

the help of a laboratory installation.

Corn seeds were selected as objects of control, which gave the largest amplitude of the pulse of registration. The set speed of the seed in the plane of control of the sensor was determined by the height of its reset. When crossing the seed of the control plane of the sensor at its output, impulses were formed, the amplitude and shape of which, separated by a load resistor, was recorded by a digital oscilloscope of type HPS5 and a camera.

The possibility of using capacitive and optical volumetric sensors for registration of grain flow at the output of the seeding machine and at the level of the bottom of the furrow of the drill machine SZ-3,6 was determined.

The analysis of the results of the study of the grain flow formed by the coil sowing machine showed that the sensor intended for work in computer identification systems should register up to  $350 \div 400$  seeds per second, the average interval between which changes in range  $T_p = 0,0023 \div 0,0063s$ .

As a result of the received experimental data, we conclude that further upgrading of existing types of capacitive and optical, visible parts of the spectrum, sensors, as the simplest of design and manufacturing technology, with the aim of using them to identify the grain flow is inexpedient and hopeless. It is necessary to develop sensors of another type, which would provide registration to 2-3 parallelly flying grains in the plane of its control.

**seeding control, capacitive sensor, optical sensor, grain flow, pulse, control plane**

*Одержано (Received) 06.10.2018*

*Прорецензовано (Reviewed) 22.11.2018*

*Прийнято до друку (Approved) 20.12.2018*

**УДК 621.391**

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2018.48.88-101>

**Р.М. Минайленко**, доц., канд. техн. наук, **О.М. Дреєв**, канд. техн. наук, **О.Г. Собінов**, викл.

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна, e-mail: drey.sanya@gmail.com*

**О.О. Денисенко**

*інженер програмного забезпечення в Eram Systems, м. Київ, Україна  
e-mail: alexey.denisenko.work@gmail.com*

## Апаратно-програмний комплекс вимірювання вологості зерна в потоці з інтерфейсом за протоколом Modbus та Owen

В статті розглядається питання створення апаратно-програмного комплексу вимірювання вологості зерна в потоці з послідовним інтерфейсом керування протоколами Modbus або Owen. Процес сушіння зерна є одним із найбільш енерговитратних і важливих із всього циклу зберігання і переробки зерна. Це пов'язано як з прямими витратами, обумовленими втратами якості зернових і неможливістю зберігання при невідповідній вологості, а також великими енергетичними витратами, пов'язаними із забезпеченням процесу сушіння. Описано механізм порційного відбору фіксованого об'єму зерна з потоку для вимірювання його вологості з подальшим вертанням зерна в потік. Описано алгоритми роботи програмного забезпечення керування роботою апаратно-програмного комплексу вимірювання вологості зерна в потоці.

**зерно, вимірювання, вологість, апаратно-програмний комплекс**

**Р.М. Минайленко, доц., канд. тех. наук, А.Н. Дреев, канд. тех. наук, О.Г. Собино, препод.**  
*Центральноукраїнський національний технічний університет, г. Кривий Ріг, Україна*

**А.А. Денисенко**

*інженер програмного забезпечення в Eram Systems, г. Київ, Україна*

### **Разработка аппаратно-программного комплекса измерения влажности зерна в потоке с интерфейсом по протоколу Modbus и Owen**

В статье рассматривается вопрос создания аппаратно-программного комплекса измерения влажности зерна в потоке с последовательным интерфейсом управляемым протоколами Modbus или Owen. Процесс сушки зерна является одним из самых энергозатратных и важных из всего цикла хранения и переработки зерна. Это связано как с прямыми затратами, обусловленными потерями качества зерновых и невозможностью хранения при несоответствующей влажности, а также большими энергетическими затратами, связанными с обеспечением процесса сушки. Описан механизм порционного отбора фиксированного объема зерна из потока для измерения его влажности с последующим возвратом зерна в поток. Описаны алгоритмы работы программного обеспечения управлением работой аппаратно-программного комплекса измерения влажности зерна в потоке.

**зерно, измерения, влажность, аппаратно-программный комплекс**

**Постановка проблеми.** Україна є одним із найбільших виробників зернових на світовому ринку, крім того – виробником достатньо конкурентоспроможних зерносушарок і при цьому майже не має сучасних систем контролю і керування процесом сушіння зерна.

Найбільш вузьке місце таких систем – відсутність відповідних, необхідних вимогам стосовно ціни, точності, надійності, пристроїв, які б забезпечували контроль вологості зернових в процесі сушіння в режимі реального часу. Вологоміри зерна в потоці, що вироблялися в СНД, такі як ПВЗ-3 і РВЗ-3, не застосовувались на практиці через низькі характеристики надійності. Використання імпорتنих вологомірів зерна в потоці для більшості підприємств агропромислового комплексу недоступне з причини високої вартості.

Процес сушіння зерна є одним із найбільш енерговитратних і важливих із всього циклу зберігання і переробки зерна. Це пов'язано як з прямими витратами, обумовленими втратами якості зернових і неможливістю зберігання при невідповідній вологості, а також великими енергетичними витратами, які забезпечують процес сушіння.

Як вихід із положення, в більшості випадків, вологість в процесі сушіння визначають лабораторним шляхом. При цьому  $T = T_n + T_a + T_c$  – час отримання результатів вимірювання вологості складається із наступних складових:  $T_n$  – час, необхідних працівнику лабораторії, для того, щоб взяти пробу на зерносушарці і принести зразок в лабораторію;  $T_a$  – час проведення аналізу;  $T_c$  – час для відповіді оператору сушарки про результати аналізу.

При використанні традиційних способів вимірювання вологості зернових в потоці, час отримання результатів  $T \geq 60$  хвилин, що є неприйнятним, тому, що приводить до нераціональних витрат теплоносіїв, а в деяких випадках і зниження якості зернових.

Враховуючи вищезгадані обставини, на деяких підприємствах застосовують експрес-аналізatori вологості зерна. Ці прилади, як правило, зарубіжного виробництва. Навіть, якщо експрес-аналізатор вологості зерна атестований Держстандартом України і перевірений, використання його має наступні недоліки: наявність людського фактору, який може проявитись в несвоєчасному вимірюванні вологості зерна; відібрана проба, може характеризувати не все зерно, а лише ту частину, яка знаходиться в експрес-аналізatori вологості зерна. Таким чином, вітчизняний агропромисловий комплекс не має вологоміра зерна в потоці доступного по ціні і відповідаючого необхідним вимогам

та показникам. Тому, розміри втрат, навіть на рівні окремих комбінатів хлібопродуктів (КХП) досягають десятків тисяч гривень в сезон. Актуальність цієї проблеми в цілому для агропромислового комплексу є очевидною.

В теперішній час на вітчизняних зернопереробних підприємствах використовуються прилади для одноразового вимірювання вологості (стаціонарне лабораторне обладнання), або мобільні (ручні) прилади.

Серед зарубіжних виробників поточних вологомірів сипучих матеріалів можна виділити німецьку компанію SWR Engineering. В моделях вологомірів цієї компанії запроваджена система безконтактного вимірювання висоти насипу матеріалу, що транспортується по конвеєрній стрічці. Завдяки цьому вимірювач вологості стає повністю незалежним від режимів роботи конвеєра, продовжуючи здійснювати точні вимірювання вологості потоку.

Мікрохвильові вологоміри застосовуються для вимірювання вологості матеріалів в бункерах та інших технологічних ємностях, спускових жолобах, трубах, при гвинтовій подачі матеріалу і навіть безпосередньо в технологічному процесі. Для цього створені спеціальні модифікації вимірювачів.

**Аналіз стандартних схем та методів вимірювання вологості зерна в потоці.**  
Структурна схема апаратно програмного комплексу (АПК) вимірювання вологості зерна в потоці представлена на рис. 1.

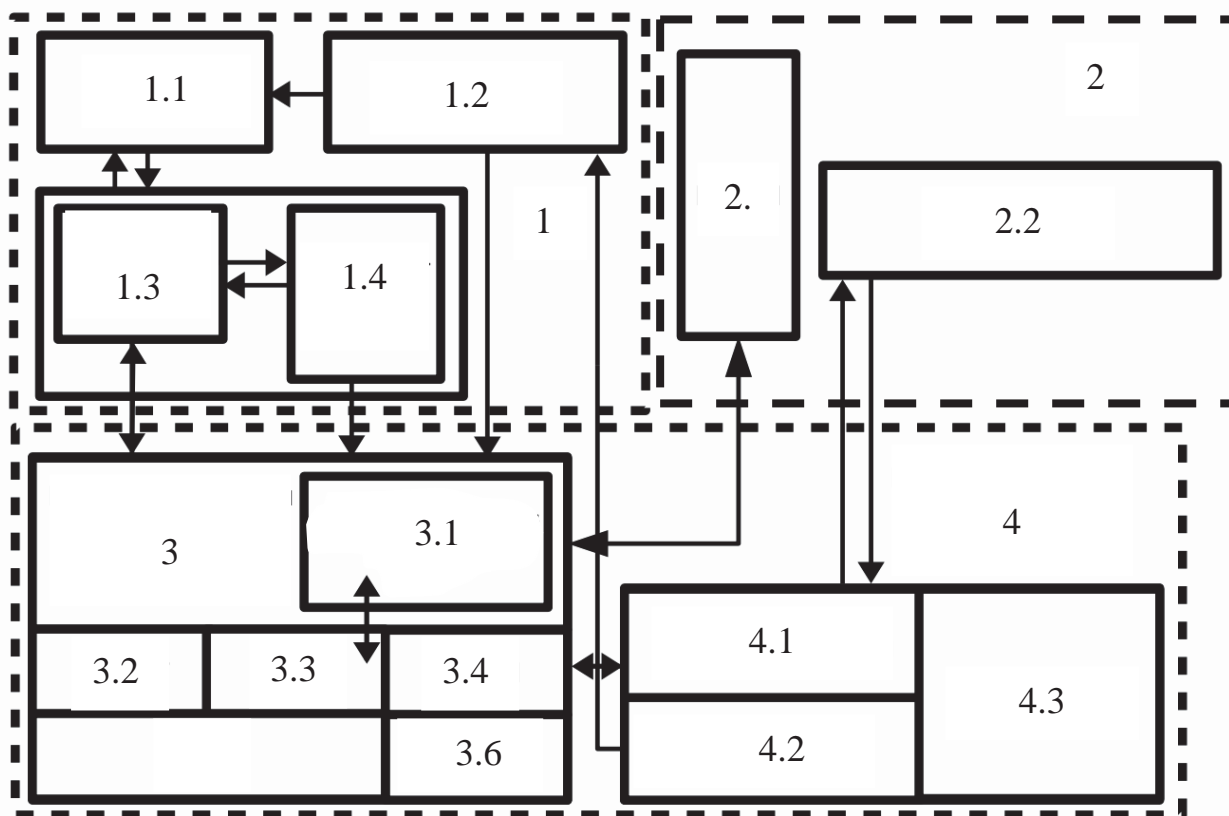


Рисунок 1 – Структурна схема АПК вимірювання вологості зерна в потоці

*Джерело: розроблено авторами*

Схема складається з чотирьох основних частин: 1 – сенсорний модуль, 2 – інтерфейсний модуль, 3 – обчислювальний модуль, 4 – модуль цифрового керування (верхній рівень).

В свою чергу, сенсорний модуль складається із: 1.1 – сенсора, 1.2 – поворотного механізму, 1.3 – генератора опорної частоти, 1.4 – диференціатора частот.

Сенсор (1.1) забезпечує відбір та зняття аналогового сигналу з потоку зерна. Поворотний механізм (1.2) виконує переміщення відібраної проби з потоку від місця завантаження до місця вивантаження. Генератор опорної частоти (1.3) подає на вимірювальну частину сенсора задану для відповідного типу зерна вхідну частоту. Диференціатор (1.4) порівнює вихідний сигнал з сенсора та опорний (заданий) сигнал і передає інформацію на обробку.

Інтерфейсний модуль (2) містить в собі: 2.1 – мікроконтролер та 2.2 – екран (ЖКІ) і призначений для зберігання та виведення інформації.

До складу обчислювального модуля (3) входить: 3.1 – генератор частоти, 3.2 – STM32, 3.3 – USART, 3.4 – OWEN, 3.5 – 12С (шини), 3.6 – MODBUS.

Мікроконтролер STM32 (3.2) забезпечує перетворення аналогового сигналу в цифровий та виконує математичну обробку даних. Блоки 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 є апаратним інтерфейсом і призначені для обміну даними з верхнім рівнем (PLC, ПЕОМ). Інтерфейсний модуль забезпечує налаштування АПК вимірювання вологості в потоці, керування швидкістю відбору проб зерна та контроль введення/виведення інформації.

Блок цифрового керування (4) складається із: 4.1 – клавіш керування, 4.2 – модуля керування швидкістю, 4.3 – модуля контролю введення/виведення інформації. Склад даного блоку може формуватися за вимогами користувача. Тобто може містити в собі ЕОМ відповідного класу та потужності, або PLC різних виробників для візуалізації і збереження даних.

На рис. 2 представлено загальний вигляд АПК вимірювання вологості зерна в потоці:



1 – електронна частина; 2 – сенсор

Рисунок 2 – АПК вимірювання вологості зерна в потоці з недозуючим сенсором

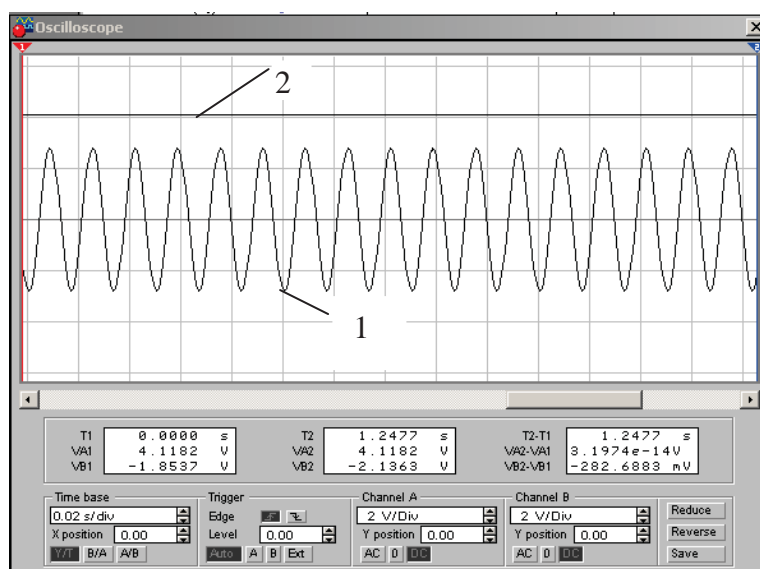
*Джерело: розроблено авторами*

На рис. 3 показано компоненти електронної частини АПК вимірювання вологості зерна в потоці



Рисунок 3 – Компоненти електронної частини АПК вимірювання вологості зерна в потоці  
Джерело: розроблено авторами

Результати моделювання АПК вимірювання вологості зерна в потоці представлено на рис. 4:

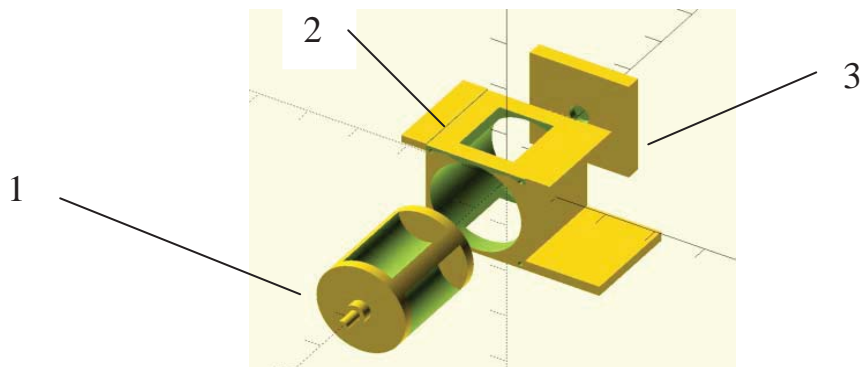


1 – осцилограма вхідного сигналу; 2 – осцилограма вихідного сигналу

Рисунок 4 – Результати моделювання АПК вимірювання вологості зерна в потоці  
Джерело: розроблено автором

**Постановка задачі.** Лабораторні та польові випробування розробленого пристрою показали, що сенсорний пристрій (рис. 2) апаратно-програмного комплексу не забезпечує точності вимірювань вологості зернових в достатній мірі. Причиною цього є те, що потік зерна який проходить через сенсор має безперервний характер і не забезпечується постійна щільність зерна. Тобто динаміка процесу не дає можливості вимірювання вологості зерна з бажаною точністю. Тому подальші дослідження були направлені на вирішення задачі стабілізації показників вимірювання вологості зерна шляхом відбору нормованих доз.

**Викладення основно матеріалу.** В результаті проведених досліджень був розроблений механізм відбору проб зерна, який забезпечує його постійну щільність при вимірюванні вологості. Тривимірний модель механізму (сенсора) представлена на рис. 5.



1 – барабан; 2 – корпус; 3 – задня кришка

Рисунок 5 – Тривимірний модель механізму відбору проб зерна

*Джерело: розроблено авторами*

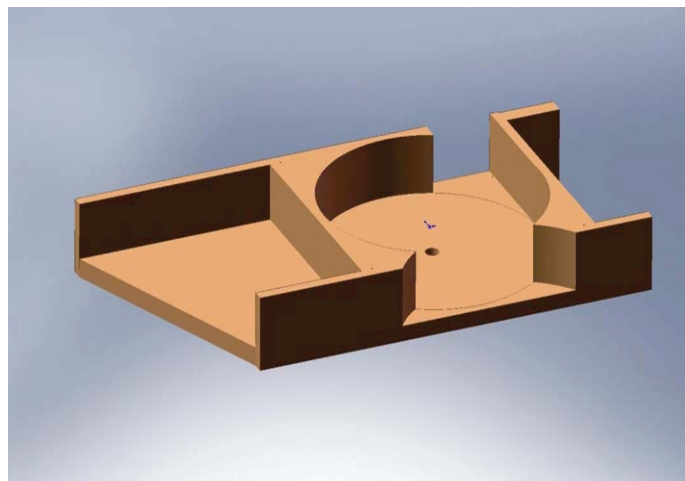


Рисунок 6 – Задня кришка механізму відбору проб зерна

*Джерело: розроблено авторами*

Механізм відбору проб зерна показано на рис.7.

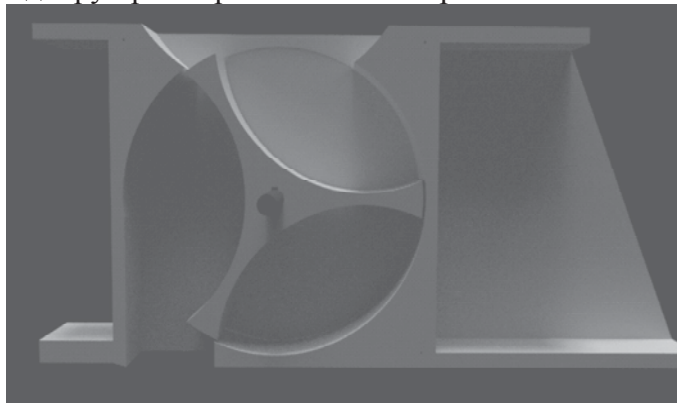
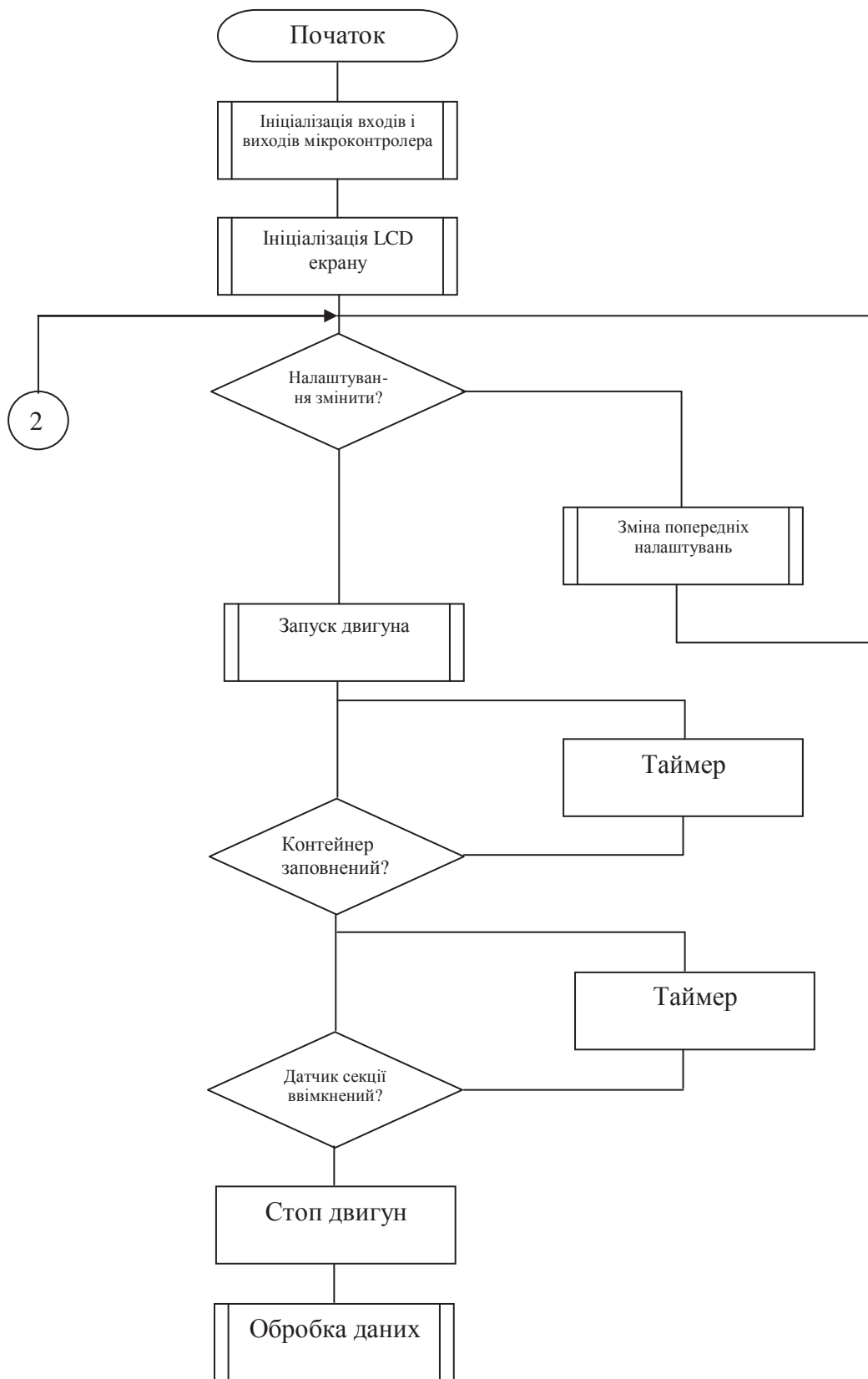


Рисунок 7 – Механізм автоматичного відбору проб зерна в потоці

*Джерело: розроблено авторами*

Створено відповідне програмне забезпечення, що дало змогу на певний час зупинити механізм відбору проб зерна для більш точного вимірювання вологості.

Блок-схема основної програми представлена на рис. 8.





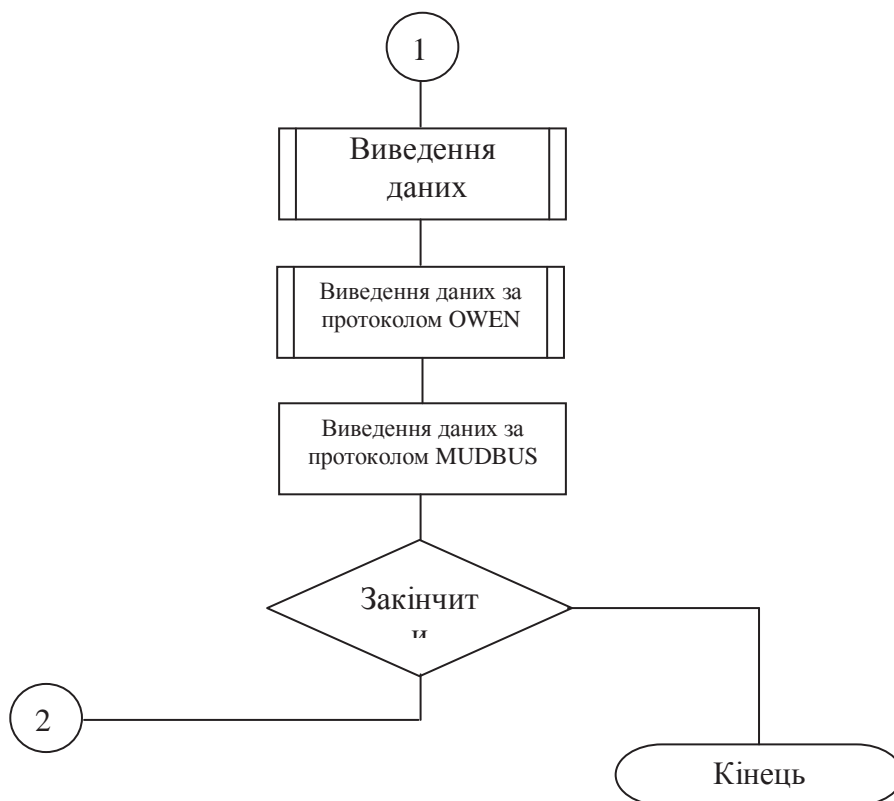


Рисунок 8 – Блок-схема основної програми

Джерело: розроблено авторами

Блок-схеми підпрограм представлені на рис. 9 і рис. 10.

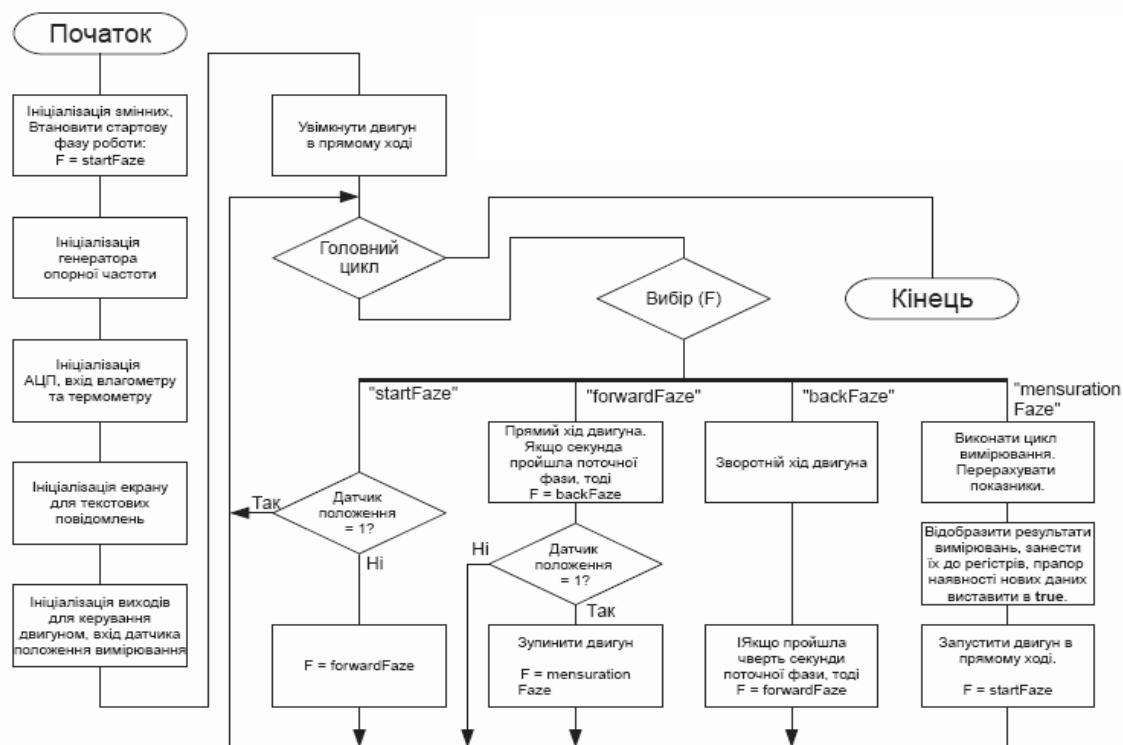


Рисунок 9 – Блок-схема підпрограми керування вимірюванням

Джерело: розроблено авторами



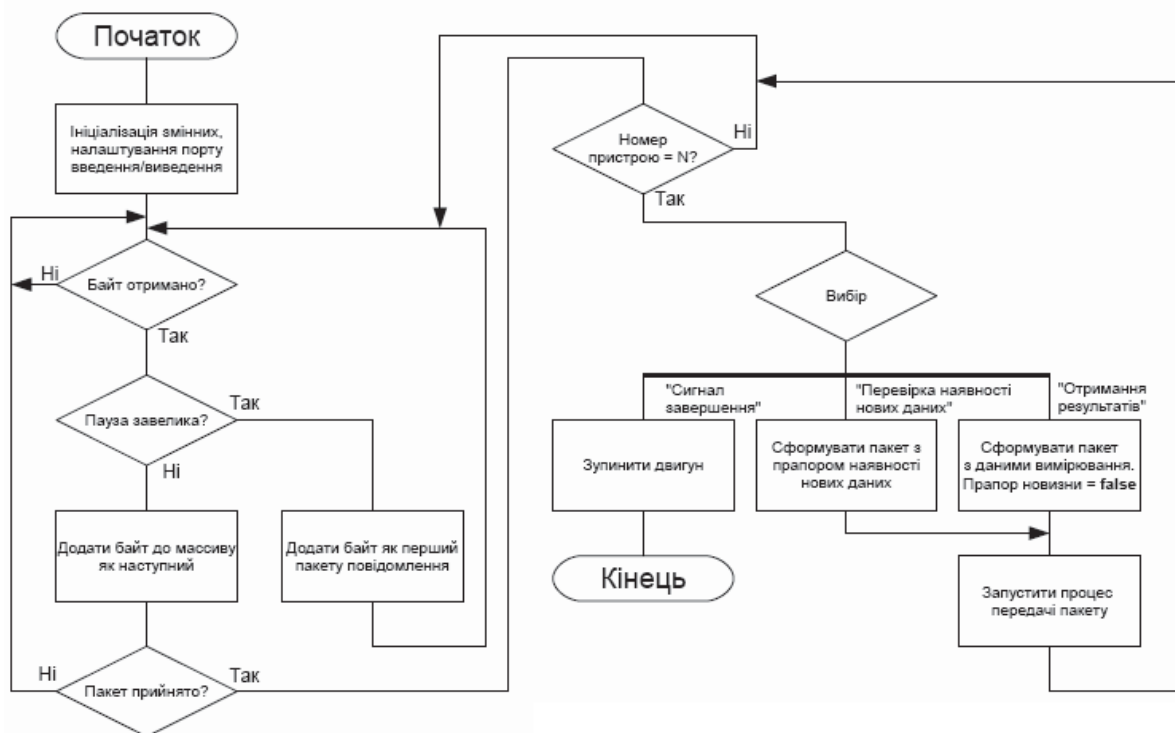


Рисунок 10 – Блок-схема підпрограми керування обміном інформацією  
 Джерело: розроблено авторами

Інтерфейс АПК показано на рис.11–13:



Рисунок 11 – Інтерфейс АПК (початкове завантаження)  
 Джерело: розроблено авторами

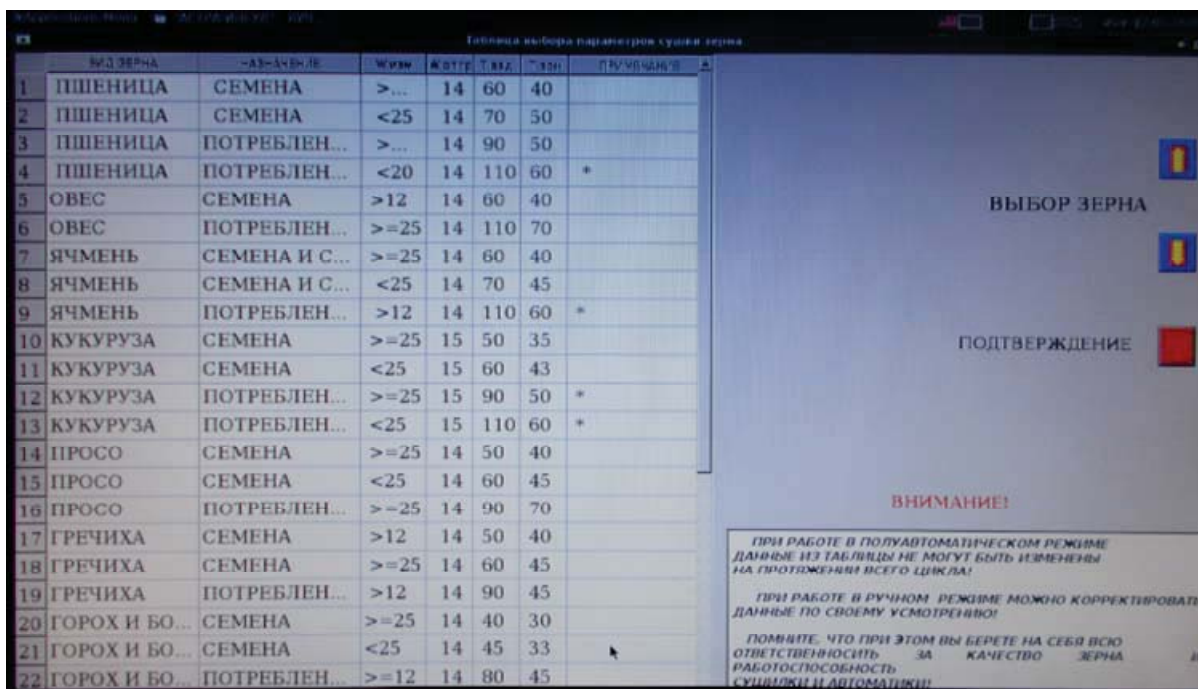


Рисунок 12 – Интерфейс АПК (головне вікно програми)

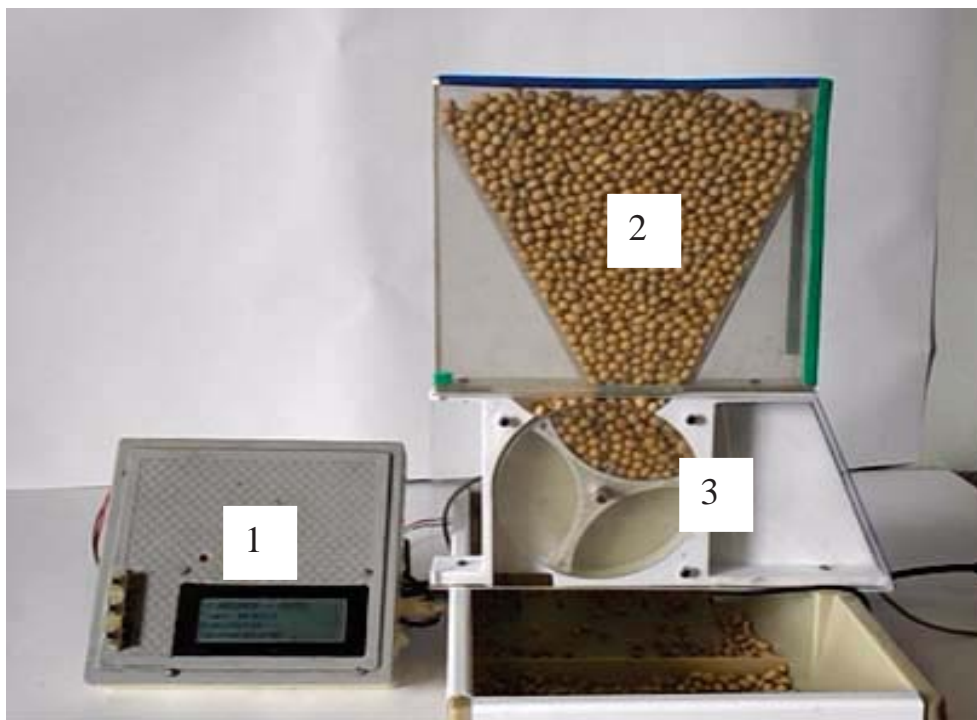
Джерело: розроблено авторами



Рисунок 13 – Интерфейс АПК (результаты работы)

Джерело: розроблено авторами

АПК вимірювання вологості зерна в потоці показано на рис. 14.



1 – електронна частина; 2 – приймаючий бункер; 3 – механізм відбору проб зерна

Рисунок 14 – АПК вимірювання вологості зерна в потоці

*Джерело: розроблено авторами*

При вивченні ринку європейських і вітчизняних постачальників вологомірів для сипучих продуктів виявилось, що проблема вимірювання вологості в потоці актуальна не лише для України, а й для Європи.

Вологомір повинен володіти такими характеристиками:

- вимірювати вологість зерна в потоці загалом, а не окремих його частинах;
- забезпечувати можливість індикації даних про вологість в режимі реального часу;
- характеризуватися простотою монтажу на зерносушарках;
- забезпечувати можливість використання зворотного зв'язку для рециркуляційного сушіння зерна в автоматичному режимі.

На даний час деякі вітчизняні підприємства намагаються вирішити проблему за допомогою безперервних вологомірів зарубіжного або вітчизняного виробництва. Але ці прилади є ще технічно недопрацьованими (нестабільні показники), мають високу вартість і низьку якість вимірювання.

#### **Висновки:**

1. Відсутність системних досліджень вимірювання вологості зерна в потоці для технологічного процесу сушіння в баштових сушарках не дозволяє у повному обсязі використовувати автоматичне керування процесом сушіння з використанням ЕОМ.

2. Розроблені та удосконалені відомі методи для вивчення процесу вимірювання вологості зерна в потоці.

3. Аналіз математичної моделі процесу вимірювання зерна в потоці дозволив встановити, що процес сушіння в баштових сушарках є нестійким з наявністю значних запізнь та нерівномірності вологості матеріалу на вході в систему. На підставі цього

обґрунтовано створення додаткового електромеханічного пристрою для відбору дискретних проб з потоку в залежності від швидкості потоку зерна.

4. Встановлено, що потік зерна створює нерівномірність густини розподілу зерна і значних коливань результатів вимірювання вологості зерна.

5. Отримано експериментальне підтвердження, що розроблений апаратно програмний комплекс (АПК) забезпечує можливість індикації даних про вологість в режимі реального часу з достатньою точністю.

6. Створено механізм автоматичного відбору проб зерна в потоці, що дозволило стабілізувати показники вологості зерна.

7. Розроблено електронну схему вимірювання вологості зерна ємнісним методом.

8. Працездатність розроблених пристроїв та схем підтверджено математичним моделюванням і експериментальними дослідженнями.

## Список літератури

1. Птушкин А.Т., Новицкий О.А. Автоматизация производственных процессов в отрасли хранения и переработки зерна / 2-е изд., допол. и перераб. Москва: Агроатомиздат, 1985. 318 с.
2. Шандров Б.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. Москва: Горячая линия - Телеком, 2009. 608с.
3. Конох В.Л. Компьютерная автоматизация производства. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. 108с.
4. Пашенко В.Ф. Основы проектирования электронных устройств систем автоматики: навч. посіб. Кіровоград: КІСМ, 1998. 328 с.
5. Головки Д.Б. Автоматика і автоматизація технологічних процесів. Київ: Либідь, 1997. 232 с.
6. Промрадар / Промышленные датчики и приборы управления. URL: [www.promradar.ru](http://www.promradar.ru).
7. Техноком : технологии эффективных решений. URL: [www.iktk.ru](http://www.iktk.ru).
8. Хранение зерна и зерновых продуктов / пер. с англ. канд. техн. наук В.Н. Дашевского, канд. биолг. наук Г.А. Закладного. Москва: Колос, 1978. 472с.
9. Лукин А.А. Учет и отчетность на предприятиях по хранению и переработки зерна: для системы хлебопродуктов. Москва: Агропромиздат, 1991. 141 с.
10. Горлач А.А. Цифровая обработка сигналов в измерительной технике. Киев: Техніка, 1985. 151 с.
11. Алиев Т.М., Тер-Хачатуров А.А., Шекиханов А.М. Итерационные методы повышения точности измерений. Москва: Энергоатомиздат, 1986. 168 с.
12. Теория автоматического управления / С.Е. Душин и др. Москва: "Высшая школа", 2005. 287с.
13. ОВЕН. Оборудование для автоматизации. [www.owen.ru](http://www.owen.ru).
14. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: справочное руководство / пер с нем. Москва: Мир, 1982. 512 с.
15. Андриянов А.В., Шпак И.И. Цифровая обработка информации в измерительных приборах и системах. Минск: Высш. шк, 1987. 176 с.
16. Скаржепа В.А., Луценко А.Н. Электроника и микросхемотехника: в 2 ч. : учебн. / под ред. Краснопрошиной. Киев: Выща школа, 1989. Ч.2: Электронные устройства информационной автоматики. 431 с.
17. Куликов В.Н., Миловидов М.Е. Оборудование предприятий элеваторной и зерноперерабатывающей промышленности / 3-е изд., перераб. и доп. Москва: Агропромиздат. 1991. 383 с.
18. Цециновский В.М. Птушкина Г.Е. Технологическое оборудование зерноперерабатывающих предприятий. Москва: Колос, 1976. 368 с.
19. Ефремов Г.И. Модифицированный квазистационарный метод описания кинетики сушки гигроскопичных материалов // ИФЖ. 1999. Т. 72, № 3. С. 420-424.
20. Ефремов Г., Марковски М., Бялобзевски И. Макрокинетика процессов сушки. Москва.: Изд. МГОУ, 2009. 335 с.
21. Efremov G., Kudra T. Drying kinetics in a pulsed-fluid bed dryer -A modified quasi-stationary approach // Proceedings of International Conference "Energy-saving technologies for drying and hydrothermal processing". Moscow, 2002. V. 3. P. 70-73.
22. Кричевский Е. С. Высокочастотный контроль влажности при обогащении полезных ископаемых. - Москва: Недра, 1972. 216 с.



23. Ренгарт И.И. Влагомеры микрорадар – контроль влажности от приемки зерна до готового продукта. URL: <http://microradar.narod.ru/all/physics/mw1/mw1.htm>
24. Контроль влажности твердых и сыпучих материалов / Кричевский Е. С. и др. Москва: Энергоатомиздат, 1986. 136 с.: ил.
25. Исмагуллаев П.Р., Гринвальд А.Б. Теоретическое и экспериментальное исследование сверхвысокочастотного метода измерения влажности материалов. Ташкент: Изд-во «Фан» УзССР, 1982. 84 с.
26. Бензарь В. К. Техника СВЧ-влажнометрии. Минск: Высшая школа, 1974. 352 с.
27. Многопараметрические влагомеры для сыпучих материалов / Дубов Н.С. и др. Москва: Машиностроение, 1980. 144 с.

## References

1. Ptushkin, A.T., Novickij, O.A. (1985). Avtomatizacija proizvodstvennyh processov v otrasli hranenija i pererabotki zerna [Automation of production processes in the grain storage and processing industry]. (2d ed.) Moscow: Agroatomizdat [in Russian].
2. Shandrov, B.V. (2009). Komp'juternoe upravlenie tehnologicheskim processom, eksperementom, oborudovaniem [Computer control of technological process, experiment, equipment]. Moscow: Gorjachaja linija - Telekom[in Russian].
3. Konjuh, V.L. (2006). Komp'juternaja avtomatizacija proizvodstva [Computer automation of production]. Novosibirsk: Izd-vo NGTU [in Russian].
4. Pashenko, V.F.(1988). Osnovi proektuvannja elektronnih pristoiv sistem avtomatiki [Fundamentals of designing electronic devices for automation systems]. Kirovograd: KISM [in Russian].
5. Holovko, D.B. Avtomatyka i avtomatyzatsiia tehnolohichnykh protsesiv [Automation and automation of technological processes]. Kyiv: Lybid' [in Ukrainian].
6. Pomradar. Promyshlennye datchiki i pribory upravlenija [Promradar. Industrial sensors and control devices]. *promradar.ru*. Retrieved from [www.promradar.ru](http://www.promradar.ru). [in Russian].
7. Tehnokom : tehnologii jeffektivnyh reshenij [Technocom: Efficient Solution Technologies]. *iktk.ru*. Retrieved from [www.iktk.ru](http://www.iktk.ru). [in Russian].
8. Hranenie zerna i zernovyh produktov [Storage of grain and cereal products]. (1978). (V.N. Dashevskogo, G.A. Zakladnogo, Trans.). Moscow: Kolos [in Russian].
9. Lukin, A.A. (1991). Uchet i otchetnost' na predprijatijah po hraneniju i pererabotki zerna: dlja sistemy hleboproduktov [Accounting and reporting at the enterprises for the storage and processing of grain: for the bread products system]. Moscow: Agropromizdat [in Russian].
10. Gorlach, A.A.(1985). Cifrovaja obrabotka signalov v izmeritel'noj tehnike [Digital signal processing in measurement technology]. Kiev: Tehnika [in Russian].
11. Aliev, T.M., Ter-Hachaturov, A.A., Shekhanov, A.M. Iteracionnye metody povyshenija tochnosti izmerenij [Iterative methods to improve measurement accuracy]. Moscow: Jenergoatomizdat [in Russian].
12. Dushin, S.E., Zotov, N.S., Imaev, D.H. et al. Teorija avtomaticheskogo upravlenija [Automatic control theory]. Moscow: "Vysshaja shkola" [in Russian].
13. OVEN. Oborudovanie dlja avtomatizacii [ARIES. Automation equipment]. *owen.ru*. Retrieved from [www.owen.ru](http://www.owen.ru) [in Russian].
14. Titce, U., Shenk, K. (1982). Poluprovodnikovaja shemotehnika: Spravochnoe rukovodstvo [Semiconductor Circuitry: Reference Guide]. Moscow: Mir [in Russian].
15. Andrijanov, A.V., Shpak, I.I. (1987). Cifrovaja obrabotka informacii v izmeritel'nyh priborah i sistemah [Digital processing of information in measuring devices and systems]. Minsk: Vyssh. Shk [in Russian].
16. Skarzhepa, V.A., Lucenko, A.N. (1989). Jelektronika i mikroshemotehnika. Jelektronnye ustrojstva informacionnoj avtomatiki [Electronics and microcircuitry. Electronic information automatics devices], (Vols 1-2; Vol. 1), Krasnoproshinoj (Ed.). Kiev: Vyshha shkola [in Russian].
17. Kulikov, V.N., Milovidov, M.E. (1991). Oborudovanie predpriyatij jelevatornoj i zernopererabatyvajushhej promyshlennosti [Equipment of enterprises of the elevator and grain processing industry]. (3d ed.). Moscow: Agropromizdat [in Russian].
18. Cecinovskij, V.M., Ptushkina, G.E. (1976). Tehnologicheskoe oborudovanie zernopere-rabatyvajushhih predpriyatij [Technological equipment for grain processing enterprises]. Moscow: Kolos [in Russian].
19. Efremov, G.I. (1999). Modificirovannyj kvazistacionarnyj metod opisanija kinetiki sushki gigroskopichnyh materialov [Modified quasistationary method for describing the kinetics of drying of hygroscopic materials]. *IFZh*, Vol. 72, 3, 420-424 [in Russian].

20. Efremov, G., Markovski, M., Bjalobrzewski, I. (2009). Makrokinetika processov sushki [Macrokinetics of drying processes]. Moscow: Izd. MGOU [in Russian].
21. Efremov, G., Kudra, T. (2002). Drying kinetics in a pulsed-fluid bed dryer -A modified quasi-stationary approach // Proceedings of International Conference "Energy-saving technologies for drying and hydrothermal processing". Moscow, Vol. 3. P. 70-73. [in English].
22. Krichevskij, E. S. (1972). Vysokochastotnyj kontrol' vlazhnosti pri obogashhenii poleznyh iskopaemyh [High-frequency moisture control during mineral processing]. Moscow: Nedra [in Russian].
23. Rengart I.I. Vlagomery mikroradar – kontrol' vlazhnosti ot priemki zerna do gotovogo produkta [Microradar moisture meters - moisture control from the reception of the grain to the finished product]. *microradar.narod.ru*. Retrieved from <http://microradar.narod.ru/all/physics/mw1/mw1.htm> [in Russian].
24. Krichevskij E. S. et al. Kontrol' vlazhnosti tverdyh i sypuchih materialov [Moisture control of solid and bulk materials]. Moscow: Jenergoatomizdat [in Russian].
25. Ismatullaev, P.R., Grinval'd, A.B. (1982). Teoreticheskoe i jeksperimental'noe issledovanie sverhvysokochastotnogo metoda izmerenija vlazhnosti materialov [Theoretical and experimental study of the microwave method for measuring the humidity of materials]. Tashkent [in Russian].
26. Benzar', V. K. (1974). Tehnika SVCh-vlagometrii [Microwave moisture metering technique]. Minsk: Vyshejsjaja shkola [in Russian].
27. Dubov, N.S., Krichevskij, E.S., Nevzlin, B.I. et al. (1980). Mnogoparametricheskie vlagomery dlja sypuchih materialov [Multiparameter moisture meters for bulk materials]. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].

**Roman Minailenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Alexandr Dreev**, PhD tech. sci., **Alexandr Sobinov**, Lecturer  
*Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine*

**Alexey Denysenko**

*Software engineer in Epam Systems, city Kiev, Ukraine*

### **Development of a Hardware-software System for Measuring the Humidity of Grain in a Stream With an Interface Using the Modbus and Owen Protocol**

Currently, Ukraine is one of the largest producers of grain in the world market, is quite competitive manufacturer of grain dryers and it does not have modern control systems and process control for grain drying

The most bottleneck of such systems is the lack of appropriate requirements for price, accuracy, reliability of devices, which would provide the humidity control of grain drying process in real time. The grain moisture in the stream, produced in the CIS are not used in practice through a low reliability characteristics. The use of imported grain moisture in the stream for most agricultural enterprises are not available due to high cost.

The process of grain drying is one of the most energy intensive and important of the entire cycle of storage and processing of grain. This is due to direct costs due to loss of quality of grain and the impossibility of storage at improper humidity, as well as large energy costs associated with the provision of the drying process.

As a way out, in most cases, the humidity in the drying process is determined by the laboratory. But when using the traditional methods of measuring grain moisture content, the delivery of the results is nearly 60 minutes, which is unacceptable. This leads to irrational spending of coolants, and in some cases lower quality grain.

In view of the above, some enterprises have used the Express grain moisture analyzers. These devices are usually of foreign origin. Even if the Express analyzer grain moisture certified by state standard of Ukraine and proved to use it has the following disadvantages: the presence of the human factor, which can result in delayed measurement of grain moisture; sample may not characterize all grain, but only the part that is in Express analyzer. Thus, the domestic agro-industrial complex does not have a moisture meter grain flow affordable and meets the necessary requirements and terms of validity measurements and reliability .

Therefore, the size of the losses, even at the level of individual bakery reach tens of thousands of UAH per season. The urgency of this problem in General, agriculture is obvious.

**grain, measurements, humidity, hardware and software**

*Одержано (Received) 18.10.2018*

*Прорецензовано (Reviewed) 10.12.2018*

*Прийнято до друку (Approved) 20.12.2018*