

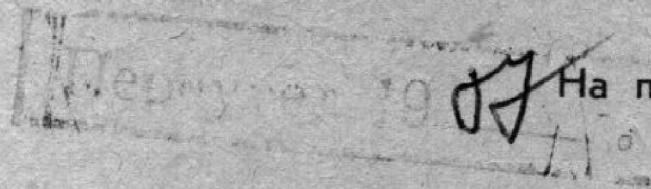
Автор еф.

С 21

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
им. М. В. ЛОМОНОСОВА

САТАНОВСКИЙ В. Р.



На правах рукописи

ИССЛЕДОВАНИЕ БРАЖНОЙ
КОЛОННЫ СПИРТОВОГО ПРОИЗВОД-
СТВА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

(05.198 - Автоматизация производственных
процессов пищевой промышленности)

Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Одесса, 1972

С 21

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
им. М. В. ЛОМОНОСОВА

САТАНОВСКИЙ В. Р.

На правах рукописи

ИССЛЕДОВАНИЕ БРАЖНОЙ
КОЛОННЫ СПИРТОВОГО ПРОИЗВОД-
СТВА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

(05.198 - Автоматизация производственных
процессов пищевой промышленности)

Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

ОНАХТ 31.05.12
Исследование бражной



v012014

Одесса, 1972 г.

012014
Одесский технологический
институт пищевой промыш-
ленности им. М. В. Ломоносова
БИБЛИОТЕКА

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

Научные руководители:

доктор технических наук, профессор П.Н. Платонов
кандидат технических наук М.Л. Мандельштейн

Официальные оппоненты:

лауреат Государственной премии,
доктор технических наук, профессор Ю.Г. Корнилов
кандидат технических наук, доцент Н.В. Остапчук

Ведущее предприятие - Трилесский спиртовой комбинат, предприятие коммунистического труда

Автореферат разослан 19 июня 1972 г.

Защита диссертации состоится 15 сентября 1972 г. на заседании Совета Одесского технологического института пищевой промышленности им. М.В. Ломоносова.

Просим Ваши отзывы в двух экземплярах присылать по адресу:

г. Одесса-39, ул. Свердлова 112, Технологический институт пищевой промышленности им. М.В. Ломоносова.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь Совета Л.А. Запорожец

Л. Запорожец

В В Е Д Е Н И Е

Директивами XXIV съезда КПСС намечены повышенные темпы развития отраслей промышленности, связанных с производством товаров народного потребления и сырья для их выпуска. Рост производства должен быть обеспечен прежде всего за счет повышения его эффективности, т.е. интенсификации производственных процессов, повышения производительности труда при улучшении качества продукции, рациональном использовании сырья и энергии.

Этиловый спирт - конечный продукт спиртового производства - является необходимым исходным продуктом для многих отраслей пищевой промышленности. Основным оборудованием, на котором осуществляется завершающая стадия технологического процесса, являются брагоректификационные аппараты косвенного действия (БРА). Повышение производительности БРА, снижение энергозатрат и улучшение качества ректифицированного спирта - важные задачи, стоящие перед спиртовой промышленностью в девятой пятилетке.

Решение этих задач в значительной мере зависит от совершенства систем автоматизации. Естественно поэтому, что осуществление автоматической системы управления, обеспечивающей улучшение технико-экономических показателей БРА, является актуальной задачей и представляет несомненный интерес как в экономическом, так и в научно-техническом отношениях.

Последнее десятилетие характеризуется интенсивными исследованиями БРА.

Основные исследования в области теории процесса ректификации и совершенствования аппаратуры выполнены В.Н. Стабниковым, П.С. Цыганковым, С.Е. Хариним, В.П. Грязновым, В.М. Перельгиным, А.П. Николаевым, В.А. Домарецким, И.Ф. Малехиком, В.Г. Артюховым и др.

На базе выполненных работ сформировалось самостоятельное направление исследований, связанное с изучением БРА как объекта управления и разработкой систем автоматизации. Основные результаты здесь получены в работах П.С. Цыганкова, М.Л. Мандельштейна, В.И. Грубова, В.А. Домарецкого, А.П. Николаева, Д.И. Скобло, Ю.Г. Корнилова, М.П. Асмаева.

Получены уравнения связи между основными параметрами процесса как аналитически, так и статистическими методами на полупромышленных установках, исследованы динамические характеристики ряда типоразмеров БРА, разработаны варианты автоматических систем (АС), а также рекомендации по оптимизации процесса с помощью номограмм либо устройств-советчиков.

На основе проведенных исследований выполнен типовой проект автоматизации БРА и осуществляется его внедрение в промышленность путем комплектной поставки автоматизированных аппаратов и реконструкции действующих.

Вместе с тем типовая система не удовлетворяет требованиям интенсификации процесса, а задача синтеза системы, обеспечивающей повышение производительности аппарата в динамике, ранее не решалась. Отсутствуют также необходимые для поста-

новки и решения такой задачи результаты исследований процесса: статистические характеристики параметров, зависимости между управляемыми параметрами и возмущающими и управляющими воздействиями в статике, полученные на промышленном аппарате, динамические характеристики широко распространенных аппаратов производительностью 3000 дал/сутки.

Теоретические основы синтеза оптимальных систем, обеспечивающих лучшее значение задаваемого критерия, изложены в трудах А.А. Фельдбаума и развиты применительно к массообменным установкам в работах В.В. Кафарова, А.И. Бояринова, И.В. Анисимова, В.И. Иваненко, Д.В. Караченца и др.

Практические результаты усовершенствования автоматических систем ректификационных установок в СССР и за рубежом получены благодаря использованию управляющих вычислительных машин (УВМ), приборов контроля качества, а также усложнения структуры локальных АС, в частности, расширения логической части алгоритма управления, реализуемой элементами аналогового и дискретного действия.

Использование УВМ в спиртовой промышленности, как показало проведенное в институте "Пищепромавтоматика" технико-экономическое исследование, в настоящее время нерационально. В связи с этим назрела необходимость проведения исследований, связанных с изучением закономерностей процессов брагоректификации, позволяющих найти алгоритмы управления, обеспечивающие существенное улучшение технико-экономического эффекта и реализуемые средствами локальных информационных и управляющих устройств.

Рассматриваемые БРА состоят из бражной, эспирационной и ректификационной колонн, представляющих вполне автономные объекты управления. Причем, бражная колонна (БК) во многом определяет эффективность работы аппарата, т.е. его производительность (особенно в случаях компоновки мощных аппаратов из одной бражной, двух эспирационных и двух ректификационных колонн), энергоёмкость и качество спирта. Этим обосновывается целесообразность проведения указанных исследований прежде всего для БК, тем более что она является типичным представителем большой группы массообменных установок.

Основные задачи исследований заключаются в следующем:

- изучение статистических характеристик основных параметров процесса, статических и динамических характеристик промышленной БК;
- синтез на основе полученных результатов алгоритма управления, обеспечивающего увеличение технико-экономического эффекта и реализуемого на основе типовой системы;
- разработка и исследование усовершенствованной АС, реализующей полученный алгоритм управления.

Поставленные задачи в определенном смысле относятся к малоизученной проблеме синтеза оптимальных автоматических систем при ограничениях, налагаемых на структуру управляющего устройства.

Основной методический подход к решению указанных задач заключается в использовании современных статистических методов исследования объектов, в том числе активного многофакторного планируемого эксперимента, и методов синтеза оптимальных

систем, в частности, принципа максимума Л.С. Понтрягина, в сочетании с анализом конкурентоспособных вариантов систем, выполняемым с использованием теории статистических решений и аналоговых электронных и пневматических моделей.

Работа выполнена в институте "Пищепромавтоматика". Экспериментальные исследования и производственные испытания проводились на Трилесском спирткомбинате.

Диссертация содержит 143 страницы текста, 31 рисунок, 18 таблиц и приложения.

I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В первой главе проведен анализ выполненных ранее работ по исследованию бражных колонн как объектов управления.

Выходными параметрами БК являются концентрация спирта в дистилляте (χ_n), в барде (χ_0), температура верха (t_b) и низа (t_n), давление низа (P_n) и верха (P_b) и температура отходящей из дефлегматора воды (t_{03}).

Установлено, что может быть выделен основной управляемый параметр — температура t_b , тесно коррелированный с качественными параметрами и воспринимающий возмущения процесса, в том числе по концентрации питания χ_r .

Показано, что управление процессом осуществляется двумя управлениями — расходами бражки (F) и пара (V). Расходы воды (G), барды (W) и дистиллята (D) не являются независимыми параметрами.

Приведен анализ разработанных вариантов АС и показано, что улучшение технико-экономических показателей БК может быть достигнуто за счет соответствующей организации переходных режимов, обеспечивающей увеличение производительности колонны, а также уменьшение удельного расхода пара на процесс.

Систематизированы направления автоматизации аналогичных установок в отечественной и зарубежной практике и определен класс систем, соответствующий сложившимся в спиртовой промышленности возможностям.

На основе сделанного обзора сформулированы задачи исследования и дана общая методика их решения.

Обзор включает 65 литературных источников.

ИССЛЕДОВАНИЕ БРАЖНОЙ КОЛОННЫ КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

Объектом исследования является БК аппарата производительностью 3000 дал/сутки, работающего на меласной бражке.

Для определения статистических характеристик потока питания, получения исходных данных, позволяющих рассчитать оценки авто- и взаимокорреляционных функций и коэффициенты уравнения регрессии, связывающего качественный и режимный параметры процесса, проведен многоэтапный пассивный эксперимент. Длительность этапов эксперимента и дискретность замеров определены на основе предварительно проведенных опытов.

По экспериментальным данным построена гистограмма распределения концентрации χ_r и показано (на основе критерия Пирсона), что выравненная по нормальному закону кривая распределения согласуется с теоретической ($\chi^2 = 5,50$).

Авто- и взаимокорреляционные функции \tilde{R}_r , \tilde{R}_v , \tilde{R}_{Fv_n} , \tilde{R}_{Vv_n} , \tilde{R}_{v,t_b} , \tilde{R}_{t_b} рассчитаны на ЦВМ "Урал-2" и использованы для определения параметров динамических характеристик, выполнения статистических оценок качества регулирования и при сравнительном анализе вариантов АС.

Анализ взаимокорреляционной функции \tilde{R}_{v,t_b} (рис. 1) свидетельствует о том, что временной сдвиг между изменениями па-

параметров u_n и t_B находится в пределах интервала между замерами (5 мин.) – максимум взаимокорреляционной функции соответствует моменту времени $t \approx 0$.

Рассчитаны коэффициенты уравнения регрессии

$$y_n = 250,3 - 2,09t_B, \quad (I)$$

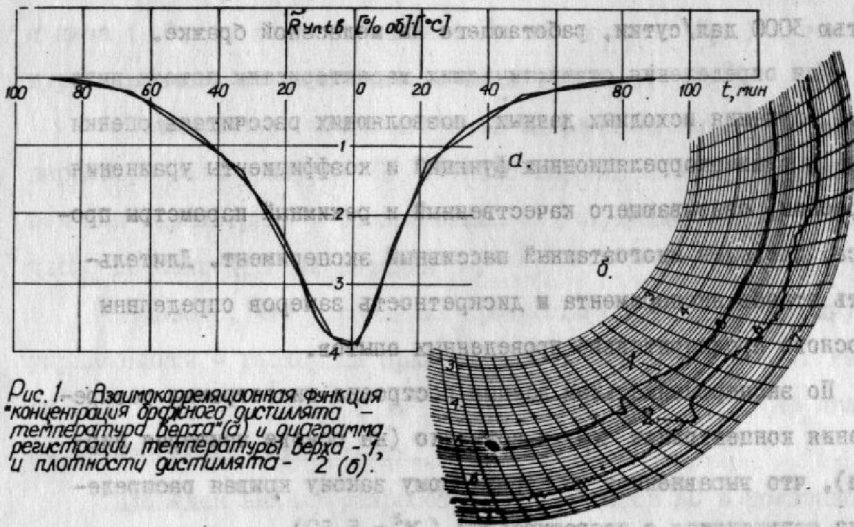


Рис. 1. Взаимкорреляционная функция концентрации парового дистиллята – температура берца (а) и диаграмма регистрации температуры берца – 1, и плотности дистиллята – 2 (б).

позволяющего прогнозировать некоторые экономические показатели АС. (здесь u_n – в % об., t_B – в °C).

Для получения основных уравнений статики проведен активный многофакторный эксперимент по плану, являющемуся частью полного факторного эксперимента типа 3^3 и состоящему из следующих

точек факторного пространства: восьми точек, образующих куб, шести точек, образующих октаэдр, и трёх центральных точек (рис. 2).

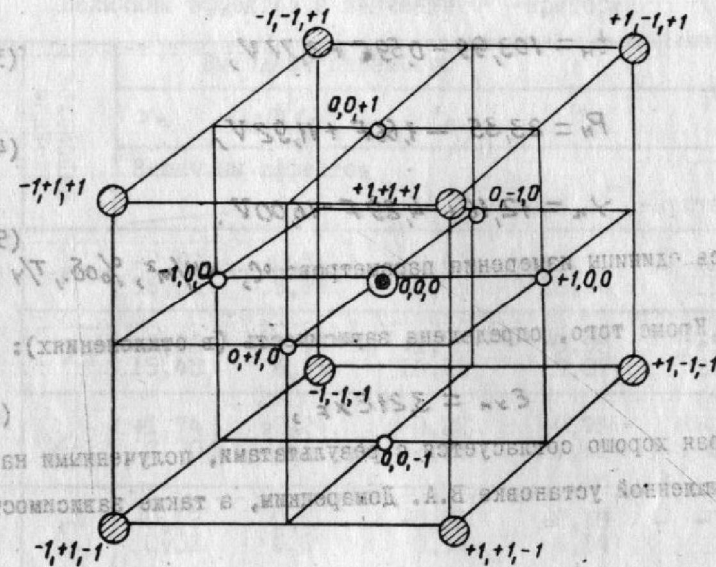


Рис. 2. План факторного эксперимента

Сложность обеспечения строго заданного значения концентрации x_F потребовала ввести ограничения на рандомизацию опытов и разбить эксперимент на три блока, соответствующие трем уровням x_F , а также определить поправки к известным расчётным формулам квадратичных эффектов, связанные с тем, что средний уровень x_F не равен полусумме верхнего и нижнего уровней.

Для оценки значимости полученных эффектов проведен дисперсионный анализ. На основе величин эффектов и значений F -кри-

терия (табл. I) определен вид уравнений связи и их коэффициенты при уровне значимости $\alpha = 0,05$

$$t_B = 105,89 - 1,64F + 6,00V, \quad (2)$$

$$t_H = 103,99 - 0,59F + 3,77V, \quad (3)$$

$$P_H = 23,35 - 1,66F + 11,92V, \quad (4)$$

$$Y_H = 12,16 + 4,89F - 16,00V. \quad (5)$$

(здесь единицы измерения параметров: °C, кч/м², %об., Т/ч).

Кроме того, определена зависимость (в отклонениях):

$$E_{Y_H} = 3,21E_{X_F}, \quad (6)$$

которая хорошо согласуется с результатами, полученными на промышленной установке В.А. Домарецким, а также зависимость

$$x_0 = 0,0028 \exp [0,46(F-16,5) + 0,325(x_F-8,86) - 3,01(V-2,49)], \quad (7)$$

которая по структуре аналогична характеристике БК, полученной М.Л. Мандельштейном по результатам исследования на ЦВМ модели статистики колонны аппарата производительностью 6000 дал/сутки.

Адекватность уравнений процессу проверена с помощью критерия, предложенного В.П. Бородюком, и предусматривающего сопоставление доверительных интервалов выходных параметров, гарантируемых уравнениями модели, с доверительными интервалами средних значений этих параметров, полученных в процессе нормальной эксплуатации.

Таблица I

Величины эффектов и значений F-критерия

Тип эффекта	Входные параметры	Выходные параметры				
		Y_H	$P_H \cdot 10^3$	t_B	t_H	P_H
		Значения F-критерия				
Линейные	F	+7,92 56,00	+0,31 5,98	-2,62 47,45	-0,94 26,74	-26,6 15,90
	V	-4,16 15,40	-0,34 6,75	+1,56 16,82	+0,98 29,07	+3,10 21,59
	X_F	+1,74 2,70	+0,24 3,37	-0,22 2,33	+0,78 18,41	+0,52 0,61
Квадратичные	F^2	-0,12 0,02	0,0 0,0	-0,21 0,54	-0,39 6,14	-0,47 1,66
	V^2	+1,32 2,07	+0,09 0,63	-0,48 2,12	-0,27 2,94	-0,53 1,84
	X_F^2	-1,10 1,04	-0,06 0,28	+0,15 0,21	-0,39 6,13	-0,26 0,20
Двойные взаимодействия	FV	-1,60 1,83	+0,1 0,47	+0,075 0,03	-0,025 0,015	-0,47 0,41
	$F X_F$	-2,60 4,82	+0,1 0,47	+0,225 0,28	+0,025 0,015	-0,37 0,25
	$V X_F$	-2,05 3,00	+0,0 0,0	+0,575 1,83	+0,125 0,38	+0,63 0,70
Тройное взаимодействие	$F V X_F$	-1,50 1,60	+0,05 0,43	-0,025 0,003	-0,075 0,14	-0,28 0,14

Отсутствие параметра χ_c в уравнениях (2) - (5) (при уровне значимости $\alpha = 0,05$) объясняется влиянием шумов, присущих технологической схеме процесса, предусматривающей использование дефлегматора в качестве подогревателя бражки. Это подтверждено совместным решением уравнений материального и теплового баланса колонны, в результате которого зависимость $u_n = f(F, V, \chi_c)$ представлена в виде полинома, коэффициенты которого зависят от теплосодержания бражки. Изменение теплосодержания приводит к частичному перераспределению эффектов от изменения F и χ_c на выходные параметры процесса.

Исследование динамических характеристик осуществлено разгонным методом для каналов, выходными параметрами которых являются температура и давление, и обработкой статистических данных пассивного эксперимента - для каналов, выходными параметрами которых являются концентрации. В последнем случае параметры определены методом планированного эксперимента на аналоговой вычислительной машине при подаче на вход модели каждого канала сигнала в виде автокорреляционной функции и получении на выходе сигнала, наилучшим образом приближающегося к взаимокорреляционной функции.

Результаты эксперимента сведены в табл. 2. Сопоставление их с данными, полученными на колонне аппарата производительностью 6000 дал/сутки, свидетельствует о том, что динамические свойства колонн достаточно близки, особенно это относится к отношению τ/τ , влияющему на качество регулирования.

Этот результат позволяет использовать в процессе исследования динамическую модель колонны аппаратов 3000 либо 6000 дал/сутки и считать полученные результаты применимыми для обоих типов размеров колонны.

Таблица 2

Параметр	Параметры динамических характеристик								
	К а н а л ы								
	$F-t_B$	$F-P_n$	$F-t_n$	$V-t_B$	$V-P_n$	$V-t_n$	$G-t_B$	$F-u_n$	$V-u_n$
K , ед.изм ^{ж)}	0,279	0,38	0,143	0,158	0,16	0,062	0,11	0,28	0,12
T , сек	540	492	474	201	66	204	528	882	600
τ , сек	114	48	186	57	0	33	294	465	480
τ/τ	0,21	0,1	0,4	0,28	0	0,16	0,55	0,525	0,8

ж) Единицы измерения параметров - °С, % об., кн/м².

Таким образом, получены параметры статической и динамической моделей колонны и статистические характеристики основных параметров, что позволяет осуществить синтез алгоритма управления, а также априорную оценку экономического эффекта.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

На основе исследования статики и динамики процесса, а также анализа возмущающих воздействий определено, что бражная колонна относится к распространенному классу массобменных установок, для которого может быть сформулирована

задача синтеза системы, обеспечивающей максимальную производительность в переходных режимах, заключающаяся в следующем: если под действием какого-либо возмущения регулируемый параметр $|x|$ принимает в момент τ_1 значение $x^{(0)}$, большее δ , то необходимо выбрать такое управление u^* , которое обеспечит выполнение условия

$$|x| \leq \delta \quad (8)$$

и при этом доставит минимум целевой функции

$$J = \int_{\tau_1}^{\tau_2} f_0(x, u_s) dt, \quad (9)$$

в которой f_0 есть некоторая положительная функция, такая, что с увеличением x функция f_0 увеличивается, а с увеличением u_s — уменьшается. Здесь $u = (u_1, u_2, \dots, u_r)$ — вектор управления, на составляющие которого наложены ограничения

$$|u_j| \leq U_j, \quad j = 1, 2, \dots, r;$$

u_s — управляющее воздействие, определяющее производительность объекта, $s \in [1, r]$; τ_2 — момент времени, начиная с которого вновь выполняется условие (8).

Решение задачи обсуждено на основе принципа максимума Л.С. Понтрягина. Получены основные зависимости и показано, что синтезирующие функции в общем виде могут быть получены при упрощении математического описания объекта, в частности, представлении его дифференциальным уравнением вида

$$\frac{dx}{dt} = a_1 u - x \quad (10)$$

В этом случае алгоритм оптимального управления определяется соотношениями:

$$u_s^* = \begin{cases} U_s \operatorname{sign} x^{(0)}, & \text{если } \varphi(x) > \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq s}}^r U_j, \\ U_s, & \text{если } \varphi(x) \leq \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq s}}^r U_j, \end{cases} \quad (II)$$

$$u_j^* = -U_j \operatorname{sign} x^{(0)}, \quad j = 1, 2, \dots, k, j \neq s,$$

$$u_j^* = U_j \operatorname{sign} x^{(0)}, \quad j = k+1, \dots, r, j \neq s,$$

где u_s, u_j — составляющие вектора u , такие, что

$$u = u_s + \sum_{j=1}^k u_j - \sum_{j=k+1}^r u_j, \quad j \neq s$$

а $\varphi(x)$ — часть функции f_0 , не зависящая от u_s

Для БК справедливы соотношения (I0) и (II) при

$$x = t_B - t_B^{(j)},$$

$$u = u_1 - u_2 = \kappa_{01} V - \kappa_{02} F,$$

$t_B^{(j)}$ — заданное значение t_B ,

κ_{01} и κ_{02} — коэффициенты усиления.

Установлено, что условие $\varphi(x) > \sum_{j=1}^r U_j$ для БК выполняется и алгоритм управления задается соотношениями:

$$u_1^* = -U_1 \operatorname{sign} x^{(0)},$$

$$u_2^* = U_2 \operatorname{sign} x^{(0)}. \quad (I2)$$

№ 6. 12014

Учитывая нежелательность двухпозиционного изменения расхода бражки (в связи с влиянием последнего на тепловой режим дефлегматора), а также возможности реализации усовершенствованной системы на базе основных элементов распространенных в промышленности типовых систем, алгоритм управления преобразован. Управляющие воздействия формируются двумя регуляторами, переключаемыми логическим устройством в соответствии с зависимостями:

$$F = F(\delta) + K_{P1} \times Y, \quad (I3)$$

$$V = V(\delta) + K_{P2} \times \bar{Y}, \quad (I4)$$

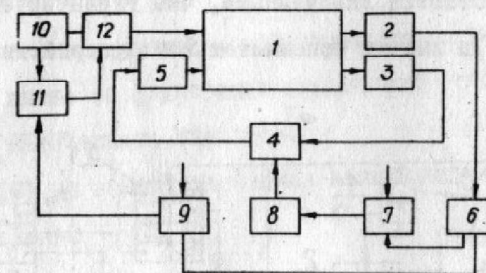
$$Y = \begin{cases} 1 & \text{при } x - \delta > 0 \\ 0 & \text{при } x + \delta < 0 \end{cases}, \quad (I5)$$

где $F(\delta)$ и $V(\delta)$ - значения расходов бражки и пара, соответствующие установленному режиму работы колонны, при котором $t_B = t_B(\delta)$, K_{P1} и K_{P2} - коэффициенты усиления регуляторов, Y - логическая функция переключения, \bar{Y} - инверсная ей функция, $\pm \delta$ - зона нечувствительности логического устройства.

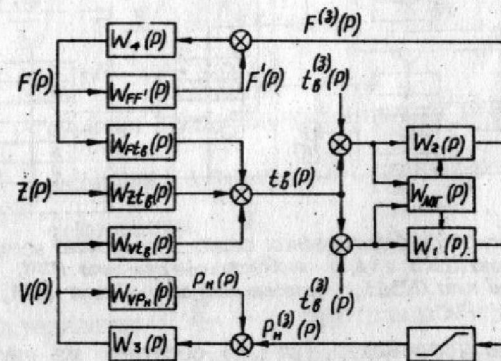
Указанный алгоритм имеет ясную физическую интерпретацию: в тех случаях, когда под действием возмущений (в том числе и x_f) температура верха БК становится выше заданной, (что свидетельствует о разгрузке колонны), необходимо увеличить расход бражки, а расход пара оставить на номинальном уровне; когда температура t_B становится ниже заданной (что свидетельствует о загрузке колонны), необходимо оставить на номинальном

уровне расход бражки, а расход пара увеличивать до предельно допустимой величины.

Структурная схема автоматической системы, реализующей рассмотренный алгоритм (рис. 3), построена по принципу каскадно-связанных систем с корректирующим (главным) регулятором и двумя



а.



б.

Рис.3 Структурная схема усовершенствованной автоматической системы.

а - упрощенная ; б - развёрнутая.

стабилизирующими (подчиненными) регуляторами, переключаемыми логическим устройством.

Для поддержания давления низа колонны в пределах технологических допусков введен стабилизирующий регулятор давления, задание которому формируется в функции температуры верха. Ограничение сигнала задания позволяет приблизить его к релейному.

Переключение управляющих воздействий (П-регуляторов 7 и 9) осуществляется логическим устройством 6 путем коммутации сигналов задания и переменной на входах регуляторов, при этом выходные каскады остаются включенными, чем гарантируется стабилизация давления в линиях исполнительного устройства отключенного регулятора.

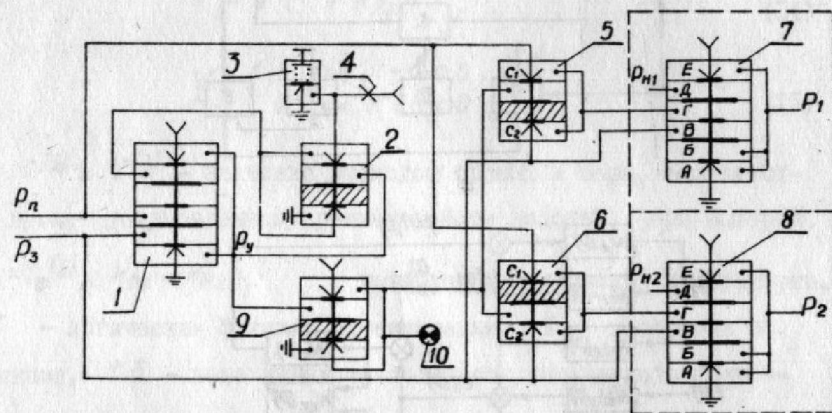


Рис. 4 Принципиальная пневматическая схема логического устройства. 1,7,8 - элемент сравнения типа П2ЭСЗ; 2,5,6,10 - универсальные реле типа ППР1; 3 - датчик маломощный типа П2ЗДЗ; 4 - дроссель постоянный типа П2ДН; 10 - пневмоиндикатор типа РУС1.

Логическое устройство (рис.4) состоит из двух узлов. Элементы 1,2,3 и 4 образуют узел, определяющий функцию переключения (I5). Узел, состоящий из элементов 5 и 6, осуществляет непосредственную коммутацию измерительных камер элементов сравнения 7 и 8 регуляторов в соответствии с зависимостями (I3) и (I4).

Проведен анализ точности системы. При этом использован метод статистической линеаризации.

Передаточная функция разомкнутой системы по каналу " $t_B - V$ " (с учётом стабилизирующего контура) аппроксимирована выражением

$$W_{t_B V}(p) = \kappa F_{нл} \frac{T_1 p + 1}{(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)(T_4 p + 1)}, \quad (I6)$$

где $F_{нл}$ - статистический коэффициент передачи нелинейного звена по флуктуации переменной относительно математического ожидания.

Для (I6) на основе имеющихся в литературе зависимостей получено выражение

$$\left(\frac{\sigma}{c}\right)^2 = \varphi_1(F_{нл}), \quad (I7)$$

где σ - средняя квадратическая ошибка регулирования, c - величина ограничения сигнала, отнесенная к температуре t_B .

Определение $\left(\frac{\sigma}{c}\right)$ осуществлялось путем решения (I7) методом последовательных приближений, причем, использовалась зависимость $F_{нл} = \varphi_2\left(\frac{\sigma}{c}\right)$, приведенная в литературе в графической форме.

Усовершенствованная система исследована совместно с вариантами АС (см. рис. 5), конкурентоспособность которых оценена на основе анализа состояния и тенденций автоматизации образных колонн и аналогичных установок, проведенного в главе I.

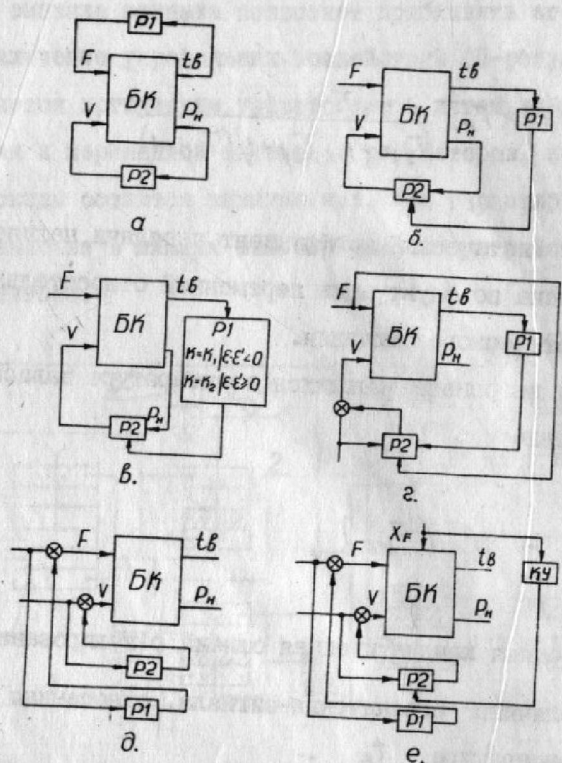


Рис. 5. Структурные схемы вариантов автоматических систем.

а - вариант 2; б - вариант 3; в - вариант 4;
г - вариант 5; д - вариант 6; е - вариант 7.

Разработана методика сравнительного анализа вариантов, предусматривающая сопоставление их по следующим критериям:

- экономическому эффекту, достигаемому благодаря повышению производительности;
- точности стабилизации параметров;
- общих затрат на процесс перегонки.

Показано, что вариантом I (усовершенствованная система) обеспечивается повышение производительности (по сравнению с остальными вариантами) на величину

$$\Pi = \zeta \frac{M}{\bar{X}_F}, \quad (18)$$

где $M = X_F - \bar{X}_F$; \bar{X}_F - среднее значение концентрации;

ζ - коэффициент, учитывающий точность, обеспечиваемую системой.

В качестве оценки Π принято его математическое ожидание:

$$M\{\Pi\} = \int_0^{\infty} \zeta \frac{M}{\bar{X}_F} \frac{1}{\sigma_M \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{M^2}{2\sigma_M^2}\right) dM = \zeta \frac{\sigma_M}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\bar{X}_F}. \quad (19)$$

Оценка точности стабилизации параметров осуществлена моделированием на АБМ с использованием реализации сигналов, полученных на объекте при пассивном эксперименте. Используются реализации выходных параметров (t_δ и P_n), что позволило упростить структурные схемы моделей, а также учесть воздействия на модель одновременно всех возмущений (реализации входных сигналов с одинаковой дискретностью не могут быть получены в связи с длительностью лабораторных анализов). Для определения точек ввода в модель этих сигналов, а также сигналов обратных связей регуляторов выполнены преобразования структурных схем.

В качестве критерия оценки вариантов систем принята величина средней квадратической ошибки, поиск минимальных зна-

чений которой (а также соответствующих им оптимальных настроек) осуществлен методом последовательных приближений.

Результаты моделирования сведены в табл.3.

Таблица 3

Параметр	Средняя квадратическая ошибка	№ варианта				
		I	2	3	4	5
Обозначение	Единицы измерения					
t_{θ}	$^{\circ}\text{C}$	0,22	0,51	0,40	0,33	0,25
P_H	кН/м^2	0,36	0,08	0,54	0,58	0,46
$t_{\theta s}$	$^{\circ}\text{C}$	1,0	1,06	1,15	1,32	1,13

На основе результатов моделирования и зависимостей (I)+(6) произведены априорные оценки технико-экономического эффекта, достигаемого благодаря повышению точности варианта I.

Оценка вариантов АС по критерию полных затрат на процесс перегонки основана на чувствительности целевой функции статической оптимизации $Z = f(V, x_F)$, в которой взвешиваются затраты на пар и стоимость потерянного с бардой спирта, к колебаниям параметров V и x_F .

Величина экономических потерь, обусловленных колебаниями расхода пара, оценена по интегралу разности между экстремальным и текущим значением функции Z .

Установлено, что математическое ожидание величины экономических потерь в варианте I достигает 25% величины экономического эффекта, получаемого за счет статической оптимизации. Луч-

шими показателями обладает вариант 6, в котором расход пара стабилизирован, и вариант 7, обеспечивающий определение оптимального значения V для любого текущего значения x_F .

Исследование алгоритма статической оптимизации для случая $F = const$ и $x_F = var$ позволяет определить чувствительность критерия к колебаниям x_F .

Исследование проведено с использованием теории статистических решений. Учтены результаты, полученные Д.В. Караченцем для установок обезбензоливания. Рассмотрены случаи, когда случайная последовательность $\bar{\mu}_S$ (возмущение μ представлено как временной вектор) измеряется в каждый S -ый момент времени (без ошибки) и когда измерение $\bar{\mu}_S$ отсутствует, но известен априорный закон распределения представляющей случайную последовательность μ_S системы случайных величин.

За меру качества работы системы принята величина риска - математического ожидания $M\{Z\}$. Определены оптимальные управляющие воздействия и соответствующие им значения среднего удельного риска в одном и другом случаях:

$$\bar{R}_S^{(1)} = \frac{a_1}{b_2} \ln \frac{a_2 b_2 B W}{a_1} + a_2 B W e^{-\ln \frac{a_2 b_2 B W}{a_1}} + d,$$

$$\bar{R}_S^{(2)} = \frac{a_1}{b_2} \left(\ln \frac{a_2 b_2 B W}{a_1} + b_1^2 \frac{\sigma_M^2}{2} \right) + a_2 B W e^{-\ln \frac{a_2 b_2 B W}{a_1}} + d, \quad (20)$$

где a_1 и a_2 - коэффициенты, отражающие стоимости пара и потерянного с бардой спирта, B, b_1 и b_2 - коэффициенты статической характеристики $x_0 = f(F, V, x_F) d$ - постоянная величина.

После подстановки численных значений установлено, что величина разности между $\tilde{R}_S^{(2)}$ и $\tilde{R}_S^{(1)}$ составляет всего $1,24 \cdot 10^{-2}$ руб/ч и является явно недостаточной для оправдания затрат на создание компенсирующего устройства, включающего датчик концентрации спирта в бражке.

Таким образом, сравнительный анализ вариантов систем показал, что по критериям повышения производительности и точности стабилизации основного параметра предпочтительным является вариант I - усовершенствованная система. По критерию полных затрат следует отдать предпочтение варианту 6, однако к практическому использованию его можно будет приступить после утверждения нового технологического регламента, допускающего работу БК с варьируемым значением величины X_0 , в том числе и $X_0 > 0,015\%$ об.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БРАЖНОЙ КОЛОННОЙ В ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Лабораторное исследование осуществлено с помощью пневматической модели БК, позволившей создать замкнутую систему, работающую в реальном масштабе времени и не содержащую промежуточных преобразователей между регулирующими и функциональными устройствами и моделью.

Разработана методика моделирования и создана модель на элементах УСЭПА.

Основными узлами модели являются последовательно включенные аperiodические звенья "дрессель - ёмкость", разделенные активными элементами - пневмоповторителями; узлы умножения на

постоянный коэффициент; последовательно включенные запоминающие ячейки, управляемые генератором импульсов; многоходовые сумматоры.

Для определения количества последовательно включаемых аperiodических звеньев в каждом канале модели построены переходные характеристики и на их основе составлена таблица зависимостей (табл. 4).

$$T/T_{3\beta} = f_1(n), \quad \tau/T_{3\beta} = f_2(n), \quad (21)$$

где $T_{3\beta}$ - постоянная времени аperiodического звена, n - число последовательно включенных звеньев.

Таблица 4

Параметры динамической характеристики последовательно включенных аperiodических звеньев

Количество звеньев, n	2	3	4	5	6	7	8	9
$T/T_{3\beta}$	2,6	3,5	4,5	5,2	6,2	6,5	7,3	7,4
$\tau/T_{3\beta}$	0,4	1	1,5	2,1	2,8	3,5	4,2	5,1
T/τ	6,5	3,5	3	2,5	2,2	1,9	1,7	1,4

Для случаев, когда погрешность воспроизведения T и τ аperiodическими звеньями с одинаковым значением постоянной времени $T_{3\beta}$ превосходит допустимую величину ($\epsilon = 0,1 - 0,15$),

получены соотношения, позволяющие подобрать различные значения T_{3b_1} и T_{3b_2} (при $\xi_T < 0,2$):

$$T = m^{\frac{m}{m-1}} T_{3b_2} = m^{\frac{1}{m-1}} T_{3b_1},$$

$$\tau = T_{3b_2} \left(\ln m^{\frac{m}{m-1}} - m^{\frac{m}{m-1}} + m + 1 \right) =$$

$$= T_{3b_1} \left(\ln m^{\frac{1}{m-1}} - m^{\frac{1}{m-1}} + \frac{1}{m} + 1 \right),$$

где $m = \frac{T_{3b_1}}{T_{3b_2}}$.

Расчет количества запоминающих ячеек в узле задержки сигнала выполнен на основе теоремы Котельникова. Для повышения точности узла использован метод кусочно-линейной аппроксимации сигнала в промежутках между дискретными значениями.

В результате лабораторных исследований установлено: логическое устройство обеспечивает четкое переключение П-регуляторов; величина толчка, возникающего при переключении регуляторов, находится в пределах $0,4 \text{ кв/м}^2$ по давлению и 2% хим по расходу бражки; в системе не возникает колебания в окрестности заданного значения температуры $t_0^{(s)}$, в связи с чем выдержка времени на переключение и искусственная зона нечувствительности могут быть исключены.

Проведены некоторые эксперименты, связанные с вопросами "оператор - система" и установлено, что система должна быть дополнена элементами сигнализации переключения логического устройства, органами дистанционного изменения сигнала контрольной точки корректирующего регулятора расхода бражки и вторичными приборами, контролирующими выходные сигналы корректирующих регуляторов.

Функциональная схема системы (рис.6) разработана с учетом полученных результатов. В производственных условиях исследованы вопросы фактической экономической эффективности, надёжности, а также точности стабилизации основных параметров.

Проведен эксперимент, предусматривающий сравнение двух режимов работы системы: в полном объеме и в объеме, соответствующем типовой схеме. На основе статистических характеристик параметров процесса определена длительность эксперимента, обеспечивающая подтверждение прогнозируемых экономических показателей.

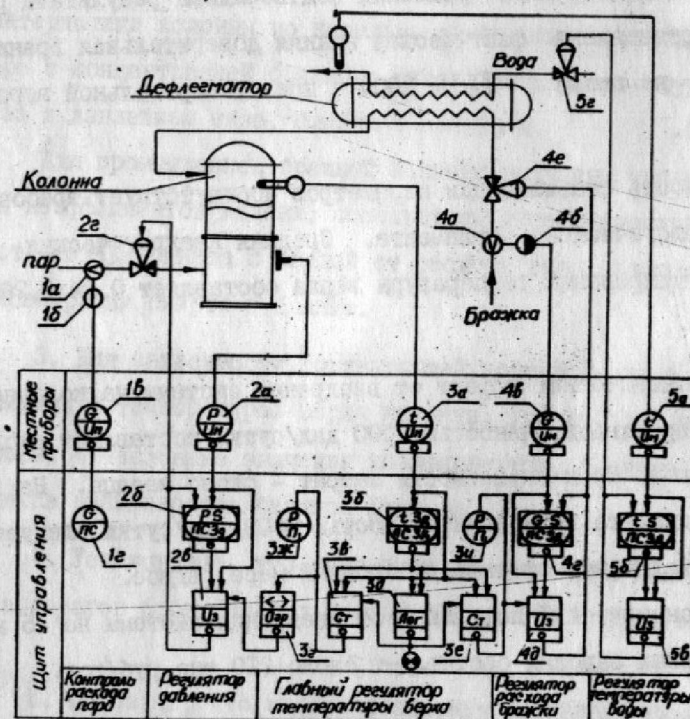


Рис. 6. Функциональная схема усовершенствованной автоматической системы БК
 1а, 4а - дифференциал ДКН-10; 1б - сосуда конденсационные; 4б - сосуда разделительные;
 1в, 4в - дифференциал ДПК-100А; 2а - манометр МС-11; 3а, 5а - датчик температуры ДТТ-1;
 1г - вторичный прибор ПЧ 21; 2б, 3б, 4г, 5б - вторичный прибор ПВ 10,11; 3ж, 3и - вторичный прибор ПВ 13;
 2в, 4в, 5в - регулятор ПР 3.21; 3в, 3е - регулятор ПР 2.5;
 3е - блок ограниченный; 3в - блок логики; 2е, 5е - кнопка реверсирования.

Время испытаний в каждом режиме разбито по сменам, причем порядок чередования смен рандомизирован для учёта нестационарности характеристик процесса.

Установлено, что усовершенствованная система обеспечивает увеличение производительности колонны на $I + I,5\%$ и уменьшение расхода пара на $5,4\%$ по сравнению с типовой системой.

Выполнены расчёты показателей надёжности для различных вариантов системы и показано, что дополнительные элементы усовершенствованной системы не снижают уровень этих показателей. В производственных условиях подтверждены результаты расчётов и установлена фактическая нижняя доверительная граница наработки на отказ ($T_n = 2000$ ч при доверительной вероятности $0,8$).

Точность стабилизации параметров соответствует требованиям технологического регламента. Средняя квадратическая ошибка регулирования температуры верха составляет $0,24 \pm 0,26^\circ\text{C}$.

Экономический эффект от внедрения системы на колонне аппарата производительностью 3000 дал/сутки составляет около 6000 руб/год. Срок окупаемости затрат — около месяца. На колонне аппарата производительностью 6000 дал/сутки следует ожидать увеличение эффекта, по крайней мере, вдвое.

Экономический потенциал от внедрения системы на 25 наиболее крупных заводах составляет около 210 тыс.руб/год.

ВЫВОДЫ

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Показана возможность исследования статических характеристик промышленной бражной колонны спиртового производства методом факторного планированного эксперимента.

На основе эксперимента типа 3^3 получены в производственных условиях статические характеристики бражной колонны производительностью 3000 дал/сутки в области рабочих режимов.

2. Установлено, что в области рабочих режимов статические характеристики колонны по каналам, связывающим расходы бражки и пара с концентрацией бражного дистиллята, температурой верха и низа и давлением низа, близки к линейным.

Для промышленной бражной колонны получены численные значения коэффициентов модели, описывающей экспоненциальную зависимость потерь спирта с бардой от расхода пара, расхода бражки и концентрации спирта в бражке.

3. Для зависимости, связывающей концентрацию бражного дистиллята с температурой верха колонны, уточнен вид уравнения регрессии и численные значения коэффициентов, а также получена оценка взаимокорреляционной функции.

4. Установлено, что параметры динамических моделей колонн аппаратов производительностью 3000 и 6000 дал/сутки близки.

5. Показано, что задача повышения производительности колонны может быть решена путем переключения управляющих воз-

действий (расходов пара и бражки) в зависимости от знака отклонения температуры верха. На этой основе предложен новый способ автоматического управления БК. На новый способ получено авторское свидетельство.

6. Разработано логическое устройство на элементах УСЭПА, реализующее функцию переключения управляющих воздействий для БК спиртового производства.

7. Предложена методика расчёта точности каскадной системы, содержащей устройство ограничения выходного сигнала корректирующего регулятора. На основе этой методики определена средняя квадратическая ошибка регулирования температуры верха БК при изменении давления низа в допустимых пределах.

8. Разработана методика сравнительного анализа конкурентоспособных вариантов автоматических систем, предусматривающая сочетание расчётных методов на основе теории статистических решений и экспериментальных на основе моделирования на АЭМ с использованием массивов статистических данных о выходных параметрах процесса. На основе этой методики проанализированы 7 вариантов автоматических систем БК. Определены преимущества разработанной системы по экономической эффективности.

9. Показано, что автоматическая компенсация возмущений по концентрации питания для исследованного объекта нецелесообразна.

10. Разработана пневматическая моделирующая установка, позволяющая исследовать автоматическую систему в реальном масштабе времени с реальными регуляторами. С помощью установки

осуществлена проверка работоспособности разработанного управляющего устройства для БК спиртового производства.

11. Разработана усовершенствованная система автоматизации бражных колонн брагоректификационных аппаратов, реализующая новый способ управления. Отличительной особенностью системы является то, что существенное улучшение технических и экономических показателей достигается благодаря несложным и недорогим изменениям типовой системы.

12. Проведены исследования усовершенствованной системы в производственных условиях на Трилесском спирткомбинате, в результате которых подтверждены:

- расчётные технические и предполагаемые эксплуатационные показатели;

- дополнительный экономический эффект от реализации системы на брагоректификационном аппарате производительностью 3000 дал/сутки в размере ~ 6,0 тыс.руб. в год (по сравнению с типовой системой). Дополнительный экономический эффект достигнут за счёт увеличения производительности аппарата на 1,5% и сокращения затрат пара на 5,4%.

13. Решениями Главспирта МПШ СССР и Укрглавспирта МПШ УССР усовершенствованная система включена в число рекомендованных для широкого распространения систем. Экономический потенциал от внедрения системы в 1971-1975 годах составляет ~ 210 тыс.руб. в год.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Платонов П.Н., Мандельштейн М.Л., Сатановский В.Р., Аксельрод Л.А., Анализ статических характеристик промышленной бражной колонны методами многофакторного эксперимента, "Изв. вузов СССР. Пищевая технология", №5, 1971.
2. Сатановский В.Р., Автоматическая система в переключением управляющих воздействий для одного класса массообменных установок. Труды института "Пищепромавтоматика", вып. 7, Одесса, 1971.
3. Сатановский В.Р., Мандельштейн М.Л., Способ автоматического управления бражной колонной брагоректификационного аппарата, Авт.свид. №293847.
4. Сатановский В.Р., Мандельштейн М.Л., Система автоматического регулирования бражной колонны с переключением управляющих воздействий, "Ферментная и спиртовая промышленность", №4, 1971.
5. Платонов П.Н., Мандельштейн М.Л., Сатановский В.Р., Аксельрод Л.А., Об использовании ограничителей сигналов в системах каскадно-связанного регулирования. Труды института "Пищепромавтоматика", вып. 8, Одесса, 1971.
6. Сатановский В.Р., Мандельштейн М.Л., Некоторые вопросы усовершенствования систем автоматизации брагоректификационных установок, Научно-техническая информация "Спиртовая и ликеро-водочная промышленность", ЦНИИТЭИпищепром, вып. 5, 1971.
7. Сатановский В.Р., Мандельштейн М.Л., Применение пневматических моделей на элементах УСЭПА при разработке систем ав-

томатического регулирования, Труды института "Пищепромавтоматика", вып. 6, Одесса, 1970.

8. Сатановский В.Р., Аксельрод Л.А., Шлафер И.М., Устройство задержки непрерывного пневматического сигнала. Труды института "Пищепромавтоматика", вып. 5, Одесса, 1969.

9. Сатановский В.Р., Системы каскадно-связанного регулирования на пневматических приборах "Старт", Ферментная и спиртовая промышленность, № 2, 1970.

10. Сатановский В.Р., Глейberman Г.А., Шлафер И.М., Пневматическая сигнализация на предприятиях пищевой промышленности, М., 1968.

Материалы диссертации докладывались на Всесоюзной конференции молодых специалистов под девизом "Вклад молодых ученых и ИТР в научно-технический прогресс в спиртовой и ликеро-водочной промышленности к 100-летию В.И. Ленина". (Москва, январь 1970 г.), на XXXII научной конференции Киевского технологического института пищевой промышленности (Киев, февраль 1971г.) на XXXII научной конференции Одесского технологического института пищевой промышленности им. М.В. Ломоносова (Одесса, март-апрель 1971 г.), на секции спиртовой и ликеро-водочной промышленности Научно-технического Совета Министерства пищевой промышленности УССР (Киев, март 1971 г.), на кафедре автоматизации производственных процессов Одесского технологического института пищевой промышленности им. М.В. Ломоносова (Одесса, июнь 1970 г.).