

Автореф.
1739

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

Инженер ПЛОТКИН В.Б.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ
МЕТОДОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

05.198 - Автоматизация производственных процессов

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Перечислен 1987

Одесса - 1970

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

Инженер ПЛОТКИН В.Б.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ
МЕТОДОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

05.198 - Автоматизация производственных процессов

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



2 ОНАХТ

22.06.12

Одесса - 1970

Исследование возможн



v011500

Работа выполнена в лаборатории приборов и устройств автоматике Ленинградского Агрофизического НИИ ВАСХНИЛ.

Научный руководитель :
кандидат технических наук КОРОБОЧКИН И.В.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор КРИЧЕВСКИЙ Е.С.
кандидат технических наук, доцент ПИКЕРСГИЛЬ А.А.

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Всесоюзный научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки.

Автореферат разослан 20 августа 1970 г.

Защита диссертации состоится 25 сентября 1970 г. на заседании Ученого совета Одесского технологического института имени М.В.Ломоносова.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке.

Требуются на автореферат в двух экземплярах, заверенный печатью учреждения, просим направить в Совет института по адресу: г.Одесса-39, ул.Свердлова, 112, Технологический институт имени М.В.Ломоносова.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА

Л.А.ЗАПОРОЖЕН

Существующие методы измерения влажности, применяемые для технологического контроля сыпучих материалов, основаны на определении интересующего параметра по изменению какого-либо вторичного параметра образца, например, веса вещества при высушивании, диэлектрической проницаемости - в случае высокочастотного контроля, удельной электропроводности - при использовании кондуктометрических методов. При этом, как известно, измеряемый вторичный параметр зависит не только от влажности материала, но и от целого ряда неучитываемых при измерении факторов, причем даже образцовые методы определения влажности, связанные с вакуумной сушкой контролируемого материала, подвержены влиянию мешающих воздействий, к числу которых относятся: улетучивание легких фракций, неоднозначность температурных режимов сушки, случайные ошибки при взвешивании и т.д. Задача экспрессного определения влажности осложняется еще и тем, что в этом случае появляются дополнительные помехи, обусловленные неравномерностью плотности засыпки вещества в измерительный бункер, различной ориентацией отдельных гранул материала в рабочем поле датчика, влиянием натурального веса в системах без разрушения измеряемого образца. Поскольку большинство из этих факторов от измерения к измерению изменяется по случайному закону, то в своей общей постановке задача экспрессного определения влажности сыпучих материалов представляется недетерминированной, стохастической задачей выделения интересующего параметра при многомерном случайном воздействии мешающих факторов.

Оптимальное решение поставленной задачи возможно в

системах, позволяющих отстраиваться от мешающих воздействий с минимальной среднеквадратической погрешностью. Принципиальная возможность построения таких систем имеется, например, при использовании многочастотных методов. Однако, в общем случае, когда число мешающих факторов чрезмерно велико, что, как правило, имеет место при измерении влажности сыпучих материалов, количество рабочих частот оказывается настолько большим, что возможность практической реализации высокочастотных влагометрических систем отсутствует.

Принципиальная возможность построения оптимальных влагометрических систем может быть практически реализована при использовании методов импульсного воздействия на измерительную систему, в состав которой входит датчик с контролируемым материалом.

Поскольку в спектре прямоугольных импульсов всегда может быть получено необходимое число требуемых гармонических составляющих, то построение таких систем не связано с применением большого числа устройств формирования рабочих частот, а осуществление избирательной оценки необходимых гармонических составляющих не вызывает, как правило, принципиальных затруднений.

При импульсном воздействии на измерительный датчик с материалом изменение влажности вещества вызывает изменение всех его электрических параметров, что приводит к изменению формы выходного напряжения. Таким образом, по изменению любого из параметров импульсов, имеющих место на выходе измерительной системы, или по изменению совокупности всех или некоторых из них можно судить о влажности материала.

Первая глава диссертации посвящена исследованию раз-

личных импульсных методов, которые могут быть использованы при построении влагометрических систем. Показывается, что с тонки зрения практического построения импульсных влагометрических систем (ИВС) могут найти применение амплитудно-импульсные методы (АИМ), основанные на определении влажности по изменению амплитуды импульсов, проходящих через измерительную систему, широтно-импульсные методы (ШИМ), основанные на оценке влажности по изменению длительности импульсов, имеющих место на выходе измерительной системы, и интегрально-импульсные методы (ИИМ), при использовании которых определение влажности производится по изменению площади импульсов, проходящих через измерительную систему.

Основные качественные показатели ИВС: разрешающую способность R и погрешность измерений δ целесообразно определять как логарифмические чувствительности выходного параметра системы $U_{\text{вых}}$, пропорционального амплитуде, длительности или площади сигнальных импульсов, к изменению соответственно влажности W или обобщенной помехи P , учитывающей влияние всей совокупности мешающих факторов. Таким образом, R и δ определяются по формулам (I):

$$R = \frac{\partial \ln U_{\text{вых}}}{\partial \ln W} ; \quad \delta = \frac{\partial \ln U_{\text{вых}}}{\partial \ln P} , \quad (I)$$

обратным классическим формулам чувствительности систем по Боде (Боде Г. Теория цепей и проектирование усилителей с обратной связью. М., ИЛ, 1948).

Использование соотношений (I) предполагает знание зависимостей электрофизических характеристик контролируемых материалов от уровня их влажности и содержания мешающих факторов в веществе. Однако, как показано в работах М.А.Бер

линера и Е.С.Кричевского, определение таких зависимостей на основании существующих формул Максвелла, Лихтенекера и Оде-левского, полученных для увлажненных гетерогенных материалов в результате исследования отдельно сухого вещества и влаги, не дает положительных результатов. Это объясняется сложным комплексом физико-химических преобразований в системе сухое вещество - вода, приводящим к формированию в материалах гидратных молекул, электрофизические свойства которых резко отличаются как от свойств сухого вещества, так и от свойств воды.

В связи с изложенным выше, а также учитывая, что при измерении влажности сыпучих материалов влияние основных мешающих факторов, связанных с неоднородностью физико-химического состава материалов, неравномерной плотностью засыпки, различной ориентацией отдельных гранул вещества в рабочем поле датчика, изменением температуры и т.д., в значительно большей степени сказывается на изменении сопротивления датчика с образцом, чем на изменении его емкости, в ИВС, использующих емкостные методы определения влажности, целесообразно в качестве первой приближенной оценки качественных показателей использовать соотношения

$$R = \frac{\partial \ln U_{\text{вых}}}{\partial \ln C_{\delta}} ; \quad \delta = \frac{\partial \ln U_{\text{вых}}}{\partial \ln R_{\delta}} , \quad (2)$$

в которых C_{δ} и R_{δ} - обобщенные параметры приведенной двух-элементной параллельной схемы замещения бункера с образцом, учитывающие все основные виды поляризации материалов, а также потери сквозной электропроводности. Возможность представления контролируемого материала двухэлементной схемой замещения с сосредоточенными параметрами показана в первой

главе диссертации.

Формулы (2), по-существу, аналогичны критериям чувствительности, используемым в работах Е.С.Кричевского.

Для оценки погрешности измерений и разрешающей способности ИИВС, получены обобщенные выражения:

$$\delta = \frac{R_g}{K(\infty)} \cdot \frac{\partial K(\infty)}{\partial R_g} \left[\exp\left(\frac{1}{\bar{\tau}}\right) - 1 \right] - \left[1 - \frac{K(0)}{K(\infty)} \right] \cdot \frac{R_g/R_g}{1 + R_g/R_g} \cdot \frac{1}{\bar{\tau}}, \quad (3)$$

$$\frac{\exp(1/\bar{\tau}) + \frac{K(0)}{K(\infty)} - 1}{\exp(1/\bar{\tau}) + \frac{K(0)}{K(\infty)} - 1}, \quad (3)$$

$$R = \frac{1}{\bar{\tau}} \frac{\frac{K(0)}{K(\infty)} - 1}{\exp\left(\frac{1}{\bar{\tau}}\right) + \frac{K(0)}{K(\infty)} - 1}, \quad (4)$$

в которых R_g и $\bar{\tau}$ - параметры измерительной системы, а $K(0)$ и $K(\infty)$ - коэффициенты передачи системы при $t = 0$ и $t = \infty$.

Формулы для определения качественных показателей ИИВС найдены в виде:

$$\delta = \frac{R_g}{R_g + 1} + \frac{R_g}{K(\infty)} \cdot \frac{\partial K(\infty)}{\partial R_g} \frac{\frac{K(0)}{K(\infty)} - \frac{\bar{U}_n}{K(\infty)}}{\left[1 - \frac{K(0)}{K(\infty)} \right] \left[1 - \frac{\bar{U}_n}{K(\infty)} \right] \ln \frac{1 - K(0)/K(\infty)}{1 - \bar{U}_n/K(\infty)}}, \quad (5)$$

$$R = 1, \quad (6)$$

где $\bar{U}_n = U_n / U_{вх}$ - пороговое напряжение, нормированное по амплитуде входного воздействия.

Для погрешности измерений и разрешающей способности ИИВС получены следующие соотношения:

$$\delta = \frac{R_{\delta} \cdot \frac{\partial K(\infty)}{\partial R_{\delta}} \left[\frac{1}{\tau} \exp\left(\frac{1}{\tau}\right) - \exp\left(\frac{1}{\tau}\right) + 1 \right] + \frac{R_{\theta} / R_{\delta}}{1 + R_{\theta} / R_{\delta}} \left[1 - \frac{K(0)}{K(\infty)} \right] \left[\frac{1}{\tau} \exp\left(\frac{1}{\tau}\right) + 1 \right]}{\frac{1}{\tau} \exp\left(\frac{1}{\tau}\right) - \left[1 - \frac{K(0)}{K(\infty)} \right] \left[\exp\left(\frac{1}{\tau}\right) - 1 \right]} \quad (7)$$

$$|R| = \left[1 - \frac{K(0)}{K(\infty)} \right] \cdot \frac{\exp\left(\frac{1}{\tau}\right) - \frac{1}{\tau} - 1}{\frac{1}{\tau} \exp\left(\frac{1}{\tau}\right) - \left[1 - \frac{K(0)}{K(\infty)} \right] \left[\exp\left(\frac{1}{\tau}\right) - 1 \right]} \quad (8)$$

Во второй главе диссертационной работы проводится исследование основных импульсных методов в режимах измерений малых и больших влажностей материала.

Результаты анализа АИМ измерения влажности показывают, что в режиме измерения малых влажностей амплитуда сигнальных импульсов, в изменениях которой заложена информация о влажности, не зависит от сопротивления датчика с материалом, а погрешность измерений и разрешающая способность системы в этом случае приближаются соответственно к своим минимальному и максимальному значениям. В случае измерения больших влажностей амплитуда сигнальных импульсов зависит от сопротивления материала, что может привести к погрешностям измерений за счет его непостоянства. Однако, как показывает анализ, даже в этом худшем случае путем выбора необходимых параметров импульсов погрешности, вызываемые непостоянством активного сопротивления вещества, практически могут быть устранены.

Анализ ШИМ показывает, что при измерении малых влажностей длительность сигнального импульса, в изменениях которой заложена информация об измеряемой влажности, не зависит от сопротивления датчика с материалом. В случае же измерения больших влажностей длительность выходного импульса и погреш-

ность измерений зависят от сопротивления датчика с материалом, что является существенным недостатком ШИМ измерения влажности.

Погрешность измерений и разрешающая способность ИИМ измерения влажности в диапазоне малых влажностей определяются соотношениями:

$$\delta \approx \frac{R_g}{R_\delta} \left[1 - \frac{\exp\left(\frac{1}{\tau_g}\right) - \frac{1}{\tau_g} - 1}{\frac{1}{\tau_g} \exp\left(\frac{1}{\tau_g}\right) - \exp\left(\frac{1}{\tau_g}\right) + 1} \right], \quad (9)$$

$$|R| \approx \frac{\exp\left(\frac{1}{\tau_g}\right) - \frac{1}{\tau_g} - 1}{\frac{1}{\tau_g} \exp\left(\frac{1}{\tau_g}\right) - \exp\left(\frac{1}{\tau_g}\right) + 1}. \quad (10)$$

В случае измерения больших влажностей:

$$\delta \approx 1 - \frac{\exp\left(\frac{1}{\tau_\delta}\right) - \frac{1}{\tau_\delta} - 1}{\frac{1}{\tau_\delta} \exp\left(\frac{1}{\tau_\delta}\right) - \exp\left(\frac{1}{\tau_\delta}\right) + 1}, \quad (11)$$

$$|R| \approx \frac{\exp\left(\frac{1}{\tau_\delta}\right) - \frac{1}{\tau_\delta} - 1}{\frac{1}{\tau_\delta} \exp\left(\frac{1}{\tau_\delta}\right) - \exp\left(\frac{1}{\tau_\delta}\right) + 1}. \quad (12)$$

На основании анализа приведенных выражений в работе показано, что при выборе соответствующих значений параметров измерительной системы и длительностей воздействующих импульсов качественные показатели влагометрических систем, использующих ИИМ определения влажности, всегда могут быть получены в требуемых пределах.

В третьей главе диссертации производится сравнительная оценка АИМ, ШИМ и ИИМ измерения влажности материалов, а

также рассматриваются некоторые принципиальные вопросы построения и анализа ИВС.

Построение влагометрических систем связано прежде всего с получением необходимой точности измерений, в связи с чем сравнение различных импульсных методов измерения влажности сыпучих материалов следует в первую очередь производить по основным качественным показателям: погрешности измерений и разрешающей способности. При этом показано, что для наиболее объективной оценки импульсных методов определения влажности представляется целесообразным ввести понятие обобщенного критерия качества λ , который удобно определять как отношение разрешающей способности к погрешности измерений:

$$\lambda = \frac{|R|}{|\delta|}. \quad (13)$$

Соотношения, определяющие обобщенный критерий качества для различных импульсных методов измерения влажности, получены в виде:

$$\lambda_A = \left(\frac{R\delta}{R_g} + 1 \right) \cdot \frac{1}{\tau} \cdot \frac{1}{\exp\left(\frac{1}{\tau}\right) - \frac{1}{\tau} - 1} \quad (14)$$

- для АИМ;

$$\lambda_{\omega} = \left(\frac{R\delta}{R_g} + 1 \right) \left[1 - \frac{\frac{R_g}{R\delta} + 1}{\frac{1}{\bar{U}_n} - \frac{R_g}{R\delta} - 1} \cdot \frac{1}{\ln \frac{1/\bar{U}_n}{1/\bar{U}_n - R_g/R\delta - 1}} \right]^{-1} \quad (15)$$

- для ШИМ;

$$\lambda_{\Pi} = \left(\frac{R\delta}{R_g} + 1 \right) \cdot \frac{\exp\left(\frac{1}{\tau}\right) - \frac{1}{\tau} - 1}{\exp\left(\frac{1}{\tau}\right)\left(\frac{1}{\tau} - 2\right) + \frac{1}{\tau} + 2} \quad (16)$$

- для ИИМ.

Анализ приведенных выражений показывает, что при работе во всем диапазоне измеряемой влажности лучшими качественными показателями обладают влагометрические системы, основанные на ИИМ определения влажности.

Построение систем экспрессного определения влажности материалов связано не только с обеспечением необходимой точности измерений, но также с разработкой устройств, экономически оправданных и достаточно просто реализуемых технически. Сравнение различных типов ИВС с точки зрения сложности их построения показывает, что наиболее простыми являются АИВС, состоящие всего из трех принципиально необходимых функциональных блоков: блок калиброванных импульсов БКИ, блок первичного преобразования БПП и блок выделения информации БВИ. Наиболее сложными являются ШИВС, в состав которых по сравнению с АИВС входят еще два блока: блок вторичного преобразования БВП и интегратор И. ИИВС, состоящие из четырех принципиально необходимых функциональных блоков: БКИ, БПП, И и БВИ, занимают промежуточное положение.

Исследование реальных ИВС, использующих многократное импульсное воздействие, показывает, что изменение влажности материалов влияет на изменение формы сигнальных импульсов не только через коэффициент передачи БПП и его постоянную времени, но и через остаточное напряжение динамического смещения, для которого получено выражение:

$$\bar{U}_0 = K(\infty) \cdot \frac{\exp\left(\frac{1}{\tau} - 1\right)}{\exp\left(\frac{Q}{\tau}\right) - 1} A. \quad (17)$$

В формуле (17) Q — скважность импульсов, равная отношению периода следования импульсов к их длительности.

Для основных качественных показателей ИИВС получены соотношения:

$$|R| = \frac{(y-1)(y^{Q-1}-1) - \frac{1}{T} \cdot \frac{y^{2Q-1} + (Q-1)y^{Q+1} - 2Qy^Q + (Q-1)y^{Q-1} + y}{y^Q - 1}}{\frac{1}{T} \cdot \frac{Q-1}{Q} (y^Q - 1) - (y-1)(y^{Q-1} - 1)}, \quad (18)$$

$$\delta = \frac{R_{gn} / R_{\delta}}{1 + R_{gn} / R_{\delta}} \cdot (1 - |R|), \quad (19)$$

в которых $y = \exp\left(\frac{1}{T}\right)$, $\tau = R_{gn} C_{\delta}$, $R_{gn} C_{\delta} = \frac{R_{gn} R_{\delta}}{R_{gn} + R_{\delta}}$
и $R_{gn} = \frac{R_g R_n}{R_g + R_n}$.

Сравнение ИИВС, использующих методы однократного и многократного воздействия, по обобщенному критерию качества позволяет считать, что значительно лучшими качественными показателями обладают системы, использующие методы многократного импульсного воздействия.

В четвертой главе диссертации исследуются вопросы, связанные с повышением информационной способности ИВС. В главе показано, что с информационной точки зрения оптимальными являются системы, позволяющие отстраиваться от влияния мешающих факторов с минимальной среднеквадратической погрешностью, причем принципиальная возможность построения таких систем имеется, например, при использовании многочастотных методов. Однако, в общем случае, когда число мешающих факторов стремится к бесконечности, что требует бесконечного количества рабочих частот, возможность практической реализации много-

частотных влагометрических систем отсутствует.

Влияние мешающих факторов, связанных с неоднородностью физико-химического состава материалов, в ИВС практически устраняется путем выбора соответствующих значений параметров измерительных систем, а также длительностей и скважностей воздействующих импульсов.

Устранение влияния неоднородности контролируемой массы, неравномерной плотности распределения, различной ориентации отдельных гранул контролируемого материала в рабочем поле датчика и ряда других мешающих факторов, изменяющихся по случайному закону при повторных измерениях одного и того же образца, связано с необходимостью повышения информационной способности ИВС.

В импульсных системах экспрессного измерения влажности сыпучих материалов, в которых определение влажности производится без разрушения образца, для повышения информационной способности предлагается использовать последовательное прохождение импульсов через датчик с контролируемым материалом по множеству направлений с последующей интегральной оценкой изменений параметров сигнальных импульсов.

При прохождении импульсов через измерительный датчик с образцом по множеству направлений определение влажности сводится к задаче выделения полезной информации из последовательности импульсов, все параметры которой изменяются по случайному закону.

Информация о влажности контролируемого материала в этом

случае может быть получена, во-первых, путем выделения одного из параметров последовательности, во-вторых, при выделении совокупности всех или некоторых параметров сигнальных импульсов и, в-третьих, в случае оценки спектральных свойств импульсной последовательности.

Наиболее объективные характеристики импульсного случайного процесса, имеющего место в этом случае на выходе измерительной системы, могут быть получены в результате исследования неслучайных функций, характеризующих рассматриваемый случайный процесс, а наилучшим образом такое исследование может быть выполнено посредством спектрального анализа последовательности сигнальных импульсов. При этом наиболее общие характеристики процесса могут быть получены при оценке энергетического спектра последовательности импульсов, проходящих через датчик с контролируемым образцом по множеству направлений и несущих информацию о влажности материала.

Энергетический спектр в этом случае определяется соотношением:

$$G(\omega) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{2}{(2N+1)T} M_1 \left\{ |S_N^{(k)}(\omega)|^2 \right\}, \quad (20)$$

в котором математическое ожидание квадрата модуля спектра с учетом специфических особенностей определения влажности сыпучих материалов может быть найдено в виде:

$$M_1 \left\{ |S_N^{(k)}(\omega)|^2 \right\} = \sum_{n=-N}^N A_n(\omega) + \sum_{\substack{n=-N \\ n \neq j}}^N \sum_{j=-N}^N B_{n,j}(\omega), \quad (21)$$

где

$$A_n(\omega) = M_1 \left\{ (h_n^{(\kappa)} \tau_n^{(\kappa)})^2 |S(\omega \tau_n^{(\kappa)})|^2 \right\}, \quad (22)$$

$$B_{n,j}(\omega) = M_1 \left\{ h_n^{(\kappa)} h_j^{(\kappa)} \tau_n^{(\kappa)} \tau_j^{(\kappa)} S(\omega \tau_n^{(\kappa)}) S^*(\omega \tau_j^{(\kappa)}) \exp[-i\omega(t_n^{(\kappa)} - t_j^{(\kappa)})] \right\}. \quad (23)$$

При прохождении сигнальных импульсов через измерительный датчик с образцом по множеству направлений на выходе измерительной системы формируются импульсные последовательности, вероятностные характеристики которых не зависят от номера импульсов, а вероятностные характеристики совокупности импульсов зависят только от взаимного расположения их номеров, то есть от разности $p = n - j$.

При этом:

$$A_n(\omega) = A(\omega); \quad B_{n,j}(\omega) = B_p(\omega), \quad (24)$$

следовательно:

$$\sum_{n=-N}^N A_n(\omega) = (2N+1) A(\omega), \quad (25)$$

$$\sum_{n=-N}^N \sum_{\substack{j=-N \\ n \neq j}}^N B_{n,j}(\omega) = \sum_{p=1}^{2N} (2N+1-p) [B_p(\omega) + B_p(-\omega)]. \quad (26)$$

Подставляя (21) в (20) и учитывая соотношения (25) и (26), для энергетического спектра рассматриваемых импульсных последовательностей может быть получено выражение:

$$G(\omega) = \frac{2}{T} \left\{ A(\omega) + 2 \sum_{p=1}^{\infty} \operatorname{Re} B_p(\omega) \right\} \quad (27)$$

Полученное соотношение согласно формулам (24 + 26) показывает, что энергетический спектр последовательности сигнальных импульсов, проходящих через измерительный дат-

чик с образцом по множеству направлений, учитывает взаимную корреляцию всех случайных параметров импульсной последовательности, и, следовательно, вся информация о влажности материала содержится в энергетическом спектре сигнальных импульсов.

Исследование вопросов повышения информационной способности ИВС в рассматриваемом случае сводится к отысканию зависимости энергетического спектра от вероятностных характеристик параметров импульсного случайного процесса на выходе измерительной системы. К таким характеристикам относятся:

- математическое ожидание a и дисперсия σ^2 случайных амплитуд сигнальных импульсов;
- математическое ожидание τ_0 и дисперсия σ_τ^2 случайных длительностей импульсов;
- коэффициент корреляции R_p амплитуд n -го и j -го импульсов;
- коэффициент корреляции $R_{\tau, p}$, длительностей n -го и j -го импульсов;
- одномерная $W_{1\tau}(x)$ и двумерная $W_{2\tau}(x, y, \rho)$ функции распределения длительностей сигнальных импульсов.

При этом в соответствии с выражениями (24) и (22)

$$A(\omega) = (a^2 + \sigma^2) A_0(\omega), \quad (28)$$

где

$$A_0(\omega) = \int_0^{\infty} x^2 |S(\omega x)|^2 W_{1\tau}(x) dx. \quad (29)$$

Принимая во внимание соотношения (24) и (23):

$$B_p(\omega) = (\sigma^2 R_p + a^2) A_p(\omega) H_p(\omega), \quad (30)$$

где

$$A_p(\omega) = \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} xy S(\omega x) S^*(\omega y) W_{2r}(x, y, p) dx dy, \quad (31)$$

$$H_p(\omega) = M_1 \left\{ \exp[-i\omega(t_n^{(k)} - t_j^{(k)})] \right\}. \quad (32)$$

Так как, согласно (32),

$$\lim_{p \rightarrow 0} H_p(\omega) = 1, \quad (33)$$

то, как следует из формул (29 + 31), функции $A_0(\omega)$,

$A_p(\omega)$ и $B_p(\omega)$ связаны следующим соотношением:

$$A_0(\omega) = \lim_{p \rightarrow 0} A_p(\omega) = \lim_{p \rightarrow 0} \frac{B_p(\omega)}{\sigma^2 + a^2}. \quad (34)$$

Выражения (27 + 32) характеризуют зависимость между энергетическим спектром последовательности сигнальных импульсов, несущих информацию о влажности контролируемого материала, и вероятностными характеристиками их параметров.

Формулы (27), (28) и (30) позволяют получить выражение для энергетического спектра импульсного случайного процесса, имеющего место в случае прохождения сигнальных импульсов через измерительный датчик с материалом по множеству направлений, в следующем виде:

$$G(\omega) = \frac{2}{T} \left\{ (a^2 + \sigma^2) A_0(\omega) + \lim_{N \rightarrow \infty} \sum_{p=1}^{2N} \left(1 - \frac{p}{2N+1}\right) (\sigma^2 R_p + a^2) \operatorname{Re}[A_p(\omega) H_p(\omega)] \right\}. \quad (35)$$

Соотношение (35) справедливо для любых импульсных последовательностей и может быть использовано при оценке энергетического спектра сигнальных импульсов, несущих информацию о влажности материала, все параметры которых изменяются по случайному закону.

W011500

Поскольку при практическом построении ИВС целесообразно использовать последовательности импульсов с детерминированными тактовыми интервалами, то окончательное выражение для энергетического спектра импульсного случайного процесса на выходе измерительной системы может быть преобразовано к следующему виду:

$$G(\omega) = \frac{2}{T} \left[(\alpha^2 + \delta^2) A_0(\omega) - \alpha^2 |B_{10}(\omega)|^2 A_\infty(\omega) + \Phi(\omega) + \alpha^2 |B_{10}(\omega)|^2 A_\infty(\omega) \frac{2\pi}{T} \sum_{z=-\infty}^{\infty} \delta\left(\omega - \frac{2\pi z}{T}\right) \right]. \quad (36)$$

Анализ полученного соотношения показывает, что энергетический спектр выходной последовательности сигнальных импульсов состоит из непрерывной и дискретной частей. Поскольку от корреляции импульсов зависит только непрерывная часть спектра, то в случае постоянства параметров сигнальных импульсов, проходящих через измерительный датчик с образцом по множеству направлений, и при сохранении этого постоянства от измерения к измерению, что соответствует равномерному распределению контролируемого материала в рабочем поле датчика, непрерывная часть спектра исчезает. При этом дискретная часть энергетического спектра последовательности сигнальных импульсов с детерминированными тактовыми интервалами, несущая информацию о влажности контролируемых материалов, совпадает с энергетическим спектром импульсной последовательности на выходе измерительной системы при однозначности электрических параметров образца в рабочем поле датчика.

Таким образом, мешающие факторы, воздействующие от измерения к измерению влажности одной и той же массы контроли-

руемого материала по случайному закону, влияют только на непрерывную часть энергетического спектра последовательности сигнальных импульсов с детерминированными тактовыми интервалами. Следовательно, всегда имеется принципиальная возможность отстройки от влияния мешающих факторов и повышения информационной способности ИВС.

В пятой главе диссертации приводятся и обрабатываются результаты экспериментальных исследований ИВС на модели и на объекте.

Экспериментальные исследования, проведенные в диссертационной работе, были связаны, с одной стороны, с оценкой основных качественных показателей импульсных методов определения влажности в режимах однократного и многократного воздействий с целью определения критериев качества практически реализуемых ИВС. С другой стороны, учитывая, что в реальных влагометрических системах, работающих в режиме многократного импульсного воздействия, имеется тенденция к улучшению качественных показателей, решалась задача экспериментального определения оптимальных значений скважности сигнальных импульсных последовательностей, нахождение которых теоретическим путем представляет значительные трудности.

Оценка погрешности измерений, разрешающей способности и обобщенного критерия качества импульсных методов определения влажности в режиме однократного воздействия показала достаточно хорошее совпадение полученных экспериментально и теоретически рассчитанных значений качественных показателей ИВС, что подтверждает результаты тео-

ретических исследований указанных методов.

Экспериментальное определение основных качественных показателей импульсных методов измерения влажности в режиме многократного воздействия позволило, во-первых, найти оптимальные значения скважности импульсов, характеризующие максимальным значением обобщенного критерия качества, и, во-вторых, получить упрощенные выражения для оценки качественных показателей рассмотренных методов и оптимальных значений скважности импульсных последовательностей, что дало возможность значительно упростить решение задач практического построения ИВС.

Результаты исследований, проведенных в диссертационной работе, были использованы при разработке импульсных влагомеров зерновых сельскохозяйственных культур. Испытания экспериментального образца интегрально-импульсного влагомера зерна ИВЗ-1, использующего многократное воздействие, показали, что прибор по своим качественным показателям полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к системам экспрессного определения влажности зерна при технологической обработке и хранении.

ВЫВОДЫ

1. Для устранения основного недостатка существующих высокочастотных методов измерения влажности сыпучих материалов, заключающегося в том, что испытуемый образец принимает косвенное участие в измерении и, следовательно, исключается принципиальная возможность построения влагометрических систем, позволяющих получать полную информацию о контролируемом параметре, в системах экс-

прессного определения влажности сыпучих материалов предлагается использовать методы непосредственного импульсного воздействия на испытуемый образец, причем определение влажности материала целесообразно производить по изменению амплитуды, длительности или площади сигнальных импульсов.

2. В результате исследований ИВС, работающих в режиме однократного воздействия, установлено, что при соответствующем выборе параметров систем и длительности сигнальных импульсов погрешность измерений АИВС и ИИВС может быть получена минимально возможной, близкой к нулю, а разрешающая способность — максимальной, стремящейся к единице.

3. Для сравнительной оценки ИВС предложен обобщенный критерий качества, представляющий собой отношение разрешающей способности к погрешности измерений.

4. Произведено сравнение различных типов ИВС по обобщенному критерию качества и показано, что лучшими качественными показателями обладают ИИВС.

5. Рассмотрены некоторые принципиальные вопросы, связанные с практическим построением ИВС, и показано, что с точки зрения сложности построения наиболее простыми являются АИВС, наиболее сложными — ШИВС, а ИИВС занимает промежуточное положение.

6. Исследованы методы многократного импульсного воздействия и показано, что ИВС, работающие в режиме многократного воздействия, обладают значительно лучшими качественными показателями по сравнению с ИВС однократного воздействия.

7. Предложен и исследован способ повышения информационной способности ИВС, заключающийся в использовании после-

2. Устройство для измерения токов в демпферной обмотке синхронного генератора. Авт.свид. № I7I907 от 22/УІ-1965. "Бюллетень изобретений и открытий", № 12, 1965.

По теме диссертации сделаны доклады

1. На УШ научно-технической конференции института Электромеханики. Ленинград, 1964.

2. На Всесоюзной межвузовской научной конференции по новым физическим методам обработки пищевых продуктов. Воронеж, 1968.

3. На Всесоюзной конференции молодых ученых по тепло- и массообмену. Минск, 1969.

4. На X научно-технической конференции молодых ученых Агрофизического НИИ ВАСХНИЛ. Ленинград, 1968.

РТП ЛИСТ
М-15350

Зак. 154
8.7.70.

Тираж 200 экз.
Бесплатно.