравнение фильтрования с закупориванием пор

$$\tau = \frac{k_1 q}{i - k_2 q} - k_3 \ln(1 - k_2 q), \quad (8)$$

где  $k_1 = 1 / [W_H (\alpha n + 1)]$ ;  $k_2 = (\alpha n + 1) / (\alpha N)$ ;

$$k_3 = (n \alpha^2 N) / [W_H (\alpha n + 1)^2]; \quad \alpha = v_0 / x_0; \quad v_0 = \pi l_k r_k^2.$$

Из уравнения (8) вытекают, как частные случаи, уравнения с постепенным закупориванием пор ( $n = 0$ ) и с полным закупориванием пор ( $x_0 = 0$ ).

Рассмотрим упрощенное уравнение для аппроксимации фильтрационных характеристик. Разложим (8) в степенной ряд, ограничиваясь тремя первыми слагаемыми:

$$\frac{\tau}{q} = x_1 + q x_2 + q^2 x_3, \quad (9)$$

где  $x_1 = k_1 + k_2 k_3$ ;  $x_2 = k_2 \left( k_1 + \frac{k_2 k_3}{2} \right)$ ;  $x_3 = k_2^2 \left( k_1 + \frac{k_2 k_3}{3} \right)$ .

Для определения констант  $x_1$ ,  $x_2$  и  $x_3$  достаточно провести три замера объема фильтрата  $q$  и времени фильтрования  $\tau$ . Сравнение экспериментальных и расчетных данных при фильтровании АСА и модельных суспензий показало хорошую сходимость результатов (рис. 1), кроме того, константа  $x_1$  имеет смысл  $1/W_n$ .

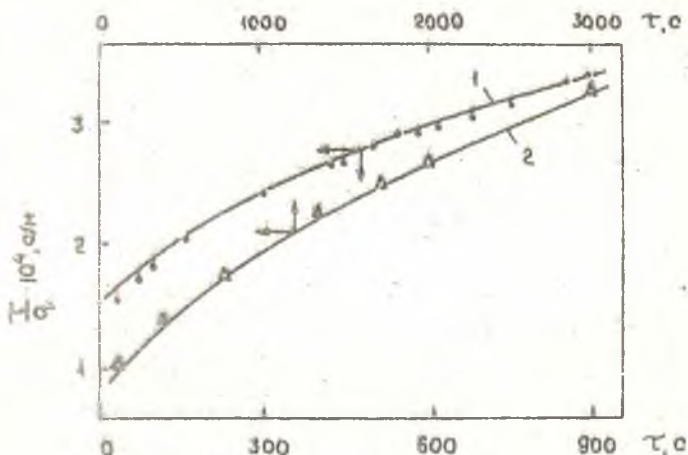


Рис. 1. Фильтрационные характеристики: 1 - АСА при  $140^{\circ}\text{C}$  через картон,  $\Delta p = 5 \cdot 10^4$  Па; 2 - 0,5% суспензия  $\text{ZnO}$  в водном растворе глицерина (60% об.) через бельтинг при  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta p = 3 \cdot 10^4$  Па.

### 3. Интенсификация процесса очистки АСА

Исследован процесс фильтрования АСА с применением различных по физико-химическим свойствам ВФВ: перлит, кизельгур, цеолит  $\text{NaX}$ , силикагель КСМ, отбеливающая глина, активированный уголь ОУ-Б. Экспериментально установлена функциональная зависимость между  $k$  и количеством добавляемого ВФВ в диапазоне концентраций до 0,2% масс.:

$$k = k_0 a^c, \quad (10)$$

где  $C$  - количество добавляемого ВФВ, % масс.

Во всех случаях, кроме силикагеля и угля, с увеличением концентрации ВФВ наблюдается улучшение фильтрационных характеристик, причем существенного влияния на  $W_n$  не отмечалось. Четкая корреляция между удельной поверхностью частиц ВФВ и константой  $K$  отсутствует, но установлена вполне определенная взаимосвязь между удельным объемом пор частиц ВФВ и фильтрационными характеристиками. Фильтрация АСА и присадки ВНИИ НП-360 с перечисленными выше ВФВ показало, что, как правило, эффективность ВФВ тем больше, чем больше удельный объем пор  $v_n$  (см. таблицу).

Вещество	$v_n$ , см <sup>3</sup> /г	$K_1/K_2$	$R_1/R_2$
Кизельгур	0,7 - 0,8	2,25	1,86
Цеолит	0,67- 0,75	2,10	2,26
Окись алюминия	0,7	-	2,15
Глина	0,6	1,60	2,00
Силикагель	0,3 - 0,6	0,70	1,30

В таблице приведены значения  $K_1/K_2$  для раствора АСА в ксилоле (1:1) и  $R_1/R_2$  для присадки ВНИИ НП-360, где  $R_1$  - общее сопротивление осадка при фильтровании без ВФВ,  $R_2$  - общее сопротивление осадка при текущем дозировании ВФВ в количестве 1,5 % масс.;  $K_1$  и  $K_2$  - константа в уравнении (1) соответственно для фильтрования без ВФВ и с добавлением ВФВ в количестве 0,1 % масс. Установлено, что наиболее пригодным в качестве намывных слоев при фильтровании является кизельгур.

Проведены исследования по применению в качестве коагулянта добавок высокополярного растворителя - ацетонитрила. Результаты седиментации, фильтрования и микроскопического анализа дисперсных систем показали высокую эффективность ацетонитрила, заключающуюся в повышении скорости отстаивания и  $W_n$  в 1,2-2,0 раза и в увеличении количества извлекаемых смолистых веществ в 1,2-1,5

раза. Диапазон концентраций ацетонитрила в очищаемом растворе, обеспечивающий повышение скорости седиментации и фильтрования, находится в пределах 2-12% масс. Рассмотрен механизм действия полярных добавок на устойчивость дисперсной фазы в растворах АСА в ксилоле.

Сравнительный анализ способов очистки АСА показал, что фильтрование с текучим дозированием ВФВ обеспечивает требуемое качество очистки. В качестве ВФВ могут быть использованы кизельгур, перлит, отбеливающая глина в количестве 1% масс. на продукт. Добавление в раствор ацетонитрила дополнительно повышает производительность на 20-30%.

#### 4. Оптимизация процесса фильтрования

Фильтрование с постепенным закупориванием пор часто встречается на практике, однако вопрос экономической оптимизации таких процессов не рассмотрен. С этой целью выведен критерий экономичности на основе принципа оптимизации по минимуму эксплуатационных затрат для фильтрования с закупориванием пор. В критерии учтены затраты на растворитель, используемый для снижения вязкости АСА. В общей форме критерий имеет вид:

$$C_0 = \frac{q(1-q_p)}{\tau_0 + \bar{k}_n \tau_n + \bar{k}_b \tau_b + \bar{k}_p q q_p} \quad (II)$$

Из уравнения (II) легко получить уравнения, характеризующие частные случаи процесса фильтрования. Включение в критерий (II) операции промывки при фильтровании с закупориванием пор объясняется потребностью такой операции при удалении наивысшего слоя, когда очищаемый продукт обладает хорошими адгезионными свойствами, для избежания неоправданных потерь очищаемого продукта с осадком или когда жидкость, оставшаяся в порах осадка и фильтрующей перегородки, обладает токсичными свойствами и может служить причиной загрязнения окружающей среды. Считая, что скорость промывки  $W_n$  пропорциональна скорости фильтрования в конце процесса очистки  $W_k$ , можно записать время промывки как

$$\tau_n = W_k \cdot \frac{\mu_n}{\mu(q_p)} \cdot \frac{\Delta p_n}{\Delta p} \quad (I2)$$

В случае использования обобщенного уравнения (8) константы  $\alpha$  и  $n$  будут являться функциями  $q_p$ :

$$\alpha = \frac{v_{\alpha}}{x_0'(1-q_p)} = \frac{\alpha'}{1-q_p}; \quad n = n'(1-q_p). \quad (13)$$

Константы можно представить в следующем виде:

$$R_1 = \frac{\mu(q_p)}{A_1(n'\alpha' + 1)} = \mu(q_p)\psi_1; \quad (14)$$

$$R_2 = \frac{(\alpha'n' + 1)(1-q_p)}{\alpha'N} = (1-q_p)\psi_2; \quad (15)$$

$$R_3 = \frac{\mu(q_p)n'N(\alpha')^2}{A_1(1-q_p)(\alpha'n' + 1)^2} = \frac{\mu(q_p)}{1-q_p}\psi_3. \quad (16)$$

С учетом уравнений (13)-(16), после алгебраических преобразований и подстановок в уравнение (II), получим критерий экономичности для фильтрования с постепенным закупориванием пор в обобщенной форме, где оптимальные  $q_p$  и  $q_p$  определяются решением системы уравнений:

$$\partial C_0 / \partial q = 0, \quad \partial C_0 / \partial q_p = 0. \quad (17)$$

Если принять, что зависимость  $\mu$  от  $q_p$  описывается уравнением

$$\mu(q_p) = \mu_p q_p^{\gamma}, \quad (18)$$

а фильтрование протекает с постепенным закупориванием пор, то для случая наибольшей производительности ( $\tau_n = 0$ ,  $\tau_B = 0$ ,  $R_p = 0$ ) имеем решение

$$q_{p\text{opt}} = \frac{(1-\gamma)(R_1 q - 1) + \sqrt{(1-\gamma)^2 (R_1 q - 1)^2 + \gamma R_1 q (2-\gamma)(2-R_1 q)}}{R_1 q (2-\gamma)} \quad (19)$$

При  $q \rightarrow 0$   $g_{\text{ропт}} \rightarrow \gamma/(\gamma-1)$ ;  $q \rightarrow \infty$   $g_{\text{ропт}} \rightarrow 1$ .

При учете затрат на разбавление получаем более сложное уравнение, решаемое методом последовательных приближений:

$$\frac{2\mu_p g_p^{\gamma}}{\Lambda_1 [2 - k_1 q (1 - g_p)]} \left\{ \frac{2[1 - k_1 q (1 - g_p)]}{2 - k_1 q (1 - g_p)} + \frac{\gamma(1 - g_p)}{g_p} \right\} + \bar{k}_p = 0. \quad (20)$$

Аналогичным образом получаем критерий экономичности для процесса сепарации:

$$C_0 = \frac{V(1 - g_p)}{\frac{18\mu(g_p)V}{\beta g d^2 [\rho_s - \rho(g_p)] \Sigma} + \bar{k}_0 T_0 + \bar{k}_B T_B + \bar{k}_p V g_p}. \quad (21)$$

где  $\bar{k}_B$  - затраты в единицу времени вспомогательных операций, отнесенные к затратам в единицу времени центрифугирования.

### 5. Выбор оптимальной температуры фильтрования

Оптимизация по температуре фильтрования имеет смысл, если при нагреве не происходит изменения агрегатного состояния загрязнений и не наблюдаются других процессов, способных влиять на константы фильтрования. В литературе отсутствуют сведения о критериях, позволяющих объективно выбрать оптимальную температуру фильтрования.

Для нагрева объема суспензии  $V$  от температуры  $T_1$  до  $T$  необходимо количество тепла

$$Q(T) = \rho V \int_{T_1}^T c_p dT = V \int_{T_1}^T c_{0\delta} dT. \quad (22)$$

В малоцентрированных суспензиях теплоемкостью твердой фазы можно пренебречь. Изменение объема суспензии за счет теплового расширения в первом приближении считаем незначительным. Если стоимость  $I$  кДж энергии, необходимой для нагрева, равна  $k_T$  руб./кДж, то затраты на нагрев объема суспензии  $V$  до температуры  $T$  будут равны

$$K_T = k_T Q(T); \quad K'_T = K_T / F = k_T q \int_{T_1}^T c_{0\delta} dT. \quad (23)$$

Преобразуем константы  $k_1$  и  $k_3$  уравнения (8) к более удобному виду

$$k_1 = \frac{\mu(\tau)}{A_1(n+1)} = \mu(\tau)\delta_1; \quad k_3 = \mu(\tau) \frac{nN\alpha^2}{A_1(n+1)} = \mu(\tau)\delta_3. \quad (24)$$

Считая, что  $\delta_1$ ,  $k_2$  и  $\delta_3$  не зависят от температуры, получим

$$C_0 = \frac{q}{\mu(\tau) \left[ \frac{\delta_1 q}{1-k_2 q} - \delta_3 \ln(1-k_2 q) \right] + \bar{k}_T q \int_{T_1}^T C_{00} dT + \bar{k}_B \tau_B}. \quad (25)$$

Условие наибольшей экономичности определяется путем решения системы уравнений:

$$\partial C_0 / \partial q = 0; \quad \partial C_0 / \partial T = 0. \quad (26)$$

Дифференцирование по  $q$  дает уравнение

$$\frac{\mu(\tau) k_2 q}{(1-k_2 q)^2} \left( \frac{\delta_3}{1-k_2 q} - \delta_1 q \right) - \mu(\tau) \delta_3 \ln(1-k_2 q) + \bar{k}_B \tau_B = 0. \quad (27)$$

Дифференцируя по  $T$ , получаем второе уравнение

$$\left[ \frac{\delta_1 q}{1-k_2 q} - \delta_3 \ln(1-k_2 q) \right] \frac{\partial \mu(\tau)}{\partial T} = -\bar{k}_T q \frac{\partial}{\partial T} \left( \int_{T_1}^T C_{00} dT \right). \quad (28)$$

Совместное решение уравнений (27) и (28) позволяет определить оптимальные условия фильтрования для обобщенной зависимости.

Проведен анализ полученных решений применительно к фильтрованию растворов АСА.

## 6. Разработка автоматической системы оптимального управления процессом фильтрования

Оптимизация процесса фильтрования служит динамичным фактором повышения эффективности производства. Переход на оптимальные режимы часто требует небольших затрат, которые окупаются в сроки, не превышающие нормативные, при существенном снижении затрат на фильтрование.

Разработано устройство, основанное на принципе бесперебойной адаптивной оптимизации, и защищено авторским свидетельством

СССР № 619200. Устройство содержит (рис.2), расходомер 1, установленный на выходном продуктопроводе фильтра 7, интегратор 2, связанный с расходомером, блок деления 3, экстремальный блок 4, реле 5, управляющее запорным клапаном 6 выходного продуктопровода фильтра 7, блок времени промывки 8, запоминающий блок 9, инвертор 10, сумматор 11, блок текущего времени 14 и блок времени вспомогательных операций 15, реле 12, управляющее запорным клапаном 13 линии подачи промывной жидкости.

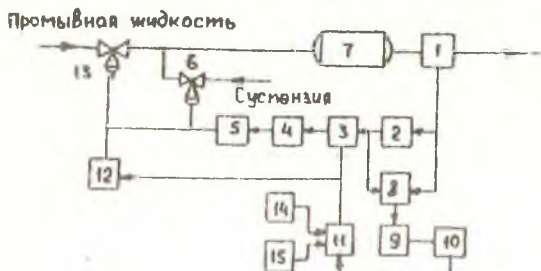


Рис.2. Блок-схема автоматического устройства оптимального управления процессом фильтрования.

Принцип действия устройства заключается в осуществлении поиска максимума функции

$$C_0 = \frac{V}{\tau_{\phi} + k_n \tau_n + k_B \tau_B},$$

соответствующего наибольшей экономичности процесса фильтрования, определении соответствующей длительности стадии промывки и автоматическом переходе с фильтрования на промывку.

Так как структуры критериев экономичности для фильтрования неразбавленных суспензий и суспензий с использованием растворителя подобны, то по аналогии с рассмотренным устройством разработано автоматическое устройство для оптимального управления процессом фильтрования с использованием растворителя (Заявка № 2748270/26. Положительное решение от 9.10.79).

На основе разработанных устройств предложены варианты реализации, основанные на различных принципах. В частности, предложено устройство на базе автоматического прибора КСП-2, а



также приведен пример реализации автоматического устройства на основе аналоговых блоков. Проведены лабораторные испытания опытного образца автоматического устройства. Устройство внедрено на Новополюцком НПЗ. Экономический эффект от внедрения устройства составил 40 тыс. рублей в год.

#### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. На основе зависимости физико-химических свойств растворов АСА от степени разбавления и температуры, а также механизма взаимодействия между жидкой фазой раствора АСА и загрязнениями установлено, что наиболее полное удаление загрязнений происходит при фильтровании с использованием ВФВ, причем процесс фильтрования протекает с постепенным закупориванием пор фильтрующей перегородки.

2. Получены основные соотношения между константами фильтрования при изменении степени разбавления. Предложено модифицированное уравнение фильтрования с постепенным закупориванием пор при использовании растворителей.

3. Получено обобщенное уравнение фильтрования с закупориванием пор при отклонении начального участка фильтрационной характеристики от линейной зависимости. Частными случаями полученного уравнения являются уравнения фильтрования с постепенным и полным закупориванием пор. Получены упрощенное уравнение для аппроксимации фильтрационных характеристик и методика определения констант фильтрования.

4. Установлена функциональная зависимость между количеством добавляемых в раствор ВФВ и константами фильтрования. В качестве ВФВ для текущего дозирования в раствор рекомендованы перлит, кизельгур или отбеливающая глина в количестве 1% масс.

5. Экспериментально установлено, что использование ацетонитрила в качестве полярной добавки для интенсификации процесса фильтрования и центрифугирования АСА позволяет повысить скорость процесса очистки в 1,5-2,0 раза. Диапазон концентраций ацетонитрила, обеспечивающий повышение производительности, находится в пределах 2-12% масс.

6. Получен критерий оптимизации процесса фильтрования с постепенным закупориванием пор при использовании растворителей.

а также критерий экономичности для фильтрования вязких суспензий при повышенных температурах. Полученные критерии позволяют более полно и рационально использовать тепловую и электрическую энергию, а также растворитель в процессе фильтрования.

7. Определены экономически оптимальные условия фильтрования и центрифугирования растворов АСА. Разработаны оригинальные автоматические устройства оптимального управления процессом фильтрования, предложены варианты реализации устройств в условиях действующего производства. Экономический эффект от внедрения автоматического устройства на Новополюцком НПЗ составил 40 тыс. рублей в год.

Основное содержание диссертации изложено  
в следующих работах:

1. Гриченко А.А., Ельшин А.И., Лапкин С.А. К расчету процесса фильтрования при подаче суспензии на фильтр центробежным насосом. -Новополюцк, 1975.-22 с.-Рукопись представлена Новополюцким политехническим институтом. Деп. в ЦИТИхимнефтемаш, 1975, № 275-75.
2. Гриченко А.А., Ельшин А.И. Влияние отклонения температуры фильтрования от режимной на производительность пресс-фильтров.-Эксплуат., модерниз. и ремонт оборудования в нефтеперераб. пром. 1977, № 5, с.1-3.
3. Гриченко А.А., Ельшин А.И. Исследование возможности интенсификации процесса фильтрования алкилфенольной присадки ВНИИ НП-360.-В кн.: Современные машины и аппараты химических производств. Материалы I Всес. конф. Чимкент, 1977, т.2, с.389-392.
4. Гриченко А.А., Ельшин А.И., Кажарский В.А. Автоматическое устройство оптимального управления периодическим процессом фильтрования.-Автоматизация и контрольно-измерительные приборы. 1978, № 5, с.17-18.
5. А.с. 586194 (СССР). Способ очистки присадки / А.А. Гриченко, А.И. Ельшин, А.Д. Рудковский, Н.И. Вяльцин, С.А. Лапкин.-Опубл. в Б.И., 1977, № 48.
6. А.с. 619200 (СССР). Устройство для автоматического определения времени фильтрования /А.А. Гриченко, А.И. Ельшин, А.Д. Рудковский, В.А. Кажарский, С.А. Лапкин.-Опубл. в Б.И., 1978, № 30.

7. Гриченко А.А., Ельшин А.И., Рудковский А.Д. Применение адсорбентов в производстве присадок.-В кн.: Применение адсорбционных процессов для защиты окружающей среды от загрязнения. Тезисы докл. Всес. совещания. Минск, БелНИИТИ, 1978, с.25-27.
8. Гриченко А.А., Ельшин А.И. Оптимизация процесса фильтрования присадки ВНИИ НП-360.-Эксплуат., модерниз. и ремонт оборуд. в нефтеперераб. пром. 1978, № II, с.2-4.
9. Гриченко А.А., Ельшин А.И., Юринов Ю.В. Влияние поверхностных сил на свойства фильтрата.-Журнал прикладной химии. 1979, т.52, № 4, с.864-867.
10. Гриченко А.А., Ельшин А.И. Исследование и оптимизация процесса фильтрования вязких суспензий при использовании разбавителей.-Новополоцк, 1979.-51 с.-Рукопись представлена Новополоцким политехническим институтом. Деп. в ЦИНТИхимнефтемаш, 1979, № 514.
11. Гриченко А.А., Ельшин А.И. Расчет экономически оптимальной степени разбавления при фильтровании вязких суспензий.-Теор. основы хим. технологии, 1979, т. 13, № 5, с.796.
12. Яковлевич В.П., Гриченко А.А., Ельшин А.И., Троцкая З.Х., Гицдина Р.С. Облагораживание замасливателей посредством фильтрования.-Стеклообразующие волокна и стеклопластики. 1979, вып. 3, с.24-28.
13. Заявка 2748270/26 (СССР). Устройство для автоматического определения времени фильтрования /А.А. Гриченко, А.И. Ельшин, А.Д. Рудковский, Л.И. Ленев.-Положительное решение от 9.10.79.
14. А.с. 719667 (СССР). Устройство для фильтрования под вакуумом /А.А. Гриченко, А.И. Ельшин.-Опубл. в Б.И., 1980, № 9.

## ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- $a$  - константа уравнения (10);  
 $C_o$  - критерий экономичности, м/с;  
 $c$  - концентрация добавляемого ВВВ, % масс.;  
 $c_p$  - массовая теплоемкость, кДж/(кг·К);  
 $d$  - средний размер осаждаемых частиц, м;  
 $F$  - поверхность фильтрования, м<sup>2</sup>;  
 $Q_p$  - объемная доля растворителя;  
 $k$  - константа фильтрования в уравнении фильтрования с постепенным закупориванием пор, м<sup>-1</sup>;  
 $\bar{k}_{B_1}$  - отношение затрат в единицу времени вспомогательных операций к затратам в единицу времени фильтрования;  
 $\bar{k}_o$  - отношение затрат в единицу времени отжима осадка к затратам в единицу времени центрифугирования;  
 $\bar{k}_{n_1}$  - отношение затрат на промывку к затратам в единицу времени фильтрования;  
 $\bar{k}_p$  - отношение затрат, связанных с использованием растворителя, к затратам в единицу времени фильтрования, с/м;  
 $\bar{k}_T$  - отношение затрат на нагрев суспензии к затратам в единицу времени фильтрования, (с·м<sup>2</sup>)/кДж;  
 $l_n$  - длина капилляров, м;  
 $N$  - число открытых пор на 1 м<sup>2</sup> фильтрующей перегородки, 1/м<sup>2</sup>;  
 $N_n$  - число пор на 1 м<sup>2</sup> чистой фильтрующей перегородки, 1/м<sup>2</sup>;  
 $\Delta p$  - разность давлений при фильтровании, н/м<sup>2</sup>;  
 $\Delta p_n$  - разность давлений при промывке, н/м<sup>2</sup>;  
 $q$  - объем фильтрата, полученного с 1 м<sup>2</sup> фильтрующей перегородки, м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>;  
 $R_{ф.п.}$  - сопротивление фильтрующей перегородки, м<sup>-1</sup>;  
 $r$  - текущее значение радиуса пор фильтрующей перегородки, м;  
 $r_k$  - начальный радиус капилляра, м;

- $V$  - объем фильтруемой суспензии, м<sup>3</sup>;  
 $V_{н}$  - объем неразбавленной суспензии, м<sup>3</sup>;  
 $V_{ос}$  - объем осадка, м<sup>3</sup>;  
 $T$  - температура, °К;  
 $W$  - скорость фильтрования, м/с;  
 $W_n, W_k$  - начальная и конечная скорость фильтрования соответственно, м/с;  
 $x_0$  - отношение объема осадка к объему фильтрата;  
 $x'_0$  - отношение объема осадка к объему фильтрата для неразбавленной суспензии;  
 $\beta$  - коэффициент эффективности;  
 $\gamma$  - константа;  
 $\Sigma$  - индекс производительности центрифуги;  
 $\mu, \mu_n$  - вязкость фильтруемой и промывной жидкости соответственно, Па·с;  
 $\rho, \rho_s$  - плотность жидкости и твердой фазы соответственно, кг/м<sup>3</sup>;  
 $\tau_f, \tau_o, \tau_n, \tau_k$  - время фильтрования, отжима осадка, промывки и вспомогательных операций соответственно, с.

Ельшин Александр Иванович

Исследование процесса очистки алкенилсукцинангидрида  
от загрязнений

Автореферат диссертации на соискание ученой  
степени кандидата технических наук

---

Подписано в печать 13.10.80. АЖ-02117. Формат 60×84/16.  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 4,16. Уч.-изд. л. 4,11. Тираж 100.  
Заказ № 165 Бесплатно

---

Отпечатано на ротапринтере НПИ  
211440, г. Новополюцк, ул. Блохина, 29