

УДК 681.586.74

DOI: 10.35211/2500-0586-2024-4-49-46-52

*И. Н. Воротников, С. В. Мишуков, М. А. Мастепаненко, Ш. Ж. Габриелян, Н. А. Ставицкая***ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЕМКОСТНЫХ ДАТЧИКОВ В СОСТАВЕ
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ВЛАЖНОСТИ И НАЛИЧИЯ ПРИМЕСЕЙ В ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУРАХ****Ставропольский государственный аграрный университет**vorotn_in@mail.ru, stas.mishukov.92@mail.ru, mma_26@inbox.ru,
shaliko69@mail.ru, nata.stavitzkaja@yandex.ru

Автор, ответственный за переписку: Станислав Вадимович Мишуков, stas.mishukov.92@mail.ru

Статья посвящена особенностям применения емкостных датчиков для определения влажности и наличия примесей в зерновых культурах, что является актуальной проблемой сельскохозяйственных производителей при хранении и обработке зерна. Представлен аналитический обзор существующих методов определения влажности и выполнено их сравнение с диэлектрическим способом, на основе которого построен принцип работы емкостных датчиков. Приведены основные преимущества и недостатки таких датчиков, а также рассмотрены направления их применения при определении влажности различных зерновых культур, таких как пшеница, ячмень, кукуруза, рапс и др. Рассмотрены известные методы определения влажности и примесей с помощью прямого и уравнивающего преобразования параметров многоэлементных двух-полосников, а также предложен способ идентификации электрофизических свойств материалов. На его основе представлена информационно-измерительная система с встроенным алгоритмом обработки полученных данных, направленным на автоматизацию классических операций регулирования и управления технологическими процессами сельскохозяйственного предприятия. Приведены функциональная схема системы и блок-схемы основных циклов, выполняемых при реализации указанного алгоритма, что позволяет обеспечить высокий уровень контроля за состоянием зерновых культур в режиме реального времени.

Ключевые слова: зерновые культуры, качество, влагомер, диэлектрический способ, емкостной датчик, структурная схема, блок-схема, цикл, алгоритм

*I. N. Vorotnikov, S. V. Mishukov, M. A. Mastepanenko, Sh. Zh. Gabrielyan, N. A. Stavitskaya***FEATURES OF USING CAPACITIVE SENSORS AS PART
OF INFORMATION AND MEASURING SYSTEMS FOR DETERMINING
MOISTURE AND IMPURITY IN GRAIN CROPS****Stavropol State Agrarian University**

The article is devoted to the consideration of the features of using capacitive sensors to determine humidity and the presence of impurities in grain crops, which is an urgent problem for agricultural producers during grain storage and processing. An analytical review of existing methods for determining humidity is presented and their comparison with the dielectric method, based on which the principle of operation of capacitive sensors is built, is performed. The main advantages and disadvantages of such sensors are presented, as well as the directions of their application in determining the humidity of various cereals, such as wheat, barley, corn, rapeseed, etc. Known methods for determining humidity and impurities based on methods of direct and balancing transformation of parameters of multi-element bipolar circuits are considered, and a method for identifying the electrophysical properties of materials is proposed. Based on it, an information and measurement system with a built-in algorithm for processing the received data is presented, aimed at automating classical operations of regulation and control of technological processes of an agricultural enterprise. The functional scheme of the system and block diagrams of the main cycles performed during the implementation of the specified algorithm are presented, which made it possible to ensure a high level of control over the condition of grain crops in real time.

Keywords: crops, quality, moisture meter, dielectric method, capacitive sensor, block diagram, block diagram, cycle, algorithm

Влажность зерновых культур является одним из основных показателей качества при производстве, хранении и обработке, поскольку ее изменение приводит к ускорению процессов гниения, прорастания, образования плесени

и развития других видов порчи, что в свою очередь негативно влияет на потребительские свойства конечной продукции – муки, крупы, крахмала, хлебных и макаронных изделий [1]. Низкое качество зерновых культур может стать

причиной развития негативных процессов в животноводстве и птицеводстве, а именно, снижения количества и качества мяса, молока, яиц и т. д., поскольку в основе рациона любого животного обязательно предусмотрены злаковые – пшеница, кукуруза, ячмень и др.

Для предотвращения указанных негативных процессов требуется постоянный контроль качества зерновых культур с помощью специальных приборов – влагомеров, обеспечивающих быстрое и точное определение влажности в режиме реального времени. Основываясь на полученных данных от приборов, принимаются меры по доведению влажности культуры до регламентированных значений, например, влажность при хранении пшеницы, ржи, ячменя, риса, гречихи не должна превышать 14,5 %, кукурузы, проса, сорго, овса – 13,5 %, семян подсолнечника, рапса – 7 %, гороха, фасоли, чечевицы, бобов – 16 %. При этом слишком низкая влажность также может привести к проблемам при обработке и хранении зерна, а именно увеличению сопротивления и нагрузки на дробильные аппараты и установки для измельчения сырья [2].

На сегодняшний день существует большое количество методов определения влажности зерновых культур – воздушно-тепловые, вакуумно-тепловые, химические, дистилляционные, экстракционные, пикнометрические, механические, кондуктометрические и другие, однако одним из самых простых и наиболее эффективных является диэлькометрический (емкостной) метод [3]. Этот метод основан на явлении высокой диэлектрической проницаемости воды $\epsilon_{\text{воды}} \approx 81$ Ф/м, которая может находиться в зерновых культурах в химически, физически и механически связанных состояниях. Для его реализации применяются первичные измерительные преобразователи – емкостные датчики (ЕД), представляющие из себя простейший конденсатор с двумя электродами (рис. 1), между которыми помещается исследуемая культура. Ее увлажнение приводит к значительному изменению диэлектрической проницаемости и увеличению емкости датчика $C_{\text{дат.}}$, определяемой по следующему выражению [4]:

$$C_{\text{дат.}} = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}, \quad (1)$$

где ϵ – диэлектрическая проницаемость среды, Ф/м; ϵ_0 – относительная диэлектрическая проницаемость, Ф/м; S – площадь перекрытия пластин (электродов), мм²; d – расстояние между пластинами (электродами), мм.

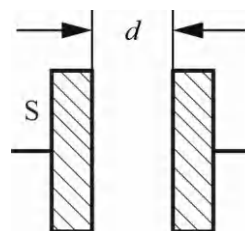


Рис. 1. Схема простейшего конденсатора

Следует отметить универсальность емкостных датчиков, которые применяются для измерения не только влажности зерновых культур, но и уровня, давления, позиционирования, толщины, перемещения и т. д. Некоторые примеры таких датчиков приведены на рис. 2 [5].



Рис. 2. Области применения емкостных датчиков

Большое количество областей применения ЕД свидетельствует об актуальности их использования для определения влажности зерновых культур, при этом на сегодняшний день разработаны и используются различные измерительные схемы, как с уравниванием сигнала от датчика – мостовые на постоянном или переменном токах (рис. 3, а–б), квазиуравновешенные, трансформаторные (рис. 3, в), многоплечие и др., так и с прямым преобразованием – резонансные, с делителем напряжения, диодно-емкостные и др. [6–7].

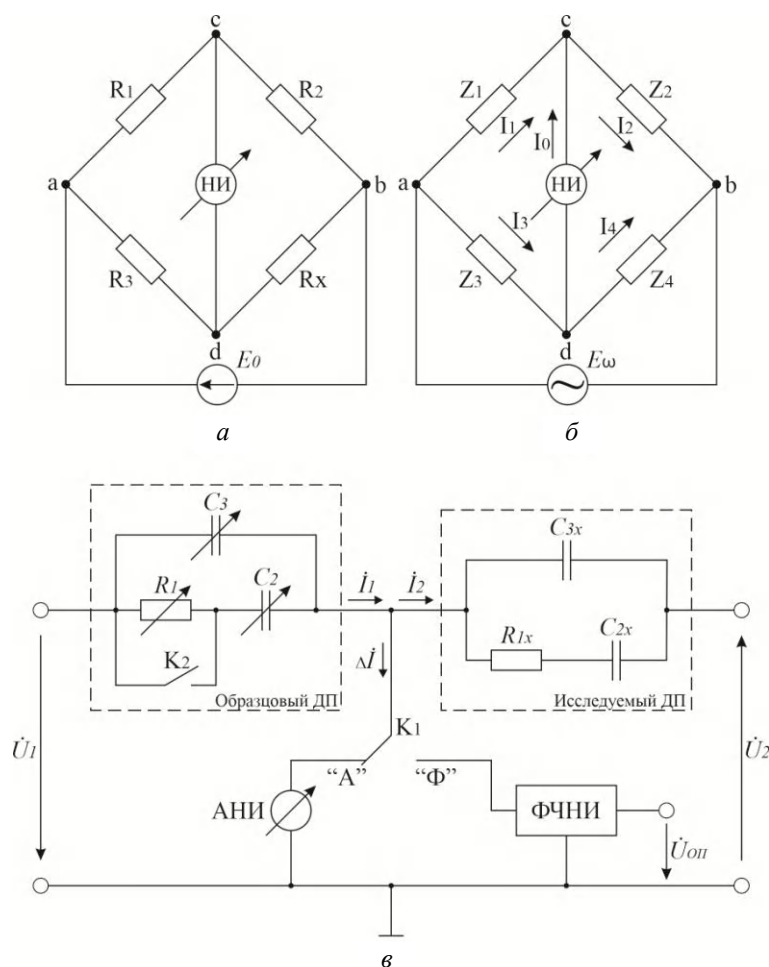


Рис. 3. Мостовые измерительные схемы:
 а – на постоянном токе; б – на переменном токе; в – одинарный трансформаторный мост

Среди методов прямого преобразования можно выделить способы получения значений влажности, построенные на анализе динамических процессов, возникающих при подаче постоянного или переменного воздействия на емкостной датчик, который условно может быть представлен схемой замещения в виде двухполюсника (ДП) (рис. 4). Для зерновых культур он состоит из четырех основных элементов – сквозного активного сопротивления R_{1x} , емкости мгновенной поляризации C_{1x} , релаксационного сопротивления R_{2x} и релаксационной поляризации C_{2x} [8].

Значительный вклад в разработку и исследование приведенных методов внес Мелентьев В. С., которым были разработаны и исследованы подходы, технические решения и алгоритмы определения параметров ДП, имеющих от двух до трех элементов с различными схемами соединения, характеризующими большое количество преобразователей и объектов измерения, например, сельскохозяйственных продуктов

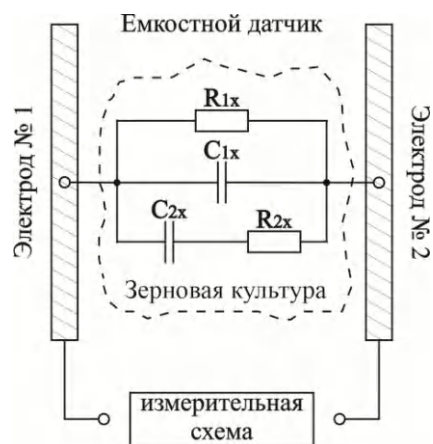


Рис. 4. Схема замещения емкостного датчика

(пшеница, ячмень, кукуруза, овес, рапс, просо и др.) [9]. Однако предложенные в его трудах технические решения имеют некоторые недостатки:

1. Необходимость проведения четырех измерений напряжения в течение быстропротекающего динамического процесса, в результате

чего происходит накопление аддитивных и мультипликативных погрешностей;

2. Ограниченное количество элементов в ДП, что снижает точность определения электрофизических свойств широкого спектра объектов измерения;

3. Различные точки включения объектов измерения в цепи прямой и обратной связи операционных усилителей, что требует посто-

янного контроля и переключения в ручном режиме.

Эти недостатки частично были устранены в предлагаемом сотрудниками Ставропольского ГАУ способе определения параметров многоэлементных двухполюсников [10], который заключается в разделении измерительного процесса на два режима – установившийся (цепь I) и динамический (цепь II) (рис. 5).

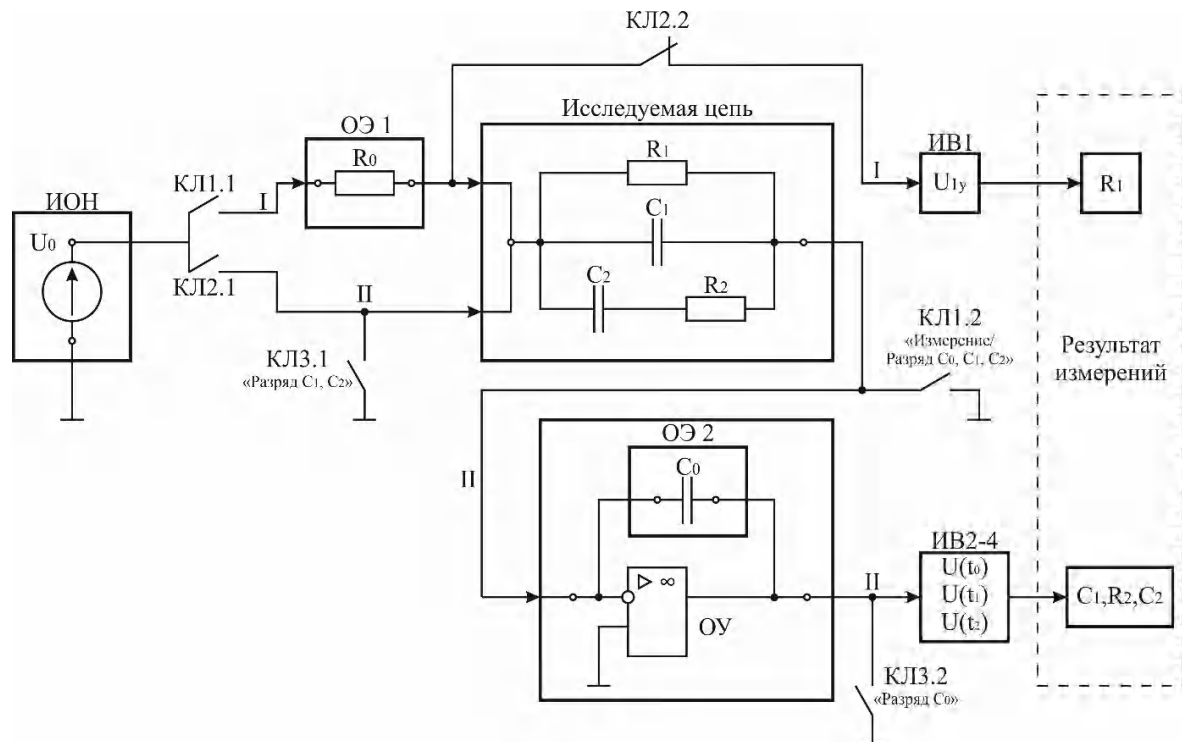


Рис. 5. Структурная схема предлагаемого способа

Подробное описание алгоритма работы предлагаемого способа представлено в публикациях [11–12], в которых была обоснована актуальность его применения в информационно-измерительных и управляющих системах для определения влажности и примесей зерновых культур. При этом была разработана функциональная схема (рис. 6), которая включает в себя следующие компоненты: ЕИП – емкостной датчик; ИОН – источник опорного напряжения; ОУ – операционный усилитель; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; ШД – шины данных; ШУ – шины управления; К1-К6 – автоматические контакты; Секции ОЭ1-2 – блоки опорных элементов и др.

Особенностью представленной системы является использование встроенного алгоритма обработки полученных данных, направленного на автоматизацию классических операций регулирования и управления технологическими

процессами сельскохозяйственного предприятия. Этот алгоритм можно разделить на следующие отдельные циклы:

1. Цикл анализа и обработки данных, полученных от емкостных датчиков (рис. 7).

Данный цикл является для системы основным и выполняется непрерывно, поскольку от актуальности полученных данных зависит результат принятия верных решений на каждом этапе обработки зерновых культур. Полученные от емкостных датчиков результаты измерений передаются на сервер с присвоением номера «N***», который задается измерительным устройством на полевом уровне. Эти данные архивируются в журнале и заносятся в ячейку памяти сервера, к которой обращается система в процессе чтения базы данных, например, типа MySQL, включающей сведения о нормируемых показателях влажности и количества примесей в соответствии с ГОСТ.

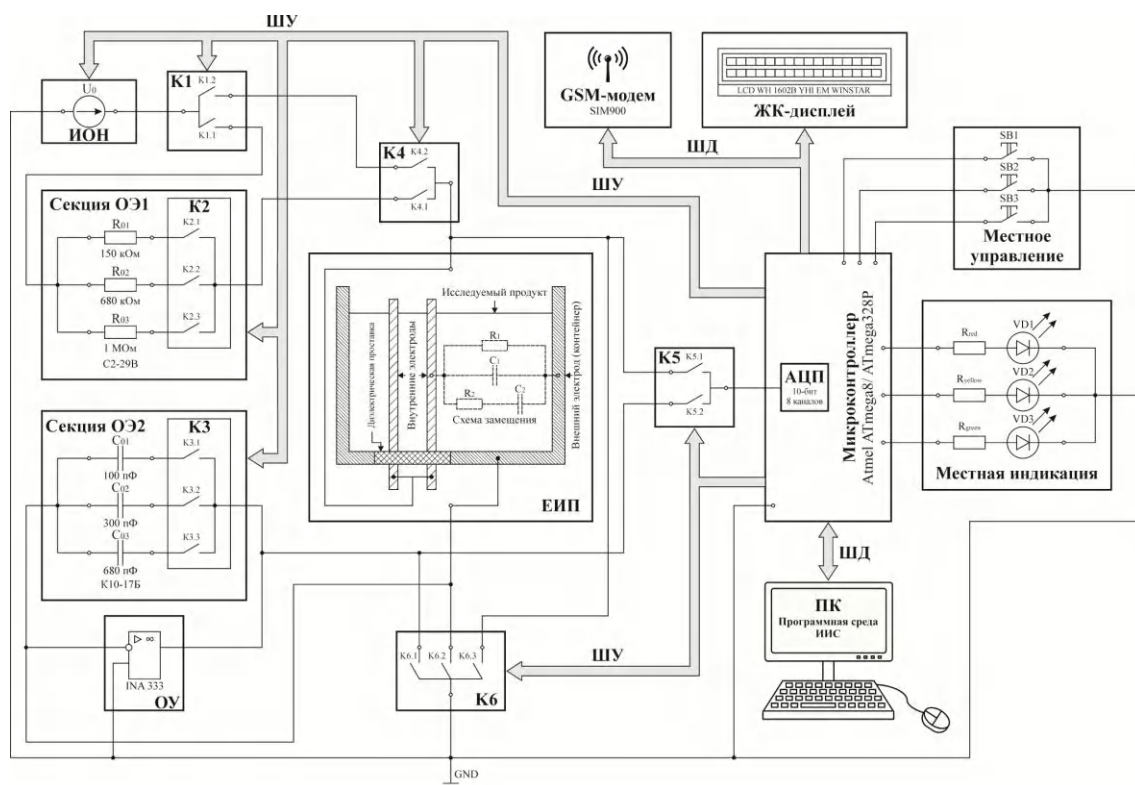


Рис. 6. Функциональная схема информационно-измерительной системы

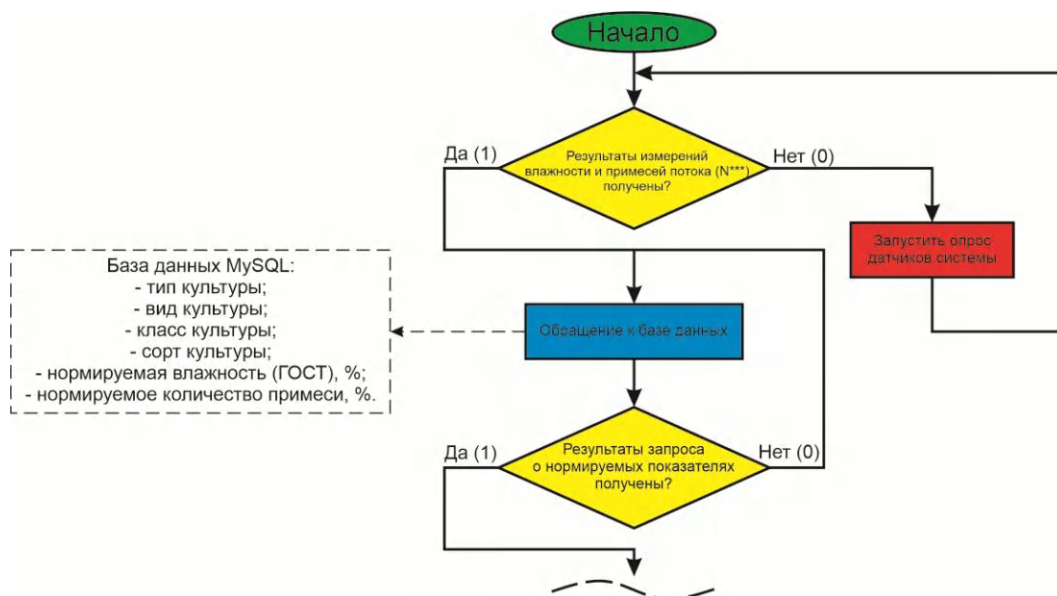


Рис. 7. Блок-схема цикла анализа и обработки данных

2. Следующий цикл алгоритма заключается в проведении сравнения результатов измерений емкостными датчиками и нормируемых значений зерновой культуры (рис. 8).

В случае несоответствия измеренных значений влажности и примесей нормативным по-

казателям система выдает задания на выполнение сушки или очистки, которые направляются ответственному лицу (технологу, агроному, мастеру и т. д.), при этом происходит дублирование задания работнику, отвечающему за сушильное или очистное оборудование.

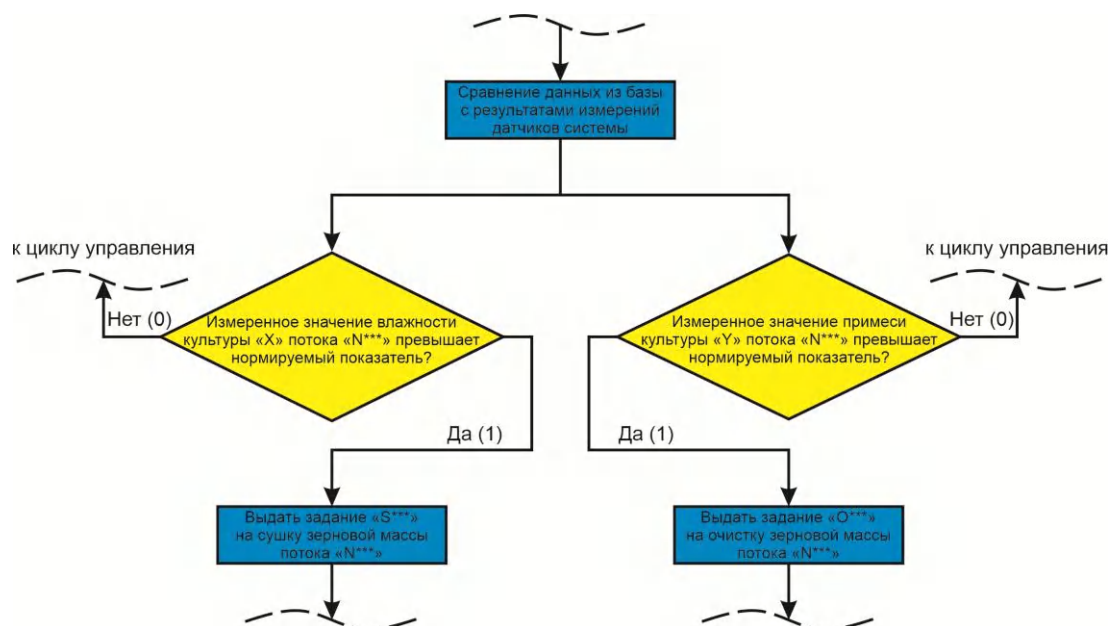


Рис. 8. Блок-схема сравнения измеренных значений влажности и количества примесей

3. Заключительным циклом является контроль выполнения сформированных заданий (рис. 9).

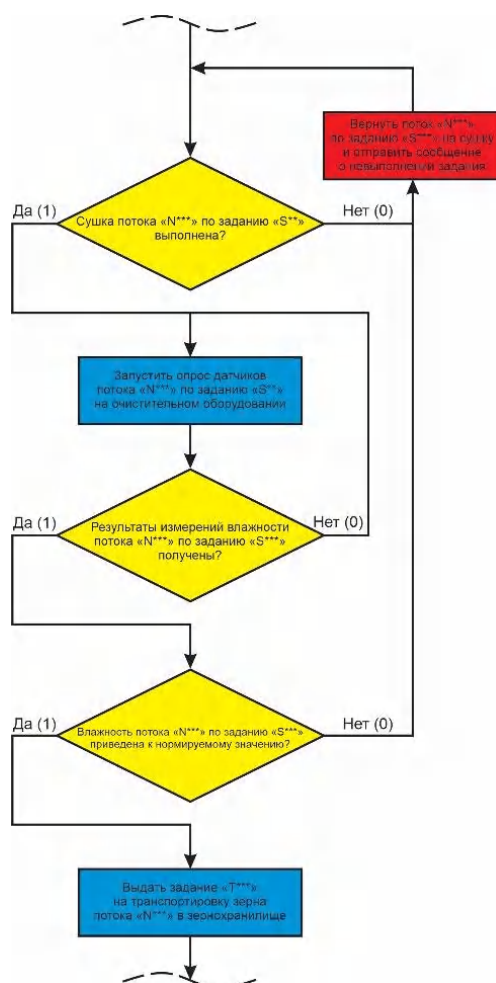


Рис. 9. Блок-схема цикла контроля выполнения сформированных заданий

Реализация приведенного цикла заключается в направлении запросов о завершении процессов сушки или очистки, которые должны иметь положительный ответ, чтобы система могла перейти на следующий цикл.

Таким образом, применение емкостных датчиков при определении влажности и примесей зерновых культур дает возможность реализовать современные информационно-измерительные и управляющие системы, обеспечивающие высокий уровень автоматизации технологических процессов сельскохозяйственных предприятий, что в свою очередь позволяет: выполнять своевременный контроль качества культуры; снизить продовольственные потери; повысить производительность труда работников; устранить необходимость лабораторных исследований; улучшить качество и сохранность урожая; обеспечить энерго- и ресурсосбережение при производстве, хранении и переработке продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Исследование влияния влажности зерна на процесс экструзии и качество готовой продукции / В. В. Матюшев, А. В. Семенов, И. А. Чаплыгина [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2022. – № 7(184). – С. 228–234. – DOI 10.36718/1819-4036-2022-7-228-234. – EDN BIPLXQ.
2. Гриценко, Г. М. Проблемы обеспечения и регулирования качества зерна и зернопродукции / Г. М. Гриценко, Н. Н. Величко // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2012. – № 4(90). – С. 115–120. – EDN OXAKWP.
3. Рындин, А. А. Подходы к совершенствованию системы контроля качества зерна на элеваторах / А. А. Рындин, А. Н. Стрелюхина, Ю. А. Сорокина // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2021. – Т. 83, № 3(89). – С. 61–67. – DOI 10.20914/2310-1202-2021-3-61-67. – EDN UCRZFR.
4. Современные методы диэлькометрического контроля в технологиях сельскохозяйственного производства / В. П. Якушев, И. П. Ананьев, Е. В. Тулин [и др.] // Плодородие. – 2007. – № 5(38). – С. 28–31. – EDN KUCKUH.
5. Чураков, П. П. Преобразователь параметров бесконтактных емкостных датчиков для кондуктодиэлькометрических измерений / П. П. Чураков, А. В. Грачев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т. 18, № 4–7. – С. 1363–1366. – EDN ZAULUN.
6. Иванов, В. И. Преобразователь параметров многоэлементных двухполюсников с уравниванием токов / В. И. Иванов, В. С. Титов, Д. А. Голубов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2012. – Т. 55, № 2. – С. 73–84. – EDN OXOULN.
7. Карпов, В. А. Чувствительность и погрешность мостовой схемы с одним измерительным элементом / В. А. Карпов, О. М. Ростоккина // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. – 2011. – № 2(45). – С. 72–77. – EDN PYAJLF.
8. Колдов, А. С. Определение параметров нерезонансных четырехэлементных электрических цепей по результатам совокупных измерений / А. С. Колдов, А. В. Светлов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2019. – № 3(29). – С. 39–47. – DOI 10.21685/2307-5538-2019-3-5. – EDN SVFMKB.
9. Мелентьев, В. С. Исследование метода измерения интегральных характеристик по мгновенным значениям сигналов, распределенным в пространстве / В. С. Мелентьев, Ю. М. Иванов, Е. В. Павленко // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации: Сборник научных статей Международной научно-технической конференции, Пенза, 10–12 ноября 2014 года. – Пенза: Пензенский государственный университет, 2014. – С. 19–22. – EDN TCLCKZ.
10. Патент № 2714954 С1 Российская Федерация, МПК G01R 27/02. Способ определения параметров многоэлементных двухполюсников : № 2019118177 : заявл. 11.06.2019 : опубл. 21.02.2020 / И. Н. Воротников, М. А. Мастепаненко, Ш. Ж. Габриелян, С. В. Мишуков ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ставропольский государственный аграрный университет». – EDN DDJNIQ.
11. Мишуков, С. В. Разработка и исследование системы контроля влажности и примесей сельскохозяйственных продуктов / С. В. Мишуков // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2022. – № 2(40). – С. 5–12. – DOI 10.21685/2307-5538-2022-2-1. – EDN GQZGDK.
12. Интеллектуальная система контроля влажности и наличия примесей в зерновых культурах / И. Н. Воротников, М. А. Мастепаненко, Ш. Ж. Габриелян [и др.] // Сельский механизатор. – 2023. – № 4. – С. 14–15. – DOI 10.47336/0131-7393-2023-4-14-15-17. – EDN SKAVZG.