

Автор ер.  
П 21

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
ИМ. М. В. ЛОМОНОСОВА

---

О.Н. ПАУЛИН

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДОБИЯ  
ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОЙ  
ОПТИМИЗАЦИИ С ЗАПОМИНАНИЕМ  
ЭКСТРЕМУМА

(Специальность № 05.198 - Автоматизация  
производственных процессов)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Перечислет 13.87/1.

Одесса, 1971 г.

Авторефер  
1721

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
ИМ. М. В. ЛОМОНОСОВА

---

О.Н. ПАУЛИН

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДОБИЯ  
ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОЙ  
ОПТИМИЗАЦИИ С ЗАПОМИНАНИЕМ  
ЭКСТРЕМУМА

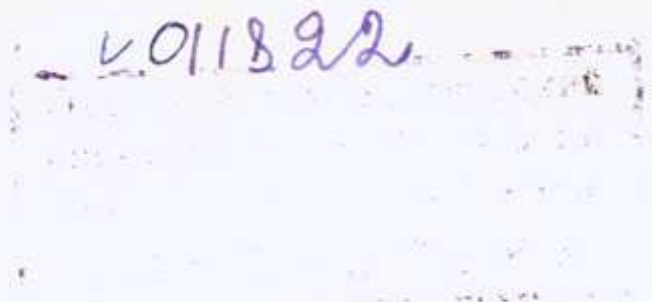
(Специальность № 05.198 - Автоматизация  
производственных процессов)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Одесса, 1971 г.

4011822



Работа выполнена на кафедре автоматизации производственных процессов Одесского технологического института пищевой промышленности им. М.В. Ломоносова.

Научные руководители:

кандидат технических наук доцент И.С. Миронов  
кандидат технических наук В.Б. Медзеневский

Официальные оппоненты:

доктор технических наук профессор П.И. Чинаев  
кандидат технических наук доцент Ф.А. Самонов

Ведущее предприятие - Всесоюзное научно-производственное объединение "Пищепромавтоматика", г. Одесса.

Автореферат разослан 12 августа 1971 г.

Защита диссертации состоится 24 сентября 1971 г. на заседании Совета Одесского технологического института пищевой промышленности имени М.В. Ломоносова.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Отзыв на автореферат просим направлять в двух экземплярах по адресу: г. Одесса, ГСП-510, ул. Свердлова, 112, Технологический институт пищевой промышленности имени М.В. Ломоносова.

Ученый секретарь Совета

Л.А. Запорожец

## ВВЕДЕНИЕ

Научно-технический прогресс характеризуется непрерывным ростом автоматизации производства. При этом важным является не только применение совершенного оборудования, но и ведение управляемого процесса оптимальным образом, что достигается максимальным снижением затрат сырья (энергии); максимальным увеличением к.п.д. установок, обеспечением минимальной себестоимости и т.п.

Обеспечение оптимальной - наилучшей в некотором смысле - работы объекта является в настоящее время одной из центральных задач при автоматизации производственных процессов; с усложнением объектов оптимизация процессов в них становится экономически все более целесообразной. Такое положение характерно для большинства технологических процессов, в том числе и для процессов пищевой промышленности, где значительная часть экономического эффекта от повышения уровня автоматизации приходится на долю оптимизации процессов. Этим объясняется повышенный интерес к решению задачи оптимизации как в нашей стране, так и за рубежом. Однако сложность объектов оптимизации и значительные возмущения в технологическом процессе не позволяют в полной мере решить этот вопрос.

Известны две основные разновидности систем оптимизации: системы жесткой оптимизации и системы автоматической оптимизации. В первых стабилизируются такие входные воздействия, которые обеспечивают оптимальное значение некоторого критерия качества ведения процесса; системы второй разновидности осуществляют поиск оптимального режима при помощи автоматических оптимизаторов, подклассом которых являются экстремальные регуляторы.

Перспективность применения экстремальных регуляторов связана с возможностью устранения основного недостатка систем жесткой оптимизации - отсутствия такого комплексного показателя, стабилизация которого гарантировала бы ведение оптимального процесса в условиях различных технологических возмущений.

Общая постановка задачи экстремального регулирования впервые была дана В.В.Казакевичем в 1944 г. В дальнейшем теория и практика систем экстремального регулирования (СЭР) интенсивно развивалась. Значительный вклад в развитие теории этих систем внесли советские ученые Кунцевич В.М., Моросанов И.С., Тарасенко В.П., Чинаев П.И., Юркевич А.П. и др., а также зарубежные ученые Дрейпер Ч.И., Ли И.Т., Робертс Дж.Д., Серденжекты С., Цянь Сюэ-сень.

Основные показатели качества работы СЭР - устойчивость и потеря на поиск - определяются как динамическими свойствами объекта (инерционность и запаздывание), так и характером различных воздействий на систему. Влияние указанных факторов на качество работы систем автоматической оптимизации (экстремальных систем) с запоминанием экстремума исследовалось многими авторами. Наиболее полной разработкой в данной области является книга И.С.Моросанова "Релей-

ные экстремальные системы". Однако некоторые важные задачи исследования еще не решены, а это сдерживает разработку стройной методики динамического расчета экстремальных систем с запоминанием экстремума, позволяющую выбирать значения настроечных параметров системы из условий устойчивости и заданного качества поиска экстремума.

Данная работа частично восполняет указанный пробел. Ее задачей является:

- исследование идеализированной СЭР ;
- исследование СЭР, работающих под воздействием различных возмущений ;
- разработка методики динамического расчета экстремальных систем с запоминанием экстремума ;
- расчет на основе разработанной методики конкретных систем

автоматической оптимизации процессов пищевой промышленности.

Исследования в работе большей частью проведены аналитически с использованием идей и методов теории подобия.

## 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ИДЕАЛИЗИРОВАННОЙ СЭР.

Известно, что задача непрерывного поиска экстремума возникает лишь в том случае, если искомое экстремальное значение показателя качества управляемого процесса изменяется во времени под действием различных возмущений на систему. Выделим из общего рассмотрения "идеальную" модель СЭР, под которой понимается система, не подверженная внешним воздействиям. Такая идеализация правомерна при определении предельных возможностей системы с данными параметрами. Кроме того, полученные при исследовании идеальной модели СЭР результаты являются основой для рассмотрения более сложных случаев.

В данной работе приняты следующие допущения:

1. Объект, в соответствии с принятым в литературе подходом, может быть замещен одной из двух следующих схем:

а) схема замещения типа ЛН;

б) схема замещения типа НЛ.

Соответственно в дальнейшем используются сокращенные названия: объект типа ЛН (НЛ) и СЭР типа ЛН (НЛ).

Линейная часть (Л) объекта, в общем случае описываемая линейным дифференциальным уравнением  $n$ -го порядка, может быть аппроксимирована последовательно соединенными звеном запаздывания ( $\tau$  - время запаздывания) и аperiodическим звеном первого поряд-

ка ( $T$  - постоянная времени). Такая аппроксимация оправдана для большинства промышленных объектов (пищевые, тепловые и другие объекты).

Нелинейное звено (Н) объекта, описываемое в общем случае полиномом  $m$ -ой степени, в практически важных случаях может быть аппроксимировано уравнением параболы с коэффициентом  $K$ .

2. Запоздыванием и инерционностью экстремального регулятора по сравнению с инерционностью объекта можно пренебречь; статическая характеристика регулятора обладает зоной нечувствительности  $\Delta$ .

3. Люфтом исполнительного механизма (ИМ) можно пренебречь; скорость ИМ постоянна и модуль ее равен  $a$ .

Итак, в данном случае собственно система характеризуется 5-ю параметрами:  $T$ ,  $\tau$ ,  $K$ ,  $\Delta$ ,  $a$ .

Основными величинами, характеризующими работу экстремальной системы, являются параметры автоколебаний (амплитуда и частота) и качественные показатели (устойчивость и точность).

Под устойчивостью системы понимается устойчивость ее предельного цикла, что сводится к требованию, чтобы динамическое отклонение выходной величины после момента реверса ИМ не превышало зоны нечувствительности регулятора; точность системы определяется величиной поисковой потери.

Как показано в работе, качественные показатели системы могут быть выражены в функции значений амплитуд автоколебаний, поэтому определение последних представляет особый интерес. Однако уравнения для определения амплитуд являются трансцендентными и для их

решения необходимо привлекать численные методы. С другой стороны, решение этих уравнений является функцией 5-и перечисленных выше параметров. Таким образом, даже в простейшем случае идеализированной СЭР, если интересоваться решением уравнений при изменении параметров в широкой области, задача становится громоздкой.

Затруднение, связанное с размерностью задачи, в данном случае преодолено с помощью теории подобия, содержание которой составляют методы установления подобия и изучение свойств подобных явлений.

Как известно, теория подобия базируется на 3-х основных теоремах. Для данных исследований наибольший интерес представляет т.н. П - теорема, в соответствии с которой любое уравнение может быть представлено в критериальном виде, т.е. так, что функциональной зависимостью связываются безразмерные комплексы переменных, называемые критериями подобия. Это позволяет снизить размерность задачи (в данном случае - с пяти до двух), что существенно упрощает исследования и повышает обзорность результатов.

В работе показано, что для экстремальной системы с запоминанием экстремума, независимо от типа схемы замещения объекта (НЛ либо ЛН), имеют место два критерия подобия, связывающие параметры системы ( $A_0$  - амплитуда автоколебаний безынерционной системы)

$$P_T = \frac{aT}{\sqrt{\frac{\Delta}{k}}} = \frac{aT}{A_0} \quad , \quad (1)$$

$$P_\tau = \frac{a\tau}{A_0} \quad ; \quad (2)$$

при этом все параметры процесса представляются в относительном виде и выражаются в функции только критериев  $P_T$  и  $P_z$ .

Для обеих структур системы (НЛ и ЛН) из исходных дифференциальных уравнений, описывающих отдельные звенья системы, методом приращивания получены уравнения движения системы в режиме установившихся автоколебаний; учет в последних значений входной и выходной координат системы в момент реверса ИМ позволяет записать уравнения для определения амплитуд автоколебаний.

Данные уравнения исследованы и решены численным методом на ЭЦВМ. При этом получены графические зависимости амплитуды автоколебаний  $\mu$  (отнесенной к  $A_0$ ) и потери на поиск  $\alpha$  (отнесенной к  $\Delta$ ) от критериев  $P_T$  и  $P_z$ , а также область устойчивости системы в плоскости  $(P_T, P_z)$ .

Отметим, что полученное в данной работе решение дифференциальных уравнений с запаздывающим аргументом позволило принять (см. выше) в качестве исходной посылки о возможности двухзвенной аппроксимации линейной части объекта.

Зависимости  $\mu(P_T, P_z)$  и  $P_{zкр} = f(P_T)$  на интервале  $0 < P_T < 1$  аппроксимированы по методу наименьших квадратов простыми выражениями:

$$\text{схема НЛ} \quad \mu = 1 + 0,806 P_T^{0,826} + P_z . \quad (3)$$

$$P_z \leq \sqrt{1 + e^{-\frac{P_T}{2}}} - 1 ; \quad (4)$$

$$\text{схема ЛН} \quad \mu = 1 + P_T + P_z , \quad (5)$$

$$P_z \leq 0,414 - 0,295 P_T ; \quad (6)$$

причем знак равенства в формулах (4) и (6) соответствует границе устойчивости.

В работе получены также формулы для определения потери на поиск:

$$\text{схема НЛ} \quad d = \frac{\mu^2}{3}, \quad (7)$$

$$\text{схема ЛН} \quad d = \frac{\mu^2}{3} - \frac{\gamma P_T^2}{\mu}, \quad (8)$$

где  $\gamma = \mu - P_T \operatorname{th} \frac{\mu}{P_T}$ .

Анализ полученных в работе данных показывает, что с ростом  $P_T$  или/и  $P_\tau$  растут амплитуда автоколебаний  $\mu$ , потеря на поиск  $d$  и динамическое отклонение  $\nu$  (отнесенное к  $\Delta$ ), определяющее устойчивость системы, причем в СЭР типа ЛН  $d$  меньше, а  $\mu$  и  $\nu$  больше, чем в схеме НЛ при соответственно одинаковых обобщенных параметрах системы  $P_T$  и  $P_\tau$ .

Установлено, что в случае без запаздывания ( $P_\tau = 0$ ) идеализированная СЭР типа НЛ абсолютно устойчива, а СЭР типа ЛН теряет устойчивость при  $P_T > P_{Tкр} = 1.56$ .

Наличие запаздывания в системе заметно ухудшает возможности последней: резко возрастает потеря на поиск и значительно сужается область устойчивости по сравнению со случаем без запаздывания; последнее справедливо и для СЭР типа НЛ.

В работе, кроме того, введением в рассмотрение критерия подобия несколько модифицируется известная графоаналитическая методика И.С. Моросанова расчета экстремальных систем для случая, когда линейная часть объекта может быть представлена апериодическим звеном; выведены простые выражения для определения па-

раметров автоколебаний и качественных показателей работы системы, а также получены их числовые значения.

Сравнение результатов данной работы с результатами, полученными по модифицированной методике, в широкой области изменения параметров системы обеих структур (НД и ЛН) показало практически хорошее совпадение, особенно по частотам автоколебаний.

## II. ИССЛЕДОВАНИЕ СЭР, ПОДВЕРЖЕННОЙ СЛУЧАЙНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

Основным режимом работы экстремальной системы следует считать режим слежения за смещающимся экстремумом, обусловленным дрейфом статической характеристики (СХ) объекта. Дрейф СХ, в свою очередь, обусловлен изменениями во времени свойств технологического объекта или качества исходного продукта, процессами старения и т.п.

В работе принято, что случайные воздействия на экстремальную систему приложены к нелинейному звену объекта, так что перемещение СХ может быть описано случайным вектором

$$\bar{\lambda}(t) = \lambda_1(t)\bar{i} + \lambda_2(t)\bar{j} \quad , \quad (9)$$

где  $\bar{i}, \bar{j}$  - орты системы координат, в которых определена СХ объекта.

Продифференцировав (9) по времени, получим

$$\bar{\lambda}'(t) = \xi(t)\bar{i} + \eta(t)\bar{j}, \quad (10)$$

где  $\xi(t) = \lambda_1'(t)$ ,  $\eta(t) = \lambda_2'(t)$  - соответственно горизонтальная и вертикальная составляющие скорости перемещения (дрейфа) СХ.

Относительно случайных процессов  $\xi(t)$  и  $\eta(t)$  принято, что они являются процессами со стационарным остатком, так что

$$\xi_0(t) = \xi(t) - M[\xi(t)], \quad \eta_0(t) = \eta(t) - M[\eta(t)],$$

где  $\xi_0(t)$  и  $\eta_0(t)$  - стационарные процессы, некоррелированные, распределенные нормально, имеющие дисперсию  $\sigma_{\xi_0}$  и  $\sigma_{\eta_0}$  соответственно;

$M$  - символ математического ожидания.

В работе получены следующие оценки для составляющих скорости дрейфа

$$\left. \begin{aligned} \xi_{\max} &= |M[\xi(t)]|_{\max} + 2\sigma_{\xi_0} \\ \eta_{\max} &= |M[\eta(t)]|_{\max} + 2\sigma_{\eta_0} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

На качественные показатели (устойчивость и потеря на поиск) работы системы существенное влияние оказывают составляющие скорости дрейфа. В частности, дрейф СХ обуславливает эффект сложения скоростей; при этом скорость поиска и горизонтальная составляющая скорости дрейфа то складываются (поиск ускоряется), то вычитаются (поиск замедляется).

Более опасным в смысле потери устойчивости является случай, когда эти скорости складываются; при этом необходимо рассматривать критерии  $P_T^*$  и  $P_{\tau}^*$ , определяемые выражениями

$$\left. \begin{aligned} P_T^* &= P_T + \xi_{\max} \\ P_{\tau}^* &= \frac{\tau}{T} P_T^* \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Тогда верхняя граница возможных значений  $P_T^*$  может быть определена либо по соответствующим графикам данной работы, либо, если  $0 < P_T^* < 1$ , по выражениям (4) и (6); нижняя граница для  $P_T^*$  определяется выражением

$$P_T^* > 2\xi_{\max} + \frac{\tau_{\max}}{2} \quad (13)$$

Из приведенных выражений видно, что при наличии помех область устойчивых значений  $P_T$  значительно сужается. Если из полученной области невозможно выбрать приемлемое значение  $P_T$ , то, очевидно, в схему экстремального регулятора необходимо ввести стабилизирующее устройство.

Потеря на поиск в случае дрейфа СХ определяется следующими выражениями:

$$\text{схема НЛ} \quad d = \frac{\mu_1^2 - \mu_1\mu_2 + \mu_2^2}{3} \quad (14)$$

$$\text{схема ЛН} \quad d = \frac{\mu_1^2 - \mu_1\mu_2 + \mu_2^2}{3} + (M[\xi])^2 + M[\xi](\mu_1 - \mu_2) - \frac{2\{P_T^2 - (M[\xi])^2\}}{\mu_1 + \mu_2} \quad (15)$$

Для получения данных выражений было принято, что математические ожидания составляющих случайного вектора  $\bar{\lambda}'(t)$  - мед-

ленно меняющиеся во времени функции (время заметного изменения составляющих  $\bar{\lambda}'$  значительно больше периода замедленного поиска), и что дисперсия  $\sigma_{\eta}^2$  относительно размаха выходной величины системы достаточно мала.

При этом, как показало моделирование, на величину поисковой потери основное влияние оказывает именно значения математических ожиданий компонент случайного вектора  $\bar{\lambda}'(t)$ .

Дрейф экстремума приводит к сложному движению системы, при котором имеет место "перекос" амплитуд, что является следствием эффекта сложения скоростей. Исследования показали, что дрейф СХ увеличивает ( $M[\eta(t)] > 0$ ) или уменьшает ( $M[\eta(t)] < 0$ ) амплитуды автоколебаний соответственно на величину  $\Delta\mu = \frac{M[\eta]}{2P_T^+}$

либо  $\Delta\mu = \frac{M[\eta]}{2P_T^-}$ , так что

$$\left. \begin{aligned} \mu_1 &= \mu^+ + \frac{M[\eta]}{2P_T^+} \\ \mu_2 &= \mu^- + \frac{M[\eta]}{2P_T^-} \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

где  $\mu^+$ ,  $\mu^-$  определяются по графикам  $\mu = \mu(P_T, P_T)$  либо выражениями (3) и (5), если  $0 < P_T^* < 1$ , для случая идеальной СОР с учетом эффекта сложения скоростей, т.е.

$$\left. \begin{aligned} P_T^+ &= P_T + M[\xi], \quad P_T^- = P_T - M[\xi], \\ P_T^\pm &= \frac{\tau}{T} P_T^\pm \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Исследования показали, что в случае инерционного объекта при дрейфе СХ существует оптимальная скорость поиска, при которой

потеря на поиск минимальна. Однако аналитический выбор оптимальной скорости поиска наталкивается на значительные трудности, поэтому в данном случае целесообразным является моделирование.

#### Моделирование СЭР с запоминанием экстремума

С целью подтверждения теоретических результатов данной работы, а также получения новых было проведено вероятностное моделирование (Роткоп Л.Л. "Статистические методы исследования на электронных моделях, ГЭИ, М., 1967.) на АВМ экстремальной системы с реальным регулятором типа ЭРБ. При этом экстремальная система исследовалась в широких пределах изменения параметров как самой системы, так и случайных воздействий на нее.

При моделировании установлено, что зависимость потери на поиск от обобщенного параметра  $P_T$  системы при дрейфе СХ имеет экстремальный характер, причем с ростом вертикальной составляющей скорости дрейфа растет потеря на поиск, а также минимальное значение потери на поиск и соответствующее ему оптимальное значение обобщенного параметра  $P_T$ .

Полученную зависимость оптимальных значений  $P_{T\text{опт}}$  от величины вертикальной составляющей скорости дрейфа целесообразно использовать для улучшения качества регулирования путем компенсации возмущения, т.е. создания комбинированной системы.

Как показало моделирование, случайная составляющая скорости дрейфа СХ влияет в основном на устойчивость системы; влияние же этой составляющей на величину поисковой потери сравнимо с погрешностями экспериментов (10 - 15%).

### Ш. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

На основе полученных в данной работе результатов разработана методика расчета оптимальных настроек СЭР, при которых система осуществляет устойчивый поиск в условиях случайного дрейфа СХ с минимальной потерей. Применение предложенной методики подробно рассмотрено на примерах конкретных систем оптимизации процессов пищевой промышленности, причем уточнение расчетных значений настроечных параметров произведено моделированием.

#### 1. Система автоматической оптимизации параллельно работающих масло-экстракционных линий.

Задача управления параллельно работающими экстракторами с учетом изменения во времени их характеристик сводится к такому перераспределению загрузки каждого из экстракторов, при котором обеспечивается экстремум целевой функции, в качестве которой выбрана величина общего съема сырого экстракционного масла (Л.И. Попов, Исследование масло-экстракционных процессов и разработка системы оперативного управления экстракторами НД-1250 с применением УЭМ, Сб. ЦИНТИ Пищепром, "Применение вычислительной техники для автоматизации технологических процессов и управления производством в пищевой промышленности", М., 1967).

Объектом экстремального регулирования является совокупность параллельно работающих экстракторов типа НД-1250, причем входным

воздействием является производительность первого экстрактора  $\omega_1$ , а выходным - общий съём масла  $G_z$ . Как показано в работе Л.П. Попова, зависимость  $G_z = f(\omega_1)$  имеет экстремальный характер, причем при изменении характеристик экстракторов и поступающего исходного сырья статическая характеристика объекта смещается.

Это является основанием для применения экстремального регулирования процесса экстракции. Анализ показывает, что данный объект может быть замещен схемой типа ЛН, причем линейная часть имеет следующие временные параметры: постоянная времени  $T = 34$  мин., запаздывание  $\tau = 49$  мин.; статическая характеристика аппроксимирована параболой с коэффициентом  $K = 1.05 \frac{\text{т/час}}{(\text{об/мин})^2}$ . Дрейф СХ является в основном горизонтальным и приведен ко входу, причем скорость регулярной составляющей дрейфа СХ равна  $M[\omega_1'] = 15,4 \cdot 10^{-5} \frac{\text{об}}{\text{мин}^2}$ , а случайная составляющая может быть описана следующей корреляционной функцией  $R_{\omega_1}(\vartheta) = 7,9 \cdot 10^{-3} e^{-\frac{|\vartheta|}{120}}$ . В этих условиях потеря на поиск составляет величину  $6,3 \cdot 10^{-3}$  т/час, или 0,3% от оптимального значения  $G_z$ .

Таким образом, в данном случае система экстремального регулирования позволяет поддерживать оптимальный режим с удовлетворительной точностью.

## 2. Система автоматической оптимизации процесса горения в парогенераторе.

Рассматривается парогенератор типа ТП-230 с барабанным котлом, автоматическое регулирование процесса горения в котором осуществляется по схеме "топливо-воздух", причем в качестве топ-

в.б. 11822

лива используется газ. Схемой замещения котлоагрегата, как объекта экстремального регулирования, является схема типа НД. В качестве критерия эффективности процесса горения принята испарительность топлива.

В результате проведенных на объекте экспериментов получены следующие данные: по каналу "расход воздуха - паровая нагрузка"

$T = 113 \text{ сек}$ ,  $\tau = 9,3 \text{ сек}$ ,  $K = 0,0112 \frac{\text{т/час}}{(\text{мм вод.ст.})^2}$ ; по реализации паровой нагрузки  $D(t)$  вычислена нормированная корреляционная функция ( $\sigma_D = 5,02 \text{ т(час)}$ ), которая аппроксимирована экспонентой  $\rho(\vartheta) = e^{-\beta|\vartheta|}$ , где  $\beta = 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ сек}^{-1}$ .

Анализ записей графиков паровой нагрузки показывает, что максимальное значение скорости изменения  $M[D]$  составляет примерно  $0,005 \frac{\text{т/час}}{\text{сек}}$ , а среднеквадратическое отклонение  $D'_t$  составляет  $\sigma_{D'} = 0,036 \frac{\text{т/час}}{\text{сек}}$ . Таким образом, скорость вертикального дрейфа для данного котла в основном определяется случайной составляющей помехи. Высокий уровень помех обуславливает чрезмерную потерю на поиск, даже при оптимальных настройках системы. В результате предварительного расчета и уточнения моделированием показано, что потеря на поиск составляет величину  $16 \text{ т/час}$  (при номинальной нагрузке  $230 \text{ т/час}$ ).

Следовательно, для применения экстремального регулятора на данном котле необходима предварительная стабилизация процесса.

В работе получены следующие основные результаты:

I. С целью определения предельных возможностей экстремальной системы построена идеальная модель СЭР, исходя из соответствующих упрощений.

2. Рассмотрено подобие процессов в СЭР с запоминанием экстремума ; выведены критерии подобия  $P_T$  и  $P_\tau$  , пропорциональные соответственно постоянной времени  $T$  и запаздыванию  $\tau$  объекта и представляющие собой обобщенные параметры системы.

Получены с помощью ЭЦВМ данные для определения параметров автоколебаний и потери на поиск в функции обобщенных параметров  $P_T$  и  $P_\tau$  , а также область устойчивости в плоскости  $(P_T, P_\tau)$ .

3. Проведено сравнение результатов данной работы и работы И.С.Моросанова "Релейные экстремальные системы" ; результаты близки.

4. Исследовано влияние как регулярного, так и случайного дрейфа статической характеристики объекта на устойчивость и величину поисковых потерь.

Показано, что дрейф экстремума в общем случае приводит к возрастанию потери на поиск, а также накладывает ограничение на выбор допустимых по условию устойчивости значений скорости поиска ; при дрейфе статической характеристики существует оптимальная скорость поиска, при которой потеря на поиск минимальна.

5. Проведено вероятностное моделирование на АБМ исследуемой СЭР ; при этом подтверждены результаты аналитических исследований, а также получены новые.

Показано, что влияние высокочастотных помех сказывается, в основном, на устойчивости системы ; величина поисковой потери при этом определяется практически лишь математическим ожиданием скорости помехи.

6. Установлена зависимость оптимальной скорости поиска от составляющих скорости дрейфа, которая может быть использована для автоматической компенсации возмущения; это служит предпосылкой создания комбинированной СЭР.

7. На основе полученных в работе аналитических и графических зависимостей разработана методика расчета оптимальных настроек СЭР, при которых система осуществляет устойчивый поиск в условиях случайного дрейфа экстремума с минимальной потерей на поиск.

Применение данной методики показано на конкретных примерах расчета систем оптимизации.

8. Приведенные в работе результаты представлены в критериальной форме, что позволяет распространить их на весь класс подобных процессов.

Результаты исследования могут быть использованы при расчете систем экстремального регулирования, находящихся под воздействием как регулярных, так и случайных возмущений, а также для оценки целесообразности их реализации на объектах.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Миронов И.С., Никульча И.П., Паулин О.Н. Потеря на поиск в экстремальных системах с запоминанием при дрейфе статической характеристики объекта. Труды семинара "Кибернетика и автоматическое управление" (Одесское отделение), вып. I, Киев, 1968.

2. Миронов И.С., Никульча И.П., Паулин О.Н. К вопросу определения потери на поиск в экстремальных системах с запоминанием. Труды семинара "Кибернетика и автоматическое управление" (Одесское отделение), вып. 2, Киев, 1968.

3. Миронов И.С., Паулин О.Н., Никульча И.П. Исследование экстремальных систем, подверженных случайным воздействиям. Тезисы доклада на межвузовской научно-технической конференции, "Техническая кибернетика", Москва, 1969.

4. Паулин О.Н., Миронов И.С. О подобии в системах экстремального регулирования. Труды семинара "Кибернетика и автоматическое управление" (Одесское отделение), вып. I, Киев, 1969.

5. Паулин О.Н., Никульча И.П. Влияние помех на устойчивость экстремальных систем. Труды семинара "Кибернетика и автоматическое управление" (Одесское отделение), вып. I, Киев, 1969.

6. Миронов И.С., Никульча И.П., Паулин О.Н. Об устойчивости экстремальных систем с запоминанием. Сб. "Автоматизация производственных процессов", вып. 8, Львов, 1970.

По материалам диссертации сделаны доклады:

1. На Межвузовской научно-технической конференции "Техническая кибернетика", Москва, январь, 1969.
2. На научно-техническом семинаре "Оптимизация автоматических систем и технических процессов", КДНТП, Киев, март 1970.
3. На заседаниях Одесского городского семинара "Кибернетика и автоматическое управление", Одесса, март 1969, март 1971.
4. На научных конференциях Одесского технологического института пищевой промышленности им. М.В.Ломоносова, Одесса, февраль 1969, март 1971.