

Автореф.  
Т 23

Министерство высшего и среднего специального  
образования СССР

Одесский технологический институт пищевой промышленности  
им. М.В.Ломоносова

---

На правах рукописи

ТАТИЕВСКИЙ Виктор Лазарович

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЛОРИМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА  
И РАЗРАБОТКА ЭКСПРЕССНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ  
ВЛАЖНОСТИ ПОРОШКООБРАЗНЫХ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Специальность 05.13.07 -- автоматическое  
управление технологическими процессами  
пищевой промышленности

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

Вернуто 19.87

Одесса - 1973

СМ

Министерство высшего и среднего специального  
образования СССР

Одесский технологический институт пищевой промышленности  
им. М.В.Ломоносова

На правах рукописи

ТАТИЕВСКИЙ Виктор Лазарович

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЛОРИМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА  
И РАЗРАБОТКА ЭКСПРЕССНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ  
ВЛАЖНОСТИ ПОРОШКООБРАЗНЫХ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Специальность 05.13.07 – автоматическое  
управление технологическими процессами  
пищевой промышленности

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

к. 012154

Одесский технологический  
институт пищевой промышлен-  
ности им. М.В.Ломоносова  
**Б И Б Л И О Т Е К А**

Одесса - 1973

2 ОНАХТ

21.05.12

Исследование калорим



v012154

Работа выполнена во Всесоюзном научно-исследовательском институте аналитического приборостроения г. Киев.

Научный руководитель - кандидат физико-математических наук, доцент М.В. Венедиктов

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор Е.С. Кричевский  
кандидат технических наук, доцент Л.Л. Худолей

Ведущее предприятие - Указано в решении Ученого Совета

Автореферат разослан "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1973 г.

Защита диссертации состоится 18 мая 1973 года в аудитории № \_\_\_ на заседании Ученого Совета Одесского технологического института пищевой промышленности им. М.В. Ломоносова.

Отзывы на автореферат ( в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью) просим направлять по адресу: г. Одесса, 270039, ул. Свердлова, 112, технологический институт пищевой промышленности им. М.В. Ломоносова.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь Совета  
К.Т.Н.

Л.А. Запорожец

## В В Е Д Е Н И Е

В условиях технического прогресса и повышения эффективности производства резко возрастают требования к качеству продукции, выдвигающие на первый план вопросы объективного контроля технологических процессов в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства и создания для этих целей надежных и технически совершенных приборов и систем аналитического контроля, как важнейшего средства анализа параметров состава и состояния вещества.

Одним из технологических параметров порошкообразного сыпучего материала является влажность, определяющая качественные и количественные показатели материала на всех стадиях промышленного производства, переработки, хранения, транспортировки, потребления.

В СССР и за рубежом разработан целый ряд методов и достаточное количество типов влагомеров, позволяющих измерять влажность порошкообразных сыпучих материалов. Несмотря на это, для решения некоторых задач до сих пор не созданы влагомеры, обладающие достаточным быстродействием, точностью, чувствительностью и надежностью.

Одной из нерешенных задач является измерение малых влажностей порошкообразных сыпучих материалов. Так, при измерении малых влажностей порошкообразных сыпучих материалов электрические методы непригодны из-за наличия больших и переменных по величине активных потерь, особенно в водорастворимых материалах; химические методы громоздки, трудоемки, требуют специального

оборудования; физические методы неприемлемы из-за малой чувствительности в указанном диапазоне влажностей.

Трудности измерения влажности порошкообразных сыпучих материалов связаны с недостаточностью наших знаний о физических закономерностях связи с материалом. Предварительный анализ форм связи влаги с материалом дает возможность правильно выбрать метод измерения влажности, который может лечь в основу разработки влагомера.

Настоящая работа посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию и разработке кинетического метода (калориметрического метода) и экспрессной системы контроля малых влажностей водорастворимых и водонерастворимых порошкообразных сыпучих материалов.

Первая глава посвящена анализу современного состояния вопроса измерения влажности порошкообразных сыпучих материалов.

По литературным данным сделан обзор о формах связи влаги с твердой фазой материала. При этом в качестве основной была принята классификация форм связи влаги с дисперсными телами, предложенная П.А.Ребиндером, в основу которой положен термодинамический критерий оценки водоудерживающих свойств тела по величине энергии связи влаги с твердой фазой. Согласно этой классификации все формы связи влаги с дисперсными телами делятся на три категории: химическая связь, физико-химическая и физико-механическая связь. В работе рассмотрен механизм взаимодействия молекул воды с твердой фазой тела при всех основных формах связи и различных состояниях ее в теле.

Как следует из работ Б.В.Лерягина, А.В.Лыкова, П.И.Андрианова, Ю.Л.Кавказова, Н.В.Чураева, М.Ф.Казанского и других исследователей, физико-химические, теплофизические, а также техно-

логические свойства влажного дисперсного тела в значительной степени зависят от форм связи и состояния в порах поглощенной телом влаги.

В связи с этим для научно обоснованной разработки методов и приборов измерения влажности порошкообразных сыпучих материалов существенную роль приобретают методы определения форм связи влаги и ее состояния в порах дисперсного тела.

Для определения дифференциальных водоудерживающих свойств дисперсных материалов по отношению к влаге разных форм и видов связи с ними были рассмотрены методы: а) метод термограмм сушки тонких образцов дисперсных тел; б) экстракционно-электрический метод; в) метод определения форм связи по кривым сорбции и десорбции.

Методы определения форм связи влаги сложны и трудоемки, поэтому используются только в лабораторной практике для изучения водоудерживающих свойств влажных порошкообразных сыпучих материалов.

В работе показано, что измерение количества тепла, выделяемого или поглощаемого в процессе изменения состояния вещества, позволяет определять ряд его свойств, таких как теплоемкость, теплота перехода, теплота растворения, тепловые эффекты реакций и др.

Определение количеств тепла в некоторых случаях положено в основу методов измерения влажности порошкообразных сыпучих материалов. Проанализированы методы: интегральной теплоты смачивания, термографический, измерения влажности по термограммам и энергограммам, химические. Показана перспективность применения указанных методов. Недостатком рассмотренных методов является

их длительность и громоздкость. Для интенсификации процесса массопереноса в этих методах и тем самым их ускорения возможно применение сброса давления, который в методе молекулярной сушки применяется как эффективный процесс обработки целого ряда порошкообразных сыпучих материалов.

На основании рассмотрения тепловых эффектов, сопровождающих молекулярную сушку, нами разработан кинетический метод измерения малых влажностей широкого класса порошкообразных сыпучих материалов.

Исходя из изложенного сформулированы и решены следующие основные задачи диссертационной работы:

1. Разработка и исследование метода и методики измерения малых влажностей водорастворимых и водонерастворимых порошкообразных сыпучих материалов.
2. Описание физических процессов во влажном материале при сбросе давления и вывод уравнений, характеризующих калориметрический метод.
3. Экспериментальные исследования процесса измерения малых влажностей порошкообразных сыпучих материалов.
4. Разработка экспрессной влагосметрической системы, использующей калориметрический метод.
5. Оценка погрешности экспрессной влагосметрической системы.
6. Рассмотрение рекомендаций по дальнейшему совершенствованию и применению экспрессной влагосметрической системы.

Во второй главе проводится теоретическое исследование калориметрического метода с целью построения экспрессной влагосметрической системы.

Влажный материал, помещенный в герметически закрытую камеру, при температуре окружающей среды в процессе сброса давления начи-

нает интенсивно отдавать влагу. Вследствие затрачиваемой на испарение теплоты испарения, которая идет на преодоление сил взаимодействия молекул воды с молекулами материала и на фазовое превращение этой воды, материал интенсивно охлаждается.

На основании рассмотрения физических процессов, происходящих во влажном материале при сбросе давления и анализируя уравнение теплового баланса для неограниченного слоя малой толщины, когда градиент температуры в слое отсутствует, при создании специальных условий измерения, можно записать следующее дифференциальное уравнение теплового баланса:

$$\alpha_t(t_c - t_n) = c\gamma R_v \frac{\partial \bar{t}}{\partial \tau} + r\gamma R_v \frac{\partial \bar{w}}{\partial \tau} \quad (I)$$

При интегрировании уравнения (I) необходимо знать зависимость  $W = W(\tau)$ , т.е. закон изменения влажности материала при сбросе давления. Кинетика ухода влаги из материала при сбросе давления была определена экспериментально на специально сконструированной установке.

Как показали исследования, закон изменения влажности в процессе сброса давления для водорастворимых и водонерастворимых материалов будет различен.

Для водорастворимых материалов

$$W(\tau) = W_0(1 - b) + b W_0 \exp(-\alpha_p \tau),$$

где  $b$  и  $\alpha_p$  - экспериментально определенные коэффициенты.

Для водонерастворимых материалов

$$W(\tau) = W_0 \exp(-\alpha_p \tau).$$

Калориметрический метод измерения влажности реализуется по следующей методике.

Помещают образец исследуемого материала в герметически закрывающуюся камеру, которую подключают к вакуумному насосу и производят сброс давления в ней. За счет разности парциальных давлений внутри материала и на поверхности его создается потенциал переноса влаги. При этом температура материала изменяется. Изменение температуры материала в процессе сброса давления воспринимается чувствительным элементом первичного преобразователя, который помещается в материал или на который помещается материал. Для того, чтобы исключить влияние переходных процессов, происходящих в вакуумной камере и, как правило, не связанных с влажностью материала, а также влияние разности окружающей температуры и температуры исследуемого материала в камеру помещают образец сухого материала и образец исследуемого.

В качестве сухого материала можно использовать либо предварительно высушенный материал  $W \approx 0$ , либо высушенный в течение 5-10 мин под вакуумом. В этом случае водонерастворимые материалы отдадут практически всю влагу, а водорастворимые, вследствие того, что остаточная влага не удаляется, ведут себя при сбросе давления подобно сухим материалам.

Изложенные выше соображения легли в основу разработки экспрессной влагометрической системы анализа малых влажностей порошкообразных сыпучих материалов.

В третьей главе диссертации приведены результаты разработки и исследования экспрессной системы измерения влажности порошкообразных сыпучих материалов.

Общая функциональная схема экспрессной влагометрической системы, реализующая разработанную методику измерения влажности калориметрическим методом приведена на рис. 2.

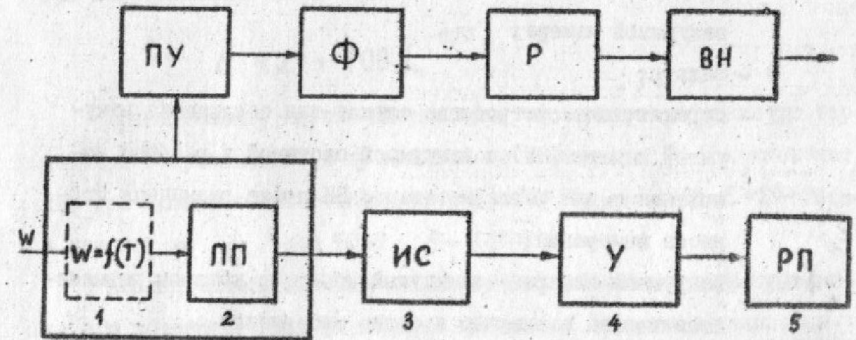


Рис. 2. Функциональная схема экспрессной влагометрической системы.

Экспрессная влагометрическая система состоит из вакуумного и электрического трактов.

В электрическую часть схемы входят следующие звенья:

- 1 - условное звено, устанавливающее функциональную зависимость между измеряемой и воспринимаемой величиной;
- 2 - первичный преобразователь, преобразующий измеряемую температуру в изменение сопротивления;
- 3 - измерительная мостовая схема;

- 4 - усилитель;
- 5 - регистрирующий прибор.

Вакуумная схема состоит из следующих узлов:

ВН - выходной насос, создающий вакуум в системе на протяжении всего периода измерения;

Р - ресивер - замкнутый объем, в котором создается вакуум для осуществления равномерного сброса давления в вакуумной камере;

Ф - фильтр;

ПУ - переключающее устройство служит для соединения вакуумной камеры (ВК) с вакуумной системой в рабочем положении и для разгерметизации ВК после окончания процесса измерения;

ВК - вакуумная камера - замкнутый объем, в котором размещаются кюветы с влажным и сухим материалом.

В работе дано обоснование выбора основных элементов функциональной схемы экспрессной влагометрической системы. Особое внимание было уделено разработке первичных преобразователей (термометров сопротивления), которые должны отвечать таким противоречивым требованиям как малая статическая и динамическая погрешность измерения, высокая чувствительность и помехоустойчивость, а также представлять собой кювету для анализируемого материала. При разработке термпреобразователей, предназначенных для работы в нестационарных тепловых режимах и особенно в средах с низким коэффициентом теплоотдачи, какими являются твердые материалы с малыми влажностями, большое внимание уделялось их тепловой инерции.

Динамические свойства термодатчиков при выбранной его конструкции определяются свойствами контролируемой среды. С точки

зрения тепловых измерений все свойства среды, которые определяют влияние на постоянную отставания термодатчиков  $\epsilon$  объединяются в одно общее понятие коэффициент теплоотдачи.

Математическое описание характеристической кривой, устанавливающей связь между инерционностью термодатчика и коэффициентом теплоотдачи контролируемой среды для разработанного термометра сопротивления имеет вид:

$$\epsilon = 2 + 400L^{-0,75}$$

Сравнительная оценка инерционных свойств разработанного термометра сопротивления и промышленного термометра ТС-8 показывает, что при коэффициенте теплоотдачи  $L = 50 \div 60 \text{ Дж/м}^2 \text{ сек } ^\circ\text{C}$   $\epsilon = 27 \div 20 \text{ сек}$  и при тех же  $L$  для ТС-8  $\epsilon = 140 \div 125 \text{ сек}$

Исследовалось влияние на инерционные свойства термодатчика его конструктивных параметров таких как теплопринимающая пластина и материал теплопринимающей пластины. При сравнительно небольших значениях  $L$  тепловая инерционность термодатчика в основном определяется инерционностью теплопринимающей пластины, а также применение теплопринимающих пластин из стали 1Х18Н9Т и алюминия значительно увеличивает инерционность.

Разработанный первичный преобразователь состоит из корпуса термодатчика, теплопринимающей пластины, чувствительного элемента. Чувствительный элемент термодатчика плоской однослойной намотки медного провода распределен по площади и нанесен на изоляционную бумагу, которая приклеивается к теплопринимающей пластине, служащей одновременно и защитным покрытием. Хороший тепловой контакт между чувствительным элементом и теплопринимающей пластиной, малый вес, а значит и теплосем-

кость деталей узла чувствительного элемента, большая площадь поверхности его, малый диаметр распределенного провода термоприемника, высокая теплопроводность теплоконтактной пластины позволили получить очень малую инерционность первичного преобразователя.

При увеличении инерционности системы термопреобразователь - исследуемый материал необходимо проведение коррекции динамических характеристик.

В работе принят метод последовательной электрической коррекции сигнала. Проведя синтез корректирующего устройства, решен вопрос о возможности реализации основного условия коррекции  $T_g = T_k$  в процессе измерения. Оценена динамическая погрешность системы термоприемник - корректирующее устройство при различных законах изменения температуры.

Динамическая погрешность системы термоприемник - корректирующее устройство при скачкообразном, линейном и экспоненциальном законах изменения входной величины равна соответственно:

$$1) \quad \Delta X_{\text{вых}}(\tau) = A(1 - \eta) \exp\left(-\frac{\tau}{T_g}\right),$$

где  $\eta = \frac{T_k}{T_g}$  - коэффициент несовпадения постоянных времени датчика и корректирующего устройства

$$2) \quad \Delta X_{\text{вых}}(\tau) = -A \left\{ \left( T_k - T_g - \frac{T_k}{K} \right) + \frac{1}{T_k - K T_g} \times \right. \\ \left. \times \left[ K T_g (T_g - T_k) \exp\left(-\frac{\tau}{T_g}\right) + \frac{T_k^2 (K-1)}{K} \exp\left(-\frac{K\tau}{T_k}\right) \right] \right\}$$

$$3) \quad \Delta X_{\text{вых}}(\tau) = \frac{A T_g}{T_{\text{вх}} K - T_g} \left[ \exp\left(-\frac{\tau}{T_{\text{вх}}}\right) - \exp\left(-\frac{K\tau}{T_g}\right) \right]$$

При экспоненциальном законе изменения входного сигнала, что является характерным при сбросе давления, и при идеальной коррекции для системы датчик-корректирующее устройство динамическая погрешность в  $K$  раз меньше, чем для датчика без коррекции.

В четвертой главе изложены результаты измерения влажности типичных водорастворимых и водонерастворимых порошкообразных, сыпучих материалов. Проведены анализ и оценка погрешности экспрессной влагометрической системы.

Для экспериментального подтверждения теоретических положений изложенных в работе, среди множества разнообразных порошкообразных сыпучих материалов были отобраны два материала, которые по коллоидно-физическим и водоудерживающим свойствам являются типичными для водорастворимых и водонерастворимых материалов.

В качестве типичного водорастворимого материала выбрана аммиачная селитра ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ), отличающаяся высокой гигроскопичностью. Группу водонерастворимых материалов представляет кварцевый песок, макропоры межзернового пространства которого удерживают влагу в трех различных состояниях - капиллярном, пленочно-менисковом и менисковом.

Приведена методика градуировки экспрессной влагометрической системы, которая включает в себя подготовку проб для анализа, проведение контрольных анализов и собственно сами измерения.

Выходная характеристика (кривая изменения температуры влажного материала в процессе сброса давления) характеризуется не-

сколькими параметрами. Анализ результатов измерения показал, что наименьшую дисперсию (критерий оценки параметров выходной характеристики - выборочная дисперсия совокупности измерений) имеют амплитуда сигнала и величина дифференциальной теплоты десорбции за время наступления максимума  $S/\tau_{\max}$ . Характеристикой выходной величины (начальной влажности) принята амплитуда максимального изменения температуры.

Градировочные характеристики для исследуемых образцов строились в виде линейной зависимости  $Y = aX + b$  с использованием методов регрессионного анализа по 10-15 пробам при 10 - 20 кратном повторении измерений каждой пробы.

Для аммиачной селитры и кварцевого песка градуировочные характеристики имеют следующие выражения

$$Y = 278x - 63 \quad \text{и} \quad Y = 126x + 7$$

Проведен анализ и оценка погрешности экспрессной влагометрической системы. Относительная приведенная погрешность калориметрического метода равняется 0,05. Коэффициент корреляции между результатами измерений экспрессной системой и контрольным методом составляет 0,98.

На основании теоретических и экспериментальных данных оценено влияние на результаты измерения следующих факторов: гранулометрического состава; химического состава; сыпного веса; температуры материала.

Гранулометрический состав влажного материала не вносит погрешности в измерения, так как испарение идет с истинной поверхности материала, а геометрическая поверхность составляет незначительную часть ее.

Химический состав не сказывается на теплоте фазового превращения воды, а влияет на составляющую теплоты испарения ( $\Gamma_b$ ). Независимость результатов измерений основывается на малом (сотые доли процента) приращении теплоты фазового превращения за счет составляющей  $\Gamma_b$ .

Насыпной вес - количество материала в датчике не оказывает существенного влияния на выходную величину, т.к. увеличение количества материала приводит к большей суммарной теплоте, затраченной на испарение большого количества влаги. Это увеличение теплоты идет на понижение температуры большей массы материала. Проведен выбор для конкретных материалов оптимальных толщин слоя засыпки, с тем, чтобы уменьшить время измерения. Толщина слоя исследуемых материалов лежит в пределах  $2 \cdot 10^{-3} + 4 \cdot 10^{-3}$  м.

Температура материала является одним из основных параметров, влияющих на результаты измерений влажности. При равенстве температур среды и материала существует однозначная зависимость между изменением температуры в процессе сброса давления и начальной влажностью. При изменении температуры материала на  $10^{\circ}\text{C}$  возникает дополнительная погрешность равная 1%/град. Погрешность метода, связанная с изменением температуры материала исключается включением компенсационного датчика, аналогичного рабочему, в одно из противоположных плеч мостовой схемы, на который засыпается предварительно высушенный материал.

Информационные характеристики разработанной экспрессной влагометрической системы являются:

а) количество информации на входе влагометрической системы

$$q_0 = 9,3 + \frac{1}{2} \lg(I \cdot \tau_i) = 8,84 \text{ дес. ед.}$$

где  $I$  - ток датчика,  $\tau_i$  - время измерения;

б) количество информации на выходе системы

$$q = \lg \frac{2}{\gamma} = 1,602 \text{ дес. ед.}$$

где  $\gamma$  - относительная приведенная погрешность, равная 0,05;

в) информационный коэффициент полезного действия (к.п.д.)

$$\eta_i = \frac{q}{q_0} \cdot 100\% = 18\%$$

Пятая глава посвящена практическому использованию результатов исследований, а также направлению дальнейшего совершенствования и перспективы применения экспрессной влагометрической системы.

Проведены лабораторные и промышленные испытания разработанной экспрессной влагометрической системы. Соответствующий акт, результаты исследований, выводы и рекомендации прилагаются к диссертационной работе.

Показаны пути дальнейшего совершенствования системы, а также перспективы применения для измерения влажности различных материалов.

Рассмотрена статическая следящая система с электротепловым преобразователем, в которой функции обращенного преобразователя и преобразователя недокомпенсации совмещены в одном и том же элементе - термометре сопротивления.

Для нормирования показателей надежности экспрессной влагометрической системы установлены критерии отказов блоков системы и системы в целом. Простота функций, выполняемых блоками системы

и простота конструкции позволяют обеспечить высокую безотказность и ремонтпригодность системы.

Изготовленная экспрессная влагометрическая система имеет нижнее значение наработки на отказ с доверительной вероятностью 0,8 около 2000 час.

Производственные испытания подтвердили, что разработанная система соответствует требованиям, предъявляемым к данному классу экспрессных систем и может использоваться для измерения широкого класса водорастворимых и водонерастворимых порошкообразных сыпучих материалов в заводских лабораториях анализа. В процессе производственных испытаний была построена градуировочная характеристика с использованием методов регрессионного анализа. Определено значение среднеквадратичного отклонения от линии регрессии. С доверительной вероятностью 0,95 можно утверждать, что величина погрешности системы составит  $\pm 0,15\%$  абс. при диапазоне  $0 + 3\%$ .

В настоящее время идет подготовка к серийному выпуску влагометрической системы.

Подтвержденный экономический эффект от внедрения одной экспрессной влагометрической системы составляет 35,2 тыс. рублей.

Разработанная экспрессная влагометрическая система была испытана, кроме материалов, описанных выше, на материалах пищевой промышленности таких как сахарный песок, поваренная соль, молоко цельное сухое; на материалах производства Калужского химико-металлургического комбината, на сложных удобрениях, на различного рода красителях и других. Все это указывает на широкие возможности применения разработанной экспрессной влагометрической системы, основанной на базе калориметрического метода.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

Создание и применение экспрессных влагометрических систем с целью получения оперативной информации с удовлетворительными метрологическими параметрами позволит повысить качество выходной продукции, уменьшить энергетические затраты на сушку и увлажнение, позволит вести процессы по оптимальным режимам.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований, проведенных в предлагаемой работе, позволяют сделать следующие выводы:

1. Специфика свойств сыпучих материалов предопределяет разработку и применение новых методов контроля влажности, из которых перспективными следует считать методы, основанные на определении выделившейся или поглощенной теплоты в процессе измерения.

2. Предложен калориметрический метод и методика измерения влажности, позволяющие проводить экспрессный анализ как водорастворимых так и водонерастворимых материалов в области малых влажностей, основанный на измерении температуры влажного материала при десорбции влаги в процессе сброса давления.

3. На основании решения дифференциального уравнения теплового баланса дано теоретическое обоснование калориметрического метода. Показано, что кривая изменения температуры влажного материала при десорбции влаги в процессе сброса давления имеет экстремальный характер и несет достоверную информацию о начальной влажности материала. При этом выходным параметром, характеризующим начальную влажность, в зависимости от применения метода, может служить минимальное понижение (экстремум), время наступления этого экстремума, величина дифференциальной теплоты десорбции за время

наступления экстремума. Показано, что оптимальным выходным параметром является величина экстремума.

4. В результате теоретических и экспериментальных исследований даны конкретные рекомендации по практической реализации метода и отдельных узлов экспрессной системы контроля влажности. Разработан малоинерционный первичный преобразователь, представляющий собой одновременно и кивету для анализируемого материала, проведены исследования статических и динамических характеристик его. Показаны пути уменьшения динамической погрешности системы термодатчик-корректирующее устройство при различных законах изменения температуры.

5. Проведена градуировка влагометрической системы на водорастворимых и водонерастворимых материалах. Получены градуировочные характеристики в виде линейных зависимостей.

6. Экспериментальные исследования позволили определить влияние на результаты измерения влажности калориметрическим методом следующих параметров материала: гранулометрического и химического состава, насыпного веса, температуры. Установлено, что некоторые из названных параметров не оказывают существенного влияния на результат измерения, а влияние других устранимо.

7. Произведена оценка точности получения и представления информации при контроле влажности калориметрическим методом. В качестве критериев точности принимались удвоенное среднеквадратичное значение погрешности и энтропийное значение погрешности. Коэффициент корреляции, отражающий степень функциональной зависимости между выходной величиной и контрольным методом, равняется 0,98. Погрешность экспрессной влагометрической системы равняется 0,1% абс.

8. Разработана экспрессная влагометрическая система, которая прошла испытание и передана в промышленную эксплуатацию с подтвержденным годовым экономическим эффектом 35,2 тыс.руб. на одну систему.

9. Показана возможность дальнейшего совершенствования и перспективы применения системы в различных отраслях промышленности. Рассмотрено статическое следящее устройство с электро-тепловым преобразователем, реализующее калориметрический метод измерения влажности.

Основные положения работы были доложены и обсуждены на Всесоюзном техническом совещании по интенсификации процессов сушки в химической и смежной отраслях промышленности (Москва, 1965 г.); на Всесоюзной конференции по вопросам испарения, горения и газовой динамики дисперсных систем (Одесса, 1968 г.); на Республиканском семинаре по современным приборам и методам контроля (Киев, 1970 г.); на Всесоюзной конференции по совершенствованию методов определения влагосодержания в различных средах на основе применения новых влагомерных приборов (Киев, 1970 г.); на IX научно-технической конференции Севастопольского приборостроительного института (СПИ, 1972 г.).

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Татиевский В.Л., Венедиктов М.В., Рудный Н.М., Согин А.Е., Способ определения влагосодержания нерастворимых в воде материалов. Авторское свидетельство № 243257, БИ № 16, 1969.

2. Татиевский В.Л., Венедиктов М.В., Рудный Н.М., Согин А.Е., Способ определения влагосодержания водорастворимых ве-

ществ. Авторское свидетельство № 198012, БИ № 13, 1967.

3. Татиевский В.Л., Венедиктов М.В., Рудный Н.М., Согин А.Е., Чумак В.К., Устройство для определения влагосодержаний порошкообразных дисперсных материалов. Сб. трудов семинара "Современные приборы и методы контроля", Киев, 1970.

4. Венедиктов М.В., Татиевский В.Л., Согин А.Е., Рудный Н.М., Калориметрический метод определения малых влагосодержаний. ИФПС, № 1, т. XX, 1971.

5. Татиевский В.Л., Венедиктов М.В., Согин А.Е., Применение калориметрического метода для определения влагосодержания в дисперсных материалах. Тезисы докладов и сообщений на Всесоюзной конференции по совершенствованию методов определения влагосодержания в различных средах. Киев, 1970.

6. Венедиктов М.В., Татиевский В.Л., Согин А.Е., Рудный Н.М. Применение калориметрического метода для определения влагосодержания водорастворимых материалов. Тезисы докладов и сообщений Всесоюзной конференции по совершенствованию методов определения влагосодержания в различных средах. Киев, 1970.

7. Татиевский В.Л., Венедиктов М.В., Согин А.Е., Богомаз А.С. Интегральный метод оценки результатов при калориметрическом методе измерения влагосодержания дисперсных систем. Труды ВНИИИП, вып. II, 1972.

8. Венедиктов М.В., Татиевский В.Л., Согин А.Е. Массопеносной метод определения влагосодержания в дисперсных материалах по величине теплоты десорбции. Труды ВНИИИП, вып. II, 1972.