

Автор едр.

П 58

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
ИНСТИТУТ им. М. В. ЛОМОНОСОВА

Инж. ПОПОВ Л.П.

ИССЛЕДОВАНИЕ И СИНТЕЗ СИСТЕМЫ  
ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ  
ЭКСТРАКТОРАМИ типа НД-1250

Перечет 19.07.69  
(Специальность № 198 — Автоматизация  
производственных процессов)

Автореферат  
диссертации на соискание ученой  
степени кандидата технических наук

Одесса-1969

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
ИНСТИТУТ им. М. В. ЛОМОНОСОВА

Инж. ПОПОВ Л.П.

ИССЛЕДОВАНИЕ И СИНТЕЗ СИСТЕМЫ  
ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ  
ЭКСТРАКТОРАМИ типа НД-1250

(Специальность № 198 — Автоматизация  
производственных процессов)

Автореферат

диссертации на соискание ученой  
степени кандидата технических наук

ОНАХТ

18.07.12

Исследование и синте



v001704

v001704

Одесский технологический

институт

им. М. В. Ломоносова

БИБЛИОТЕКА

Одесса-1969

Работа выполнена во Всесоюзном проектно-конструкторском и научно-исследовательском институте автоматизации пищевой промышленности "Пищепром - автоматика".

Научный руководитель: доктор технических наук,  
профессор *И. И. Кринецкий*.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук *В. В. Белобородов*,  
кандидат технических наук *В. Т. Кулик*.

Ведущее предприятие - Армавирский масложиркомбинат.

Автореферат разослан "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1969 г.

Защита диссертации намечена на "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1969 г.  
на заседании Совета по присуждению ученых степеней  
при Одесском технологическом институте им. М.В. Ломоносова.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке  
института.

Просим Вас принять участие в обсуждении диссертации по защите или прислать отзыв (в двух экземплярах) по адресу: г. Одесса, ГСП-1, ул. Свердлова, 112, Одесский технологический институт им. М.В. Ломоносова, ученому секретарю Совета.

О дне, времени и месте защиты за 10 дней будет объявлено в газете.

Ученый секретарь Совета

(*Л. А. Запорожец*)

## В В Е Д Е Н И Е

Намеченные директивами XXIII съезда КПСС темпы роста выпуска продукции и производительности труда возможны на базе широкого внедрения прогрессивных технологических схем, увеличения масштабов производства и повышения эффективности вновь вводимого и действующего оборудования за счет внедрения систем оптимального управления. В ряде случаев последнее осуществимо только на основе средств вычислительной техники. Это относится и к маслоэкстракционному производству, основное оборудование которого отличается непрерывностью, поточностью и высоким уровнем механизации.

Экстракционный способ получения растительных масел, основанный на извлечении продукта растворителем, является прогрессивным и осуществляется, в основном, на аппаратах типа III.

Главным звеном экстракционной линии является экстрактор, т.к. он решает основную задачу — извлечение масла из масличного сырья.

Однако, достижение глубокой степени извлечения масла приводит к существенному повышению расхода растворителя — экстракционного бензина и теплоэнергетических затрат.

Этим определяется необходимость оптимизации процесса экстракции. В условиях постоянно действующих возмущений по нагрузке и качеству исходного сырья, эффект воздействия растворителя на основной выходной показатель — потери масла в шроте — оказы-

вается различным. Поэтому значения оптимизирующих режимных параметров процесса во времени не остаются постоянными.

Из-за недостаточной изученности экстрактора как объекта оптимального управления в настоящее время по существу отсутствуют сведения об условиях оптимизации процесса экстракции.

Серьезным препятствием является также отсутствие должной систематизации, методологического инженерного подхода, а также опыта в пищевой промышленности по оптимизации технологических процессов.

Реферлируемая работа частично восполняет указанный пробел.

Её задачами являются:

1. Изложение последовательности, методологии и арсенала приемов анализа технологических объектов и синтеза систем оптимального управления.
2. Исследование процесса противоточной бесступенчатой экстракции растительных масел, осуществляемого на аппаратах НД-1250, с целью определения условий его оптимизации.
3. Исследование параллельно работающих экстракторов как объекта автоматического управления и определения условий оптимизации управления.
4. Синтез систем оптимального управления экстракторами, испытание и внедрение ее на производстве.

Диссертация состоит из пяти глав, выводов и рекомендаций, приложений и списка использованной литературы, включающей 47 источников.

Общий объем - 170 стр., в том числе 44 рисунка и 8 таблиц.

## Глава I

### ЗАДАЧИ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА СИСТЕМ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

В данной главе излагается последовательность и арсенал приемов, используемых при анализе объектов управления и синтезе СОУ.

Раздел анализа посвящен вопросам постановки задачи об оптимальном управлении объектом, выбора целевой функции управления, получения математического описания объекта, анализа взаимосвязей параметров, экспериментальных исследований по изучению статических и динамических свойств объекта.

В разделе синтеза дан систематизированный подход к построению СОУ в том случае, когда структура синтезируемой системы может быть задана заранее. В нем описаны основные этапы синтеза: определение структуры СОУ и задание технических требований к ней; аналитический синтез блоков алгоритма управляющей части СОУ; составление общего алгоритма управления и экспериментальная проверка СОУ на удовлетворение заданным техническим требованиям.

## Глава II

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСТРАКТОРА КАК ОБЪЕКТА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Целью данных исследований являлось изучение условий оптимизации одного экстрактора.

Процесс экстракции ведется в противотоке путем воздействия летучим растворителем (бензином) на экстрагируемый материал - лепесток.

В результате образуется раствор масла в бензине - мисцелла и обезжиренный, насыщенный бензином материал - шрот.

Оставшиеся в шроте доли неизвлеченного масла составляют потери масла в шроте и характеризуются основным показателем процесса - масличностью шрота ( $M_{шр}$ ).

Как объект управления экстрактор представляет сложный многопараметрический процесс.

Основные входные и выходные параметры можно разбить на четыре группы:

1. Входные управляющие воздействия - расход (прокачка) бензина  $V_D$  ( $m^3/час$ ), обороты вала загрузочной колонны (производительность экстрактора)  $\omega_z$  (об/мин), температура бензина  $\theta_D$  ( $^{\circ}C$ ),

2. Входные случайные контролируемые воздействия - масличность лепестка  $M_L$  (отн.ед.), влажность лепестка  $B_L$  (отн.ед.), температура лепестка  $\theta_L$  ( $^{\circ}C$ ).

3. Входные случайные неконтролируемые воздействия -  $\sigma, \lambda$  (мм, отн.ед.), характеризующие внешнюю структуру лепестка (толщину и количество мелочи),  $\xi$  - характеризующее внутреннюю структуру материала,  $\sigma$  и  $\lambda$  вообще поддаются контролю, но метод их определения очень неточен и трудоемок. Поэтому к неконтролируемым воздействиям они отнесены условно.

4. Выходные -  $M_{шр}$  (отн.ед.), концентрация мисцеллы  $C_{мц}$  (отн.ед.), бензиноемкость шрота  $B_{шр}$  (отн.ед.), влажность шрота  $B_{шр}$  (отн.ед.).

Основной задачей управления экстрактором является достижение минимума потерь масла в шроте при максимальной производительности и минимуме энергозатрат.

В качестве целевой функции, позволяющей сопоставить указанные факторы, используется показатель себестоимости I тонны масла.

В уравнения себестоимости вошли входные и выходные параметры процесса.

Для изучения поведения целевой функции в области изменения управлений и возмущений и определения условий оптимизации получено математическое описание процесса экстракции.

Математическое описание статики и динамики экстрактора выполнено отдельно.

Динамические характеристики получены экспериментальным путем при линейной аппроксимации динамических звеньев.

В основу математического описания статики процесса противоточной бесступенчатой экстракции положены основные кинетические и балансовые уравнения, полученные в ряде работ д.т.н. Белобородова В.В.

Преобразование и дополненные рядом зависимостей (при условии постоянства  $B_{шр}$  и  $V_{шр}$  для данного рода сырья и аппарата) уравнения имеют вид:

$$G_d = 4,0 + 14,25 (\omega_3 - 0,294);$$

$$\tau = \frac{878}{\omega_3} + 2065;$$

$$D = 0,557 \cdot 10^{-5} \frac{273 + \theta_8}{212,5 - \theta_8};$$

$$K = 0,3045 D^{0,142} f_1^{0,716} \tau^{-0,858};$$

$$\rho = 1 - M_d - B_d;$$

$$\rho_M = \rho_{M20} - K_M (\theta_M - 20);$$

$$\rho_B = \rho_{B20} - K_B (\theta_B - 20);$$

(1)

$$N = \rho_M - \rho_B C_{MЦ} - (\rho_M - \rho_B) C_{MЦ}^2;$$

$$m_1 = \left( \frac{\rho_B V_B}{G_A} - 0,325 \rho \right) \frac{C_{MЦ}}{1 - C_{MЦ}};$$

$$\ln \frac{\rho N}{\frac{\rho_B}{0,325} (M_A - m_1)} = K f_1 \tau \frac{\rho_B}{0,325} \left( \frac{M_A}{m_1} - 1 \right) \left[ \frac{\rho N}{\frac{\rho_B}{0,325} (M_A - m_1)} - 1 \right];$$

$$K' = K \frac{m_1'}{m_1};$$

$$M_{шр} = \frac{1 - 0,838 B_A}{1 + \frac{\rho}{M_A - m_1}},$$

где  $G_A$  - расход лепестка, т/ч;

$\tau$  - время экстракции, сек;

$D$  - молекулярный коэффициент диффузии, см<sup>2</sup>/сек;

$f_1$  - поверхность единицы веса экстрагируемого материала, см<sup>2</sup>/кг;

$\rho_M(\rho_{M20})$  - удельный вес масла (при 20°C), т/м<sup>3</sup>;

$\rho_B(\rho_{B20})$  - удельный вес бензина (при 20°C), т/м<sup>3</sup>;

$K_M$  - температурная поправка по удельному весу масла,

$$\frac{\text{т/м}^3}{^\circ\text{C}};$$

$K_B$  - температурная поправка по удельному весу бензина,

$$\frac{\text{т/м}^3}{^\circ\text{C}};$$

$\theta_M$  - температура масла в экстракторе, °С;

$m_1(m_1')$  - съем масла с единицы веса экстрагируемого материала при исходной (фактической) маслячности лепестка, отн.ед.;

$K(K')$  - коэффициент массопередачи при  $m_1(m_1')$ ,  $\frac{\text{кг}}{\frac{\text{кг}}{\text{см}} \cdot \text{сек}}$ ;

$\rho, N$  - промежуточные обозначения.

При экспериментальной проверке и отработке уравнений (I) уточнены коэффициенты  $m$  и  $n$ , полученные В.В.Белобородовым на пилотной установке для критериального уравнения, связывающего зависимость диффузионные критерии Нуссельта и Фурье.

В уравнения (I) также введено выражение  $K_T = K_f \tau$ , где  $K_T$  названо коэффициентом экстрагирующей способности. Оценка сходимости математического описания с экспериментальными характеристиками объекта проведена по среднеквадратическому отклонению  $\sigma_\Delta$  расчетных значений маслячности шрота ( $M_{шрр}$ ) от экспериментальных ( $M_{шрЭ}$ ) и отношению  $\sigma_\Delta$  к среднеквадратическому отклонению  $M_{шрЭ}$  от среднего значения  $\bar{M}_{шрЭ}(\eta)$ .

Результаты оценок получены по 32 точкам статистики при уточненных значениях коэффициентов  $m, n$  и постоянном значении для всех точек  $K_T = 0,0230$ :

$$\sigma_\Delta = 1,14 \cdot 10^{-3}; \quad \eta = 0,612.$$

Для проверки математического описания экспериментальные данные сняты в разное время в течение года. Тем не менее полученные оценки показывают удовлетворительную сходимость результатов. Для коротких участков времени, которые характеризуются большей стабильностью характеристик сырья и качества подготовки лепестка (т.е. меньшим отклонением в каждой точке  $K_T$  от среднего), эти оценки улучшаются.

Математическое описание (I) исследовано на ЭЦВМ с целью определения основных и второстепенных зависимостей и параметров.

Анализ зависимостей и параметров выполнен путем оценки воздействий входных параметров на  $M_{шр}$  с учетом полученных статистик случайных воздействий и динамических свойств объекта.

В результате к основным параметрам отнесены  $M_1$ ,  $\omega_3$  и  $V_{\sigma}$ , к второстепенным —  $\beta_1$ ,  $\theta_1$ ,  $\theta_{\sigma}$ .

Параметры  $\sigma$ ,  $\lambda$  и  $\xi$  оцениваются косвенным путем. Они вошли в коэффициент  $K_{\sigma}$ , который отражает внутренние и внешние параметры объекта и по степени влияния на  $M_{шр}$  отнесен к основным параметрам.

Совместное исследование на ЭЦВМ уравнений себестоимости и математического описания дало следующие результаты.

Экстремум функции себестоимости при существующих в настоящее время технических ограничениях отсутствует.

Наименьшее значение себестоимости получается при минимальной маслячности лепестка, максимальной производительности и прокачке бензина.

Характер изменения функции себестоимости вне области технических ограничений показывает наличие экстремума (минимума) себестоимости в области  $\omega_3 = 0,7 \div 0,8$  об/мин и  $V_{\sigma} = 13-14$  м<sup>3</sup>/час.

Таким образом, можно рекомендовать изменить существующие нормы, увеличив нагрузку экстрактора и прокачку бензина на 20-30%, чтобы достичь технико-экономического оптимума на данном аппарате.

При существующих технических условиях экстрактор НД-1250 должен быть снабжен системами автоматической стабилизации основных

параметров процесса, позволяющих интенсифицировать процесс на максимально возможных уровнях:

1. Прокачки бензина.

2. Температуры бензина с коррекцией по температуре лепестка.

3. Уровня лепестка в загрузочной колонне экстрактора.

Внедрение указанных систем на Армавирском масложиркомбинате дало возможность получить экономический эффект 39 тыс.руб. в год.

### Глава III

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНО РАБОТАЮЩИХ ЭКСТРАКТОРОВ КАК ОБЪЕКТА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

В последние годы для увеличения мощности предприятий используют 2 или 3 параллельно работающие экстракционные линии.

Лепесток поступает из общего потока и распределяется между экстракторами. Прокачка бензина осуществляется отдельно на каждый экстрактор.

Экспериментальным путем на Армавирском масложиркомбинате получены разные значения масличности шрота параллельно работающих экстракторов при идентичных условиях осуществления процесса.

Исследованиями установлено, что это происходит в связи со случайными изменениями характеристик экстракторов. Поэтому возникает необходимость перестраивать работу аппаратов, чтобы получить лучшие технико-экономические показатели.

Данная глава посвящена исследованию параллельно работающих экстракторов с целью определения условий оптимального управления ими.

Исследование на ЭЦВМ целевой функции управления, в качестве которой использовались уравнения себестоимости, показало, что при данной постановке задачи экстремум функции себестоимости совпадает с экстремумом функции общего съема сырого экстракционного масла на двух экстракторах  $G_M$ .

Однако, последняя записывается и считается проще.

$$G_M = m_{11} G_{Л1} + m_{12} G_{Л2},$$

где  $m_{11}, m_{12} (G_{Л1}, G_{Л2})$  - значение  $m_1(G_{Л1})$  для первого, второго экстракторов.

Поведение  $G_M$  исследуется в области изменения входных и внутренних параметров объекта ( $K_T$ ).

Для изучения поведения  $K_T$  во времени проведен пассивный эксперимент, в котором фиксировались на I-ом и 2-ом экстракторах следующие параметры процесса:  $M_{Л1}, V_{Л1}, \theta_{Л1}, V_{Г}, \omega_3, M_{шр}$ .

Т.к. параметры в эксперименте изменялись, точки статики получены с учетом динамики через весовую функцию.

По математическому описанию и полученным точкам статики рассчитаны  $K_T$ .

В каждой точке определена величина  $K_B = K_T - 0,8289$  и по данным точкам рассчитана корреляционная функция  $R_{KB}(\tau)$ .

Анализ корреляционной функции показал, что в  $K_B$  входит три составляющие: детерминированная -  $K_d$ , случайная функция зависящего процесса -  $K_c$ , случайная типа "белый шум" -  $K_\sigma$ .  $K_d$  и  $K_c$  (в дальнейшем называемые полезной составляющей  $K_n$ ) характеризуют изменения характеристик экстрактора и параметров  $\sigma, \lambda, \xi$ .

$K_\sigma$  обусловлена погрешностью контроля параметров процесса и ошибками расчета  $K_T$ , отнесена к помехам.  $K_d$  аппроксимирована синусоидой, амплитуда которой  $A = 0,019 \text{ см}^3/\text{кг}$ , период  $T = 72$  часа.

Результаты исследования функции  $G_M$  при вариациях основных входных параметров процесса и  $K_{\tau}$  частично приведены на рис. 1, 2.

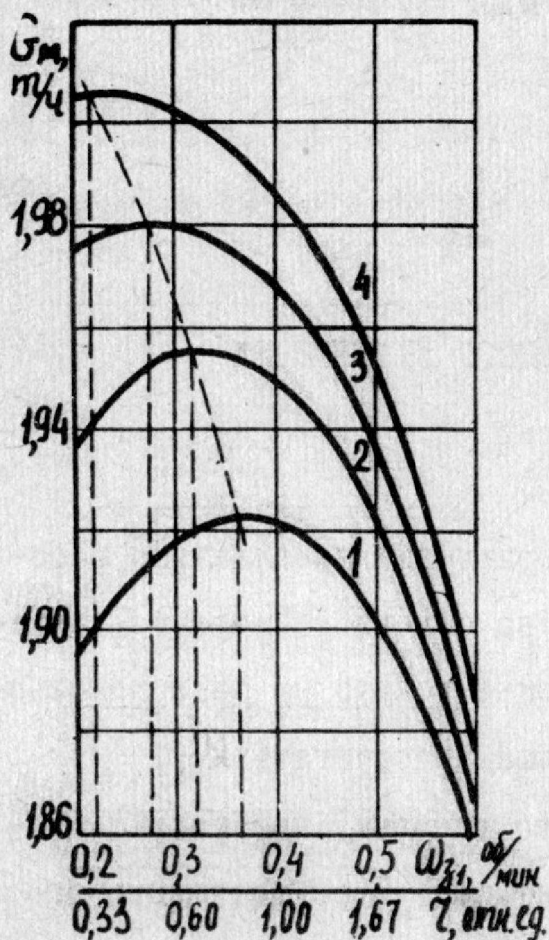


Рис. 1. Поведение целевой функции при  $M_d = 18,5\%$ ;  $V_{\sigma_i} = 12 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $\omega_{3\Sigma} = 0,8 \text{ об/мин}$ ;  $\Delta k_{\tau}$ : 1 - 0,03; 2 - 0,05; 3 - 0,08; 4 - 0,10.

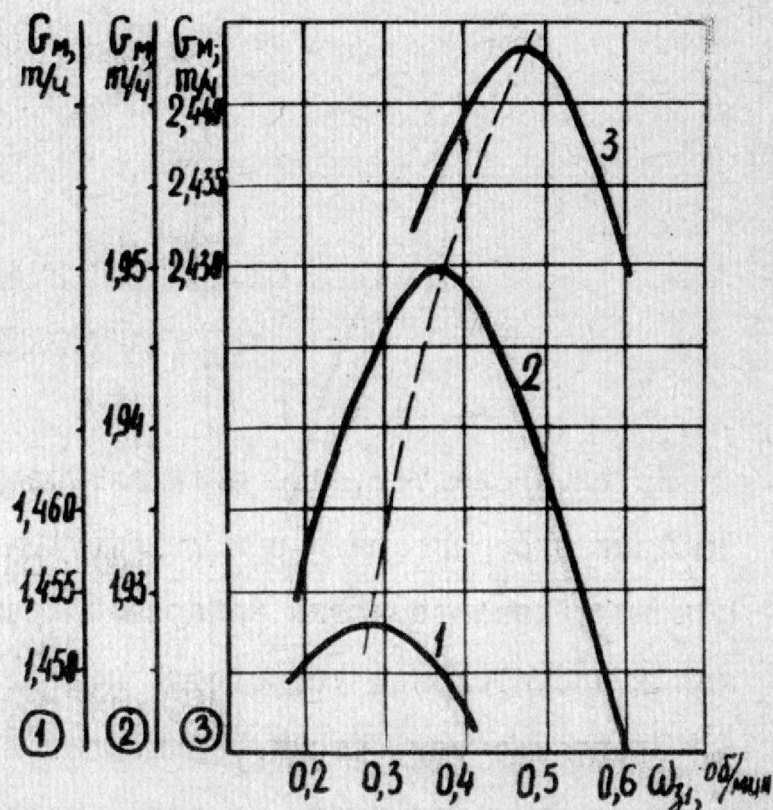


Рис. 2. Поведение целевой функции при  $M_d = 18,5\%$ ;  $V_{\sigma_i} = 10 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $K_{\tau_1} = 0,8129 \text{ см}^3/\text{кг}$ ;  $K_{\tau_2} = 0,8449 \text{ см}^3/\text{кг}$ ;  $\omega_{3\Sigma}$ : 1 - 0,6; 2 - 0,8; 3 - 1,0.

На рис. 1, 2 обозначены:  $\omega_{3\Sigma}$  - суммарное значение оборотов вала первого ( $\omega_{31}$ ) и второго экстракторов;  $\tau$  - соотношение между оборотами вала первого и второго экстрактора;  $i$  - номер экстрактора;  $K_{\tau_1}$ ,  $K_{\tau_2}$  - значение  $K_{\tau}$  для первого, второго экстрактора.

Анализ результатов показал, что экстремум функции  $G_M$  смещается в зависимости от величины  $V_{\sigma_i}$ ,  $K_{\tau_i}$  и  $\omega_{jz}$ .

Таким образом, для непрерывного поддержания в процессе управления  $G_{M \max}$  необходимо измерять значения указанных параметров, находить  $\tau_{opt}$ , соответствующее  $G_{M \max}$  и устанавливать его на объекте.

## Глава IV

### СИНТЕЗ СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭКСТРАКТОРАМИ

Из гл. III следует, что оптимальное управление параллельно работающими экстракторами при действующих на объект возмущениях и изменениях характеристик аппаратов возможно только на базе применения вычислительных устройств, позволяющих рассчитать  $K_{\tau_i}$ .

В связи с тем, что  $K_{\tau_i}$  изменяются во времени, необходимо периодически их уточнять, а затем рассчитывать и осуществлять оптимальное управление.

Учет динамики процесса позволяет эти два этапа совместить.

Расчет оптимального управления воздействия осуществляется с использованием математической модели (I').

Качество подстройки модели (уточнения  $K_{\tau}$ ) оценивается с точки зрения расхождения расчетных и фактических значений  $M_{up}$ .

Подстройка производится в режиме нормальной работы объекта. Поэтому СОУ параллельно работающими экстракторами относится к классу самонастраивающихся систем с независимым (пассивным) накоплением информации.

В структуру алгоритма управляющей части системы вошли следующие блоки (рис.3): ввода и обработки информации (1), математического описания (2), целевой функции (3), уточнения коэффициентов математического описания  $K_T$  (4), прогнозирования коэффициентов  $K_T$  (5), поиска оптимального управляющего воздействия ОУВ (6).

Основным техническим требованием к СОУ является точное отыскание и реализация оптимального управляющего воздействия, что обеспечивает минимум потерь экономического эффекта.

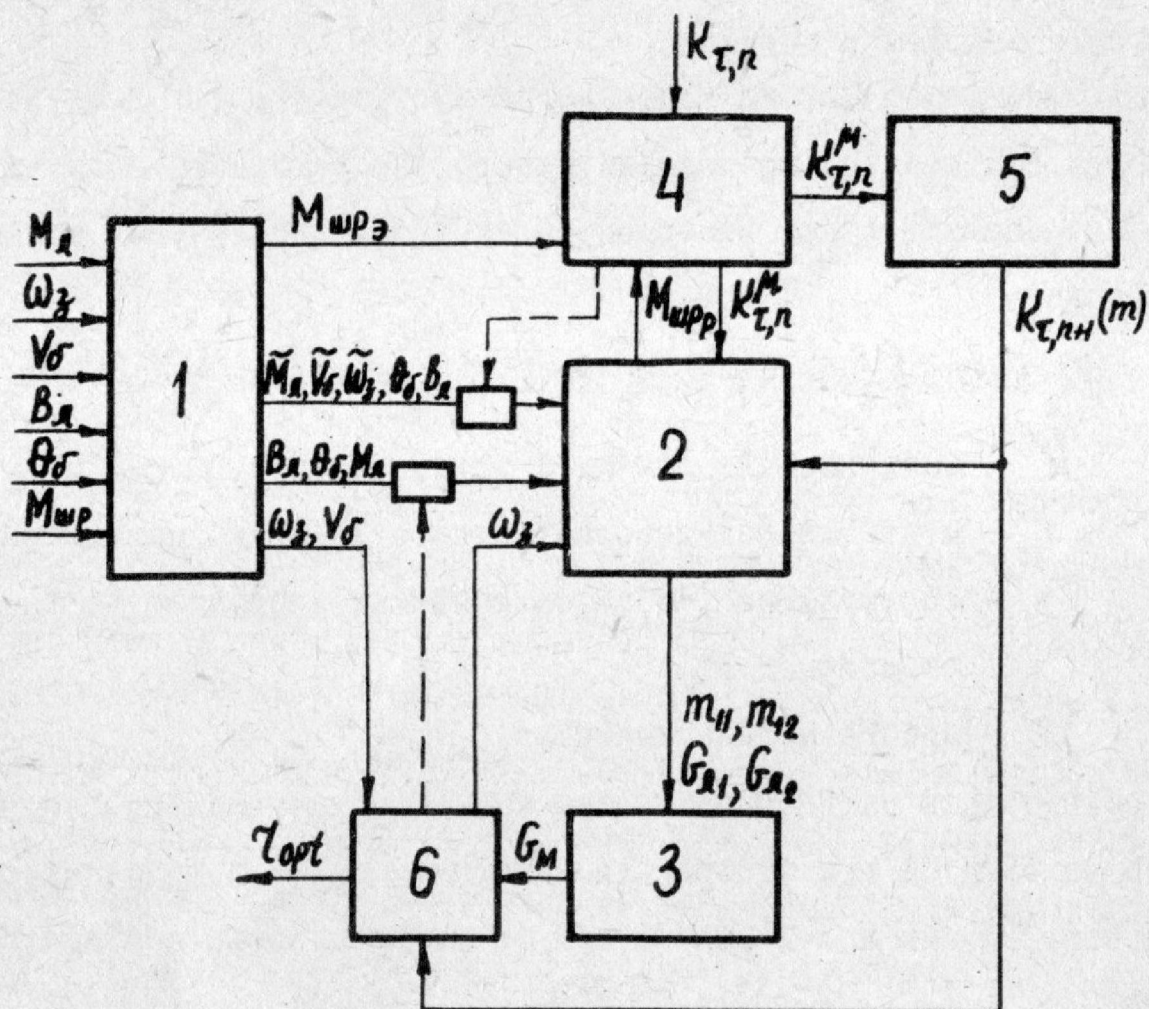


Рис.3

Экономический эффект непосредственно зависит от величины  $\Delta K_T$ , где  $\Delta K_T$  разность между  $K_T$  первого и второго экстрактора. Поэтому для упрощения расчетов максимальный эффект оценивается

величиной  $\Delta K_{\tau, \max} = 2A + b_{\Delta K_{\tau}}$ , где  $b_{\Delta K_{\tau}}$  — среднеквадратическое значение разности между  $K_{\tau}$  первого и второго экстракторов.

При аналитическом синтезе выбраны такие алгоритмы-блоки управляющей части СОУ, которые обеспечивают минимум ошибки расчета  $K_{\tau}$  ( $\Delta K_{\tau}$ ) и более точное измерение параметров. Это относится к блокам 1, 5 и 6 (рис. 3).

При аналитическом синтезе блока I учитывалось то обстоятельство, что информация должна позволять уточнять  $K_{\tau}$  и отражать поведение объекта в будущем.

Для уменьшения ошибки контроля параметров  $M_{\Delta}$  и  $M_{\text{шр}}$  от неоднородности состава при проведении одного лабораторного анализа выбран оптимальный режим отбора проб из условия получения минимума дисперсии:

$$D = R_x(0) + \frac{1}{n} R_x(0) + \frac{1}{n} R_y(0) + R_z(0) - \frac{2}{n} \sum_{\nu=0}^{n-1} R_x(\nu \cdot \Delta\tau) + \frac{2}{n^2} \sum_{\eta=1}^{n-1} (n-\eta) R_x(\eta),$$

где  $R$  — знак корреляционных функций составляющих  $x, y, z$ ;

$x$  — составляющая действительного значения параметра;

$y$  — составляющая, обусловленная неоднородностью состава отбираемых проб;

$z$  — ошибка метода контроля.

Исследование на ЭЦВМ показало, что  $D_{\min}$  уменьшается соответственно на 59 и 8% при отборе для контроля  $M_{\Delta}$  4-х проб с дискретностью 30 мин и 2-х проб с той же дискретностью при контроле  $M_{\text{шр}}$ .

Для подавления помех непрерывно контролируемых параметров ( $\omega_z, \nu_{\sigma}, \theta_{\sigma}$ ) рассчитаны оптимальные параметры фильтров по приближенной формуле оптимальной фильтрации. Расчетные значения постоянной времени фильтра:

$$T_{\omega_z} = 11 \text{ мин}; \quad T_{\nu_{\sigma}} = 25 \text{ мин}; \quad T_{\theta_{\sigma}} = 8 \text{ мин}.$$

Выбор интервала ступенчатой аппроксимации функций изменения параметров с целью определения поведения объекта в будущем выполнен одновременно для всех параметров. Этот интервал составил 15 минут.

Для уточнения  $K_T$  осуществляется ступенчатая интерполяция параметров, которые определяются как среднеарифметическое их значений на концах интервала. Интервал интерполяции также равен 15 минутам.

Оптимальная (с точки зрения минимума ошибки и затрат на проведение лабораторного анализа) дискретность контроля параметров  $M_d$  и  $M_{шр}$  - 2 часа.

Для получения промежуточных значений  $M_d$  на 15-ти минутных интервалах используются следующие алгоритмы.

При уточнении  $K_T$  применяется интерполяционная формула Лагранжа. При определении будущего состояния объекта - линейная экстраполяция стационарного случайного процесса изменения параметра.

Аналитически показано, что при использовании данных алгоритмов обработки информации потери эффекта от неточности контроля, экстраполяции и интерполяции параметров составляют 42% от максимально возможного экономического эффекта.

Для расчета оптимальных управлений  $K_T$  прогнозируется на каждые 15 минут в течение 2-х часов (до момента его уточнения). В связи с тем, что в течение 2-х часов  $K_d$  практически не изменяется, прогноз ведется по формуле линейной экстраполяции стационарной случайной последовательности. При этом максимальная ошибка прогноза  $K_T$  приводит к дополнительным потерям эффекта - 7%.

Нахождение ОУВ осуществляется методом деления отрезка пополам. Сам метод дает точный результат, а система, реализующая ОУВ, имеет погрешность 2,5%. Это дает дополнительные потери эффекта 2+3%,

Таким образом, погрешности контроля, экстраполяции и интерполяции параметров, прогноза и реализации ОУВ приводят к суммарным потерям эффекта до  $5I \pm 52\%$  от максимально возможного.

Структурная схема алгоритма оптимального управления, приведенная на рис. 3, работает циклически с длительностью цикла 2 часа.

Уточнение коэффициентов  $K_{\tau}$  осуществляется каждые два часа при участии блоков 1, 2, 4. Для этого значение  $B_{\lambda}$ , контролируемое 1 раз в смену,  $\tilde{\omega}_z$ ,  $T_{\sigma}$ ,  $\tilde{M}_{\lambda}$ , приведенные в статике,  $\theta_{\sigma}$  с выхода фильтра, экспериментальное значение  $M_{шр_3}$  и значение  $K_{\tau, n}$  в предыдущем  $n$ -ом цикле самонастройки системы поступают в блоки 2 и 4. Путем направленного перебора и расчета математического описания отыскивается  $K_{\tau}$  для 1-го и 2-го экстрактора.

Поиск и реализация ОУВ осуществляется каждые 15 минут в блоках 1, 2, 3, 5, 6. Из блоков 1 и 5 задаются прогнозируемые значения  $M_{\lambda}$  и  $K_{\tau, n+1} (m)$ . Блок 6 осуществляет поиск ОУВ путем задания шагов поиска и сравнения на каждом шаге результатов расчета в блоках 2 и 3 функции  $G_m$ .

Найденное  $T_{opt}$  устанавливается на объекте. Функционально СОУ состоит из 2-х уровней:

1. Локальных систем автоматизации (низший уровень), решающих задачи автоматического контроля и регулирования параметров процесса. Эти системы представляют основные каналы передачи информации об объекте высшей ступени управления, а от нее обратно на объект в виде соответствующих управляющих воздействий.

2. Управляющей вычислительной машины "Днепр" (высший уровень), на которой проводится поиск оптимальных условий ведения процесса и формирование необходимых команд для ступени низшего уровня управления.

Низший уровень управления включает системы автоматического регулирования, названные во II-й главе, системы автоматического контроля расхода и температуры бензина, а также систему автоматического регулирования соотношения оборотов вала I и 2 экстракторов.

Входной информацией УВМ является:

1. Значения оборотов вала I и 2 экстракторов.
2. Значения прокачек бензина на I и 2 экстракторах.
3. Значение температуры бензина, поступающего в экстракторы.
4. Значение маслячности и влажности поступающего на экстракцию лепестка.

5. Значения маслячности шрета на выходе I и 2 экстракторов.

Информация 1, 2, 3 поступает в УВМ от соответствующих измерительных систем непрерывно. Информация 4, 5 вводится в УВМ дискретно:  $M_d$  и  $M_{шр}$  - 1 раз в 2 часа,  $V_d$  - 1 раз в смену.

Для обеспечения непрерывного ввода информации о значениях прокачки и температуры бензина использованы пневмоэлектрические преобразователи типа ПЭ-55М.

Значения  $\omega_z$ ,  $V_{\sigma}$  и  $\theta_{\sigma}$  осредняются с помощью фильтров, выполненных на элементах R-C (сопротивлениях и конденсаторах).

Реализация оптимального закона распределения общей загрузки между параллельно работающими экстракторами осуществляется по заданию УВМ "Днепр" через цифроаналоговый преобразователь (блок "А").

## Глава У

### РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ СОУ

Для получения навыков управления от УВМ взрывоопасным объектом, которым является экстрактор, в лабораторных условиях осу-

целью цифроаналоговое моделирование системы с реальной УВМ "Днепр". Это также позволило отладить и проверить программы в целом и по частям.

УВМ "Днепр" с отлаженными и запаянными программами, а также устройства связи с объектом смонтированы на промышленном объекте Армавирского масложиркомбината к началу 1967 года. В течение 1967 года и первой половины 1968 года СОУ прошла три стадии опытных испытаний общей длительностью 6 месяцев. Испытаниям подвергалась система высшего уровня - УВМ "Днепр" и локальные системы автоматического регулирования и контроля, непосредственно связанные с УВМ.

Была осуществлена техническая проверка алгоритмов и средств в промышленных условиях, а также проверка фактической экономической эффективности.

В ходе технической проверки возникли затруднения на данном производстве в части выполнения большего, чем обычно (в 4 раза), количества лабораторных анализов масличности лепестка и шрота. В связи с этим часть алгоритмов (обработки информации и прогноза  $K_T$ ) была изменена и приспособлена к существующей на предприятии дискретности контроля  $M_A$  и  $M_{шр}$ , равной 8 часам.

Для уменьшения ошибки прогноза  $K_T$  от нестационарности, которая проявляется при этой дискретности, применен комбинированный алгоритм прогноза: экспоненциального сглаживания и линейной экстраполяции.

На первом этапе определяется текущее среднее значение  $\bar{K}_{T,n}$ , принимаемое на период времени до очередной корректировки  $K_T$ . Расчет производится по формуле экспоненциального сглаживания,

связывающей  $\bar{K}_{\tau,n}$  со средним значением  $\bar{K}_{\tau,n-1}$ , принятым в предыдущем цикле, и значением  $K_{\tau,n}$ , полученным в результате последней корректировки.

На втором этапе изменение  $\bar{K}_{\tau,n}$  в пределах каждого последующего часа прогнозируется по методу экстраполяции случайной стационарной последовательности.

Аналитические расчеты показали, что при этом увеличивается максимальная ошибка экстраполяции  $M_n$  на 6% и максимальная ошибка прогноза  $K_{\tau}$  на 18%. Это приводит к дополнительному увеличению потерь эффекта на 10-12%. Таким образом, общие потери экономического эффекта увеличатся до 60%, что означает достижение эффекта 21 тыс.руб. в год.

Техническая проверка локальных систем и УВМ показала, что в течение испытаний не было отказов в локальных системах и были пять сбоев в УВМ "Днепр", три из которых были устранены без отключения СОУ.

Проверка алгоритмов дала следующие результаты. Точность математической модели процесса экстракции, в связи с осуществлением самонастройки повысилась до 7-8%.

Экспериментальное значение среднеквадратической ошибки прогноза  $K_{\tau}$ , равное 0,259, хорошо согласуется с теоретическим значением, равным 0,274.

Фактическая экономическая эффективность в одном эксперименте составила 24 тыс.руб., во втором - 16,2 тыс.руб. в год, что также согласуется с теоретическими расчетами.

Полученные результаты подтвердили правильность проведенных теоретических и экспериментальных исследований по синтезу СОУ экстракторами.

В I полугодии 1968 года СОУ внедрена в опытно-промышленную эксплуатацию на Армавирском масложиркомбинате.

## ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Выполненные исследования и результаты опытно-промышленных испытаний СОУ позволяют сделать следующие выводы:

1. Математическое описание процесса противоточной бесступенчатой экстракции подсолнечного масла, полученное Белобородовым В.В., преобразованное и дополненное необходимыми несложными промежуточными формулами, может быть использовано при анализе и синтезе систем автоматического управления.

Точность расчета основного выходного показателя — масличности шрота составляет: при исследованиях — 11%, в системе оптимального управления с самонастройкой — 7–8% по отношению к среднему значению  $M_{шр}$ , равному одному абсолютному проценту.

2. Процесс противоточной бесступенчатой экстракции, осуществляемый на аппаратах НД-1250, имеет оптимум. В качестве оценки оптимума наиболее приемлемым является использование показателя себестоимости тонны масла.

С точки зрения этого критерия оптимум по производительности экстрактора лежит на 20–30% выше нормативного, а прокачка бензина в экстрактор в области 13–14 м<sup>3</sup>/час.

3. Оптимизация процесса экстракции при существующих в настоящее время технических ограничениях, наложенных на основные управления воздействия, производительность и прокачку бензина, сводится к следующему. На одном экстракторе — к максимальной интенсификации процесса экстракции по температуре процесса, прокачке бензина и производительности. Эта задача решается локальными системами автоматизации, осуществляющими стабилизацию параметров процесса на максимальном уровне. На двух экстракторах — оптималь-

ному управлению распределением экстрагируемого материала, подаваемого в экстракторы. В качестве критерия оптимальности для 2-х экстракторов в данном частном случае предпочтительно пользоваться показателем общего выхода сырого экстракционного масла, т.к. экстремум этого показателя совпадает с экстремумом показателя себестоимости, а записывается и вычисляется он проще.

Задача оптимизации решается автоматически с помощью системы оптимального управления, состоящей из 2-х уровней. Первым уровнем являются системы стабилизации параметров, вторым — система оптимизации с адаптацией.

4. Система оптимизации процесса экстракции реализуется, в основном, на общепромышленных средствах автоматического контроля, регулирования и управляющей вычислительной техники.

В состав алгоритма оптимизации входят следующие основные блоки: съема и обработки информации, уточнения коэффициентов математического описания, прогноза коэффициентов, математического описания, целевой функции, поиска оптимальных управляющих воздействий.

5. Существующие в настоящее время общепромышленные средства управляющей вычислительной техники мало пригодны для построения гибких структур управления технологическими процессами. В частности, используемая в системе УВМ "Днепр-1" обладает избыточной мощностью для данной задачи и, как показывают предварительные исследования, не обеспечит полной реализации алгоритмов второй внедряемой задачи оптимального управления комплексом процессов: форпрессование — экстракция — дистилляция.

6. Экономический эффект системы оптимального управления экстракторами существенно снижается из-за наличия ошибок контроля

параметров процесса, ручного ввода параметров и неточности математического описания, что предопределяет получение годового эффекта порядка 15-20 тыс.руб. в год и составляет 30-40% от максимально возможного.

Разработка датчиков автоматического контроля масличности лепестка и масличности шрота позволит повысить эффективность системы в 1,5-2 раза.

Необходимо отметить большую перспективность и возможно существенное повышение эффективности проведенных исследований в связи с двумя обстоятельствами.

В последнее время технологами интенсивно проводятся исследования по уточнению гипотезы об ограничении снижения масличности шрота до разумного (оптимального) предела.

Этот предел характеризуется тем, что достигается такая глубина извлечения сырого экстракционного масла, при которой качество его существенно не ухудшается и при последующей рафинации получается максимальный выход рафинированного экстракционного масла.

Роль оптимизации процесса экстракции при этом существенно повышается, т.к. появляется дополнительное управляющее воздействие - количество прокачиваемого в экстрактор бензина, что еще более усложняет управление.

Второе обстоятельство связано также с проводящимися в настоящее время исследованиями по оптимизации комплекса технологических процессов: форпрессование - экстракция - дистилляция.

Проведенные предварительные исследования показывают, что разработанная система войдет составной частью в общую систему оптимизации комплекса процессов, предполагаемый годовой эффект которой составит 100-120 тыс.руб. в год.

Содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Л.П.Попов. "Исследование по разработке системы оптимального управления процессом экстракции с применением УВМ". Сб. ЦИТИ-Пищепром. Применение вычислительной техники для автоматизации производственных процессов в пищевой промышленности. М., 1965.
2. Л.П.Попов. Проверка математической модели экстракции растительных масел в аппаратах типа НД. Ж, Известия вузов СССР, Пищевая технология, № 5, 1967.
3. Л.П.Попов. Исследование маелoэкстракционных процессов и разработка систем оптимального управления экстракторами НД-1250 с применением УВМ. Сб. ЦИТИПищепром. Применение вычислительной техники для автоматизации технологических процессов и управления производством в пищевой промышленности. М., 1967.
4. Л.Л.Роткоп, Л.П.Попов, Е.М.Трахтенберг, В.А.Демченко, Н.Е.Щуцкий, Н.Ф.Зверева, И.Д.Литинский. Опыт разработки и внедрения системы управления маелoэкстракторами на базе машины "Днепр" на Армавирском маелoжиркомбинате. Тезисы и доклады У Всесоюзного семинара "Управляющая машина "Днепр", ее возможности и применение", часть I, Киев, 1967.
5. Л.П.Попов, В.А.Демченко, В.Л.Карачан. К вопросу выбора оптимальной нагрузки экстрактора и прокачки бензина. Ж., Маелoжировая промышленность, № 5, М., 1968.
6. Л.П.Попов, Е.М.Трахтенберг, В.А.Демченко. Разработка и внедрение системы управления спаренными экстракторами на Армавирском маелoжиркомбинате. Сб. Оперативное управление производством. Л., 1968.

1. Л.Э.Роткоп, Л.П.Попов. Состояние работ по применению ЭЦВМ для управления технологическими процессами в пищевой промышленности. Тезисы докладов на Всесоюзном семинаре по автоматизации управления непрерывными технологическими процессами, 9-11 апреля 1968 года в Москве.

Основные результаты работы докладывались на следующих семинарах и конференциях:

1. Всесоюзный семинар по применению вычислительной техники для автоматизации производственных процессов в пищевой промышленности (Москва, 7-11 декабря 1964 г.).
2. Сессия автоматизации производственных процессов Научно-технического Совета Министерства пищевой промышленности СССР (г.Москва, апрель 1966 г.).
3. 2-я Всесоюзная конференция по оперативному управлению производством (6-10 февраля 1968 г., г. Ленинград).
4. Всесоюзный семинар по автоматизации управления непрерывными технологическими процессами (г.Москва, 5-11 апреля 1968 г.).
5. У Всесоюзный семинар "Управляющая машина "Днепр", ее возможности и применение" (г.Киев, ноябрь 1967 г.).
6. УІ Всесоюзная сессия семинара "Управляющие машины и системы" (г.Киев, 26-29 ноября 1968 г.)