

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ХРАНИЛИЩАМИ МАСЛИЧНОГО СЫРЬЯ

**Н.А.Кабулов доктор (PhD),
докторант (DSc) кафедры
«Автоматизация производственных процессов»
Ташкентского государственного
технического университета, Узбекистан**

Аннотация. В мире большое количество собранного зерна теряется при хранении. Неспособность точно контролировать внутренние условия хранилища является одним из основных факторов, приводящих к таким потерям. Своевременная, актуальная и точная информация о внутреннем состоянии хранилища помогает поддерживать качество сырья, а также сокращать потери при хранении. В данной статье представлена интеллектуальная система мониторинга и управления хранилищ масличного сырья. Интеллектуальная система была построена на парадигме беспроводной сенсорной сети, где пространственно распределенные сенсорные узлы беспрепятственно взаимодействуют с компьютером на базе Linux. Связь между ними осуществляется с помощью легкого и надежного протокола межмашинной связи. Каждый узел оснащен датчиками для мониторинга климатических условий и окружающей среды хранилища. Основываясь на поступающих данных с датчиков, система выполняет ряд задач, способствующих безопасному хранению масличное сырье в течение длительного периода времени – с минимальными потерями. Кроме того, был разработан легкодоступный и безопасный веб-интерфейс, позволяющий владельцу графически визуализировать состояния хранилищ в режиме реального времени. Если подтвердится наличие какого-либо фактора риска внутри хранилища, владелец будет автоматически проинформирован об этом с помощью SMS.

Ключевые слова: Аэрация, Arduino, хранилища, технология, система, микроконтроллер, модуль, температура, влажность, датчик, углекислый газ.

1. ВВЕДЕНИЕ

Удовлетворение спроса на продовольствие растущего населения – задача, с которой нам приходится сталкиваться. Нам нужно производить почти на 70% больше, чтобы удовлетворить этот спрос [1-8]. Чтобы снизить давление, связанное с увеличением производства, необходимо рассмотреть вопрос о минимизации послеуборочных потерь. Об этом необходимо позаботиться, особенно развивающимся странам. Таким образом, можно снизить нагрузку на природные ресурсы и тем самым улучшить условия жизни

фермеров [9]. Но главная проблема заключается в низкой урожайности и послеуборочных потерях [10]. Прежде чем попасть к конечному потребителю, продукция фермы должна пройти такие процессы, как сбор урожая, обмолот, просеивание, сушка, хранение и транспортировка [10]. Потерь на каждом этапе избежать невозможно, но их можно свести к минимуму. Считается, что потери во время послеуборочных работ составляют более трети урожая [9-12]. Эти увеличившиеся потери в основном связаны с ненадлежащими методами обращения, хранения и переработки - в дополнение к этому проблему усугубляет отсутствие инфраструктуры хранения и рыночных возможностей [11]. Во всем мире потери продовольствия при хранении, по оценкам, составляют 20% для масличных культур, 30% для зерновых и 40-50% для фруктов, овощей и корнеплодов [13]. Место хранения играет жизненно важную роль в обеспечении продовольственной безопасности [14,15]. Ненаучный проект местных складских сооружений не может гарантировать защиту от вредителей в течение длительного времени [16]. Учитывая некоторых стран, большинство фермеров традиционно хранят свою продукцию на открытых полях, в джутовых или полипропиленовых мешках, приподнятых платформах, глиняных конструкциях и корзинах [11]. Эти методы могут увеличить потери и дорого обойтись мелким фермерам. Основная причина потерь при хранении связана с отсутствием надлежащей инфраструктуры [9]. Качество масличного сырья, подлежащего хранению, является еще одним важным аспектом, заслуживающим внимания [9]. Внедрение адаптируемых к местным условиям современных технологий хранения способствует минимизации потерь сырья, а также помогает сохранить его качество [20].

1.1. Аналогичные работы

Применение последних достижений в области электронных и информационных технологий и доступных хранилищ может улучшить хранение зерна и снизить потери [21]. В этом отношении предпринимались различные исследования. Микроконтроллеры Arduino наряду с датчиками были эффективно применены для контроля внутреннего климатического состояния силоса [22]. Интеллектуальная система управления хранилищам и передачи данных с использованием микроконтроллера Arduino, датчиков температуры и влажности и GSM-модуля была успешно использовано [23]. Аналогичная концепция беспроводной связи для хранения масличного сырья была предложена [24]. Прототип системы автоматизации склада, оснащенный модулем Wi-Fi, был разработан [25]. Эта система состоит из трех микроконтроллеров Arduino Due, каждый из которых подключен к датчику температуры, датчику влажности и датчику газообразного аммиака. Микроконтроллеры отправляют данные, собранные с датчиков, на сервер с

помощью стандартного протокола Wi-Fi, и решение принимается на стороне сервера на основе полученных данных. Таким образом, если какой-либо из датчиков регистрирует значение, значительно превышающее заданные значения, срабатывает сигнал тревоги, оповещающий администратора магазина. Аналогичным образом был реализован другой проект, в котором подчеркивалась важность мониторинга уровня CO₂ в хранящемся зерне и применения алгоритма машинного обучения для анализа данных, полученных с датчиков, которые были вставлены в бункер для хранения [26]. Внедрение технологии беспроводной сенсорной сети (WSN) внутри модельного хранилища с использованием радиопередатчиков Xbee было успешно выполнено [27]. Модули Xbee передают данные с датчиков, установленных внутри хранилища, на приемный узел, который, в свою очередь, направляет данные на GPRS-экран или персональный компьютер. Когда мы рассматриваем все вышеперечисленные исследования, в них отсутствует базовый и легкодоступный интерфейс для мониторинга состояния хранилища. Кроме того, во всех исследованиях нет упоминания о механизме обнаружения грызунов в режиме реального времени. Грызуны являются одним из основных факторов, ответственных за потери хранимого сырья [17]. Таким образом, в настоящей статье предлагается доступная по цене система управления и мониторинга хранения масличного сырья на базе микроконтроллера, которая подходит для всех хранилищ. Основными целями данной статьи являются:

1). Разработка и внедрение модели беспроводной сенсорной сети (WSN) для управления и мониторинга таких факторов, как температура, влажность, уровень CO₂ и присутствие грызуны внутри хранилища.

2). Создать простой и безопасный графический пользовательский интерфейс (GUI) для визуализации (или управления) вышеупомянутых факторов в режиме реального времени, сделав его легкодоступным для специалистов.

3). Настроить автоматизированный канал связи, который предоставляет специалисту некоторые важные обновления из хранилища посредством SMS.

2. ПРИНЯТАЯ МЕТОДОЛОГИЯ

В этом разделе описывается методология, которая была принята для достижения цели разработки подходящей системы мониторинга на базе микроконтроллера для хранилища. Концептуальная основа системы описана на рисунке 1. Система отслеживает температуру, влажность, количество вредители и CO₂ внутри хранилища и передает информацию на центральный блок управления. Центральный блок управления отобразит значения в режиме реального времени на сгенерированной веб-странице и выдаст предупреждающее уведомление при наличии какого-либо отклонения от оптимального уровня. Если какое-либо из значений превысит критический

уровень, блок управления отправит SMS-сообщение на зарегистрированный номер мобильного телефона с просьбой о немедленных действиях.

Ответственные лица, находящиеся на складе, могут получить доступ к веб-странице через подключение Wi-Fi. Доступ к хранилищу можно получить из любого места, просто подключив существующую сеть к Интернету, в этом проекте были выбраны легкодоступные программные и аппаратные средства. При выборе электроники и связанных с ней программных средств использовались следующие критерии. Микроконтроллер должен соответствовать вычислительным требованиям системы, таким как скорость обработки данных, чтобы эффективно справляться с множеством задач. Все датчики и исполнительные механизмы должны быть совместимы с основным контроллером. Датчики и исполнительные механизмы должны иметь быстрое время отклика, быть точными и долговечными. Все компоненты должны: быть в последней версии, недорогими, легкодоступными и с открытым исходным кодом. Все компоненты должны быть способны должным образом функционировать в климатических условиях региона. Программное обеспечение [32,33], среда разработки и все дополнительные библиотеки должны быть актуальными и находиться в свободном доступе. Все компоненты и программное обеспечение должны были успешно использоваться в аналогичных приложениях и хорошо протестированы исследователями. Разработка системы будет проходить в три этапа: проектирование аппаратного обеспечения, разработка программного обеспечения и тестирование. Структурная схема на рисунке 2 иллюстрирует общую архитектуру предлагаемой системы.

Разработанная беспроводная сенсорная сеть (WSN) состоит из четырех узлов, каждый из которых оснащен климатическим датчиком, детектором движения и микроконтроллерным блоком. Принимая во внимание, что большинство складских сооружений не очень велики, хранилище было разделено на четыре равные зоны, и каждый сенсорный узел закреплен за одной зоной. Четвертый сенсорный узел интегрирован с дополнительным GSM-модулем для установления канала связи посредством SMS. Узел приемника на базе Raspberry Pi отвечает за управление потоком данных в WSN. Вся связь между узлами датчиков и приемным узлом достигается за счет реализации облегченного протокола прикладного уровня, известного как протокол передачи телеметрии очереди сообщений MQTT (Message Queue Telemetry Transport). На Raspberry Pi была разработана и развернута интерактивная веб-страница, отображающая состояние зернохранилища в режиме реального времени. Таким образом, специалист может получить доступ к приложению как с подключением к Интернету, так и без него. Автоматические SMS-уведомления системой зарезервированы для некоторых критических ситуаций, таких как присутствие грызунов и вредители или аномальные климатические условия [29].

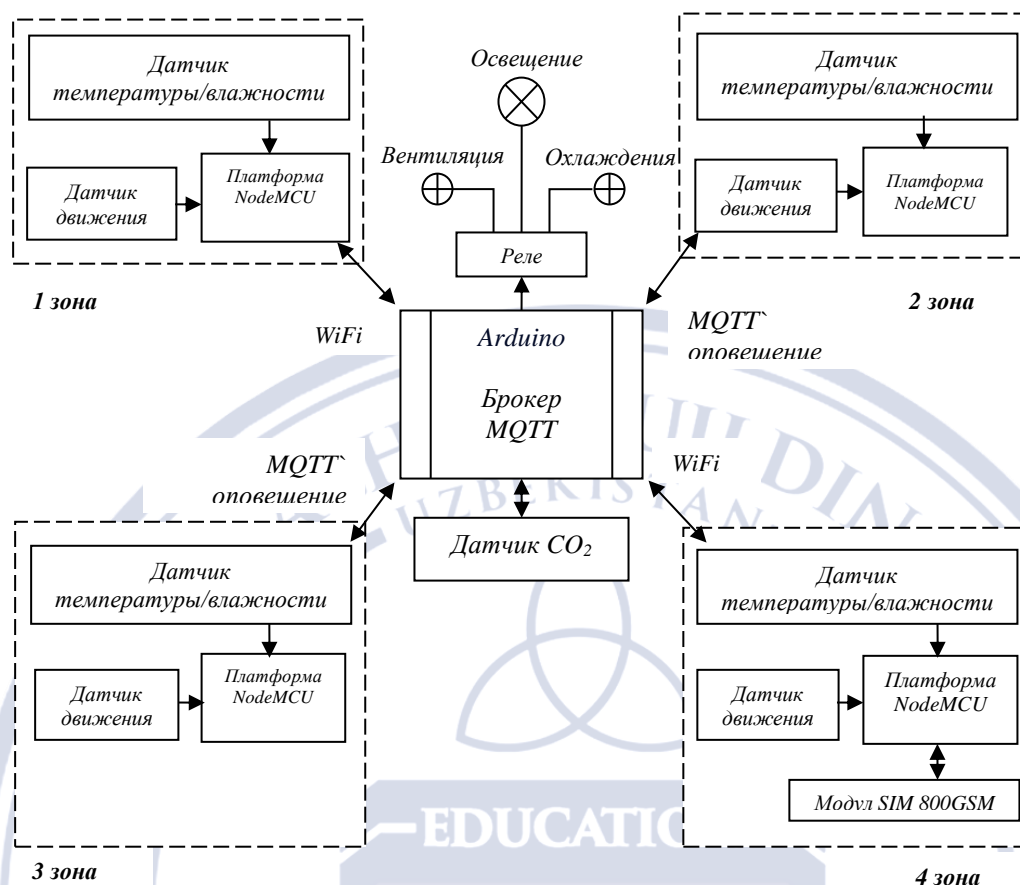


Рис. 1. Полная архитектура WSN и главного контроллера

Эта система масштабируема и может быть адаптирована для использования в хранилищах любого типа.

2.1 Проектирование аппаратного обеспечения

Выбор аппаратной части системы обсуждается в этом разделе. Каждый узел в WSN состоит из четырех основных элементов: датчика, процессора, блока беспроводной связи и блока питания [31]. Кроме того, доступ к системе осуществляется извне через шлюз. Компьютер Raspberry Pi сконфигурирован для работы в качестве шлюза, веб-сервера и приемного узла. Датчик углекислого газа и релейный модуль также напрямую подключены к компьютеру. Релейный модуль используется для управления контурами аэрации и освещения внутри хранилища. Ниже приведено описание основных компонентов, используемых в проекте.

2.2. Датчик влажности и температуры DHT22

Датчиком, выбранным для этого проекта, является модуль цифрового датчика температуры и влажности AM2302 (обычно называемый DHT22). DHT22 – это высокопроизводительный 8-разрядный микроконтроллер. Это устройство использует высокоточную ёмкостную технологию для измерения температуры окружающей среды и относительной влажности [31]. Такие характеристики, как высокая точность, сильная защита от помех, низкое

энергопотребление, сверхмалый размер и низкая стоимость, делают датчик идеальным выбором для этого проекта. Устройство использует протокол последовательной передачи данных для связи с периферийными микроконтроллерами. В этом протоколе 40 бит данных отправляются на микроконтроллер с определенным временным интервалом, из которых 16 бит с разрешением относятся к влажности, а 16 бит с разрешением, назначенным для считывания температуры. Некоторыми ключевыми характеристиками датчика DHT22 являются диапазон рабочих температур от 40 °С до 80°С, диапазон рабочей влажности 0-100% относительной влажности, точность измерения температуры $\pm 50^{\circ}\text{C}$ и влажности $\pm 2\%$ относительной влажности, задержка датчика 2 с и рабочее напряжение 3,3 - 6 В.

2.3. Датчик движения на основе PIR

Пассивный инфракрасный датчик (PIR) - это устройство, которое обнаруживает инфракрасное излучение, исходящее от теплокровных животных, таких как грызуны и люди. Температура тела грызунов, таких как крысы, составляет около 37,5-38,50 °С, создавая достаточное количество инфракрасного излучения для срабатывания датчика в обычных микроклиматических условиях [27-29]. По сути, датчик состоит из двух отдельных разъемов, которые обладают высокой чувствительностью к ИК-излучению и подключены к противоположным входам дифференциального усилителя. В стационарных условиях две гнездо регистрируют равное количество ИК-излучения, исходящего от фона. Эти два сигнала подавляют друг друга и дают нулевой выходной сигнал. Такое расположение предотвращает подачу устройством ложных сигналов из-за внезапного освещения или резкого скачка температуры окружающей среды. Но когда мимо проходит теплокровное существо, возникает некоторый дисбаланс, и из двух слотов регистрируются различные значения. Это приводит к тому, что датчик посылает сигнал, указывающий на обнаружение движения. В верхней части датчика установлена линза сферической формы, известная как линза Френеля. Этот объектив фокусирует входящее ИК-излучение и, таким образом, увеличивает дальность обнаружения до 9 м, охватывая область вокруг 120 градусов.

3. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Все программные средства, используемые для разработки этого проекта, имеют открытый исходный код и находятся в свободном доступе. Процесс разработки программного обеспечения для этого проекта осуществлялся с использованием двух отдельных подходов. Они называются процессами разработки Front-end и Backend. Процесс front-end был связан в основном с разработкой пользовательских интерфейсов и средств человеко-машинной системой. В ходе внутреннего процесса все встроенные

компоненты были запрограммированы и откалиброваны в соответствии со стандартами, разработанными для хранилищ.

В предлагаемой системе хранилища довольно большое количество триггеров приводит к возникновению последующего события. Например, повышение температуры окружающей среды приводит к включению охлаждающего вентилятора, а затем запуск программы *fun* приведет к изменению панели уведомлений веб-страницы. Алгоритм, разработанный для системы автоматизации, был протестирован путем моделирования триггеров, и результирующие события были представлены в виде блок-схемы. На рисунке 3 показаны эти основные процессы. Из технологической схемы видно, что всякий раз, когда внутри хранилища обнаруживается движение, система фиксирует целевую область, начинает подсчет и публикует эту информацию на веб-странице. Информация состоит из местоположения, в котором обнаружено движение. Тем временем, если значение подсчета достигает уровня, о котором стоит уведомить заинтересованный орган, автоматически отправляется SMS-сообщение, предупреждающее специалиста о сложившейся ситуации.



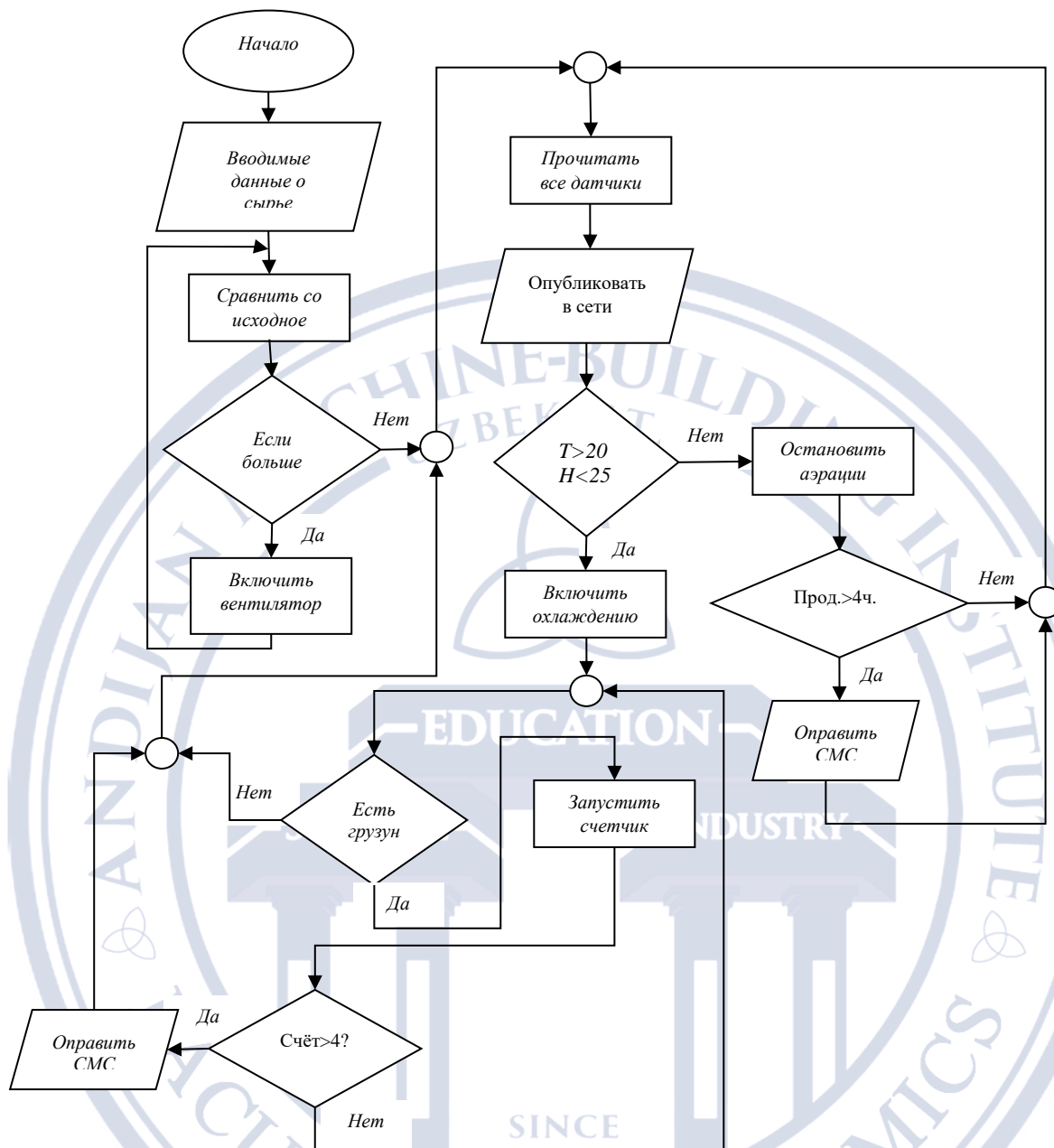


Рис. 3. Блок-схема с выделением основных событий в системе

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В этой статье продемонстрирована разработка интеллектуальной системы для хранилищ масличного сырья. Разработанная система обеспечивает круглосуточный мониторинг хранилища и в то же время генерирует оперативные обновления данных на веб-странице. Веб-приложение было разработано таким образом, чтобы быть легкодоступным и безопасным. Кроме того, алгоритм автоматизации сам настраивается на основе входных данных, поступающих от пользователя через веб-приложение. Предлагаемая система масштабируема и может быть легко адаптирована для

использования на большинстве хранилищ. И, наконец, необходимо провести дополнительные исследования, такие как применение алгоритмов машинного обучения в существующей структуре, чтобы сделать систему более умной и полностью автономной.

Литературы

1. Yusupbekov N.R., Sh. M. Gulyamov, A. N. Yusupbekov, N. A. Kabulov "Simulation of Chemical-Technological Complexes" // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Springer Nature, Prague, Czech, 2019.-Vol.1095. -pp. 588-595. (11. Springer)
2. Kabulov N.A. "Construction of intellectual industrial storages of perishable vegetable raw materials" // *International scientific and technical journal «Chemical Texnology.Control and Management»*. Tashkent, 2019. -№ 3. –pp. 30-37.
3. N.A.Kabulov. Analysis of the technological process conditions of oil raw materials storage and the mathematical model refinement *International scientific and technical journal //«Chemical Texnology. Control and Management»*. Tashkent, 2022. -№ 4-5. –PP.165-173.
4. N.A.Kabulov. Structural model of the technological process of storage and processing of oil raw materials// *International scientific and technical journal //«Chemical Texnology. Control and Management»*. Tashkent, 2023, №1 (109) pp.76-80.
5. N.R. Yusupbekov, N.A. Kabulov. Intellectual control system for the technological process of storing oilseeds in the construction of a fuzzy controller. // *Tashkent state technical university named after Islam Karimov//«Technical science and innovation»*. Tashkent, 2023, №1 (15) pp.175-180.
6. H. Godfray, J. Beddington, I. Crute, L. Haddad, D. Lawrence, J. Muir, J. Pretty, S. Robinson, S. Thomas and C. Toulmin, "Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People," *SCIENCE*, pp. 812-818, 12 Feb 2010.
7. R. Hodges, J. Buzby and B. Bennett, "Postharvest losses and waste in developed and less developed countries: Opportunities to improve resource use," *The Journal of Agricultural Science*, vol 149 no. S1 , p. 37–45., 2011.
8. J. Parfitt, M. Barthel and S. Macnaughton, "Food waste within food supply chains: Quantification and potential for change to 2050.," *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* , 365, p. 3065–3081., 2010.
9. D. a. K. P. Kumar, "Reducing Postharvest Losses during Storage of Grain Crops to Strengthen Food Security in Developing Countries," *Foods* , vol. 6(1):8, pp. 1-20, Jan, 2017.

10. A. Abass, G. Ndunguru, P. Mamiro, B. Alenkhe and N. a. B. M. lingi, "Post harvest food losses in a maize-based farming system of semi-arid savannah area of Tanzania," *Journal of Stored Products Research*, vol. Vol. 57, pp. 49-57, 2014.
11. World-Bank, FAO and NRI, "Missing Food: the Case of Post-harvest Grain Losses in Sub-Saharan Africa," *The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank*, Washington, DC, 2011.
12. J. Gustavsson, C. Cederberg, U. Sonesson, R. van Otterdijk and A. Meybeck, "Global Food Losses and Food Waste," *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, Rome, Italy, 2011.
13. FAO, "Global Initiative on Food Losses and Waste Reduction," *Food and Agriculture Organization of United Nations*, Rome, Italy, 2014.
14. J. Aulakh, A. Regmi, J. Fulton and C. Alexander, "Estimating post-harvest food losses: Developing a consistent global estimation framework," in *Agricultural & Applied Economics Association's 2013 AAEA & CAES Joint Annual Meeting*, Washington D.C, 2013.
15. B. Bala, M. Haque, M. Hossain and S. Majumdar, "Food security through increasing technical efficiency and reducing postharvest losses of rice production systems in Bangladesh," *Food Sec*, vol. 8, pp. 361-374, 2016.
16. S. J. Costa, "Reducing Food Losses in Sub-Saharan Africa (improving Post-Harvest Management and Storage Technologies of Smallholder Farmers.)," *UN World Food Programme*, Kampala, Uganda, August 2013 – April 2014.
17. A. Manandhar, P. Milindi and A. Shah, "An Overview of the Post-Harvest Grain Storage Practices of Smallholder Farmers in Developing Countries," *Agriculture*, Vols. 8(4), 57, 2018.
18. FAO, "Food wastage footprint & Climate Change," *UN, FAO*, Rome, 2015.
19. M. Z. Abedin, M. Z. Rahman, M. I. A. Mia and K. M. M. and Rahman, "In-store losses of rice and ways of reducing such losses at farmers' level: An assessment in selected regions of Bangladesh," *J. Bangladesh Agril. Univ*, vol. 10(1), p. 133–144, 2012.
20. M. Sheahan and C. B. Barrett, "Review: Food loss and waste in Sub-Saharan Africa," *Food Policy*, vol. 70, pp. 1-12, July 2017.
21. C. B. Singh and J. M. Fielke, "Recent Developments in Stored Grain Sensors, Monitoring and Management Technology," *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, pp. 32-55, June 2017.
22. A. M. Antunes, I. A. Devilla, A. Neto, B. Alves and G. Santos, "Development of an automated system of aeration for grain storage," *African Journal of Agricultural Research*, vol. 11(43), pp. 4293-4303, October, 2016.
23. J. S. Shilpa and G. M. Sheeba, "Automated Real Time Monitoring for Food Grain Storage," *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, vol. 118 No. 24, pp. 1314-3395, 2018.

24. A. Bazhenov, N. Grivennaya, S. Malygin and A. Knyagin, "Distributed System of Remote Control and Management of Technological Processes of Granary," in 17th International Scientific Conference Engineering for Rural Development, 2018.
25. A. Akila and P. Shalini, "Food grain storage management system," International Journal of Engineering & Technology , vol. 7(2.31), pp. 170-173, 2018.
26. R. Kaushik and J. Singhai, "An Approach for the Development of a Sensing System to Monitor Contamination in Stored Grain," in 6th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN) , Noida, 2019.
27. M. O. Onibonoje, N. I. Nwulu and P. N. Bokoro, "A wireless sensor network system for monitoring environmental factors affecting bulk grains storability," Food Process Engineering, vol. e13256, pp. 1-13, 2019.
28. GSMA, "The Mobile Economy Sub-Saharan Africa 2019," GSM Association, London, 2019.
29. L. J. Bovas, B. T. Temesgen, A. Asrat, T. Gebreslasie and J. P. Shaji, "Development of Microcontroller Based Drip-Irrigation Control System in Eritrea," Trends in Biosciences , vol. 12(3), pp. 261-264, 2019.
30. J. M. Dilhac and V. Boitier, "Wireless Sensor Networks," in Energy Autonomy of Batteryless and Wireless Embedded Systems, Elsevier, 2016, pp. 1-11.
31. K. S. Sankar, G. J. Rao, B. Ravi, B. Alekhya, P. Sampathkumar, D. K. Ganesh and E. Rakesh, "Wireless Health Monitoring System using IOT," IJSRSET, vol. 6(2), pp. 268-273, 2019.
32. Юсупбеков Н.Р., Кабулов Н.А., Муратова З.А., Маматбеков Ш.Р. Программное обеспечение для контроля и управления микроклиматом в «SMART-хранилище» / Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство № DGU 06027 от 25.12.2018г.
33. Гулямов Ш.М., Кабулов Н.А., Янгибоева Р.М. Программное обеспечение для управления устройством дистанционного контроля параметров микроклимата / Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство № DGU 06115 от 24.01.2019 г.