

УДК 621.317.39:543.712

РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ДВУХПАРАМЕТРОВОГО ВЛАГОМЕРА

Ю. Ю. Дьяченко

Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля
просп. Советский, 59-а, г. Северодонецк, 93400, Украина. E-mail: y.dyachenko@mail.ru

Предложено формирование функциональной структуры влагомера, описываемой с помощью функциональной схемы. Описание функциональной структуры прибора выполнено с помощью общей функциональной модели и детальной функциональной структуры, состоящей из функциональных элементов и их связей. Разрабатываемый влагомер является информационно-измерительной системой контроля влажности. Функциональная схема влагомера разработана в несколько этапов. При составлении функциональной схемы были использованы принципы абстрагирования. Детализация функциональной схемы проведена с учетом алгоритма расчета влажности. Были выделены обязательные и необязательные элементы функциональной схемы, а также дополнительные устройства. Предложена подробная функциональная схема влагомера с персональным компьютером. Разработанная функциональная структура позволяет сконструировать прибор контроля влажности зернистых материалов с повышенной точностью.

Ключевые слова: влагомер, функциональная структура, функциональная схема.

РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ДВОПАРАМЕТРОВОГО ВОЛОГОВИМІРЮВАЧА

Ю. Ю. Д'яченко

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля
просп. Радянський, 59-а, м. Северодонецьк, 93400, Україна. E-mail: y.dyachenko@mail.ru

Запропоновано формування функціональної структури вологоміра, що описується за допомогою функціональної схеми. Опис функціональної структури приладу виконано за допомогою загальної функціональної моделі і детальної функціональної структури, що складається із функціональних елементів і їх зв'язків. Вологомір, що розроблюється, є інформаційно-виміральною системою контролю вологості. Функціональна схема вологоміра розроблена в кілька етапів. При складанні функціональної схеми були використані принципи абстрагування. Деталізація функціональної схеми проведена з урахуванням алгоритму розрахунку вологості. Були виділені обов'язкові і не обов'язкові елементи функціональної схеми, а також додаткові пристрої. Запропонована докладна функціональна схема вологоміра з персональним комп'ютером. Розроблена функціональна структура дозволяє сконструювати прилад контролю вологості зернистих матеріалів із підвищеною точністю.

Ключові слова: вологомір, функціональна структура, функціональна схема.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Мобильные оперативные приборы контроля влажности (влагомеры) создаются на базе высокочастотного метода. Построение на основе алгоритма расчета влажности с повышенной точностью функциональной схемы, позволяющей более глубоко исследовать процессы, протекающие в рассматриваемых приборах, является актуальной задачей.

Значительный вклад в разработку приборов неразрушающего контроля влажности внесли такие выдающиеся ученые, как М.А. Берлинер, Ю.П. Секанов [1], Е.С. Кричевский [2], В.С. Ройфе, Б.И. Невзлин [3].

Целью работы является описание функциональной структуры прибора с помощью общей функциональной модели и детальной функциональной структуры, состоящей из функциональных элементов и их связей.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Построение функциональной схемы двухпараметрового влагомера проводим по методике, изложенной в [4, 5].

Описание структуры прибора осуществляем на уровне функций, рассматривая функциональную структуру влагомера, описываемую с помощью функциональной схемы. Необходимость такого рассмотрения, абстрагированного от конструкции конкретного прибора, объясняется следующим:

а) основные взаимосвязи и закономерности, которым подчиняется структура прибора, могут быть выявлены и описаны в общем виде только при дос-

таточно высоком уровне абстрагирования;

б) такое рассмотрение позволяет лучше оценить, как правило, высокую комплексность и большую сложность структуры прибора, обычно не поддающейся полному логическому и математическому описанию;

в) кроме того, это рассмотрение позволяет конструктору более эффективно осуществить анализ и синтез прибора.

Описание функциональной структуры прибора производим с помощью общей функциональной модели и детальной функциональной структуры, состоящей из функциональных элементов и их связей.

1. *Общая функциональная модель.* Отношения между прибором и окружающей средой описываются обобщенной моделью функций влагомера. С учетом характера этих отношений выделяем три категории сопряжений влагомера и окружающей среды, оказывающих решающее влияние на его структуру:

1. *Сопряжение 1* – уровень преобразования. Прибор предназначен для контроля влажности и реализует свои функции посредством преобразования прибором входной величины – электрических свойств зернистого материала (ЗМ): активной проводимости g_0 и емкости C_0 в выходную – влажность W . Поэтому говорят о функции преобразования влагомера.

2. *Сопряжение 2* – уровень коммуникации. С помощью прибора производится обмен информацией между влагомером, человеком и приборами, управ-

ляющими технологическим процессом, в котором участвует ЗМ. Обмен осуществляется с помощью:

- а) коммуникационных входных величин, предназначенных для осуществления функции преобразования или управления ею. В разрабатываемом влагомере коммуникационными входными величинами являются управляющие воздействия оператора;
- б) коммуникационных выходных величин, предназначенных для обратной связи и контроля выполнения этой функции.

Поэтому речь здесь идет о функции коммуникации влагомера.

3. *Сопряжение 3* – уровень возмущений. На этом уровне учитываем все, не относящиеся к функции влагомера как прибора, контролирующего влажность, и воздействующие на него в качестве независимых переменных, входные и выходные величины, чаще всего нежелательно влияющие:

- а) на прибор в виде возмущающих величин;
- б) на окружающую среду в виде возмущающих величин.

С учетом этих величин необходимо предусматривать мероприятия, целью которых является, в основном, обеспечение надежности выполнения функций преобразования и поддержание неизменными определенных условий среды, окружающей влагомер. Эта функция называется функцией надежности.

С помощью этих трех категорий входных и выходных величин можно построить структуру обобщенной модели функции [5], состоящую из трех частей функций – преобразования, коммуникации и надежности (рис. 1) В соответствии с их задачами последние две из этих функций имеют непосредственные внутренние связи с функцией преобразования.

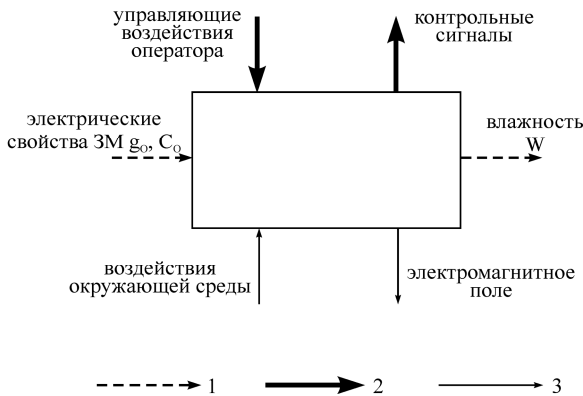


Рисунок 1 – Обобщенная модель функций влагомера: 1 – величины преобразования; 2 – величины коммуникации; 3 – величины возмущений

II. *Функция преобразования.* С позиций теории систем [5] функцию преобразования прибора можно определить следующим образом. Функция преобразования представляет собой свойство влагомера преобразовывать электрические свойства ЗМ в информацию о его влажности, используемое для контроля влажности. Входная величина этой функции – электрические свойства ЗМ при определенных условиях окружающей среды преобразуются в ее выходную величину – информацию о влажности ЗМ. Требуемое преобразование входных величин в вы-

ходные осуществляется с помощью качественного и количественного преобразования.

Функция преобразования информации является первичной по отношению к другим. Поэтому можно говорить об основной – первичной и о вспомогательных – вторичных функциях преобразования. Основной функцией влагомера является функция преобразования информации об электрофизических свойствах ЗМ в информацию о его влажности. Вспомогательной функцией является функция преобразования энергии: входной величины – электрической энергии, необходимой для выполнения основной функции, в выходную величину – электромагнитное поле.

Разрабатываемый влагомер является информационно-измерительной системой [4] контроля влажности. Функциональную схему влагомера разрабатываем в несколько этапов [5].

Анализируя различия между входными и выходными величинами функций элементов, проводим построение функциональной структуры с привлечением известных функциональных элементов с учетом функций системы так, чтобы выявленные различия были преодолены. Используем принцип замены сложных частных элементов простыми до тех пор, пока не будут известны конструктивные элементы, реализующие их [5].

Вначале ориентируемся на данные об общей функции и словесно, с применением общих понятий, описываем частные функции. Затем определяем входные и выходные величины настолько подробно, насколько это позволяют условия их анализа. Эффективную помощь при разработке функциональных структур оказывает разделение потоков информации, материалов и энергии в приборе [5].

При составлении функциональной схемы используем следующие принципы абстрагирования [5]:

1. Отбрасывание величин, не относящихся к выполнению функции.
2. Пренебрежение количественными данными.
3. Неучет признаков функционально важных входных и выходных величин.

Построение функциональной структуры влагомера, представленной в виде черного ящика, начинаем с входных и выходных величин. Простейшая функциональная схема (рис. 2) отражает входные воздействия: электрические свойства ЗМ, которые преобразуются в влагомере в сигнал влажности W.

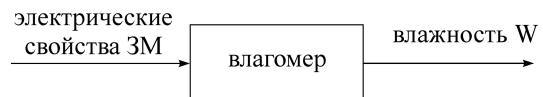


Рисунок 2 – Простейшая функциональная схема влагомера

Детализацию функциональной схемы проводим с учетом алгоритма расчета влажности [6]. Информативными параметрами по влажности и плотности ЗМ являются, соответственно, емкость тела частицы и емкость межчастичного пространства. Наименьшее влияние на результат измерения и вычисления емкости активная проводимость оказывает при наибольшем сопротивлении ЗМ. Поэтому в качестве рабочих частот выбираем частоты, на которых ак-

тивная проводимость ЗМ минимальна по отношению к емкостной проводимости. Такими частотами для зерна являются 14 и 30 МГц, для почвы – 0,5 и 1,59 МГц, для угля – 5,1 и 17 МГц. На основании полученных результатов возможно построение алгоритма контроля влажности с повышенной точностью:

1. При конструировании и градуировке прибора.

1. Определяются емкость и активная проводимость измерительного преобразователя (ИП) с ЗМ C_0, g_0 во всем диапазоне рабочих частот прибора.

2. Рассчитываются промежуточные параметры схемы замещения ЗМ C_3, C_4, g_3, g_4 на всем диапазоне рабочих частот прибора.

3. Рассчитываются локальные параметры: активная проводимость частицы ЗМ g_1 , емкость частицы C_1 и межчастичного пространства C_2 на всем диапазоне рабочих частот прибора.

4. Выбирается индивидуальная для материала пара частот f_1 и f_2 , на которых g_1 оказывает наименьшее влияние на C_1 и C_2 .

5. Рассчитываются индивидуальные для материала коэффициенты $k_{a1}, k_{a2}, k_{b1}, k_{b2}$.

II. При контроле влажности.

6. Измеряются емкость и активная проводимость ИП с ЗМ $C_{01}, C_{02}, g_{01}, g_{02}$ на частотах f_1 и f_2 .

7. Рассчитываются промежуточные параметры схемы замещения ЗМ C_3, C_4, g_3, g_4 на частотах f_1 и f_2 .

8. Рассчитываются локальные параметры: активная проводимость частицы ЗМ g_1 , емкость частицы C_1 и межчастичного пространства C_2 на частотах f_1 и f_2 .

9. Определяются мультипликативный a и аддитивный b коэффициенты градуировочной характеристики, зависящие от материала и его плотности.

10. По величине C_1 , определенной на выбранных частотах, рассчитывается влажность материала.

Предлагаемый алгоритм позволяет значительно снизить влияние плотности образца ЗМ в ИП на результат контроля влажности за счет определения коэффициентов градуировочной характеристики по величине емкости между частицами, которая практически не зависит от влажности, но имеет хорошую корреляцию с плотностью ЗМ. Расчет влажности зерна по локальным параметрам позволяет повысить точность ее определения на 0,1–0,2 % влажности.

Информация об электрических свойствах ЗМ имеет аналоговый характер. Учитывая сложность формул для расчета влажности и дешевизну цифровых вычислительных устройств, выполнение операций с сигналами, несущими информацию об электрических свойствах ЗМ, осуществляется над сигналами в цифровом виде.

Результат вычислений выводится в доступном для восприятия человеком виде. Соответственно составлена упрощенная функциональная схема влагомера (рис. 3), разделенного на:

а) измерительную схему, снимающую аналоговую информацию об электрических свойствах ЗМ и преобразующую ее в цифровой сигнал;

б) решающее устройство, осуществляющее расчет влажности W в цифровой форме;

в) устройство отображения, преобразующее

цифровой сигнал влажности в вид, удобный для восприятия.

Построение детальной функциональной схемы [1] влагомера проводим, опираясь на алгоритм расчета влажности. Обязательными элементами функциональной схемы являются:

устройство сбора информации – датчик [7];

устройство действия на объект контроля – измерительный мост, питаемый генератором;

устройство обработки информации – персональный компьютер (ПК);

устройство отображения и индикации – монитор персонального компьютера.

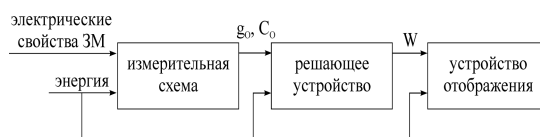


Рисунок 3 – Упрощенная функциональная схема влагомера

Необязательные элементы функциональной схемы: устройство передачи информации – соединительные проводники, шины в ПК;

устройства преобразования сигнала – усилитель и аналогово-цифровой преобразователь.

Дополнительные устройства – блок питания.

Соответственно изображаем расширенную функциональную схему влагомера с ПК на рис. 4.

Для реализации предложенного алгоритма расчета влажности необходимо применение двухчастотного метода контроля.

Разрабатываемый влагомер является многопараметрической системой, которая измеряет емкость и активную проводимость ИП с ЗМ на двух частотах электрического поля, поэтому используется два параллельных измерительных канала. Для измерения электрических параметров ЗМ необходим измерительный преобразователь влажности ИП.

Измерительные мосты $ИМ1$ и $ИМ2$, питаемые от генераторов $G1$ и $G2$, воздействуют на ЗМ, помещенный в ИП.

Генераторы представляют собой источники ВЧ напряжения на транзисторе и LC-контуре. Частота генераторов выбирается в соответствии с типом контролируемого материала. В качестве ИМ для зерна (при небольших величинах активной проводимости) применяются диодно-емкостные мосты (ДЕМ).

При подключении ИП с ЗМ к измерительным плечам ДЕМ на выходе $ИМ1$ и $ИМ2$ появляются сигналы постоянного тока, пропорциональные проводимости ИП на частотах f_1 и f_2 . Расчет выходных характеристик мостов описан в [3]. ИП выполняется в виде конденсатора особой конструкции. В качестве ИП используются:

дисковые и бесконтактные ИП (для контроля влажности на конвейере);

дискретные ИП (для определения влажности отдельных образцов ЗМ).

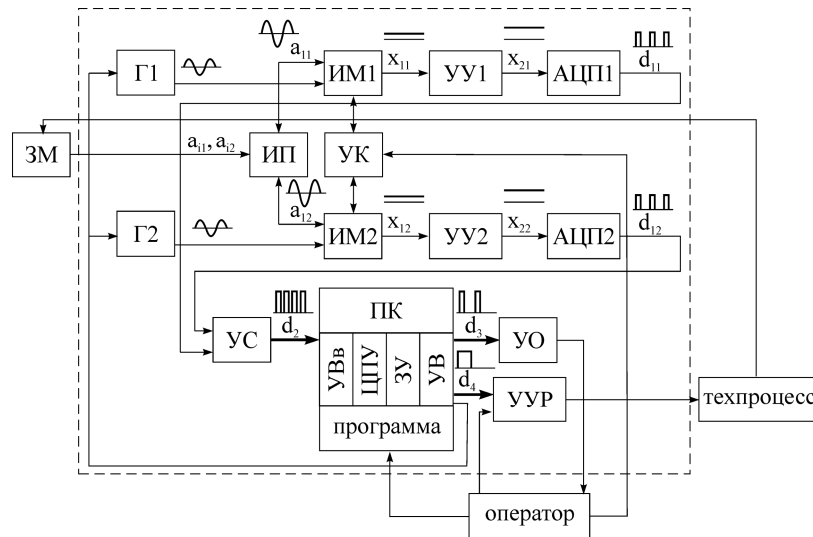


Рисунок 4 – Подробная функциональная схема влагомера с ПК

Размеры и форма рабочих поверхностей ИП определяется механическими и электрическими свойствами ЗМ и конструктивными соображениями. Вопрос выбора и проектирования емкостных ИП подробно освещен в [3]. Входными сигналами ИП a_{i1} , a_{i2} являются интегральная активная и реактивная проводимости ЗМ, а выходными – активная и реактивная проводимости a_{11} , a_{12} ИП на соответствующих частотах. Величины этих сопротивлений измеряются ИМ, выходными сигналами которых являются напряжения постоянного тока x_{11} и x_{12} , пропорциональные емкостной и активной проводимости [3]. Узлы унификации УУ1 и УУ2 преобразуют величины сигналов в удобные для сравнения x_{21} и x_{22} . Аналогово-цифровые преобразователи АЦП1 и АЦП2 преобразуют аналоговые сигналы в цифровой код d_{11} и d_{12} . Процесс аналогово-цифрового преобразования включает процедуры квантования (дискретизации непрерывно изменяющейся величины по уровню) и кодирования в виде цифрового кода в двоичной системе счисления. [3]. Частота дискретизации выбирается из оптимального соотношения между погрешностью дискретизации и стоимостью АЦП.

Устройство сопряжения УС [8] преобразует параметры сигналов d_{21} и d_{22} для ввода в ПК. УС подключается через один из интерфейсов ПК, обеспечивая информационную и электрическую совместимость АЦП и ПК. ПК состоит [9] из устройства ввода УВ, процессора ЦПУ, памяти ЗУ и устройства вывода УВ.

ПК осуществляет:

- а) расчет величины влажности по программе, составленной на основе алгоритма;
- б) управление калибровкой;
- в) самодиагностику;
- г) управление внешними отображающими устройствами.

Информация о влажности d_3 и d_4 поступает в качестве видеосигналов на устройство отображения УО и как управляющие воздействия на вход устройства управления и регулирования УУР. Последнее совместно с оператором осуществляет управление технологическим процессом, в котором участвует ЗМ. Оператор осуществляет управление самодиагностикой прибора, выбор градуировочной характе-

ристики. Контроль исправности ВЧ блока осуществляется узлом контроля УК.

Для определения исправности генераторов и мостов ИП отключается от ИМ, вместо него подключается эталонный конденсатор. По сигналам, поступающим с мостов, определяется исправность узлов схемы. Питание элементов схемы осуществляется с помощью блока питания БП (на схеме не показан).

III. *Функция коммуникации.* Функция коммуникации [5] реализует необходимые информативные связи между оператором и влагомером, а также другими техническими устройствами в целях:

а) управления функцией прибора путем преобразования внешних управляющих (задающих) величин во внутренние управляющие величины. Таким образом осуществляется выбор оператором градуировочной характеристики и ИП в зависимости от вида ЗМ;

б) контроля выполнения функции прибором посредством преобразования внутренних контрольных величин во внешние контрольные величины. Реализуется как сигналы световой индикации о нормальной работе влагомера;

в) управления функцией других технических устройств посредством преобразования внутренних управляющих величин во внешние. Реализуется как интерфейс взаимодействия с устройствами, управляющими техпроцессами, в которых принимает участие ЗМ (сушка зерна).

IV. *Функция надежности* [11]. Функция надежности состоит из трех частных задач [5]:

а) обеспечение надежности выполнения функции преобразования прибора при возможных возмущениях со стороны окружающей среды путем преобразования внешних входных возмущающих величин во внутренние, не оказывающие воздействия на функцию преобразования. Реализуется корпусной защитой прибора от климатических воздействий и посторонних тел, защитой от электромагнитных полей с помощью экранирования. Выполнение функции установки обеспечивается определенным положением прибора в пространстве;

б) обеспечение надежности выполнения функции преобразования прибора при возможных собственных возмущениях, возникающих в ней, путем преобразования возмущающих величин внутренних во внешние выходные. Для сведения к минимуму

влияния собственных возмущений в приборе используются мостовые схемы, позволяющие удалить ИМ от генератора ВЧ, обработка сигнала производится в цифровом виде;

в) обеспечение безопасности среды, окружающей прибор, при возможных возмущениях, создаваемых прибором, путем преобразования внутренних возмущающих величин в выходные, не оказывающие отрицательного воздействия на окружающую среду. Защита окружающей среды осуществляется путем изоляции токоведущих частей и экранирования источников ВЧ электромагнитных волн [12].

ВЫВОДЫ. Разработанная на основе алгоритма расчета влажности с повышенной точностью функциональная структура позволяет сконструировать прибор контроля влажности зернистых материалов с повышенной точностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берлинер М.А. Измерение влажности. – М.: Энергия, 1973. – 400 с.
2. Контроль влажности твердых и сыпучих материалов / Е.С. Кричевский, А.Г. Волченко, С.С. Галушкин. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 136 с.
3. Многопараметрические влагомеры для сыпучих материалов / Н.С. Дубров, Е.С. Кричевский, Б.И. Невзлин. – М.: Машиностроение, 1980. – 144 с.
4. Основи побудови систем аналізу сигналів у

неруйнівному контролі / С.М. Маєвський, В.П. Бабак, Л.М. Щербак. – К.: Либідь, 1993. – 200 с.

5. Конструирование приборов. В 2-х кн. / Под ред. В. Краузе; пер. с нем. В.Н. Пальянова; под ред. О.Ф. Тищенко. – Кн. 1. – М.: Машиностроение, 1987. – 384 с.

6. Алгоритм определения параметров четырехэлементной РС модели зернистого материала / Б.И. Невзлин, Ю.Ю. Дьяченко, А.И. Сырцов // Вісник Східноукраїнського державного університету. – 1998. – № 4. – С. 64–66.

7. Сенсори вологості: монографія / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, Л.В. Крилик. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. – 2208 с.

8. Govindaraju B. IBM PC and Clones: Hardware, Trouble Shooting and Maintenance. – New Delhi: Tata McGraw Hill, 2002.

9. Kagan B. Computers, computer systems and networks. – М.: Mir Publishing, 1988. – 600 p.

10. Атаназевич В.И. Сушка зерна. – М.: Лабирифт, 1997. – 256 с.

11. Основы теории точности машин и приборов / В.П. Булатов, В.А. Брагинский, Ф.И. Демин и др. – СПб.: Наука, 1993. – 233 с.

12. Основы электромагнитной экологии / Ю.М. Сподобаев, В.П. Кубанов. – М.: Радио и связь, 2000. – 240 с.

DEVELOPMENT OF FUNCTIONAL DIAGRAM OF TWO-PARAMETER HYGROMETER

Y. Dyachenko

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University
prosp. Sovetskiy, 59-a, Severodonetsk, 93400, Ukraine. E-mail: y.dyachenko@mail.ru

It is proposed the hygrometer functional structure formation that is described by a functional. Description of device functional structure by using a common functional model and detailed functional structure consisting of functional elements and their connections is proposed. Developed hygrometer is an information-measuring damp control system. Hygrometer functional scheme was developed in several stages. In forming functional schemes the principles of abstraction have been used. Functional scheme specification is carried out with algorithm for humidity calculation. Mandatory and optional elements of the functional scheme and additional devices were allocated. Detailed functional scheme of hygrometer with PC is offered. Developed functional scheme allows to construct damp control device of granular materials with high accuracy.

Key words: hygrometer, functional structure, functional diagram.

REFERENCES

1. Berliner, M.A. (1973), *Izmereniya vlazhnosti* [Moisture metering]. Energiv, Moscow, USSR.
2. Krichevskiy, E.S., Volchenko, A.G., Galushkin, S.S. (1987). *Kontrol vlazhnosti tverdvih i svipuchih materialov* [Control of humidity of hard and friable materials], Energoatomizdat, Moscow, USSR.
3. Dubrov, N.S., Krichevsky, E.S. and Nevzlin, B.I. (1980), *Mnogoparametricheskie vlagomery dlja sypu-chih materialov* [Multiparameter hygrometers for bulk materials], Mashinostroenie, Moscow, USSR.
4. Maewski, S.M., Babak, V.P. and Shcherbakov, L.M. (1993), *Osnovy pobudovy system analizu sygnaliv u nerujnivnomu kontroli* [Fundamentals of systems analysis in non-destructive testing], Lybid, Kyiv, Ukraine.
5. Krause, V. (1987), *Konstruirovaniye priborov. V 2-h knigah* [Construction of devices In 2 books], Translated by Tishchenko, O.F., Mashinostroenie, Moscow, USSR.
6. Nevzlin, B.I., Dyachenko, Y.Y., Syrtsov, A.I. (1998), *Algoritm opredeleniya parametrov chetyrehjelementnoj RC modeli zernistogo materiala* [The algorithm for determining the parameters of RC four-element model of granular material], *Visnyk V.*

Dahl SNU, no. 4, pp. 64–66.

7. Osadchuk, V.S., Osadchuk, O.V., Krilik, L.V. (2003). *Sensory vologosti: monografiva* [Humidity sensor: monograph], UNIVERSUM-Vinnitsya, Vinnitsya, Ukraine.

8. Govindaraju, B. (2002), “IBM PC and Clones : Hardware, Trouble Shooting and Maintenance”, 2nd Edition, Tata McGraw Hill Pub. Co., New Delhi.

9. Kagan, B. (1988), *Kompyuteryi, kompyuternyye sistemy i seti* [Computers, computer systems and networks], Mir Publishing, Moscow, USSR.

10. Atanazevich, V.I. (1997), *Sushka zerna* [Grain drying], Labirint, Moscow, Russia.

11. Bulatov, V.P., Braginskiy, V.A., Demin, F.I. et al. (1993), *Osnovy teorii tochnosti mashin i priborov* [Fundamentals of the theory of precision machinery and instruments], Nauka, Sankt-Peterburg, Russia.

12. Spodobayev, Yu.M., Kubanov, V.P. (2000), *Osnovy elektromagnitnoy ekologii* [Fundamentals of electromagnetic ecology], Radio i svyaz, Moscow, Russia.

Стаття надійшла 18.06.2015.