

6
А-62

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР**

**КИЕВСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

В. Я. ЛЕЙЧИК

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОНВЕКТИВНЫХ
КОНВЕЙЕРНЫХ СУШИЛЬНЫХ УСТАНОВ-
ОК МАКАРОННОГО ПРОИЗВОДСТВА И
РАЗРАБОТКА СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО
РЕГУЛИРОВАНИЯ**

**(05.198 - Автоматизация производственных
процессов пищевой промышленности)**

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Киев - 1971 г.



**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР**

**КИЕВСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

В. Я. ЛЕЙЧИК

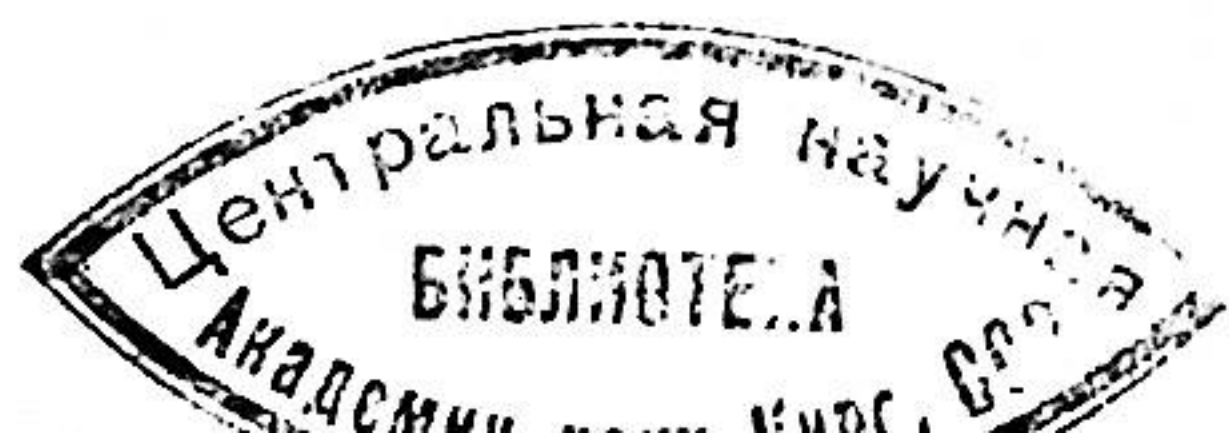
**ИССЛЕДОВАНИЕ КОНВЕКТИВНЫХ
КОНВЕЙЕРНЫХ СУШИЛЬНЫХ УСТАНОВОК
МАКАРОННОГО ПРОИЗВОДСТВА И
РАЗРАБОТКА СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО
РЕГУЛИРОВАНИЯ**

**(05.198 - Автоматизация производственных
процессов пищевой промышленности)**

А в т о р е ф е р а т

**диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук**

Киев - 1971 г.



Киевский технологический институт пищевой промышленности направляет Вам на отзыв автореферат кандидатской диссертации инж. В.Я. ЛЕЙЧИКА "Исследование конвейерных сушильных установок макаронного производства и разработка систем автоматического регулирования".

Отзыв на автореферат в двух экземплярах с подписью, заверенной печатью учреждения, просим направить в Ученый Совет института.

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

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор С. М. Смирнов

Официальные оппоненты:

1. Доктор технических наук, профессор А. А. Михелев

2. Кандидат технических наук, доцент Е. Н. Пивень

Ведущее предприятие - Ленинградская государственная макаронная фабрика.

Защита диссертации состоится "____" сентября 1971 г. на заседании Ученого Совета Киевского технологического института пищевой промышленности, г. Киев - 17, ул. Владимирская, 68, ауд.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь
совета, доцент

М. М. Христенко,

Задача повышения эффективности производства, улучшения качества макаронных изделий и расширения их ассортимента решается в отрасли путем внедрения современного высокопроизводительного оборудования. Однако обобщение опыта его эксплуатации показало, что реализация всех возможностей оборудования в значительной степени сдерживается из-за отсутствия систем автоматизации, стабилизирующих режимы сушки изделий. В связи с переходом от ручной фасовки к внедрению расфасовочных автоматов, нормальная эксплуатация которых возможна только при условии стабилизации качественных параметров и формы изделий при сушке, целесообразность автоматизации сушильных установок возрастает.

Хотя современное состояние теории и техники сушки макаронных изделий, благодаря работам А.С. Гинзбурга, И.С. Мельниковой, И.М. Савиной, Н.И. Назарова, Е.С. Полякова, В.И. Рождественского, А.А. Быстрова и др., позволяет определить оптимальные способы и режимы ведения технологического процесса, отсутствие данных, описывающих статику и динамику сушильных установок (СУ) макаронного производства, а также данных, описывающих характеристики возмущений, носящих в производственных условиях случайный характер, не дает возможности обоснованно, без проведения комплекса соответствующих исследований, синтезировать для этих установок системы автоматического регулирования (САР). Разработка нового оборудования, намеченная планами развития отрасли на 1971-1975 гг., определяет целесообразность совместного проектирования конструкций СУ и соответствующих САР, что повышает актуальность проведения работ в направлении изучения этих установок как объектов автоматизации.

Настоящая диссертация посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию СУ макаронного производства как объектов автоматического регулирования, разработке для них принципов и схем автоматизации, проверке этих схем на моделях и в производственных условиях, а также анализу результатов внедрения САР.

Методологической базой настоящей работы послужили исследования С.М. Смирнова, Э.Л. Ицковича и др. как в области автоматизации СУ, так и в области теории и практики автоматизации производственных процессов.

Проведенные исследования СУ для сушки длиннорезанных макаронных изделий (ДМИ) и короткорезанных макаронных изделий (КМИ) позволили разработать математическое описание и синтезировать для этих установок САР. Эффективность указанных САР, подтвержденная результатами производственных испытаний и внедрения, создает предпосылки для автоматизации применяющихся в отрасли СУ. Принципы, положенные в основу САР, могут быть распространены на проектирующиеся СУ, а результаты исследований использованы для решения аналогичных задач автоматизации СУ других отраслей промышленности.

Работа выполнялась в институте "Пищепромавтоматика". Эксперименты, производственные испытания и внедрение осуществлены на Горьковской, Ленинградской и Одесской макаронных фабриках.

Диссертация содержит 141 страницу машинописного текста, 19 таблиц, 34 рисунка, список литературы из 114 наименований и приложения.

1. Анализ характеристик объектов и целесообразность их автоматизации

Сушка ДМИ производится в специализированных двухсекционных СУ в подвешенном состоянии, в прядях, перемещающихся по ярусам через чередующиеся зоны сушки и отволаживания. Сушка КМИ производится в слое на лентах многоленточных СУ. Конструкция СУ ДМИ предусматривает управление расходом теплоносителя (автономно для

обеих секций установки - предварительной и окончательной) и позонное управление воздухообменом между установкой и помещением. Конструктивное исполнение СУ КМИ, заимствованных из овоще- и крупосушения, предусматривает возможность управления расходом теплоносителя, воздухообменом между всей установкой в целом и помещением и скоростью перемещения лент с материалом.

Рассматриваются научные, технические и экономические аспекты автоматизации СУ макаронного производства. Опыт автоматизации СУ в других отраслях промышленности свидетельствует об эффективности САР исследуемых объектов при достижении сопоставимых показателей качества регулирования прямых или косвенных показателей процесса. Анализ характеристик установок и характеристик материала как объекта сушки, в свете известных результатов работы по автоматизации подобных объектов, свидетельствует о приемлемости для изучения и описания СУ ДМИ и КМИ методологии исследований и математических моделей, принятых для конвективных СУ, отвечающих объектам с сосредоточенными параметрами (С.М. Смирнов, П.Н. Плещинских и др.). Однако, помимо теоретических и практических вопросов, возникающих при идентификации исследуемых объектов в рамках указанных моделей и вопросов, связанных с разработкой САР для СУ рассматриваемой отрасли, специфика технологического процесса выдвигает самостоятельные задачи.

В частности, ввиду известной взаимосвязи коэффициента сушки и толщины слоя материала, изменения которых, например, при изменении скорости движения ленты оказывают на изменения-влажности материала противоположное влияние, должна быть оценена целесообразность приемлемости подобного способа управления в САР многоленточных СУ КМИ. Взаимосвязь влажности выпрессовываемых изделий и скорости прессования (В.В. Лукьянов) позволяет поставить для этих же установок вопрос о косвенном измерении в процессе сушки отклонений влажности материала по параметрам воздушной среды и т.д.

В результате анализа задачи исследований сформулированы следующим образом:

1. Теоретические исследования, определяющие специфику математических моделей СУ макаронного производства.

2. Экспериментальные исследования с целью определения параметров моделей.

3. Синтез, анализ и экспериментальная проверка разработанных САР, их внедрение и получение рекомендаций.

В качестве объектов исследований и внедрения были выбраны СУ линий ЛМБ для производства ДМИ, СУ КСА-80 для сушки КМИ, а также образцы импортных установок как для сушки ДМИ, так и для сушки КМИ.

П. Теоретические исследования установок как объектов автоматического регулирования

В аналитической модели конвективной СУ для обобщенных характеристик объекта (С.М. Смирнов) используются уравнения апериодических звеньев (не выше второго порядка) в сочетании со звеньями чистого запаздывания. При подходе к объекту как модели с распределенными параметрами, для описания динамики в локальных сечениях также могут быть использованы указанные аппроксимирующие модели, если известен вид трансцендентных передаточных функций (А.А. Шевяков, Р.В. Яковлева и др.). Ввиду трудности достоверного определения параметров аналитических моделей в работе выбран путь экспериментальной идентификации объектов. Однако, если достижение адекватности аппроксимации в рамках приведенных аппроксимирующих звеньев для трансцендентных передаточных функций, заданных аналитически, связано с усложнением вычислительного алгоритма, то повышение точности аппроксимации экспериментальных данных сопряжено с усложнением модели и повышением трудности дальнейших расчетов САР.

Исследование уравнения кинетики сушки А.В. Лыкова для участка падающей скорости подтверждает возможность применения интегрально-разностных звеньев в сочетании со звеном чистого запаздывания (С.С. Швырёв, Е.К. Шигин и др.) вида:

$$W_0(\rho) = \frac{1}{T_d} [1 - \exp(-\rho T_d)] \exp(-\rho \tau_0) \quad (1)$$

в качестве аппроксимирующих моделей по каналам изменения влагосодержания материала.

Совместное использование моделей (1) и моделей апериодических звеньев позволяет ограничиться для последних при экспериментальном определении динамических свойств рассматриваемых объектов порядком, также не превышающим второй.

Применение в качестве аппроксимирующей модели звеньев (1) для канала "скорость ленты - влагосодержание материала" приводит при анализе СУ КМИ к зависимости, определяющей целесообразность автоматического управления скоростью движения ленты в функции меняющихся характеристик кинетики процесса (рис. 1). Указывается, что при изменении скорости движения ленты и постоянстве производительности сушилки изменение влагосодержания материала в результате такого управления зависит как от изменения экспозиции сушки, так и от изменения толщины слоя материала на ленте. Первый из упомянутых факторов определяет изменение процесса сушки материала, находящегося на ленте в момент изменения скорости ленты, а их совместное действие - изменение процесса сушки для материала, начинающего поступать на ленту в этот момент. Полученное соотношение для соответствующих приращений влагосодержания, имеющих разные знаки $(\Delta U_{\Delta t})$ и $(\Delta U_{\Delta t, \Delta \tau})$, записывается в следующем виде:

$$\frac{\Delta U_{\Delta t, \Delta \tau}}{\Delta U_{\Delta t}} = \frac{(\frac{1}{\alpha n} - 1)(\frac{t^*}{t_0} + \alpha)}{\alpha - 1} \quad (2)$$

где $\alpha = \frac{V_0}{V_1} = \frac{t_1}{t_0} = \frac{h_1}{h_0}$ - очевидное соотношение между

скоростью движения ленты, экспозицией сушки на ленте (временем перемещения материала лентой) и толщиной слоя материала, причем, влияние изменений толщины слоя на изменение закономерностей сушки определяется зависимостью:

$$\left(\frac{h_1}{h_0}\right)^n \approx \frac{T_{c1}}{T_{c0}}. \quad (3)$$

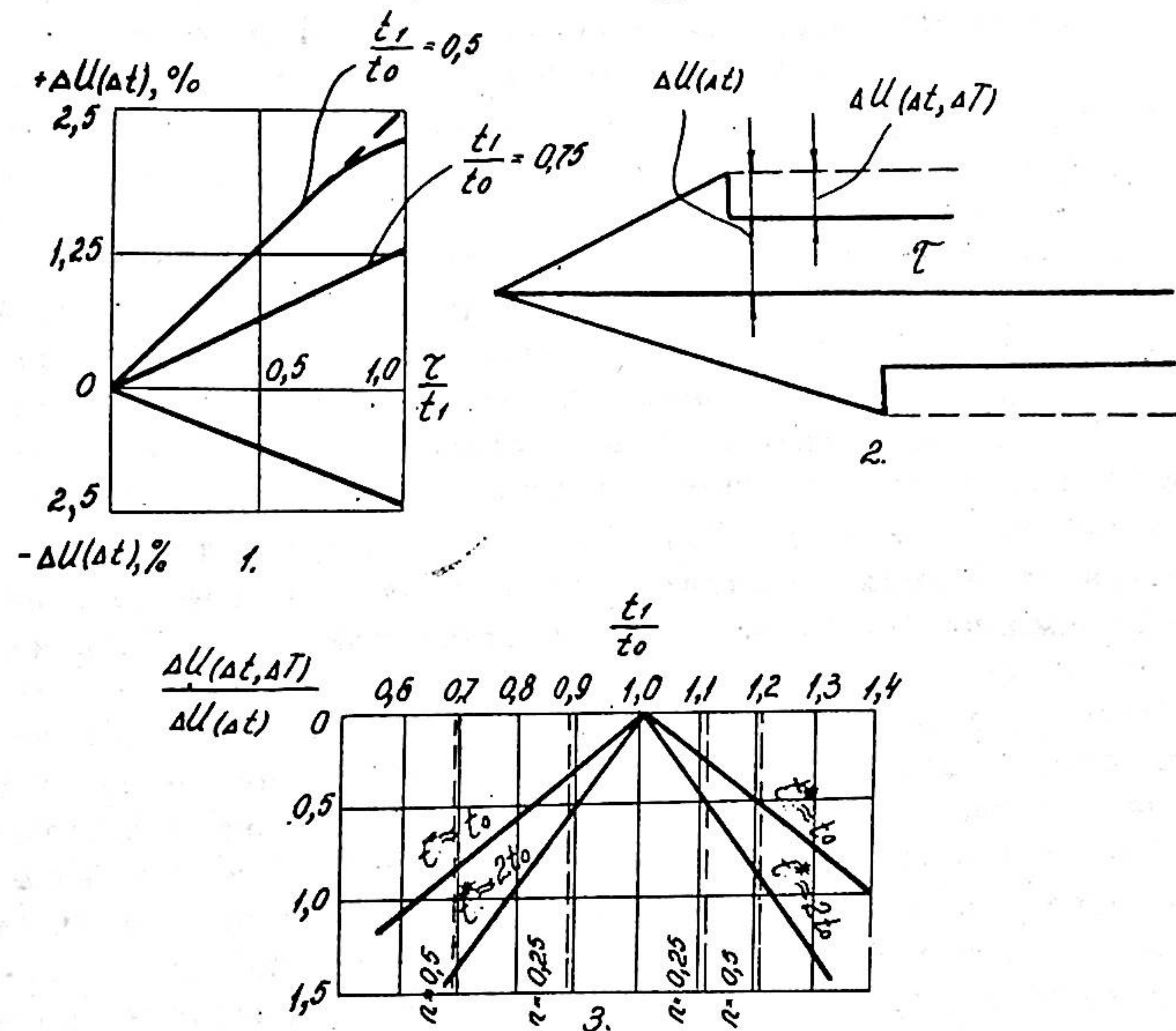


Рис. 1. Закономерности переходных процессов изменения влагосодержания материала при управлении скоростью движения ленты.

1,2. Графики переходных процессов. 3. График зависи-

мости: $\frac{\Delta U(\Delta t, \Delta T)}{\Delta U(\Delta t)} = f\left[\left(\frac{t_1}{t_0}\right)^n, \left(\frac{h_1}{h_0}\right)^n\right]$.

В свете полученного результата изменение скорости движения ленты сопровождается скачкообразным изменением влажности материала, противоположным по знаку отклонению, отвечающему управляющему воздействию и вызванному прохождением рассматриваемого сечения ленты слоем измененной толщины. Как показывает анализ зависимости (2) и исследование модели на ЭВМ, целесообразность автоматического управления скоростью движения ленты определяется следующим соотношением рассматриваемых величин:

$$\left(\frac{h_1}{h_0}\right)^{0.5} \geq \frac{T_{c1}}{T_{c0}}. \quad (4)$$

В случае $n > 0.5$ такое управление приводит в неустойчивости САР. Зависимость величины $\frac{\Delta U(\Delta t, \Delta T)}{\Delta U(\Delta t)}$ от общего времени сушки приводит в САР, стабилизирующей влагосодержание материала на выходе установки при управлении оконечными лентами, к альтернативе между увеличением скачка, вызванного изменением толщины слоя, и уменьшением времени запаздывания.

Аналогичной задаче - выбору управлений для САР СУ КМИ отвечает рассмотрение балансовых уравнений, связывающих интенсивность влагосъема с изменениями параметров воздушной среды над лентами. Получены следующие зависимости для описания статики объекта по каналу "влажность материала на ленте - состояние агента сушки над лентой":

$$\delta d_i = K_{qw} \Delta d_i \Delta W; \quad (5)$$

$$\delta t_i^o = -K_{QW} \Delta t_i^o \Delta W, \quad (6)$$

где Δd_i и Δt_i^o – приращения параметров агента сушки над и под лентами по направлению воздушного потока;

δd_i и δt_i^o – то же, но вызванное приращением ΔW ;

K_{QW} – относительный коэффициент пропорциональности по каналу "влажность выпрессовываемых изделий – производительность прессования".

Показано, что возможность косвенных измерений отклонений влажности материала на лентах по параметрам воздушной среды обусловлена только совместным изменением влажности выпрессовываемых изделий и производительности прессования и определяется условием: $K_{QW} \geq 0,02$ 1/%. Независимость изменений параметров воздушной среды от некоррелированных между собой изменений влажности продукта на лентах и нагрузки на них определяет отсутствие обратной связи в контуре САР, использующей информацию об изменении косвенных параметров при изменяющейся в процессе сушки влажности продукта. Техническая возможность и целесообразность реализации подобного контура на базе измерения температуры воздуха не позволяет использовать автоматическое управление рециркуляцией воздушного потока, как не приводящее к стабилизации основного регулируемого параметра.

Ш. Экспериментальные исследования сушильных установок

Несмотря на общность основных свойств ДМИ и КМИ как объектов сушки, конструктивные отличия СУ и режимы ведения технологического процесса диктуют различный подход при экспериментальных исследованиях.

Показано, что для СУ ДМИ экспериментальная идентификация целесообразна лишь по каналам изменения параметров воздушной среды, а динамические свойства объекта по каналу "условия сушки – влажность изделия" могут быть оценены по кривой сушки. Подобная постановка задачи позволила воспользоваться методами активного эксперимента – определением разгонных характеристик (рис. 2). Параметры динамических характеристик объекта,

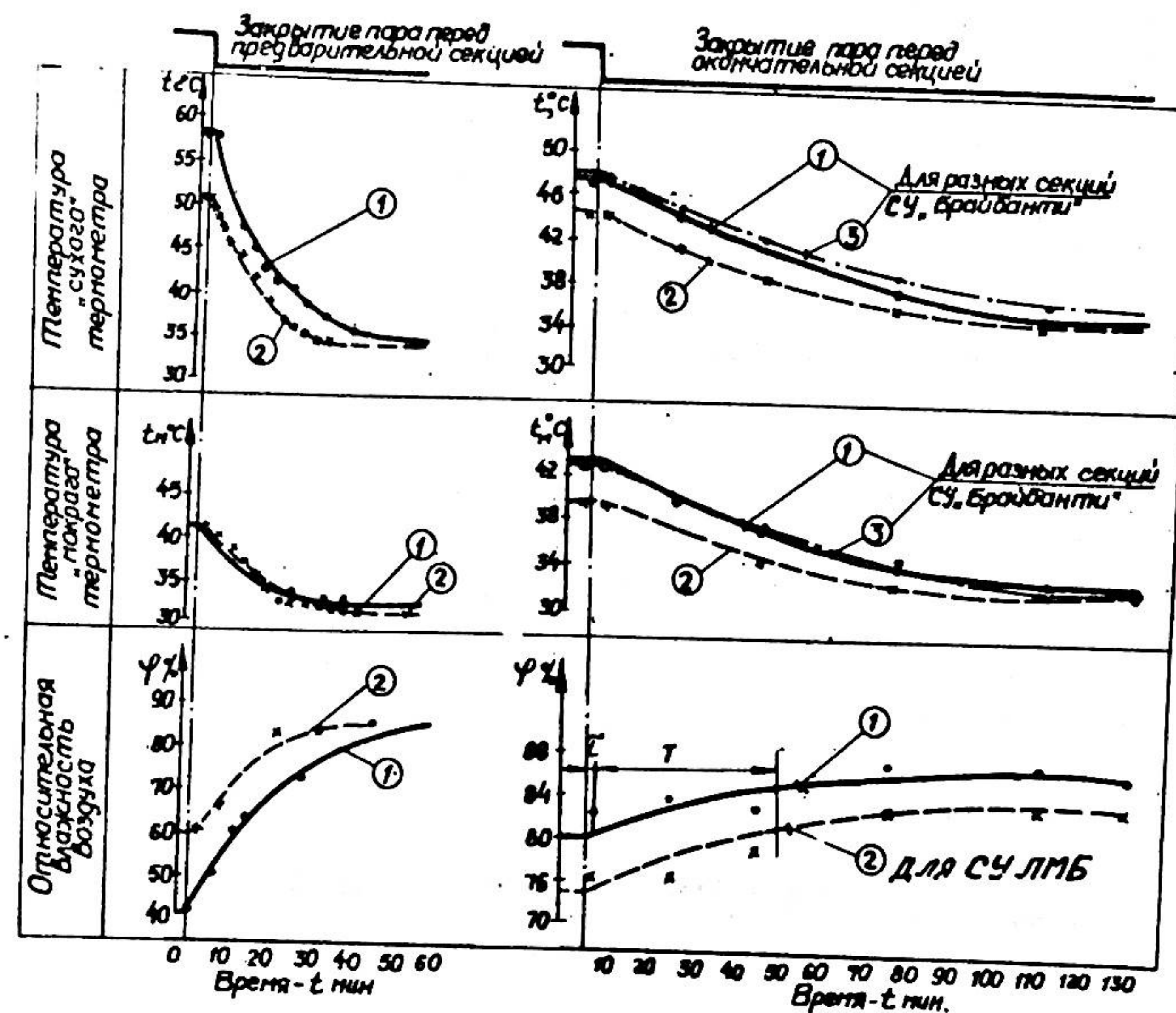


Рис. 2. Динамические характеристики СУ ДМИ.

отвечающие усредненным коэффициентам модели одноём-
костного звена с запаздыванием по каналам изменения тем-
ператур "сухого" и "мокрого" термометров, приведены в
табл. 1. Погрешность подобной аппроксимации не превыша-
ет 10-15%. Отмечен малый диапазон изменений относитель-
ной влажности воздуха, соизмеримый с погрешностями се-
рийных приборов для измерения этой величины, и идентич-
ность закономерностей изменения параметров воздушной
среды для зон сушки, связанных общими воздушными
каналами.

Таблица 1

Секция установ- ки	Канал ре- гулируе- мого пар- аметра Вид возму- щающе- го воз- действия	СУ линии "Брайбант"						СУ линии ЛМБ					
		среднее время запаз- дывания (τ_0), мин		средняя постоян- ная время (τ), мин		τ_0/τ		среднее время запазд. (τ_0), мин		средняя постоян- ная время (τ), мин		τ_0/τ	
		τ_c	τ_m	τ_c	τ_m	τ_c	τ_m	τ_c	τ_m	τ_c	τ_m	τ_c	τ_m
Предва- ритель- ная	Изменение рас- хода пара (от- крытие и закры- тие парового вентилей)	2	1,7	12,8	15,8	0,15	0,1	2,7	1,9	17,7	15,5	0,13	0,11
То же	Открытие и за- крытие рецирку- ляционных за- слонок	0,7	1,3	9,2	10,3	0,1	0,1	~0	~0	10,4	10,2	~0	~0
Оконча- тельная	Изменение рас- хода пара (от- крытие и закры- тие парового вентилей)	2,7	2,2	38,6	41	0,1	0,05	5,2	6,2	29,2	28,8	0,18	0,22
То же	Открытие и за- крытие рецирку- ляционных за- слонок	1,3	0,9	13,2	9,6	0,1	0,1	~0	0,5	3,5	5	~0	0,1

Исследованы закономерности кинетики процесса сушки
для СУ КМИ. Анализ полученных данных свидетельствует
о неприемлемости для этих объектов автоматического уп-
равления скоростью движения лент, поскольку это приводит,
в соответствии с (4), для полученного экспериментально
соотношения $\left(\frac{h_1}{h_0}\right) \leq \frac{\tau_{c1}}{\tau_{c0}} \leq \left(\frac{h_1}{h_0}\right)^2$ к неустойчивости

САР. Определены характеристики по каналу "влажность вы-
прессованных изделий - производительность прессования".
Значение коэффициента k_{qw} , полученное экспериментально,
равное для шнековых прессов 0,03 1/%, подтверждает воз-
можность управления в САР СУ КМИ по косвенным пара-
метрам воздушной среды.

Опыт эксплуатации и результаты исследований сушилок
КМИ как технологических объектов и опыт автоматизации
подобного оборудования свидетельствует о возможности их
экспериментальной идентификации по каналам "условия суш-
ки - влажность продукта". Возможность линеаризации объек-
та по этим каналам в сравнительно узком диапазоне изме-
нений регулируемых параметров и целесообразность опреде-
ления "помехоустойчивости" по каналам управления в усло-
виях "шумов", вызванных неравномерностями сушки (значе-
ние критерия F_{0m} для этих условий близко к 0,06 + 0,09),
определили использование в работе методов пассивного
статистического эксперимента. Параметры динамических
характеристик объекта, отвечающие моделям апериодиче-
ских звеньев 1-го и 2-го порядков с запаздыванием
(рис. 3, табл. 2), были найдены по исходным значениям
авто- и взаимокорреляционных функций методом подбора
на управляемом фильтре так, чтобы, удовлетворяя условиям:

$$T_{1i}[R_{yx}^*(\tau)]' + R_{yx}^*(\tau) = K_i R_x(\tau - \tau_{i0}) \quad (7)$$

или $T_{1i}[R_{yx}^*(\tau)]'' + T_{2i}[R_{yx}^*(\tau)]' + R_{yx}^*(\tau) = K_i R_x(\tau - \tau_{i0}),$

была достигнута минимизация функционала

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |R_{yx}(\tau) - R_{yx}^*(\tau)| d\tau. \quad (8)$$

Периодичность измерений и длительность реализаций выбраны из условия соответствия полосе существенных частот для объекта и САР. Статистические характеристики рассчитаны по усредненным значениям реализаций, взятых с "весами", пропорциональными их длительности. Ошибки из-за ограниченной длительности реализации и аппроксимации экспериментальных статистических характеристик не превышают $15 + 20\%$.

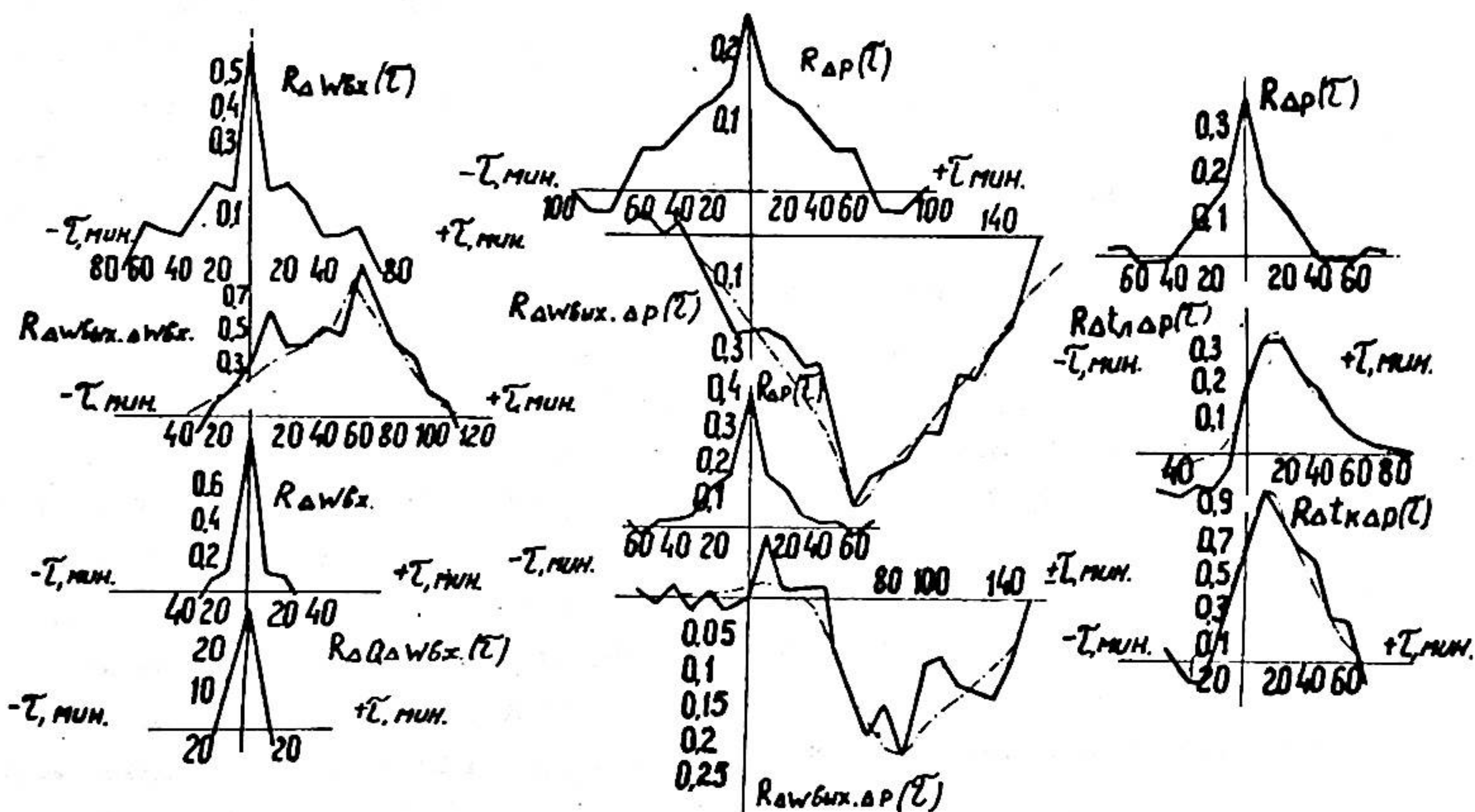


Рис. 3. Авто- и взаимокорреляционные функции.

Таблица 2

№ п/п	Наименование каналов связи	Передающая функция
1	"Влажность продукта (производительность) на входе - влажность продукции на выходе" $\Delta W_{\delta x} \rightarrow \Delta W_{\delta y}$	$\frac{0,8+1,0}{10,5p+1} \exp(-51p)$
2	"Давление пара - влажность продукции на выходе сушилки" (для сушилки рожков) $\Delta P \rightarrow \Delta W_{\delta y}$	$\frac{-2,75}{744p^2+46,8p+1} \exp(-25p)$
3	"Давление пара - влажность продукции на выходе сушилки" (для сушилки вермишели) $\Delta P \rightarrow \Delta W_{\delta y}$	$\frac{-1,2}{1075p^2+39p+1} \exp(-38p)$
4	"Давление пара - температура воздуха над лентой" $\Delta P \rightarrow \Delta t_{\delta x}$	$\frac{1,7}{8,6p+1} \exp(-3p)$
5	"Давление пара - температура воздуха под лентой" $\Delta P \rightarrow \Delta t_{\delta x}$	$\frac{3,5}{13,4p+1} \exp(-1,5p)$
6 ^{x)}	"Влажность материала (нагрузка) на ленте - температура воздуха над лентой". $\Delta W_{\delta x} \rightarrow \Delta t_{\delta x}$	$\frac{-1,2}{13,4p+1} \exp(-2p)$
7 ^{xx)}	"Влажность выпрессовываемых изделий - производительность прессования" $\Delta W_{\delta x} \rightarrow \Delta Q$	$\sim 0,03$

x) Запозывание определяется координатой размещения датчика по ходу процесса.

xx) Для относительного коэффициента.

Показано, что использование вычислительного алгоритма, не определяющего заранее вид динамических характеристик моделями, представленными в табл. 2, приводит к графику переходного процесса, свидетельствующего о приемлемости звеньев (1) для описания динамики (рис. 4). Отмечено значительное запаздывание по каналу "условия сушки - влажность продукта на выходе сушилки", вызванное малым влагосъемом на последних лентах, соизмеримым с чувствительностью контрольного метода и "шумами". Для всех каналов СУ ДМИ и

отношение времени запаздывания к постоянной времени.

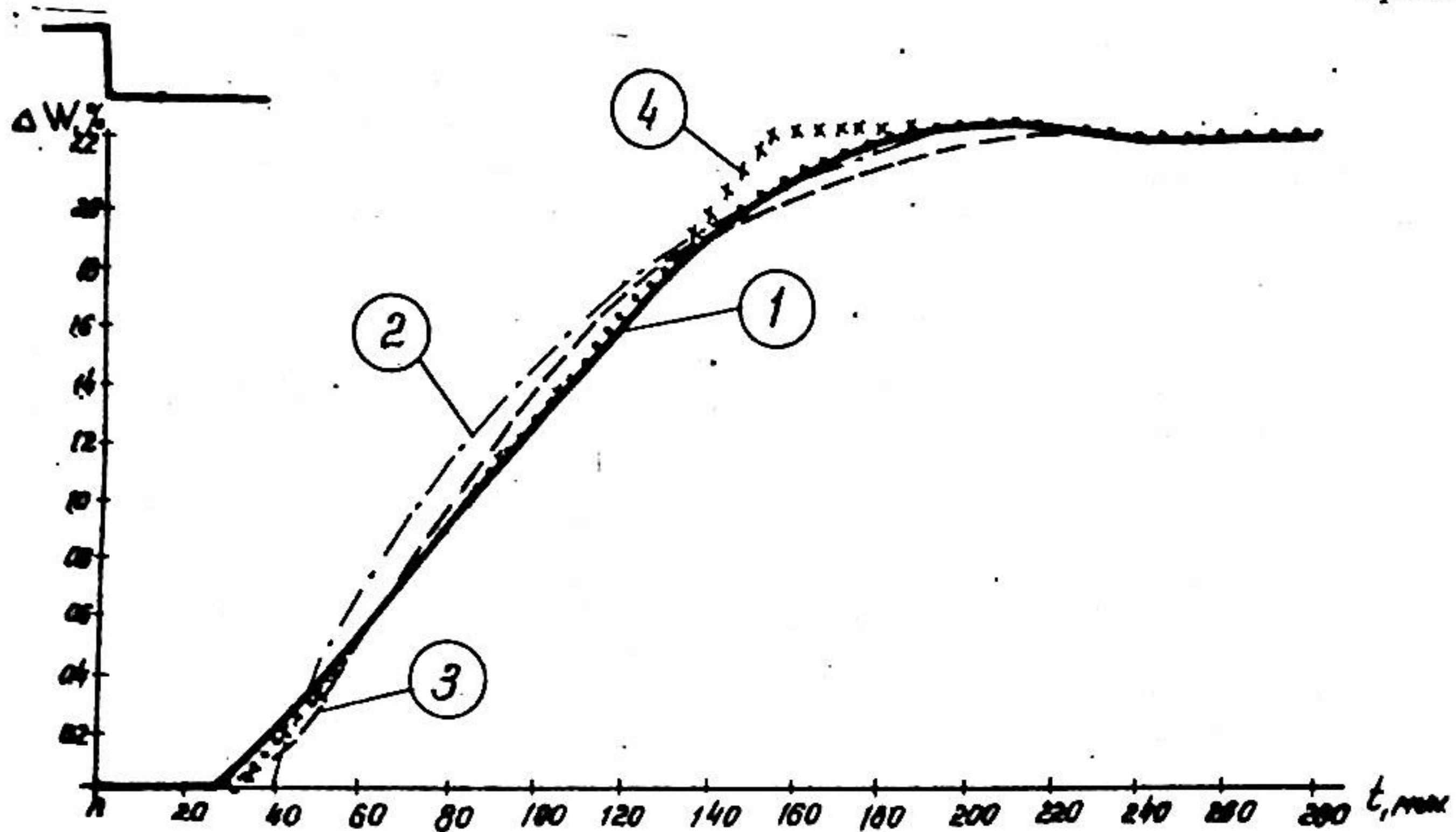


Рис. 4. Динамические характеристики по каналу "давление пара-влажность продукции на выходе сушилки".

1. Экспериментальная характеристика. 2. Модель -

$-\frac{K}{T_p+1} \exp(-p\tau_0)$. 3. Модель - $\frac{K}{T_1 p^2 + T_2 p + 1} \exp(-p\tau_0)$.

4. Модель $\frac{1-\exp(-p\tau_0)}{T \cdot p} \exp(-p\tau_0)$.

IV. Синтез систем автоматического регулирования

В данной главе описан и обоснован выбор структуры и законов регулирования в САР, сделанный на основании аналитических расчетов и моделирования.

Для СУ ДМИ обоснован способ автоматического управления, заключающийся в стабилизации параметров воздушной среды с помощью контуров САР, регулируемые параметрами которых являются температуры "сухих" и "мокрых" термометров.

Динамические характеристики объекта по рассмотренным выше каналам позволяют применить в САР двухпозиционный закон регулирования. Рассчитаны показатели качества регулирования (табл. 3) для гармонически и гар-

Таблица 3

Таблица 3

Показатели процесса регулирования

Секции установки	зона потенциально возможного максимального изменения регулируемого параметра ($\chi_{\max}$), °C	положение рабочей точки в зоне $\chi_{\max}$, %	зона нечувствительности регулятора ($\delta \chi$), °C	соотношение численных параметров объекта регулирования (χ_0/Γ)	ожидаемая амплитуда изменения регулируемого параметра ($\chi_{\text{ст.}}$), °C	ожидаемая статическая ошибка (ст.), °C	ожидаемый период колебаний ($T_{\text{авт.}}$), мин
------------------	--	--	--	--	---	--	---

Предварительная секция

Управление расходом пара: контур "сухого" термометра контур "мокрого" термометра	15	30	± 1	0,15	$\pm 2,0$	0,4	10
	6	30	± 1	0,1	$\pm 1,0$	0,4	10
Управление воздухообменом между СУ и помещением: контур "сухого" термометра контур "мокрого" термометра	2÷2,5	симметричное 50	± 1	0,1	$\pm 1,0$	~ 0	3
	2÷2,5	50	± 1	0,1	$\pm 1,0$	~ 0	3

Окончательная секция

Управление расходом пара: контур "сухого" термометра контур "мокрого" термометра	11	50÷70	± 1	0,1	$\pm 1,5$	0,5	15÷35
	11	50÷80	± 1	0,05	$\pm 1,0$	0,6	15÷35
Управление воздухообменом между СУ и помещением: контур "сухого" термометра контур "мокрого" термометра	2÷2,5	симметричное 50	± 1	0,1	$\pm 1,0$	~ 0	6
	2÷2,5	50	± 1	0,1	$\pm 1,0$	~ 0	6

монико-статистически линеаризованной модели двухпозиционного регулятора и показано, что изменения регулируемых параметров в автоколебательных режимах не должны оказывать влияния на изменение качественных показателей (влажности) продукции, так как практически лежат за частотой среза для частотных характеристик материала как динамического звена.

Обоснован и защищен авторским свидетельством способ управления СУ КМИ с помощью двухимпульсной (каскадной) схемы, заключающейся в управлении расходом теплоносителя в функции температур, измеряемых одновременно над и под лентами. Указывается, что размещение датчика главного контура "под лентой" не связано с закономерностями распределения влагосъема по ходу сушки. Рассмотрена задача определения координаты датчика корректирующего контура "над лентой". Получена расчетная зависимость для вычисления дисперсии $D_y = \Psi[D_x, R_x(\tau), W_0(p), W_p(p)]$, в соответствии с которой, а также с известными оценками определена динамическая точность САР, отвечающей размещению датчика "над лентой" на выходе установки. Показано, что подобный контур неэффективен, так как не приводит к уменьшению дисперсии регулируемого параметра. Математическая постановка указанной задачи заключается в минимизации дисперсии разброса влажности изделий на выходе сушилки как функции координаты датчика "над лентой" τ_g . Доказывается совместность условий:

$$\frac{\partial M\{\sigma^2\}}{\partial \tau_g} = \frac{\partial}{\partial \tau_g} \left\{ \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S_x(\omega) |\varphi(i\omega, \tau_g)|^2 d\omega \right\} = 0 \text{ и } \frac{\partial}{\partial \tau_g} |\varphi(i\omega, \tau_g)|^2 = 0, \quad (9)$$

приводящих к минимизации дисперсии. Последняя зависимость позволяет производить оценочные расчеты указанной координаты для фиксированных частот, ограничивающих существенную часть спектра возмущений — $S_x(\omega)$. В рассматриваемой схеме условие минимизации дисперсии совпадает с условием противофазности сигналов по каналам управления и возмущений, что позволяет рассчитывать искомую координату как разность запаздываний и сдвига фаз

по указанным каналам. Полученные данные и результаты исследований модели (рис. 5) свидетельствуют о необходимости размещения датчика "над лентой" на этапах интенсивно-

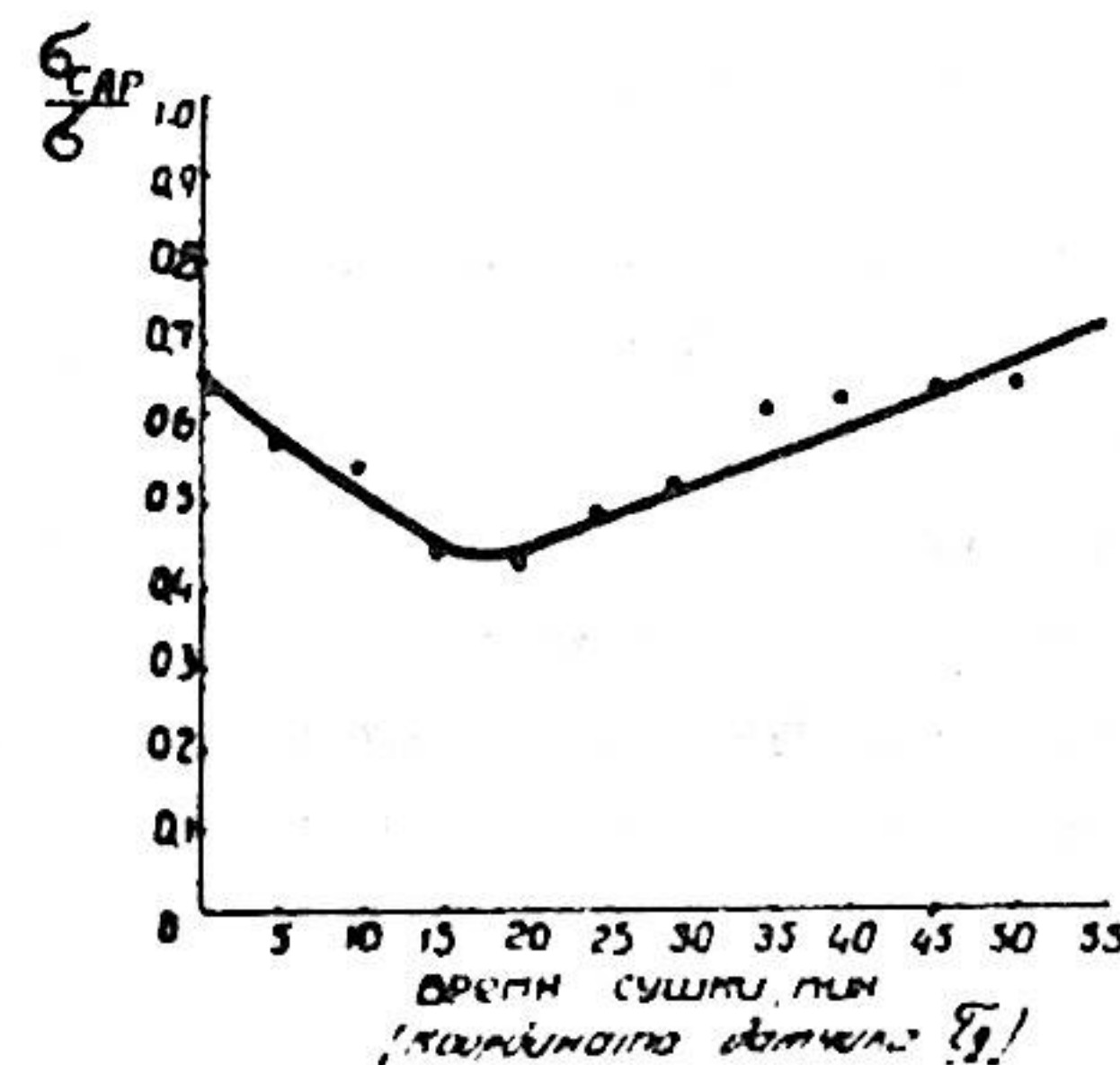


Рис. 5. Результаты моделирования.

го влагосъема. Причем, линеаризуемость графиков переходных характеристик, приводящая, в соответствии с параметрами аппроксимирующих моделей (1), к смещению датчика к началу процесса сушки, указывает на ограничение возможностей реальной САР, косвенные измерения в которой осуществимы лишь на упомянутых этапах.

Обоснован двухпозиционный закон регулирования и определено оптимальное соотношение между сигналами в главном и корректирующем контурах, близкое к 1:1 (1,5).

У. Результаты внедрения и оценка эффективности

В главе приведено описание реализованных на практике САР СУ и оценка результатов их работы.

Схема САР для СУ ДМИ построена на принципе стабилизации температур "сухого" и "мокрого" термометров и включает два контура, управляющих расходом теплоносителя, и три контура, управляющих воздухообменом между СУ и помещением. САР для СУ КМИ предусматривает поэтапное (по группам лент) управление изменением притока пара к греющим поверхностям калориферов в функции одновременно измеряемых температур над и под лентами, изменения которых отражают действия основных возмущений. Проведенные производственные испытания и результаты

эксплуатации подтвердили эффективность разработки и достижение технико-экономического эффекта. Показатели качества процесса регулирования оказались близки к расчетным. В результате внедрения систем достигнута экономия сырья и топлива, снизились потери от брака и повысилось качество изделий. Годовой экономический эффект от внедрения САР СУ ДМИ составляет 3,5 тыс. руб., а для САР СУ КМИ - 3,7 тыс. руб. Окупаемость САР - около 1 года.

Были проведены исследования динамических свойств импортных СУ для сушки длиннорезанных и короткорезанных изделий. Показано, что динамические характеристики этих установок близки к характеристикам уже рассмотренных объектов. Эти исследования и результаты проведенных испытаний позволяют рекомендовать для разрабатываемых установок апробированные принципиальные и схемные решения по САР.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные впервые исследования СУ макаронного производства как объектов регулирования являются предпосылкой автоматизации указанного оборудования. Основные результаты исследований заключаются в следующем:

1. Теоретическое и экспериментальное изучение сушильных установок макаронного производства позволило разработать математическое описание рассматриваемых объектов. Показано, что аппроксимация экспериментальных динамических характеристик по всем рассмотренным каналам может быть выполнена типовыми моделями одного и двух емкостных звеньев в сочетании со звеном чистого запаздывания. Подтверждена возможность экспериментальной идентификации объектов по каналам изменения влагосодержания материала моделями интегрально-разностных звеньев.

2. Исследована статика и динамика сушильных установок короткорезанных макаронных изделий по каналу "скорость ленты - влажность материала". Получена зависимость, показывающая, что автоматическое регулирование по данному каналу возможно при условии слабой связи изменений постоянной времени сушки с изменениями толщины слоя материала на ленте. Исследованы экспериментальные характеристики кинетики сушки. Показано, что для исследуемых сушильных установок макаронного производства подобный способ автоматического управления неприемлем.

3. Исследована статика и динамика по каналам "влажность выпрессовываемых изделий - производительность прессования" и "влажность материала на ленте - состояние агента сушки над лентой". Показана возможность косвенных измерений отклонений влажности материала на ленте, связанных с совместными изменениями влажности изделий и производительности прессования на входе в сушильную установку, по параметрам воздушной среды. Обоснован выбор температуры воздуха над лентой в качестве косвенного регулируемого параметра и показана неприемлемость в этом случае автоматического управления рециркуляцией воздуха между сушильной установкой и помещением.

4. Проведены синтез, анализ и моделирование САР сушильных установок макаронного производства.

5. Для САР сушильных установок длиннорезанных макаронных изделий предложен способ управления, заключающийся в стабилизации параметров режима сушки с помощью контуров регулирования, управляющих объектом в функции раздельно измеряемой для каждого контура температуры "сухого" либо "мокрого" термометра. Обоснован выбор двухпозиционного закона регулирования.

6. Обоснован и защищен авторским свидетельством способ управления сушильными установками короткорезанных макаронных изделий с помощью каскадной схемы САР, управляющей расходом теплоносителя в функции температур, измеряемых одновременно над и под лентой. Рассмотрена задача определения координаты датчика "над лентой"

из условия минимизации дисперсии разброса влажности продукции на выходе сушилки. Показано, что данному условию отвечает размещение датчика на этапах интенсивного влагосъема. Определено оптимальное соотношение между сигналами в контурах "над" и "под лентой". Обоснован выбор двухпозиционного закона регулирования.

7. Производственные испытания указанных САР подтвердили экономическую эффективность проведенных исследований и разработок. Годовой экономический эффект, достигаемый на сушильной установке короткорезающих макаронных изделий типа КСА-80 при внедрении САР, равен 3,7 тыс. руб., а при внедрении САР на сушильной установке линии ЛМБ - 3,5 тыс. руб.

8. Исследованы динамические свойства перспективного сушильного оборудования отрасли и аналитически и экспериментально показана приемлемость для этих установок разработанных принципов и схем САР.

ОБОЗНАЧЕНИЯ

$U, W [\%]$ - влагосодержание и влажность материала;

$P [\frac{кгс}{см^2}]$ - давление пара;

$T_c [мин]$ - постоянная времени сушки;

$t_c^o, t_m^o [^{\circ}C]$ - температура "сухого" и "мокрого" термометров, влагосодержание, относительная влажность воздуха;

$h [см]$ - толщина слоя материала на лентах;

$V [\frac{м}{сек}]$ - скорость движения ленты;

$t, t^* [мин]$ - время сушки материала на рассматриваемой и предыдущих лентах;

$R_x(t), R_x^*(t)$
 $R_{yx}(t), R_{yx}^*(t)$ - экспериментальные и теоретические значения авто- и взаимокорреляционных функций;

$D_x, D_y, \sigma, M\{\sigma^2\}$ - дисперсия и среднее квадратичное отклонение регулируемого параметра на входе "X" и выходе "Y" системы;

$T, T_1, T_2, T^*, \tau_o, \tau_u$ - параметры динамических характеристик одно- и двухъёмкостных звеньев и интегрально-разностного звена, запаздывание и задержка в модели интегрально-разностного звена;

$W_o(p), W_p(p), \varphi(i\omega)$ - передаточная функция объекта и регулятора и амплитудно-фазовая характеристика системы.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Лейчик В.Я., Трубников В.А. "Автоматизация режимов сушки макаронных изделий на линиях ЛМБ". Журнал "Хлебопекарная и кондитерская промышленность", № 7, 1966.

2. Лейчик В.Я. "Автоматическое управление режимом сушки макаронных изделий в сушилке КСА-80". Журнал "Хлебопекарная и кондитерская промышленность", № 2, 1969.

3. Лейчик В.Я. "Система автоматизации макаронной сушки КСА-80". Труды и рефераты института "Пищепромавтоматика", выпуск 4, Одесса, 1969.

4. Хусід М.А., Шевелев В.А., Лейчик В.Я. "Автоматизація сушарки КСА-80" Збірник "Харчова промисловість", № 3, 1969.

5. Лейчик В.Я., Канторович Л.Л. "Система автоматизации процесса сушки макарон в сушилке поточной линии ЛМБ". Сборник "Машиностроение для пищевой промышленности", № 4, 1969.

6. Лейчик В.Я. "Автоматизация сушильных установок макаронного производства". Тезисы доклада на Всесоюзном совещании по новой технике и прогрессивной технологии в процессах сушки, 1969.

7. Лейчик В.Я. "Способ автоматического управления конвейерной сушильной установки для сушки короткорезанных макаронных изделий". Авторское свидетельство № 258643. Бюллетень "Изобретения", Промышленные образцы, Товарные знаки", № 34, 1969.

Материалы работ докладывались на Всесоюзных совещаниях работников макаронной промышленности в 1965-1969 гг. в г.г. Горьком, Волгограде, Одессе и Ленинграде, а также в 1969 г. на Всесоюзном совещании по новой технике и прогрессивной технологии в процессах сушки в г. Москве.

БР05371. Подписано к печати 31.Ш.71 г.
Объем 1,5 печ. л. Зак. № 69, тир. 200.

Ротапринт ин-та "Пищепромавтоматика"
г. Одесса, ул. Краснова, № 6