

На правах рукописи

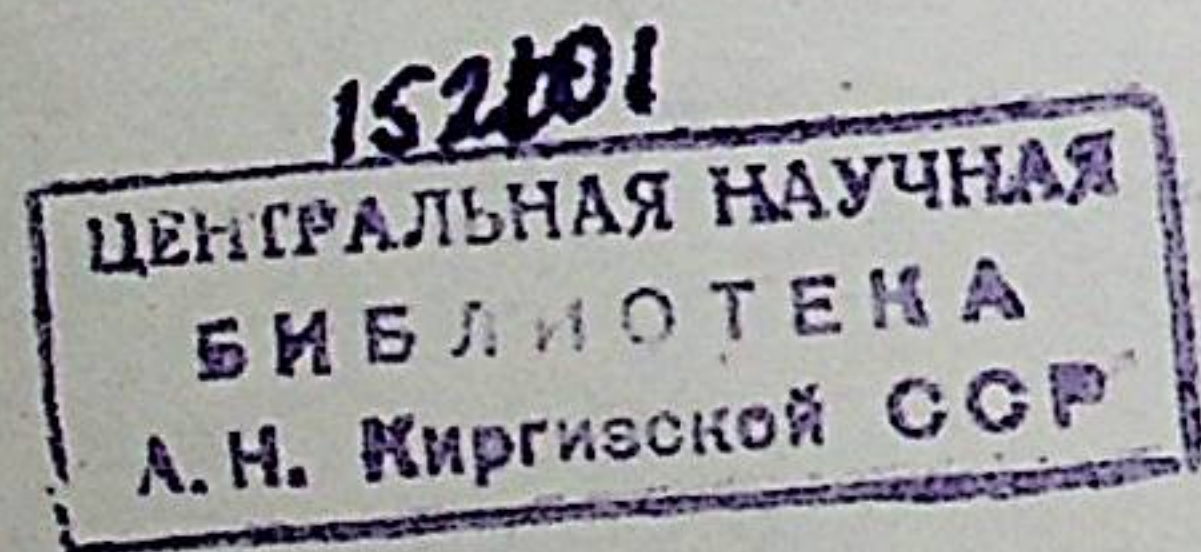
Ю. И. ОСТРОВСКИЙ

**ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ ЭКСТРЕМАЛЬНЫЙ РЕГУЛЯТОР  
С ЗАПОМИНАНИЕМ МАКСИМУМА**

Автореферат  
диссертации, представленной на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель  
доктор технических наук профессор М. А. АЙЗЕРМАН

Экспериментальная часть работы выполнена в Лаборатории пневмо-гидроавтоматики Института автоматки и телемеханики АН СССР и в Научно-исследовательском институте органических полупродуктов и красителей (НИОП и К).



Оптимальному протеканию ряда технологических процессов соответствует экстремум некоторого характерного параметра, характеризующего эффективность работы объекта (например, максимум производительности, минимум расхода топлива и т. п.). Если оптимальному режиму однозначно соответствуют определенные значения физических величин, которые могут быть непосредственно измерены (или если оптимальному режиму соответствуют определенные функциональные зависимости между этими величинами), то задача оптимизации процесса может решаться при помощи обычных систем автоматической стабилизации или программного регулирования.

Однако нередко встречаются случаи, когда функциональные зависимости, определяющие оптимальный режим, неизвестны или слишком сложны и зависят от большого числа случайных факторов, или невозможно измерить входящие в них величины. При этом оптимальное значение характерного параметра, которое может быть достигнуто в данных конкретных условиях, обычно тоже неизвестно. В этих случаях задача оптимизации может решаться путем автоматического отыскания и поддержания экстремума функции, характеризующей эффективность процесса.

Принцип экстремального регулирования был впервые предложен В. В. Казакевичем и Ю. А. Хлебцевичем.

Целью настоящей работы является создание и исследование пневматического экстремального регулятора общепромышленного назначения на базе агрегатной унифицированной системы (АУС), а также создание методов расчета и исследование работы системы экстремального регулирования при наличии помех в измеряемой величине.

В основу разработки регулятора положен известный принцип «запоминания» экстремума. Рассмотренные в работе вопросы помехоустойчивости являются общими для экстремальных регуляторов подобного типа.

Работа содержит введение и пять глав.

Во введении рассматривается задача экстремального регулирования.

В первой главе дается обзор существующих принципов поиска экстремума и схем экстремальных регуляторов, рассматриваются факторы, влияющие на качество экстремального регулирования.

Во второй главе описывается принцип действия и устройство пневматического экстремального регулятора.

Регулятор состоит из четырех отдельных блоков: блока запоминания, блока сравнения, шагового переключателя и блока постоянного перепада.

Положение регулирующего органа определяется давлением воздуха на выходе блока постоянного перепада. Это давление непрерывно изменяется с постоянной скоростью  $a$  в ту или иную сторону. Знак скорости поиска определяется величиной давления на входе блока постоянного перепада, которое может принимать одно из двух дискретных значений. Абсолютная величина скорости поиска устанавливается при помощи регулируемого дросселя.

Давление воздуха, пропорциональное оптимизируемому параметру, поступает на вход блоков запоминания и сравнения. Максимальное значение этого давления, достигнутое при движении регулирующего органа с постоянной скоростью, фиксируется блоком запоминания в замкнутой камере.

При этом используется управляемый клапан, обладающий высокой чувствительностью и герметичностью.

После прохождения максимума блок сравнения измеряет разность между текущим и зафиксированным максимальным значениями оптимизируемого параметра. Когда эта разность достигает заданной величины зоны нечувствительности, на выходе блока сравнения появляется импульс давления. Этот импульс подается на шаговый переключатель и блок запоминания. Шаговый переключатель изменяет давление на входе блока постоянного перепада. При этом направление движения регулирующего органа изменяется на обратное.

Импульс давления, поступивший на вход блока запоминания, открывает клапан камеры запоминания. Зафиксированное максимальное значение оптимизируемой величины снимается. Длительность импульса определяет величину задержки, на протяжении которой блок запоминания остается выключенным. Задержка может регулироваться. Правильный выбор этой величины обеспечивает отсутствие ложных переключений, обусловленных инерционностью регулируемого объекта.

После окончания задержки импульс давления снимается и блок запоминания снова включается в работу. После этого цикл повторяется.

Шаговый переключатель на два положения, который входит в схему регулятора, по выполняемым функциям соответствует электрическому триггеру. Были разработаны два варианта пневматического переключателя:

- а) с храповиковым устройством и притертым золотником;
- б) без золотника и без больших механических перемещений, полностью на базе элементов АУС.

В третьей главе дается обзор существующих работ по теории систем экстремального регулирования с «запоминанием» экстремума. Рассматривается структурная схема разработанного экстремального регулятора, которая включает элементы логического действия. В соответствии с этим в систему уравнений, описывающих замкнутый контур регулирования, входят как обыкновенные дифференциальные уравнения и уравнения нелинейных элементов, так и уравнения математической логики.

В замкнутом контуре могут существовать сложные автоколебательные режимы с несколькими переключениями на протяжении периода.

В простейшем и практически наиболее интересном случае, когда имеет место автоколебательный режим с одним переключением за период колебания оптимизируемой величины, экстремальный регулятор можно рассматривать как обычный нелинейный элемент с характеристикой релейного типа. Такой режим имеет место, если статическая характеристика объекта симметрична относительно экстремума и если величина задержки, о которой упоминалось выше, лежит в определенных пределах.

Кроме экстремального регулятора, в замкнутую систему регулирования входит еще один нелинейный элемент, характеризующий нелинейную статическую характеристику объекта. Между этими двумя нелинейными элементами могут находиться произвольные линейные звенья.

Для расчета автоколебаний в такой системе можно использовать известные методы, в частности, метод гармонического баланса.

Характерной особенностью рассматриваемого автоколебательного режима является удвоение частоты первой гармоники при прохождении ее через нелинейную статическую характеристику объекта. При прохождении через экстремальный регулятор частота первой гармоники снова уменьшается в два раза. Это удвоение частоты объясняется тем, что при симметричной статической характеристике объекта закон изменения оптимизируемого параметра не зависит от направления движения регулирующего органа. Для двух положений регулирующего ор-

гана, симметричных относительно оптимального, движению регулирующего органа в противоположные стороны соответствуют идентичные значения оптимизируемого параметра. При несимметричной статической характеристике удвоения частоты не происходит.

Автоколебания в системе экстремального регулирования характеризуются четырьмя основными параметрами: частотой  $\omega$  колебаний регулирующего органа; скоростью поиска  $a$ ; зоной нечувствительности регулятора  $\delta_0$  и потерей на поиск  $D$ . Под потерей на поиск понимается разность между экстремальным значением оптимизируемого параметра, соответствующим статической характеристике, и средним по времени значением этого параметра, которое имеет место в процессе автоколебаний.

Пусть

$$W_1(j\omega) = H_1(\omega) \cdot e^{j\theta_1(\omega)} \quad \text{и} \quad W_2(j\omega) = H_2(\omega) \cdot e^{j\theta_2(\omega)}$$

есть амплитудно-фазовые характеристики двух линейных частей системы. Первая из них расположена между выходом регулятора и входом безынерционной нелинейности, соответствующей статической характеристике объекта, а вторая — между выходом этой нелинейности и входом регулятора.

Симметричная статическая характеристика объекта в зоне экстремума может быть обычно аппроксимирована квадратичной параболой

$$y = -kx^2.$$

Здесь  $y$  — оптимизируемый параметр;

$x$  — положение регулирующего органа.

Метод гармонического баланса позволяет получить следующие зависимости:

$$\frac{\delta_0}{a^2 k} = \frac{8H_1^2(\omega) \cdot H_2(2\omega)}{\pi^2 \omega^2} \cdot \{1 + \cos [2\theta_1(\omega) + \theta_2(2\omega)]\}; \quad (1)$$

$$\frac{D}{ka^2} = \frac{8H_1^2(\omega)}{\pi^2 \omega^2}. \quad (2)$$

Для случая, когда статическая характеристика объекта может быть аппроксимирована двумя лучами прямой

$$y = -k|x| \quad \text{и} \quad \text{когда} \quad W_1(j\omega) = 1,$$

аналогичные зависимости имеют вид:

$$\frac{\delta_0}{ak} = \frac{2H_2(2\omega)}{\pi\omega} [1 + \cos \theta_2(2\omega)];$$

$$\frac{D}{ak} = \frac{\pi}{4\omega}.$$

Задавая ряд значений  $\omega$ , строим графики этих зависимостей в функции частоты.

Если теперь задаться любыми двумя из указанных выше четырех основных параметров, то остальные два параметра могут быть найдены при помощи графиков. Например, задавшись скоростью поиска  $a$  и потерей на поиск  $D$ , можно определить частоту автоколебаний  $\omega$  и величину зоны нечувствительности  $\delta_0$ .

Амплитуда автоколебаний на выходе объекта определяется выражениями:

$$A_y = \frac{8ka^2 H_1^2(\omega) \cdot H_2(2\omega)}{\pi^2 \omega^2} \quad (\text{при } y = -kx^2); \quad (3)$$

$$A_y = \frac{2akH_2(2\omega)}{\pi\omega} \quad (\text{при } y = -k|x| \text{ и } W_1(j\omega) = 1). \quad (3a)$$

В работе приводится оценка максимальных погрешностей, обусловленных пренебрежением высшими гармониками. Максимальная погрешность при определении зоны нечувствительности составляет  $\sim 50\%$ , при определении потери на поиск —  $\sim 1\%$ .

В работе рассматривается также расчет параметров автоколебаний с учетом двух гармоник.

Дается приближенный критерий для оценки устойчивости периодического решения.

Описанный метод расчета можно использовать при малом уровне помех на входе экстремального регулятора. Для случаев, когда помехами нельзя пренебрегать, предлагается другой метод.

Случайные внешние воздействия в системе экстремального регулирования можно разделить на два типа:

1. Возмущения, смещающие статическую характеристику объекта и, таким образом, изменяющие оптимальное положение регулирующего органа, соответствующее экстремуму оптимизируемой величины.

2. Помехи, не оказывающие влияния на оптимальное положение регулирующего органа.

Координата на выходе объекта при наличии помех может быть представлена в виде

$$y = y_1 + \psi, \quad (4)$$

где  $y_1$  — математическое ожидание оптимизируемой величины;  $\psi$  — случайная составляющая.

Возмущения можно считать приложенными ко входу объекта, а помехи — к его выходу. Скорость поиска должна выбираться так, чтобы обеспечивать слежение за экстремумом,

смещающимся в результате действия возмущений. Флюктуации измеренного значения оптимизируемой величины, обусловленные помехами, не должны отслеживаться экстремальным регулятором. Если эти флюктуации превосходят величину зоны нечувствительности регулятора, будут иметь место ложные переключения.

Во многих случаях частоты помех больше, чем частоты возмущений. В этих случаях можно уменьшить частоту ложных переключений путем установки фильтра помех на входе экстремального регулятора. При этом, однако, необходимо учитывать, что фильтр входит в замкнутую систему регулирования. Чрезмерно тяжелый фильтр, увеличивая инерционность системы, приводит к увеличению потери на поиск (при заданной величине скорости поиска, которая обусловлена имеющимися место возмущениями).

В работе приводится приближенный метод расчета параметров системы экстремального регулирования при наличии помех в измеряемой величине. Этот метод может применяться в случаях, когда средняя круговая частота помех значительно превосходит частоту автоколебаний и частоту ложных переключений. При этом можно пренебречь влиянием ложных переключений на спектр помех, поступающих на вход регулятора. Предполагается, что если средняя частота автоколебаний в реальной системе (при наличии помех) равна частоте автоколебаний в идеальной (без помех) системе, то при уменьшении частоты ложных переключений величина потери на поиск в реальной системе стремится к такому значению, которое имеет место в идеальной системе. Наличие ложных переключений увеличивает потерю на поиск в реальной системе по сравнению с идеальной.

Исходные данные, необходимые для расчета:

а) Амплитудно-фазовые характеристики линейных частей системы и нелинейная статическая характеристика регулируемого объекта.

б) Статистические характеристики помех. Если помехи имеют нормальный одномерный закон распределения, то достаточно задать спектральную плотность помех на выходе объекта. Практически более удобно задавать статистическую характеристику помех в виде графика функции  $N = F(\psi_i)$ , где  $\psi_i$  — произвольный уровень, отсчитываемый от математического ожидания случайной составляющей оптимизируемой величины;

$N$  — среднее число пересечений этого уровня в единицу времени.

в) Необходимые величины скорости поиска и потери на поиск.

Порядок расчета:

1. Для идеальной (без помех) системы из формул (1), (2) и (3) определяется частота и амплитуда первой гармоники координаты  $y_1$ , а также фаза в момент переключения.

2. Аппроксимируя функцию  $y_1$  ее первой гармоникой  $y_1 = A_{y1} \cdot \cos 2\omega t$ , определяем математическое ожидание  $\tilde{y}_{\max}$  величины  $y_{\max}$ , фиксируемой устройством запоминания экстремального регулятора. При этом используется приближенный графоаналитический метод.

3. Аппроксимируем функцию  $y_1$  вблизи от момента переключения касательной к ее первой гармонике, проведенной через точку перегиба  $y_1' = -k_1 t$ .

Определяем математическое ожидание  $\tilde{t}_1$  момента первого пересечения случайной величиной  $y$  уровня  $y = 0$  и математическое ожидание  $\tilde{y}_{\min}$  уровня переключения. Если переключения знака скорости поиска будут происходить в моменты, когда достигается уровень  $\tilde{y}_{\min}$ , то средняя частота автоколебаний в реальной системе стремится к частоте  $\omega$ , которая была нами определена. Соответствующая величина зоны нечувствительности регулятора при наличии помех

$$\delta_{01} = \tilde{y}_{\max} - \tilde{y}_{\min}$$

4. Определяем среднюю частоту ложных переключений, которая будет иметь место при найденных значениях  $\delta_{01}$ ,  $A_{y1}$  и  $\omega_1$ .

5. Если полученная в результате расчета частота ложных переключений достаточно мала, то фактическая величина потери на поиск будет близка к заданной. В противном случае следует использовать фильтр помех. Производя аналогичный расчет для различных настроек фильтра, находим зависимость частоты ложных переключений от настройки и выбираем оптимальную настройку, при которой частота ложных переключений для заданных значений  $a$  и  $D$  достигает минимума. Если и при оптимальной настройке фильтра частота ложных переключений остается большой, поставленные требования не могут быть обеспечены — следует увеличить допустимую величину потери на поиск или уменьшить скорость поиска.

В диссертации приведен пример расчета системы при различных настройках фильтра помех.

Кроме фильтра помех, рассмотрены другие способы повышения помехоустойчивости экстремального регулятора с запоминанием экстремума.

Приближенный анализ работы системы экстремального регулирования при наличии ложных переключений показывает, что ложные переключения могут явиться причиной установления колебаний в зоне, смещенной относительно экстремума. При достаточно большой частоте ложных переключений средняя скорость движения к экстремуму становится отрицательной — система будет уходить от экстремума. Это явление можно рассматривать как своеобразную неустойчивость, обусловленную наличием помех.

В работе приведен также упрощенный анализ работы рассматриваемой системы в случае, когда из-за действия возмущений статическая характеристика объекта смещается с постоянной скоростью в произвольном направлении, не претерпевая деформаций. Рассмотрены различные случаи, которые могут при этом иметь место. В определенных случаях возможен режим, характеризующийся движением системы в направлении от экстремума, который можно рассматривать как неустойчивость, обусловленную возмущениями. При безынерционной системе такой режим имеет место, если

$$|a| < |v_x| + \frac{|v_y|}{\frac{dy}{dx}}.$$

Здесь  $a$  — скорость поиска;

$y$  — оптимизируемая величина;

$x$  — управляемая входная координата;

$y_{\max}$  — максимальное значение координаты  $y$ ;

$x_{\max}$  — соответствующее значение координаты  $x$ ;

$$v_y = \frac{dy_{\max}}{dt}, \quad v_x = \frac{dx_{\max}}{dt}.$$

В приложении к диссертации описано дополнительное устройство к разработанному пневматическому экстремальному регулятору, которое исключает возможность ухода от экстремума в таких случаях.

В четвертой главе описываются лабораторные испытания пневматического экстремального регулятора и экспериментальная проверка методов расчета, рассмотренных в третьей главе.

Для моделирования регулируемого объекта были разработаны два варианта пневматических моделей с нелинейными

статическими характеристиками, имеющими один экстремум, которые могут использоваться как для исследовательских целей, так и при заводских испытаниях экстремальных регуляторов. Кроме того, для моделирования объекта использовалась электронная моделирующая установка с соответствующими электропневматическим и пневмогидравлическим преобразователями. В процессе испытаний регистрировались при помощи шлейфового осциллографа давление на входе и на выходе регулятора, давление в камере запоминания и давление импульса. Для записи колебаний давления на входе регулятора и в камере запоминания были изготовлены специальные высокочувствительные датчики.

Испытания опытного образца экстремального регулятора позволяют сделать следующие выводы:

1. При частотах поиска, меньших 0,4 гц, реальный регулятор можно рассматривать как последовательное соединение идеального регулятора и запаздывающего звена с временем запаздывания, равным 0,4 сек.

Дальнейшее увеличение частоты поиска в данной конструкции регулятора лимитируется минимальной длительностью импульса, необходимой для срабатывания шагового переключателя, и временем срабатывания остальных элементов.

2. Максимальная скорость падения давления в камере запоминания составляла 1 мм рт. ст. в час. В случае необходимости герметичность камеры запоминания может быть увеличена. Поэтому максимальный период автоколебаний в системе практически не ограничен.

3. Минимальная величина зоны нечувствительности

$$\delta_0 = 0,008 \div 0,01 \text{ кг/см}^2.$$

4. Работа экстремального регулятора при наличии возмущений соответствует анализу, приведенному в третьей главе.

Экспериментальная проверка методов расчета производилась на электродной моделирующей установке. Для регистрации использовался шлейфовый осциллограф. Были проведены следующие эксперименты:

1. Для идеальной (без помех) системы определялись потеря на поиск и зона нечувствительности регулятора при различных значениях частоты  $\omega$  и различных постоянных времени линейных элементов. Сопоставление с расчетом по первой гармонике показало, что погрешности расчета во всех случаях меньше предельных значений, указанных в главе 3.

2. Определялось математическое ожидание наибольшего максимума величины  $y = y_1 + \psi$  при  $y_1 = A_{y_1} \cdot \cos 2\omega t$  и при

$y_1 = +k_1 t$ . Случайные флюктуации  $\psi$  генерировались шариковым генератором шумов. Эксперименты проводились при различных значениях параметров  $A_1, \omega, k$ . Определялось математическое ожидание момента первого пересечения уровня  $y = 0$  для случая  $y = -k_1 t + \psi$  (при различных значениях  $k_1$ ). Определялась частота обусловленных помехами ложных переключений для случая  $y_1 = \text{const}$  (для различных значений зоны нечувствительности регулятора).

Полученные экспериментальные данные достаточно хорошо совпадают с расчетом по методу, изложенному в третьей главе.

3. Исследовалась работа замкнутой системы экстремального регулирования при наличии помех на входе регулятора. При этом моделировалась вся система (включая регулятор). Для создания помех использовался шариковый генератор шумов.

Эксперименты проводились при различных значениях скорости поиска и при различных уровнях помех. По осциллограммам определялись зона нечувствительности регулятора, потеря на поиск, средняя частота автоколебаний и частота ложных переключений.

Сопоставление полученных данных с результатами расчета по методу, приведенному в третьей главе, подтверждает пригодность этого метода для практических расчетов систем экстремального регулирования при наличии помех.

Максимальная погрешность при определении величины зоны нечувствительности с учетом помех, которая имела место в этой серии экспериментов, составила  $\sim 13\%$ , средняя погрешность  $\sim 8,5\%$ . Расчет по методу гармонического баланса без учета помех дает в данном случае максимальную погрешность  $\sim 1400\%$  и среднюю погрешность  $\sim 400\%$ .

Пятая глава посвящена описанию установки для автоматического термохимического титрования с использованием пневматического экстремального регулятора, которая была разработана совместно с НИОП и К им. К. Е. Ворошилова, и описанию испытаний этой установки. Задача экстремального регулятора в данном случае заключается в том, чтобы поддерживать максимум температуры в реакторе путем воздействия на расход одного из реагентов (титранта). Расход второго реагента стабилизирован. Максимуму температуры соответствует стехиометрическое соотношение между реагентами, так как реакция идет с выделением тепла, и непрореагировавший избыток любого из реагентов охлаждает продукты реакции. При стехиометрическом соотношении между реагентами расход титрана, концентрация которого известна, определяет концентрацию второго реагента.

Управление расходом титранта осуществляется путем изменения давления воздуха над уровнем жидкости в сосуде. Это давление пропорционально давлению на выходе экстремального регулятора. Манометр, измеряющий среднюю величину давления на выходе экстремального регулятора, может быть проградуирован непосредственно в процентах концентрации анализируемого реагента.

В работе приведены экспериментально снятые статические и динамические характеристики элементов системы термохимического титрования, которые использованы для расчета параметров автоколебаний в системе.

Экспериментальное определение этих же параметров показывает, что принятая методика расчета дает достаточную для практических целей точность.

Отклонения от экстремума температуры в процессе автоколебаний составляли  $\sim 0,1^\circ\text{C}$ . При экспериментировании производилось титрование соляной кислоты раствором едкого натра. Погрешность определения концентрации соляной кислоты в процентах абсолютной концентрации составляла  $\sim 0,1\%$ , что удовлетворяет требованиям, предъявляемым к промышленному прибору. В настоящее время НИОП и К совместно с ИАТ АН СССР продолжает работу по исследованию этого метода титрования. Применение его представляется целесообразным в ряде случаев, когда известные физико-химические методы непрерывного анализа (рН-метрия, кондуктометрия и т. п.) по тем или иным причинам не могут быть использованы. Ведется также работа по использованию экстремального регулятора для непосредственного управления процессом нейтрализации на промышленной установке.

## Заключение

Основным содержанием работы являлись разработка и исследование пневматического экстремального регулятора общепромышленного назначения.

Экстремальный регулятор, работающий по принципу «запоминания» экстремума, разработан на базе агрегатной унифицированной системы.

Рассмотрена структура логической схемы регулятора. Указаны условия, при которых расчет автоколебаний в системе, включающей такой регулятор, сводится к известным методам расчета системы с двумя нелинейностями.

Разработан упрощенный метод расчета, учитывающий наличие помех в измеряемой величине.

В результате лабораторных испытаний определены основные показатели регулятора (минимальная величина зоны нечувствительности, запаздывание в регуляторе, длительность «запоминания»).

Экспериментальное исследование подтвердило возможность использования разработанной методики для расчета систем экстремального регулирования с «запоминанием» экстремума. Полученные результаты могут быть использованы и при расчете систем с электрическими экстремальными регуляторами подобного типа.

В настоящее время совместно с НИОП и К и СКБ АНН ведется работа по изучению объектов химической и нефтеперерабатывающей промышленности с целью выявления задач экстремального регулирования.

Пневматический экстремальный регулятор демонстрировался на Всесоюзной промышленной выставке и на Всемирной выставке в Брюсселе и вместе с другими приборами автоматики он был удостоен высшей награды — премии Гран при.

В 1959 году СКБ АНН изготовило 3 комплекта пневматических экстремальных регуляторов. Опытная серия пневматических экстремальных регуляторов выпускается заводом «Тизприбор».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Островский Ю. И., Эскин М. Г., Экстремум-регулятор для турбинного бурения нефтяных скважин, «Автоматика и телемеханика», 1956, т. XVII, № 9.
2. Островский Ю. И., Экстремальное регулирование, «Автоматика и телемеханика», 1957, т. XVIII, № 9.
3. Островский Ю. И., Пневматический экстремальный регулятор, «Автоматика и телемеханика», 1957, т. XVIII, № 11.
4. Островский Ю. И., Некоторые вопросы теории систем экстремального регулирования с «запоминанием» экстремума. Доклад на Конференции по теории и применению дискретных автоматических систем, 1958.
5. Добкин В. М., Курская М. Л., Островский Ю. И., Применение экстремального регулятора для контроля регулирования некоторых химических процессов по тепловому эффекту реакции. Доклад на 2-м Всесоюзном семинаре по пневмогидроавтоматике, 1958 (в печати).
6. Островский Ю. И., Сосенков А. П., Эскин М. Г., Автоматический регулятор подачи долота для турбинного бурения. Авторское свидетельство. Приоритет от 2 июня 1955 г.

152101

ЦЕНТРАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ  
БИБЛИОТЕКА  
А. И. Киргизской ССР

Сдано в набор 20.10 1959 г.  
Т-10072

Объем 1 п. л.

Бесплатно.

Подписано к печати 28.10 59 г.  
Зак. 743 Тир. 150

Тип. МАТИ. Ульяновская, 13