

Автокедр.

Д 33

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
им. М. В. ЛОМОНОСОВА

---

---

На правах рукописи

ДЕНИСОВ Ю. С.

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАСТРОЕК ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научные руководители:

доцент КОИ Л. И. — Одесский политехнический институт,  
профессор ТАКАХАШИ В. — Калифорнийский университет,  
США.

(professor TAKAHASHI Y. — University of California,  
USA).

ОДЕССА  
1963

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
им. М. В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

ДЕНИСОВ Ю. С.

ОНАХТ 25.07.11  
Исследование настроек



v000663

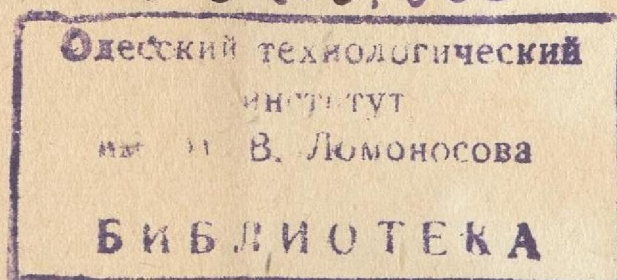
# ИССЛЕДОВАНИЕ НАСТРОЕК ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научные руководители:  
доцент КОН Л. И. — Одесский политехнический институт,  
профессор ТАКАХАШИ В. — Калифорнийский университет,  
США.  
(professor TAKAHASHI Y. — University of California,  
USA).

Переучет 1987 г.

V00.0.663



ОДЕССА

1963

Работа выполнена в Одесском политехническом институте и в Калифорнийском университете, США.

Одесский технологический институт им. М. В. Ломоносова направляет Вам автореферат диссертации старшего преподавателя кафедры автоматизации теплоэнергетических установок Одесского политехнического института Денисова Ю. С., выполненной на тему: «Исследование настроек гидравлических регуляторов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Защита диссертации намечается на *21 февраля* 1964 г.

Ваши отзывы и замечания в 2-х экземплярах просим направлять по адресу: г. Одесса, ул. Свердлова, 112, Одесский технологический институт.

Ученый секретарь совета

доцент

*В. Яковенко* (Яковенко В. А.)

1. В настоящее время в Советском Союзе и за рубежом гидравлические системы управления применяются во многих отраслях народного хозяйства, в частности: в металлургии и энергетике, в химической, топливной и пищевой промышленности, на транспорте и в авиации.

Однако, число исследований по гидравлическим силовым системам управления, опубликованных в технической печати, весьма ограничено. Вопросам настройки гидравлических регуляторов на заданный режим работы не уделялось достаточно внимания, хотя максимальный эффект от их применения можно получить только в том случае, если выбрана правильная схема регулирования и произведена правильная настройка регулятора.

Существующие методы синтеза систем автоматического регулирования разработаны недостаточно. Использование методов общей теории регулирования для оценки правильной настройки регуляторов сопряжено с большими трудностями, связанными с составлением и решением уравнений движения систем автоматического регулирования. Последнее влечет за собой необходимость выполнения большого объема вычислительных работ.

Поэтому успешное внедрение автоматизации возможно лишь при наличии упрощенных инженерных методов настройки регуляторов, доступных широкому кругу инженеров и наладчиков. При этом, инженерные методы настройки при своей относительной простоте должны обеспечивать удовлетворительное качество работы регуляторов за счет правильного сочетания динамических свойств регулируемого объекта и регулятора.

Целью настоящей работы является расчет и построение удобных для практического использования номограмм, позволяющих быстро определять параметры настройки регуляторов, согласованных с динамическими характеристиками объектов, для обеспечения заданных качественных показателей процессов регулирования.

2. Диссертация состоит из десяти глав. В первой главе кратко описаны прямые и косвенные методы исследования

качества процесса регулирования, которые были применены в данной работе. В этой же главе рассматривается аппроксимация сложных регулируемых объектов простыми динамическими звеньями, определяются расширенные амплитудно-фазовые характеристики сложных объектов с запаздыванием, освещается вопрос учета различия каналов передачи воздействий к замкнутым системам автоматического регулирования и анализируется задача настройки регулятора на оптимальный процесс регулирования. Во второй главе приведен обзор основных иностранных и отечественных работ, посвященных инженерным методам расчета настроек регуляторов. В этих работах принято относить гидравлические регуляторы с жесткой обратной связью к регуляторам типа «П» и гидравлические регуляторы с гибкой обратной связью к группе ПИ-регуляторов.

В конце главы приведены графики сопоставления результатов исследований, полученных в этих работах, с результатами, полученными автором.

Основная часть третьей главы посвящена расчету настройки гидравлического регулятора без обратной связи, регулирующего сложный объект с запаздыванием, и анализу расчетных соотношений и номограмм для этого типа регулятора. В четвертой главе рассматривается расчет настроек гидравлических регуляторов с жесткой обратной связью, анализ влияния их параметров настройки и динамических характеристик сложного объекта с запаздыванием на качественные показатели переходного процесса в системе автоматического регулирования и, в первую очередь, на величины динамических ошибок регулирования. Пятая глава посвящена настройке пропорциональных регуляторов, анализу расчетных соотношений и номограмм. В шестой главе сопоставляются настройки гидравлических регуляторов с жесткой обратной связью с настройками П-регуляторов и доказывается, что гидравлический регулятор с жесткой обратной связью нельзя относить к классу П-регуляторов. В седьмой и восьмой главах рассматриваются настройки гидравлических регуляторов с гибкой обратной связью и настройки ПИ-регуляторов, анализируются расчетные соотношения, номограммы и графики зависимостей динамических ошибок регулирования от параметров объектов регулирования и регуляторов. В девятой главе сопоставляются настройки гидравлических регуляторов с гибкой связью с настройками для ПИ-регуляторов. При этом доказывается, что рассматриваемые гидравлические регуляторы нельзя относить к клас-

су ПИ-регуляторов. Десятая глава посвящена экспериментальным установкам и анализу результатов экспериментов. Основным разделом этой главы является экспериментальное выявление нелинейностей элементов систем автоматического регулирования и учет их влияния на выбор параметров настройки гидравлических регуляторов.

В заключении даны выводы по работе.

3. Для устойчивого и нейтрального объектов регулирования с запаздыванием была принята их двухзвенная аппроксимация (рис. 1). При этом, соответственно, передаточные функции вышеуказанных объектов имеют вид:

$$W^{об}(p) = \frac{\kappa_{об} e^{-\tau p}}{T_{об} p + 1};$$

$$W^{об}(p) = \frac{e^{-\tau p}}{T p}.$$

Возможность аппроксимации устойчивых и нейтральных объектов регулирования с запаздыванием двумя звеньями с достаточной для практики точностью была подтверждена рядом авторов.

При принятой аппроксимации устойчивого объекта с запаздыванием модуль и аргумент его расширенной амплитудно-фазовой характеристики соответственно равны:

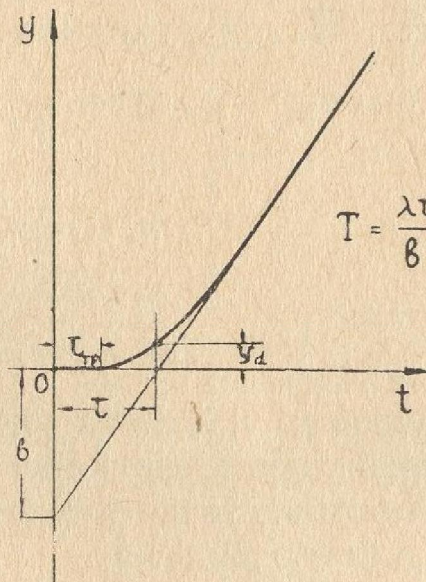
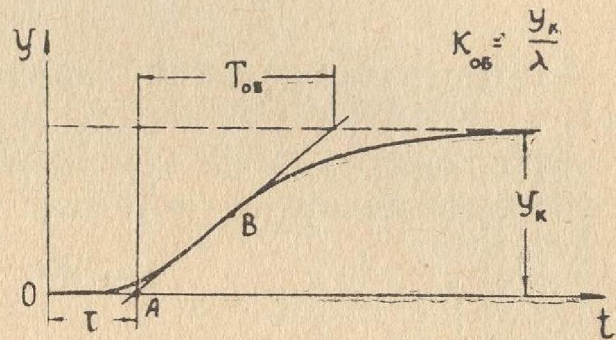


Рис. 1

$$M^{об}(m, \omega) = \frac{\kappa_{об} \tau e^{m\omega\tau}}{T_{об} \sqrt{\omega^2 \tau^2 + (m\omega\tau - a)^2}}; \quad (1)$$

$$\Theta^{об}(m, \omega) = \arctg \frac{\omega\tau}{m\omega\tau - a} - \omega\tau, \quad (2)$$

где  $m$  — степень колебательности;  
 $\omega$  — частота колебаний;

$a = \frac{\tau}{T_{об}}$  — безразмерный комплекс, характеризующий динамические свойства объекта.

Для нейтрального объекта с запаздыванием модуль и аргумент расширенной амплитудно-фазовой характеристики равны:

$$M^{об}(m, \omega) = \frac{\kappa_{об} e^{m\omega\tau}}{\omega T_{об} \sqrt{1+m^2}}; \quad (3)$$

$$\Theta^{об}(m, \omega) = \arctg \frac{1}{m} - \omega\tau. \quad (4)$$

4. При установлении зависимостей, связывающих параметры настройки регулятора и динамические характеристики объекта, было удобно использовать характеристическое уравнение для замкнутой системы

$$1 - W^{раз}(p) = 0,$$

из которого легко получить условие обеспечения заданной колебательности  $m$  в переходном процессе регулирования

$$W^{раз}(m, \omega) = W^{рег}(m, \omega) \cdot W^{об}(m, \omega) = 1,$$

откуда

$$M^{рег}(m, \omega) = \frac{1}{M^{об}(m, \omega)} \quad (5)$$

и

$$\Theta^{рег}(m, \omega) = -\Theta^{об}(m, \omega). \quad (6)$$

5. Для расчета настроек гидравлического регулятора без обратной связи, регулирующего сложный объект с запаздыванием, использованы соотношения (1), (2), (5), (6), а также выражения для его модуля

$$M^{рег}(m, \omega) = \frac{S_0}{\omega \sqrt{m^2 + 1}}$$

и аргумента

$$\Theta^{рег}(m, \omega) = \arctg \frac{1}{m} + \pi,$$

где  $S_0 = \frac{1}{\delta T_s}$  — приведенная скорость регулирования;  
 $\delta$  — неравномерность чувствительного элемента;  
 $T_s$  — время сервомотора.

При этом получены расчетные соотношения:

$$\pi + \operatorname{arctg} \frac{1}{m} = \omega\tau - \operatorname{arctg} \frac{\omega\tau}{m\omega\tau - a};$$

$$\frac{S_0\tau}{\omega\tau\sqrt{1+m^2}} = \frac{T_{об}\sqrt{\omega^2\tau^2 + (m\omega\tau - a)^2}}{K_{об}\tau e^{m\omega\tau}},$$

которые были положены в основу для построения номограммы (рис. 2а). Для оценки величин динамических ошибок  $\varphi_{m_1}$  в переходных процессах регулирования на рис. 2б представлен

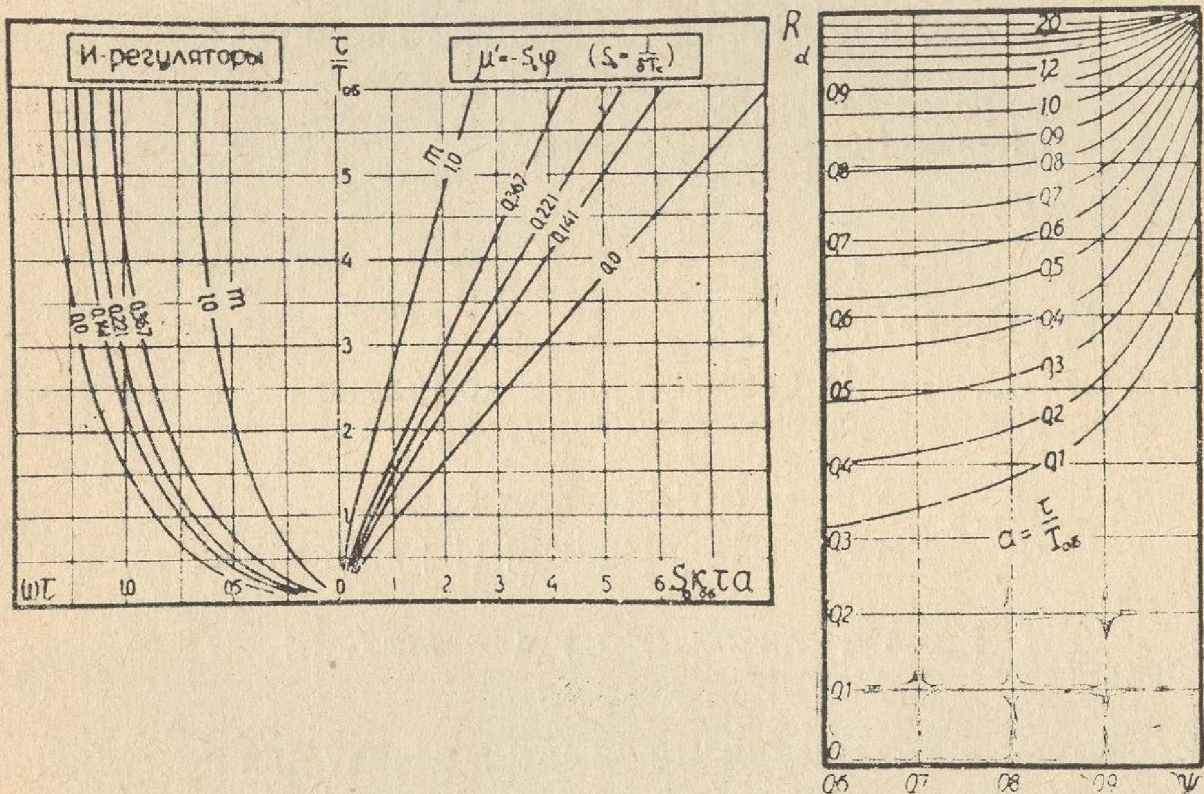


Рис. 2

график зависимости  $R_d$  от параметров объекта и степени колебательности  $\psi$ ,

$$R_d = \frac{\varphi_{m_1}}{\lambda K_{об}};$$

$$\psi = 1 - e^{-2\pi m};$$

где  $\lambda$  — безразмерное скачкообразное возмущение.

6. Для расчета настроек гидравлического регулятора с жесткой обратной связью, регулирующего сложный объект с запаздыванием, использованы выражения для модуля и аргу-

мента расширенной амплитудно-фазовой характеристики данного регулятора:

$$M^{\text{рег}}(m, \omega) = \frac{\kappa_p}{\sqrt{(1 - m\omega T_c)^2 + T_c^2 \omega^2}};$$

$$\Theta^{\text{рег}}(m, \omega) = \pi - \text{arctg} \frac{\omega T_c}{1 - m\omega T_c},$$

где  $\kappa_p$  — коэффициент усиления регулятора;  
 $T_c$  — время сервомотора, с учетом неравномерности чувствительного элемента и командно-усилительного устройства регулятора,  
 и соотношения (1), (2), (5), (6).

При этом были получены следующие аналитические зависимости:

$$\pi - \text{arctg} \frac{\omega T_c}{1 - m\omega T_c} = \text{arctg} \frac{\omega\tau}{m\omega\tau - a} - \omega\tau;$$

$$\frac{\kappa_p \kappa_{об}}{\sqrt{(1 - m\omega T_c)^2 + T_c^2 \omega^2}} = \frac{T_{об} \sqrt{\omega^2 \tau^2 + (m\omega\tau - a)^2}}{\tau e^{m\omega\tau}},$$

из которых выделены безразмерные комплексы с входящими в них параметрами настройки регулятора

$$\frac{T_c}{\tau} = \frac{1}{\omega\tau} \cdot \frac{\omega\tau + (a - m\omega\tau) \text{tg} \omega\tau}{2m\omega\tau - a(1 - m \text{tg} \omega\tau) + (1 + m^2) \omega\tau \text{tg} \omega\tau}; \quad (7)$$

$$\kappa_p \kappa_{об} a = \frac{\sqrt{\omega^2 \tau^2 + (m\omega\tau - a)^2} \cdot \sqrt{(1 - m\omega T_c)^2 + \omega^2 T_c^2}}{e^{m\omega\tau}}. \quad (8)$$

Расчетные соотношения положены в основу для построения номограмм для разных значений степени колебательности  $m$ . На рис. 3 приведена одна из номограмм для  $m = 0,22$  ( $\psi = 0,75$ ) и на рис. 4 даны соответствующие этому случаю графики зависимостей  $R_d$ ,  $\varphi_{m_1}$  и статических ошибок регулирования  $\varphi_k$  от параметров настройки регулятора и динамических характеристик объекта.

7. На рис. 5а дана номограмма для определения настроек П-регулятора, построенная при использовании соотношений

$$\pi = \omega\tau - \text{arctg} \frac{\omega\tau}{m\omega\tau - a};$$

$$\kappa_p \kappa_{об} a = \frac{\sqrt{\omega^2 \tau^2 + (m\omega\tau - a)^2}}{e^{m\omega\tau}},$$

полученных из расширенных частотных функций объекта и регулятора при использовании условия обеспечения заданной колебательности системы.

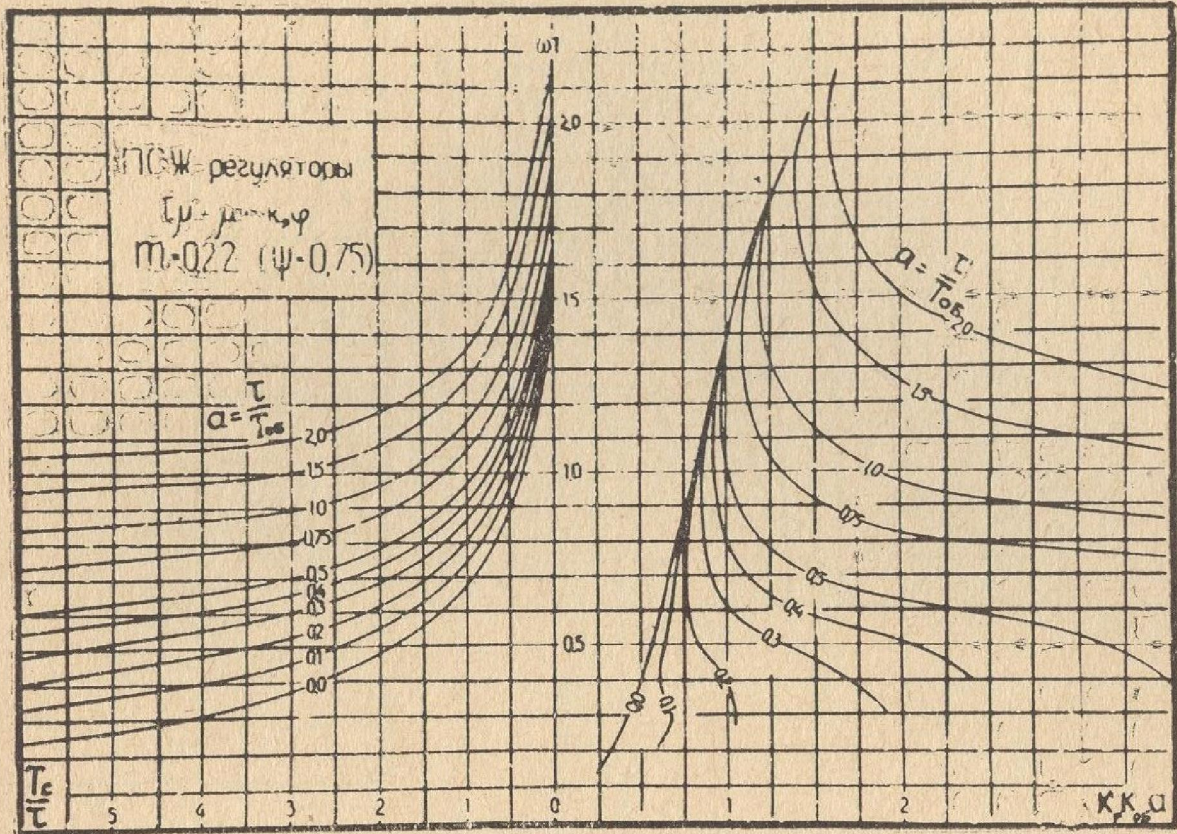


Рис. 3

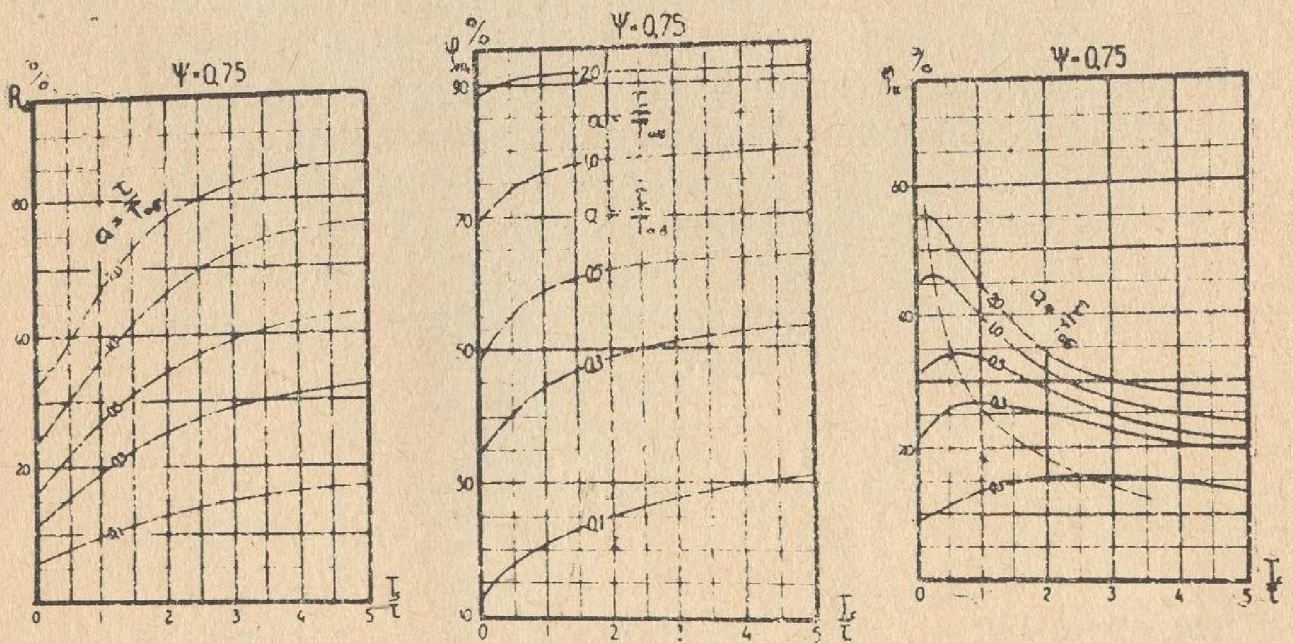


Рис. 4

Зависимость  $R_d = f(a, \psi)$  дана на рис. 5б.

Для доказательства того, что гидравлические регуляторы с жесткой обратной связью не могут быть отнесены к классу

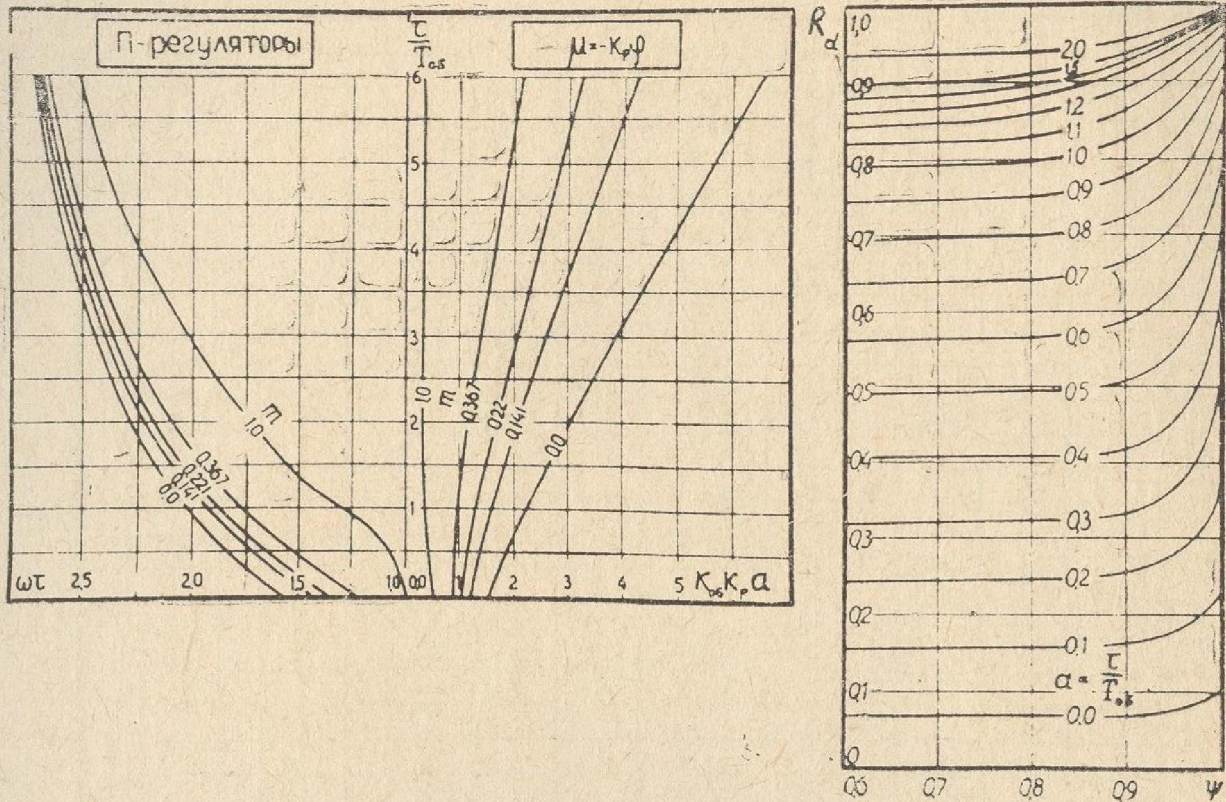


Рис. 5

П-регуляторов, на рис. 6 даны графики, показывающие степень несоответствия параметров настройки рассматриваемых регуляторов и характеристик переходного процесса при одинаковых условиях регулирования. Под одинаковостью условий регулирования понимается обеспечение одной и той же колебательности  $m$  для систем, в которых объекты обладают одни и теми же динамическими характеристиками.

8. Расчет настроек гидравлического регулятора с гибкой обратной связью, регулирующего сложный объект с запаздыванием, выполнялся при использовании выражений для модуля и аргумента его расширенной частотной функции:

$$M^{\text{рег}}(m, \omega) =$$

$$= \frac{K_p \sqrt{(1 - m\omega T_i)^2 + \omega^2 T_i^2}}{\sqrt{[\omega^2 T_c T_i (1 - m^2) + m\omega(T_c + T_i)]^2 + [\omega(T_c + T_i) - 2\omega^2 m T_c T_i]^2}};$$

$$\Theta^{\text{рег}}(m, \omega) = \arctg \frac{\omega T_i}{1 - m\omega T_i} - \arctg \frac{2m\omega T_c T_i - (T_c + T_i)}{(T_c + T_i)m + \omega T_c T_i (1 - m^2)},$$

где  $T_i$  — время изодрома,

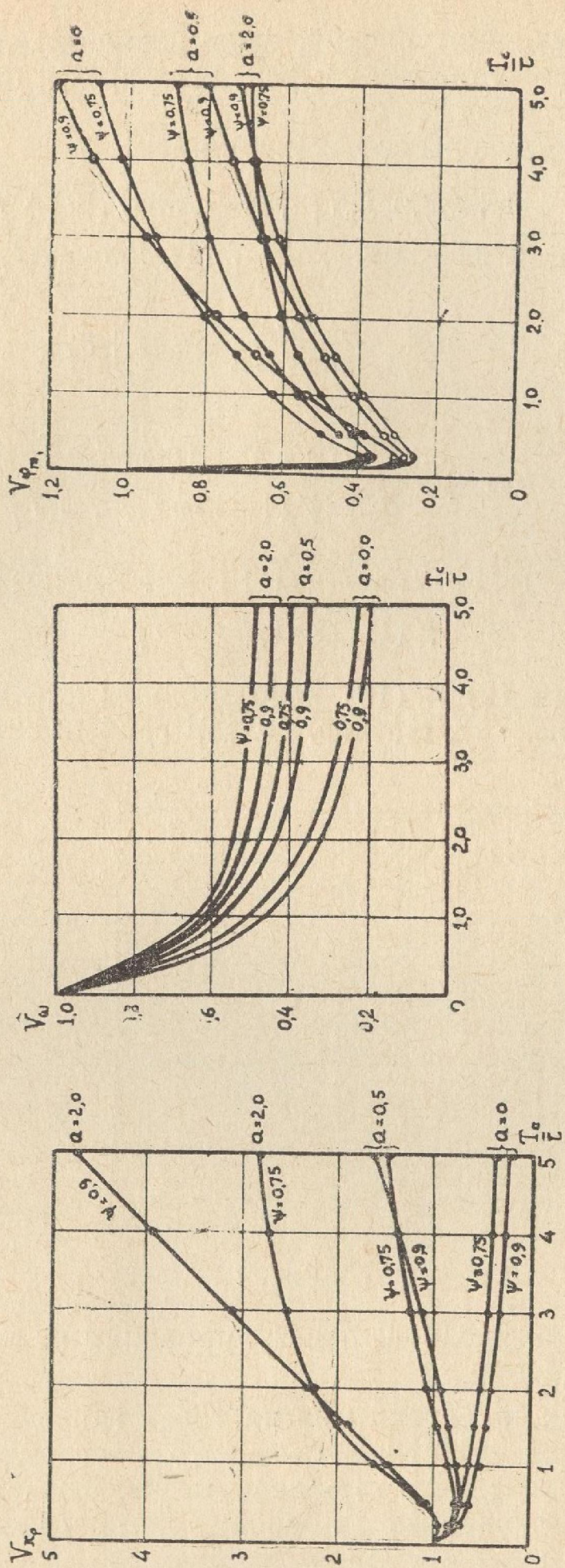


Рис. 6

и при использовании условий, связывающих между собой модули и аргументы объекта и регулятора, для обеспечения заданной колебательности системы.

При этом получены соотношения:

$$\arctg \frac{(1+m^2)\omega^2 T_c T_i^2 + (1-2m\omega T_c) T_i + T_c}{\omega(1+m^2)(1-m\omega T_c) T_i^2 - m(1-2m\omega T_c) T_i - m T_c} =$$

$$= \arctg \frac{\omega\tau}{m\omega\tau - a} - \omega\tau + \pi; \quad (9)$$

$$K_{об} K_p a = \frac{\omega \sqrt{\omega^2 \tau^2 + (m\omega\tau - a)^2}}{e^{m\omega\tau} \sqrt{(1 - m\omega T_i)^2 + \omega^2 T_i^2}} \times$$

$$\times \frac{\sqrt{[\omega T_c T_i (1 - m^2) + (T_c + T_i) m]^2 + [(T_c + T_i) - 2\omega T_c T_i m]^2}}{e^{m\omega\tau} \sqrt{(1 - m\omega T_i)^2 + \omega^2 T_i^2}}. \quad (10)$$

Зависимости (9) и (10) использованы для построения номограммы (рис. 7а). На рис. 7б дан график зависимостей ди-

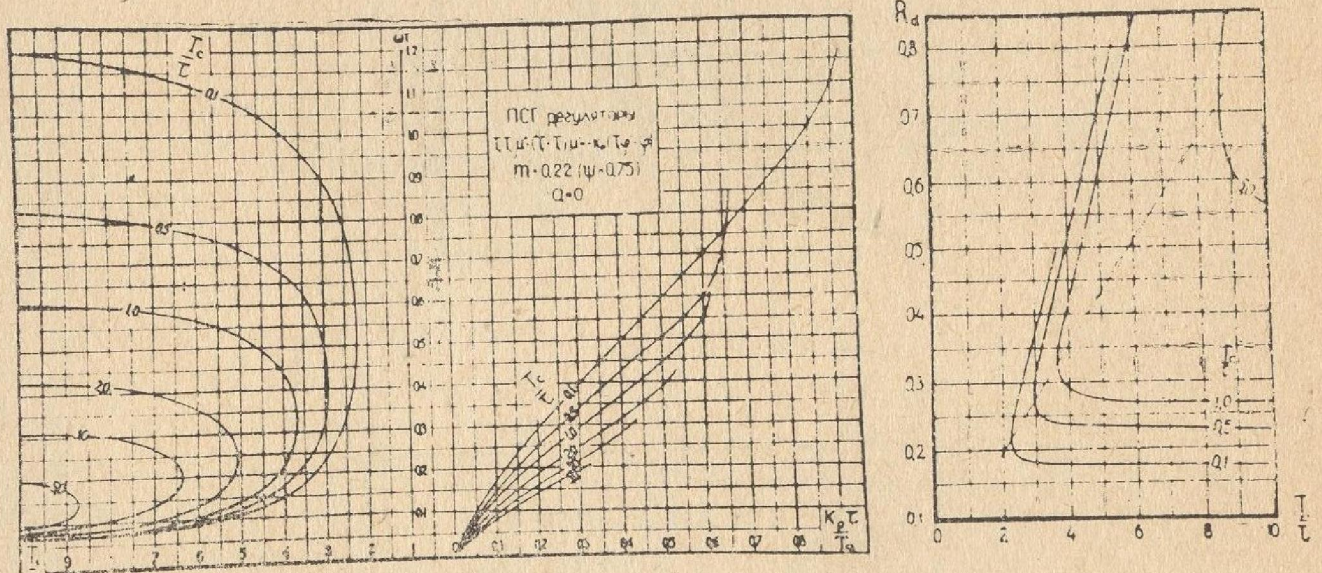


Рис. 7

намического коэффициента регулирования от параметров настройки регулятора.

9. В целях сопоставления настроек гидравлического регулятора с гибкой обратной связью с настройками ПИ-регулятора, для последнего определены расчетные соотношения (11) и (12), положенные в основу для построения номограммы (рис. 8а).

$$\operatorname{arctg} \frac{\omega T_i}{1 - m\omega T_i} = \omega\tau - \operatorname{arctg} \frac{1}{m} - \operatorname{arctg} \frac{\omega\tau}{m\omega\tau - a}; \quad (11)$$

$$K_{об} K_p a = \frac{\omega T_i \sqrt{1 + m^2} \sqrt{\omega^2 \tau^2 + (m\omega\tau - a)^2}}{e^{m\omega\tau} \sqrt{(1 - m\omega T_i)^2 + \omega^2 T_i^2}}. \quad (12)$$

На рис. 8б дан график зависимости  $R_d = f(a, \psi)$ .

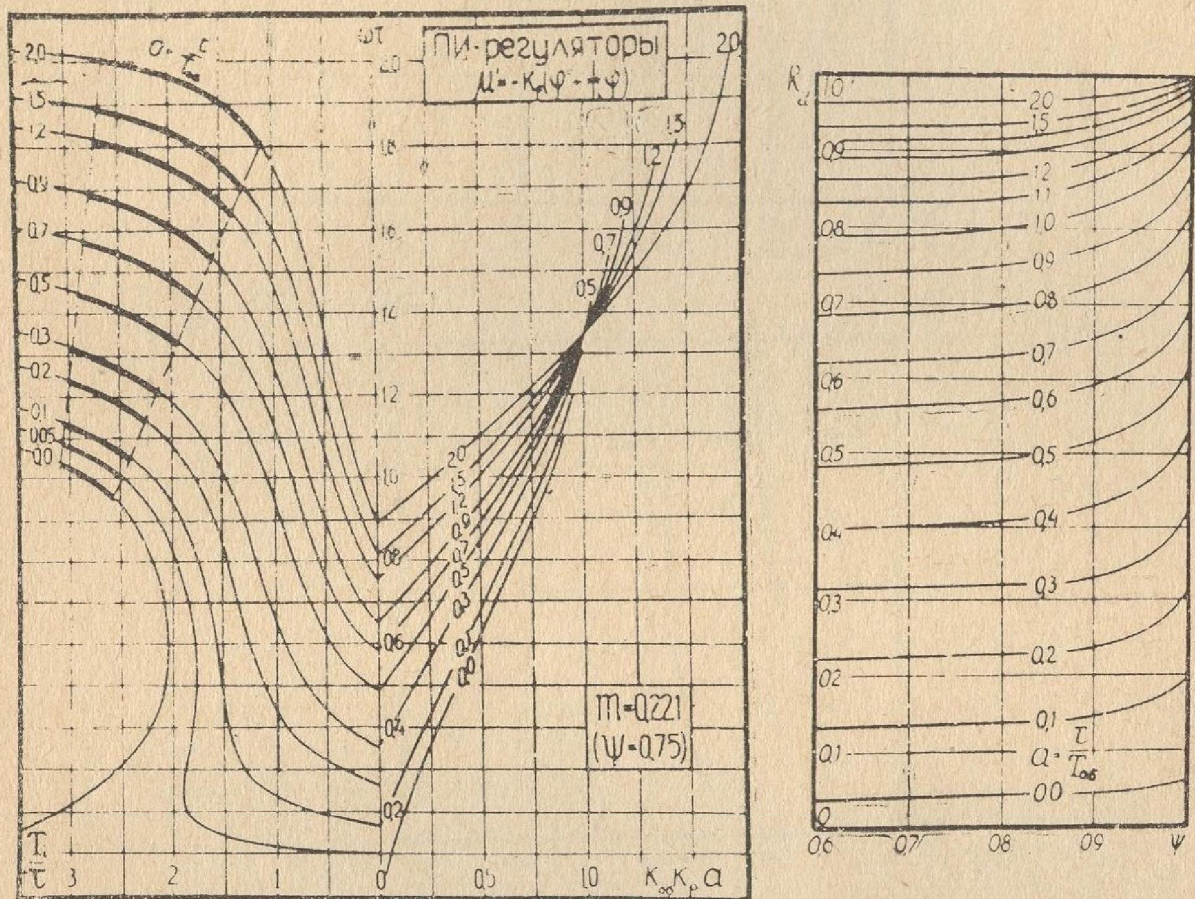


Рис. 8

Для доказательства того, что гидравлические регуляторы с гибкой обратной связью не могут быть отнесены к классу ПИ-регуляторов, на рис. 9 даны графики, показывающие степень несоответствия величин  $K_p$ ,  $\varphi_m$ , и  $\omega$  для сравниваемых вариантов.

10. При решении задачи моделирования линейных систем автоматического регулирования с наличием запаздывания реакции объекта на возмущающее и регулирующее воздействия в данной работе использовалась электронная моделирующая установка МНБ-1 в натуральном масштабе времени. Набор задачи осуществлялся методом понижения порядка

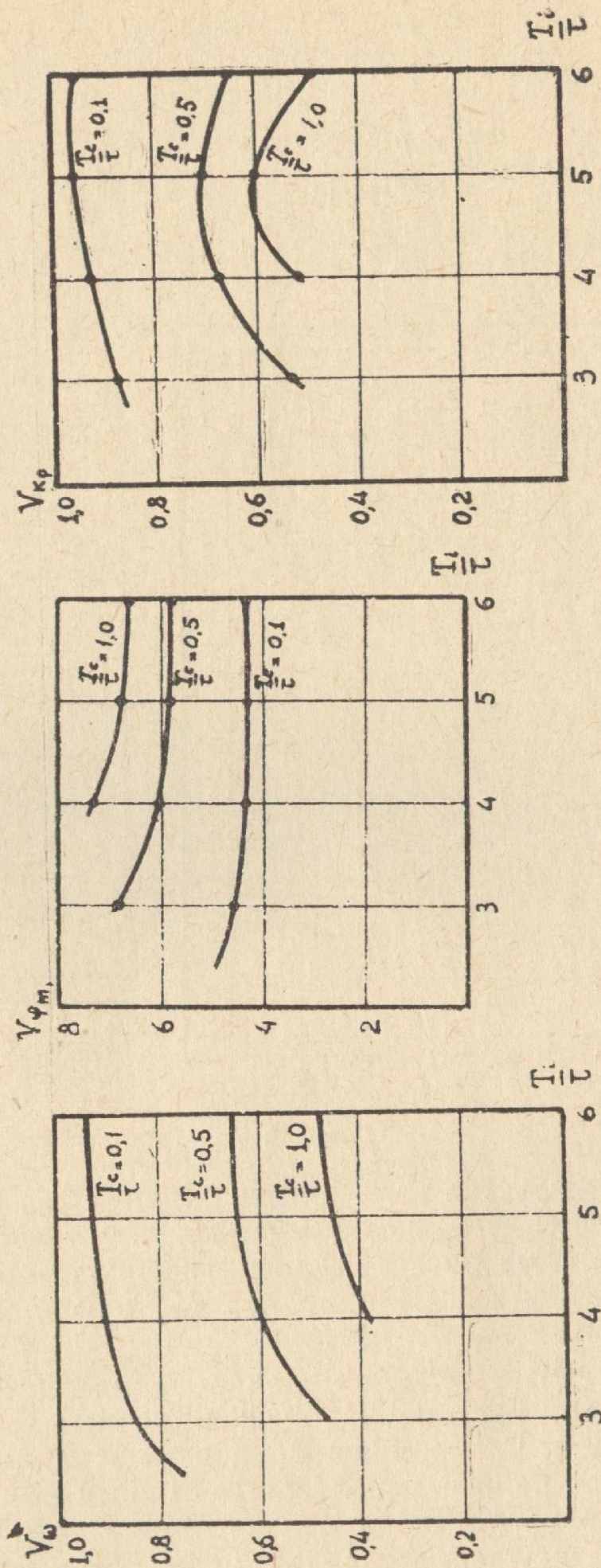


Рис. 9

производных. Установленные суммирующие, масштабные и инвертирующие усилители позволяли изменять коэффициенты дифференциальных уравнений в широких пределах.

Регистрация решения задач была произведена с помощью осциллографа со ждущей разверткой, что дало возможность фотографировать переходные процессы.

В качестве примера на рис. 10 приведены блок-схемы, собранные на МНБ-1, для проверки настроек гидравлических регуляторов с жесткой и гибкой обратными связями.

В целях проверки правильности набора задачи и ее обработки на модели-аналоге, был проведен ряд поверочных расче-

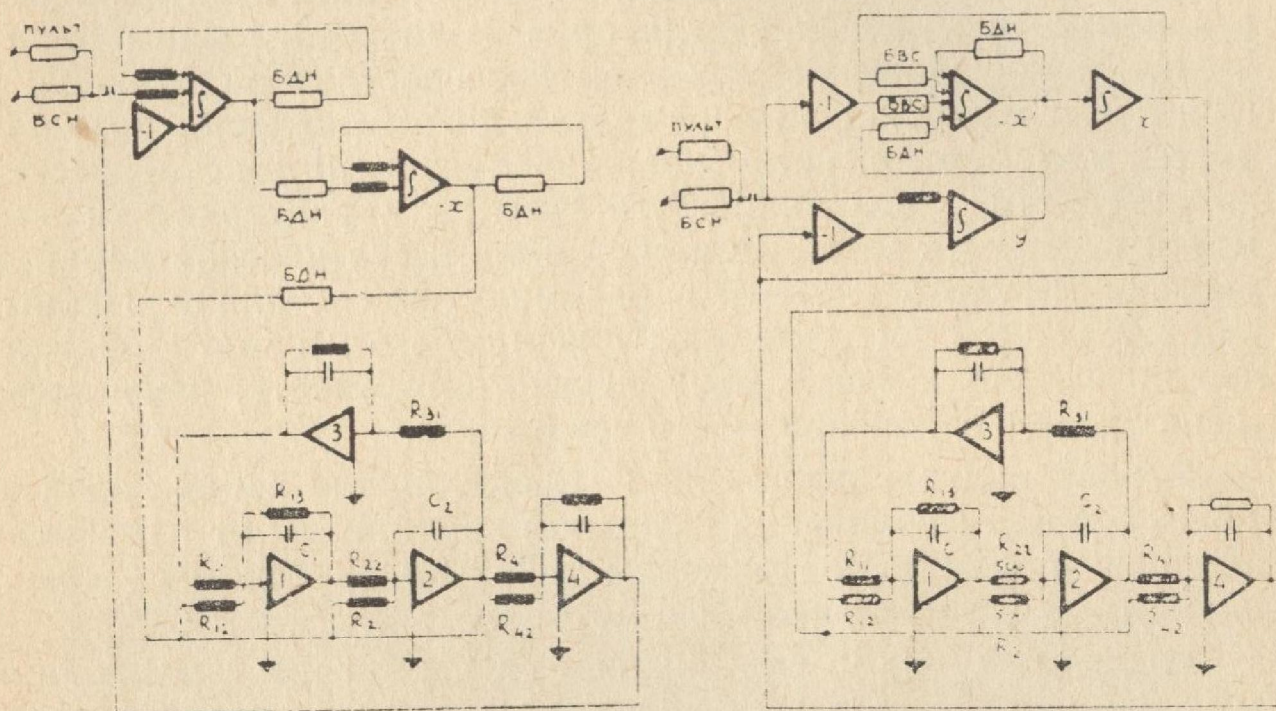


Рис. 10

тов с построением переходных процессов методом трапецидальных вещественных частотных характеристик.

В основной части диссертации исследовались настройки для линейных систем автоматического регулирования. При этом предполагалось, что все нелинейности, присущие реальной регулирующей аппаратуре, не очень существенны и во всех случаях возможна линеаризация.

Для суждения о пригодности рекомендуемых расчетных соотношений и номограмм применительно к реальным системам, в которых проявляются нелинейные факторы, были исследованы динамические свойства нелинейных систем.

V000663

Экспериментальная установка для моделирования нелинейных систем состояла из электронной моделирующей установки «Доннер» и реального гидравлического регулятора «Аскания». Первая использовалась как динамический аналог объекта регулирования с запаздыванием. При проведении экспериментов на этой установке ставилась задача—определить влияние нелинейностей, присущих регулятору, на характер переходного процесса регулирования. При этом сопоставлялись переходные процессы, полученные в нелинейной системе, с переходными процессами, полученными в аналогичной линеаризованной системе. В каждом случае сопоставления, свойства объектов и параметры настройки регуляторов принимались одинаковыми.

Для анализа степени влияния нелинейных факторов при различных настройках регуляторов были исследованы статические характеристики всех элементов регулятора «Аскания». При этом методика экспериментального выявления нелинейностей в элементах системы заключалась в снятии статических характеристик двух типов: статической характеристики элемента системы в замкнутом состоянии и статической характеристики элемента системы в разомкнутом состоянии. Первый вид характеристик снимался для прямого и обратного хода, что позволило выявить зону нечувствительности, зону насыщения и зону неоднозначности устройства.

Второй вид характеристики представлял собой зависимость скорости изменения выходной координаты от изменения входной координаты. Примером такой характеристики может служить характеристика сервомотора.

Проверено, что с увеличением зоны нечувствительности всегда будет уменьшаться величина условного передаточного коэффициента исполнительного механизма, что влечет за собой увеличение динамической ошибки и степени затухания колебаний в переходном процессе регулирования. Кроме того, уменьшение условного передаточного коэффициента наблюдается при работе исполнительного механизма в зоне насыщения его характеристики.

Опытным путем были определены характеристики элементов, имеющих зону неоднозначности. Известно, что для таких элементов характерно то, что условный передаточный коэффициент в одних случаях может быть больше, а в других — меньше, чем передаточный коэффициент идеализированного звена. Таким образом, в зависимости от знака изменения входной координаты, изменение условного передаточного коэффи-

циента может привести в одних случаях к увеличению динамических ошибок регулирования и степени затухания колебаний, в других—к их уменьшению.

Во время проведения экспериментов было установлено, что при больших скоростях регулирования изменение условного передаточного коэффициента в сторону увеличения из-за проявления гистерезисных свойств в электрических устройствах системы превалирует над изменением условного передаточного коэффициента в сторону уменьшения из-за наличия зоны нечувствительности. Поэтому при больших скоростях регулирования наблюдалось уменьшение степени затухания колебаний и величины динамической ошибки регулирования по сравнению с этими же величинами для аналогичных условий в линейной системе регулирования.

При малых скоростях регулирования силы сухого трения проявляются в большей степени, чем при больших скоростях.

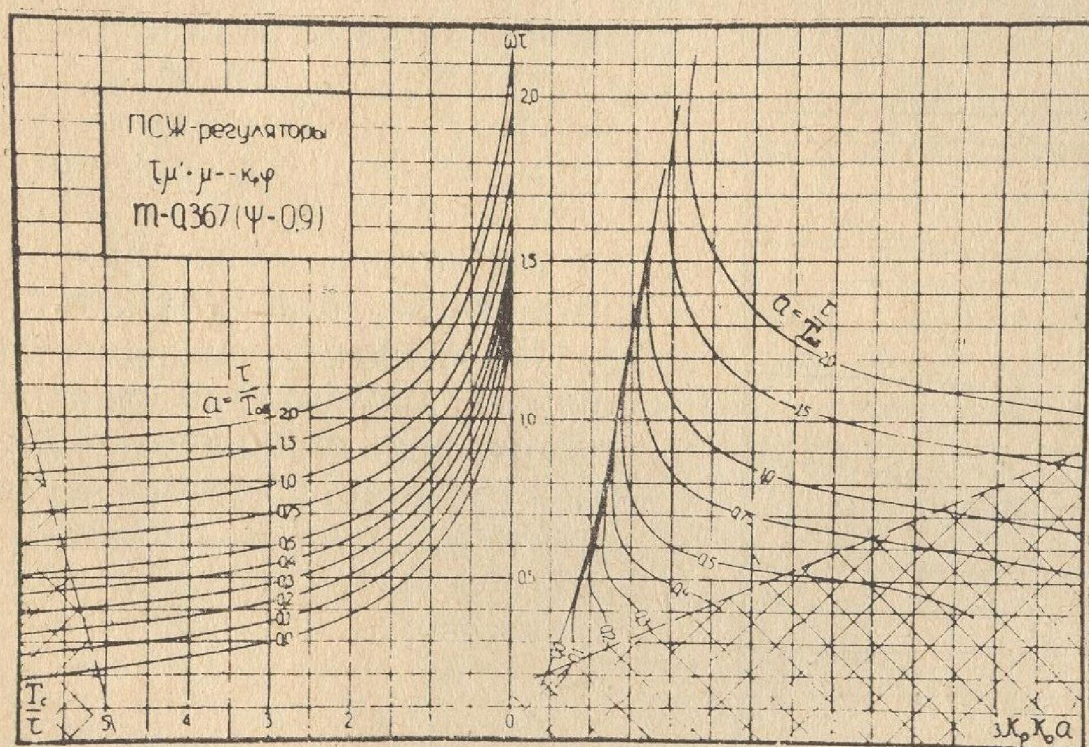


Рис. 11

Ширина зоны неоднозначности при малых скоростях регулирования оказалась меньше, чем при больших скоростях регулирования. В этом случае наблюдалось уменьшение условного передаточного коэффициента системы, т. к. изменение условного передаточного коэффициента исполнительного механизма в сторону уменьшения превалирует над изменением его в

сторону увеличения в характеристиках устройств, имеющих зону неоднозначности. Поэтому на малых скоростях регулирования наблюдалось увеличение степени затухания колебаний и величин динамических ошибок регулирования по сравнению с этими же величинами для аналогичных условий в линейной системе автоматического регулирования.

Анализ большой серии переходных процессов, полученных в системах, содержащих объекты с различными динамическими характеристиками и при различных параметрах настройки регуляторов, позволил выявить области номограмм, рассчитанных для линейных систем, которые пригодны для использования в случаях определения настроек гидравлических регуляторов с присущими им нелинейностями.

В виде примера на рис. 11 представлена номограмма для определения параметров настройки гидравлических регуляторов с жесткой обратной связью для линейных систем. Заштрихованные области номограмм нежелательно использовать при

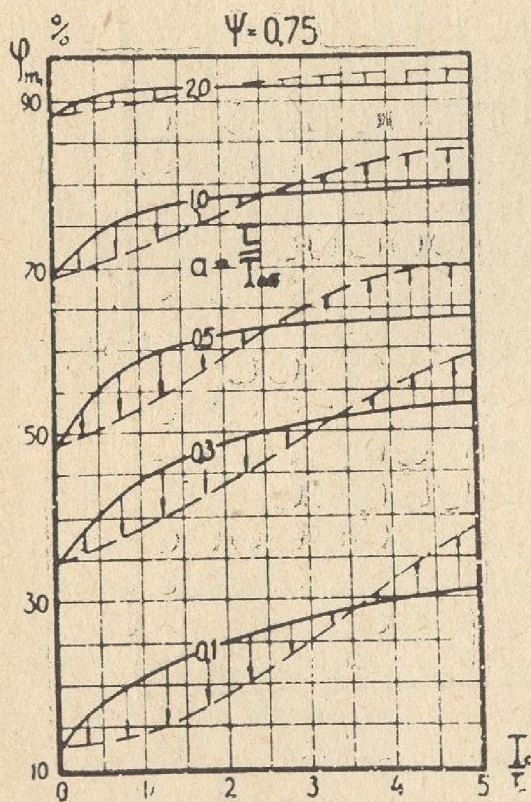


Рис. 12

выборе параметров настройки регулятора, т. к. эти области соответствуют значительным отклонениям величин качественных показателей переходного процесса от расчетных из-за проявления нелинейностей регулятора.

На графиках зависимостей величин динамических ошибок регулирования от параметров объекта и регулятора, выполненных для линейных систем, введены коррективы для систем, в которых проявляются нелинейности (рис. 12).

Таким образом, проведенные эксперименты на реальной гидравлической аппаратуре дают основания дать рекомендации по использованию определенных участков расчетных номограмм, выполненных для линейных систем, без риска получения существенных искажений ожидаемых переходных процессов регулирования.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В основной части диссертации рассматривается вопрос регулирования сложных объектов с запаздыванием гидравлическими регуляторами без обратной связи, с жесткой и гибкой обратными связями.

Установлено, что гидравлические регуляторы, по сравнению с другими, обладают специфическими свойствами. Ввиду этого, гидравлические регуляторы с жесткой обратной связью выделены из класса П-регуляторов, а гидравлические регуляторы с гибкой обратной связью выделены из класса ПИ-регуляторов.

Наряду с рассмотрением вопроса регулирования сложных объектов гидравлическими регуляторами, даются рекомендации по настройке всех остальных типов регуляторов. При этом, для каждого типа регулятора соблюден единый подход к расчету и графическому оформлению результатов расчета.

Полученные однотипные номограммы для И-, П-, ПИ-, ПИД-, ПСЖ- и ПСГ-регуляторов позволяют также с наименьшей затратой времени производить выбор необходимого типа регулятора.

Зависимости параметров настройки регуляторов от свойств объектов регулирования и заданных качественных показателей переходного процесса регулирования получены в виде безразмерных комплексов указанных величин. Благодаря этому каждая номограмма охватывает полный диапазон возможных изменений параметров настройки данного регулятора и включает в себя объекты с различными свойствами.

Анализ результатов экспериментов, проведенных на электронной моделирующей установке МНБ-1 для моделирования линейных систем автоматического регулирования, дал возможность оформить рекомендации по выбору параметров настройки регуляторов, обеспечивающих наиболее благоприятные переходные процессы регулирования.

Проведенные исследования и обработка результатов экспериментов позволили выявить зависимости величин динамических ошибок регулирования от параметров настройки регулятора и свойств объекта при заданных качественных показателях переходного процесса.

Проведена серия экспериментов на реальной системе автоматического регулирования с целью выявления нелинейностей (присущих регуляторам) на переходные процессы в аналогичной системе, которая ранее рассматривалась как линейная.

Анализ и сравнение результатов экспериментов, проводимых для линейных и нелинейных систем автоматического регулирования, дали возможность выявить рабочие области номограмм, рассчитанных для линейных систем, в которых влияние нелинейностей на процесс регулирования проявляется незначительно, и определить нерабочие области номограмм.

В отличие от других критериев, определяющих качество переходного процесса регулирования, в данной работе принят критерий обеспечения максимально возможной частоты переходного процесса регулирования, согласованной со свойствами объекта регулирования и регулятора.

Использование аналитического метода расчета настроек регуляторов с привлечением аппарата расширенных амплитудно-фазовых характеристик объекта регулирования и регуляторов, при принятом новом критерии качества переходного процесса регулирования, а также анализ и обработка большого числа экспериментов на линейных и нелинейных системах автоматического регулирования дали возможность получить результаты исследований в виде расчетных формул и номограмм более удобных для практического использования, чем ранее известные.

Дальнейшие исследования намечено вести в направлении более глубокого изучения влияния нелинейных факторов на динамику систем автоматического регулирования.

Содержание диссертационной работы было доложено автором на отчетных конференциях по научно-исследовательским работам института в 1961 и в 1962 гг., на кафедрах автоматизации теплосиловых установок Калифорнийского университета, Одесского политехнического института и Одесского технологического института им. М. В. Ломоносова в 1962 и 1963 годах. Основное содержание работы, изложенное в статье «Charts for Adjustment of Hydraulic Regulators», было доложено съезду ASME, состоявшемуся в ноябре 1963 г. в Филадельфии, профессором В. Такахаши.

Материалы диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Денисов Ю. С., Кон Л. И. «Настройка гидравлических регуляторов», ОПИ, Научные записки, том 43, 1962.
2. Кон Л. И., Денисов Ю. С. «Номограммы для определения параметров настройки регуляторов и частот переходных процессов при регулировании сложных теплоэнергетических объектов», ОПИ, Научные записки, том 43, 1962.
3. Кон Л. И., Денисов Ю. С. «Методические указания по выбору и настройке регуляторов теплоэнергетических и других процессов», Проектно-конструкторский и исследовательский институт автоматизации пищевой промышленности, Одесса, 1961.
4. Denisov Y., Takahashi Y. «Charts for Adjustment of Hydraulic Regulators», New York, ASME, 1963.

—o—

---

Подписано к печати 18.I.64 г.      Формат бумаги 60×92/16.  
1,5 печ. л. 1,5 уч.-изд. л.    БР 05010. Зак. № 65. Тираж 200.

---

Типография Одесского политехнического института  
г. Одесса, Ново-Аркадийская дор., № 5.