

**УДОСКОНАЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ СУШКИ ЗЕРНА  
БЕЗ ВОРУШІННЯ**

*В статті розглянуто удосконалення автоматизованої системи сушки зернових культур на базі багатокамерного бункера. Запропоновано нове рішення, яке ґрунтується на заміні бункера на однокамерний та розробці автоматизованої системи управління на базі контролера. Завдяки цьому досягається істотне збільшення продуктивності та надійності системи, та універсальність її налаштування по відношенню до різноманітних видів зернової продукції. Зазначено, що багатокамерні сушильні камери мають ряд обмежень в досягненні необхідного рівня уніфікації та гнучкості, що необхідна сучасним виробництвам. Так, багатокамерні системи сушки зерна для виготовлення солоду потребують суттєвих технічних змін за необхідності в процесі переробки змінити сорт зерна або навіть культуру. Однокамерні системи сушки зернового продукту виявляються більш гнучкими по відношенню до багатокамерних, але при цьому вимагають значного удосконалення саме систем керування, наприклад, шляхом впровадження мікропроцесорної техніки. Така модернізація однокамерної автоматизованої системи сушки зерна без ворущіння проведена з використанням програмованого модульного мікроконтролера Simantic S7-300. При розробці програмного забезпечення враховувалась його модульна структура Step 7, завдяки чому стало можливим здійснювати індивідуальні програмні налаштування алгоритму управління під необхідний тип зернової культури. Схема автоматизованої сушильної камери без ворущіння передбачає надходження зерна разом з водою по трубопроводу до бункера, де рівномірно розмішується. Рівень зерна в ємності постійно регулюється, а вода в цей час зливається по трубопроводу. Після заповнення ємності та рівномірного розподілення зерна вмикається газогенератор. Процес подачі газів керується за допомогою клапанів на трубопроводах, тиск в яких регулюється за показами первинних перетворювачів, які встановлені в характерних точках. Гаряче повітря з теплогенератора подається в бункер вентилятором, та проходячи крізь шар зерна витяжним вентилятором виноситься назовні. Можливість продувати шар зерна гарячим повітрям за допомогою вентилятора дозволяє процесу протікати без ворущіння. Ступінь готовності зерна в процесі сушки визначається по різниці температур між сухим та вологим повітрям, до шару зерна та після відповідно. Програмне забезпечення мікроконтролера побудоване таким чином, що є можливість зміни параметрів керування режимом обробки зерна на кожному окремому етапі незалежно і, відповідно, оперативно налаштовувати систему керування при зміні асортименту.*

*Ключові слова: автоматизована система; бункер; сушильна камера; сушка зерна, контролер, Simantic S7-300.*

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ  
СУШКИ ЗЕРНА БЕЗ ПЕРЕМЕНИВАНИЯ**

*В статье рассмотрены усовершенствования автоматизированной системы сушки зерновых культур на базе многокамерного бункера. Предложено новое решение,*

основанное на замене бункера на однокамерный и разработке автоматизированной системы управления на базе контроллера. Благодаря этому достигается существенное увеличение производительности и надежности системы, и универсальность ее настройки по отношению к различным видам зерновой продукции. Отмечено, что многокамерные сушильные камеры имеют ряд ограничений в достижении необходимого уровня унификации и гибкости, необходимой современным производствам. Так, многокамерные системы сушки зерна для производства солода требуют существенных технических изменений при необходимости в процессе переработки изменить сорт зерна или даже культуру. Однокамерные системы сушки зернового продукта оказываются более гибкими по отношению к многокамерным, но при этом требуют значительного усовершенствования именно систем управления, например, путем внедрения микропроцессорной техники. Такая модернизация однокамерной автоматизированной системы сушки зерна без перемешивания проведена с использованием программируемого модульного микроконтроллера Simantic S7-300. При разработке программного обеспечения учитывалась его модульная структура Step 7, благодаря чему стало возможным осуществлять индивидуальные программные настройки алгоритма управления под необходимый тип зерновой культуры. Схема автоматизированной сушильной камеры без перемешивания предусматривает поступление зерна вместе с водой по трубопроводу в бункер, где равномерно размешивается. Уровень зерна в емкости постоянно регулируется, а вода в это время сливается по трубопроводу. После заполнения емкости и равномерного распределения зерна включается газогенератор. Процесс подачи газов управляется с помощью клапанов на трубопроводах, давление в которых регулируется по показаниям первичных преобразователей, установленных в характерных точках. Горячий воздух из теплогенератора подается в бункер вентилятором, и проходя через слой зерна вытяжным вентилятором выносятся наружу. Возможность продувать слой зерна горячим воздухом с помощью вентилятора позволяет процессу протекать без перемешивания. Степень готовности зерна в процессе сушки определяется по разнице температур между сухим и влажным воздухом, до слоя зерна и после соответственно. Программное обеспечение микроконтроллера построено таким образом, что есть возможность изменения параметров управления режимом обработки зерна на каждом отдельном этапе независимо и, соответственно, оперативно настраивать систему управления при изменении ассортимента.

Ключевые слова: автоматизированная система; бункер; сушильная камера; сушка зерна; контроллер; Simantic S7-300.

L.P. GOLUBEV, I. L. KIVA  
Kyiv National University of Technology and Design

### **IMPROVEMENT OF THE AUTOMATED GRAIN DRYING SYSTEM WITHOUT CHANGING**

*The article discusses the improvements in the automated system for drying grain crops based on a multi-chamber bunker. A new solution is proposed based on replacing the bunker with a single-chamber one and developing an automated control system based on a controller. Thanks to this, a significant increase in the productivity and reliability of the system is achieved, and the versatility of its adjustment in relation to various types of grain products. It is noted that multi-chamber drying chambers have a number of limitations in achieving the required level of unification and flexibility required by modern industries. Thus, multi-chamber grain drying systems for the production of malt require significant technical changes if it is necessary to change the type of grain or even the crop during processing.*

*Single-chamber systems for drying a grain product turn out to be more flexible in relation to multi-chamber ones, but at the same time they require significant improvements in control systems, for example, by introducing microprocessor technology. This modernization of a single-chamber automated grain drying system without mixing was carried out using a programmable modular microcontroller Simantic S7-300. When developing the software, its Step 7 modular structure was taken into account, which made it possible to carry out individual software settings of the control algorithm for the required type of grain crop. The scheme of an automated drying chamber without mixing provides for the flow of grain along with water through a pipeline into the hopper, where it is evenly mixed. The grain level in the tank is constantly regulated, while the water is drained through the pipeline at this time. After filling the container and evenly distributing the grain, the gas generator is turned on. The gas supply process is controlled by valves on the pipelines, the pressure in which is regulated according to the indications of the primary converters installed at characteristic points. Hot air from the heat generator is supplied to the hopper by a fan, and passing through the grain layer by an exhaust fan is carried out. The ability to blow the grain layer with hot air using a fan allows the process to proceed without stirring. The degree of grain readiness during the drying process is determined by the temperature difference between dry and moist air, before and after the grain layer, respectively. The microcontroller software is built in such a way that it is possible to change the control parameters of the grain processing mode at each separate stage independently and, accordingly, quickly adjust the control system when changing the assortment.*

*Keywords: automated system; bunker; drying chamber; grain drying; controller; Simantic S7-300.*

### **Постановка проблеми**

В процесі приготування зерна автоматизована сушильна камера використовується для зменшення степені вологості зерна, а також «обжарки» необхідних сортів.

З часом багатокамерні сушильні камери відходять на другий план так як не дають достатнього рівня уніфікації та гнучкості що необхідна сучасним виробництвам. За роки роботи було виявлено що багатокамерні автоматизовані системи сушки зерна для виготовлення солоду, окрім того що більш громіздкі, потребують технічних змін за необхідності змінити сорт зерна або навіть культуру. А однокамерні в той же час не дають необхідного рівня універсальності, а також менш надійні [1–3].

Так як сушка зернових культур в процесі виготовлення необхідної продукції один з найважливіших процесів заготування зернової продукції, незалежно від того чи для зберігання чи для підготування зерна до виготовлення продукту, як, наприклад, карамелізації солоду в пивоварінні, тому її удосконаленню та уніфікації сьогодні приділяється дуже велика увага.

При цьому дуже часто виникає необхідність в модифікації існуючого обладнання, шляхом впровадження сучасних систем управління. Для забезпечення цього найкраще підходять новітні мікропроцесорні системи, які відрізняються своєю варіативністю, доступністю і простотою програмування, налаштування і управління.

Для модернізації було прийнято рішення відмовитися від каскадної системи камер в перевагу однокамерної автоматизованої системи сушки зерна без ворущіння, що керується програмованим модульним мікроконтролером Simantic S7-300. Ця система відрізняється своєю універсальністю відносно сорту зерна і його типу без необхідності змін в апаратному плані обмежуючись програмним.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Звісно на сьогодні відомі конструкції однокамерних систем сушки зерна, проте їх система просто передбачає зменшення кількості бункерів без зміни основного функціонала. Як результат отримуємо конвеєрну будову бункера з необхідністю витрат тепло елемента на протязі всієї стрічки, що також призводить до неминучого збільшення вірогідності пожежі. Як альтернативу можу запропонувати систему сушки без ворухіння де шляхом зниження шару зерна можливо продувати його наскрізь, а програмне забезпечення зможе замінити конвеєрну систему, в цьому випадку можна знизити небезпеку та шанси на пошкодження зерна в процесі сушки [4].

### Мета дослідження

Основна мета роботи полягає в тому, щоб розробити удосконалену схему автоматизованої системи управління (АСУ) сушки зерна без ворухіння для однокамерного бункера, та створити програмне управління технологічним процесом.

АСУ має бути здатна на автоматизовану сушку зерна без необхідності втручання оператора в процес та з можливістю створити на базі розробленого програмного забезпечення SCADA- систему для контролю роботи.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Для управління процесом сушки зерна без ворухіння розроблена автоматизована система. Розробка програмного забезпечення виконувалась в середовища Step 7, створеного для лінійки контролерів Simantic. Модульна система цього середовища дозволяє встановити індивідуальні програмні налаштування для управління під необхідний тип зернової культури.

В розробленій системі управління необхідно встановлювати періоди простою для додаткового контролю за якістю зерна та запобігання згорання продукту.

Наприклад, для солоду було розроблено програму при якій зміна його вологості й температури має проходити в межах відповідних трьом етапам сушки :

- фізіологічна фаза – температура солоду підвищується з 20 до 40 градусів, вологість зменшується з 45%до 30%
- ферментативна фаза – температура солоду підвищується з 40 до 60 градусів, вологість зменшується з 30%до 10%
- хімічна фаза – температура солоду підвищується з 60 до 80 градусів, вологість зменшується з 10% до 3%

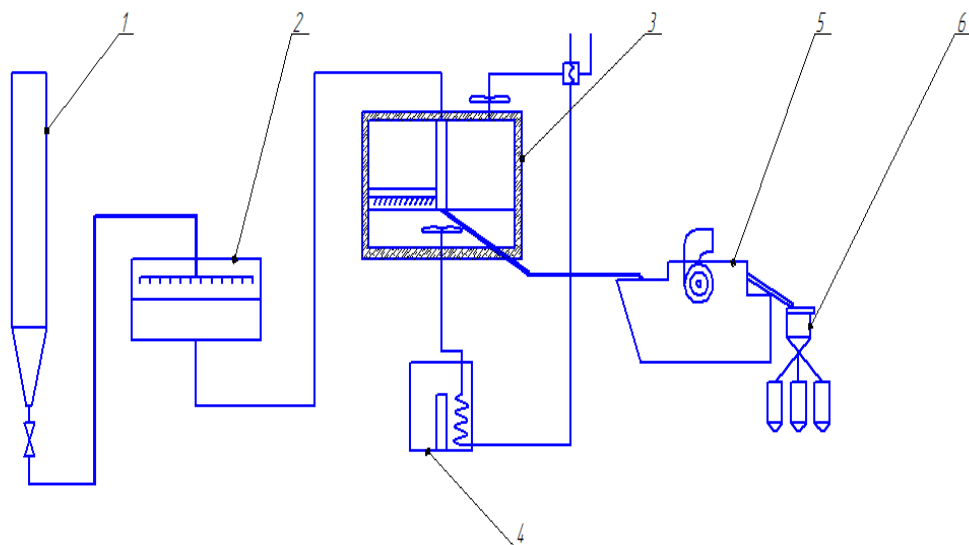
Між кожним етапом передбачений період простою (при якому зберігається вже досягнута температура) в 1 годину для того щоб дати зерну «відпочити» від агресивності навколишнього середовища.

Нижче наведений приклад програми нагріву сушки для солоду:

<p><b>Network 1: Команда для нагріву до 20 градусів.</b></p> <pre> L «Temp» IW270 L 20 &lt;=I = M 0.0                     </pre>	<p><b>Network 2: Команда на вимкнення нагріву на годину для «відпочинку» зерна.</b></p> <pre> AN M 0.0 L S5T1H0M0S SP T 1 NOP 0 NOP 0 NOP 0 A T 1 = M 0.1                     </pre>
--	--

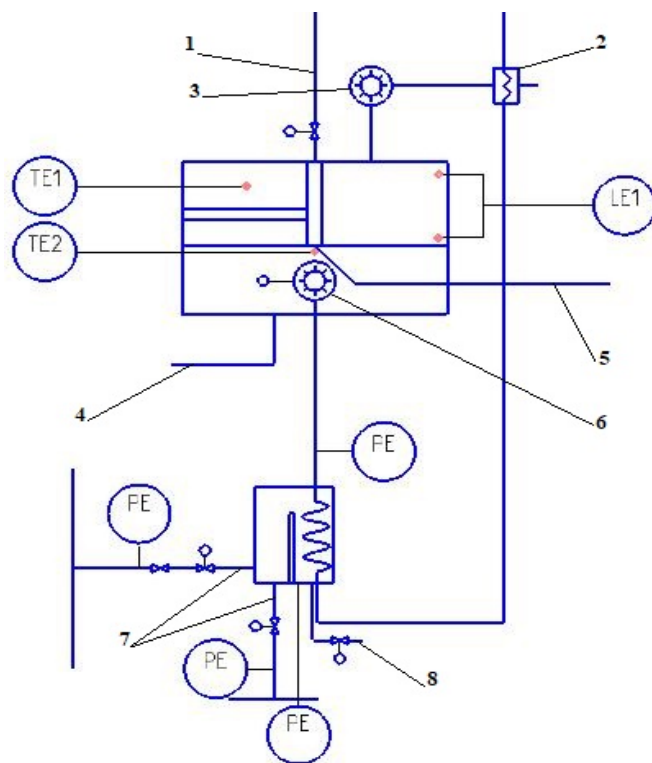
<p><b>Network 3: Команда для нагріву до 40 градусів.</b></p> <pre> AN M 0.1 A ( L "Temp" IW270 L 40 &lt;=I ) = M 0.2                     </pre>	<p><b>Network 4: Команда на вимкнення нагріву на годину для «відпочинку» зерна.</b></p> <pre> AN M 0.2 L S5T1H0M0S SP T 2 NOP 0 NOP 0 NOP 0 A T 2 = M 0.3                     </pre>
<p><b>Network 5:</b></p> <pre> AN M 0.2 A ( L "Temp" IW270 L 60 &lt;=I ) = M 0.4                     </pre>	<p><b>Network 6: Команда на вимкнення нагріву на годину для «відпочинку» зерна.</b></p> <pre> AN M 0.4 L S5T1H0M0S SP T 3 NOP 0 NOP 0 NOP 0 A T 3 = M 0.5                     </pre>

Якщо поглянути на схему перебігу технологічного процесу виготовлення/заготовки зерна (рис.1), то можна побачити, що сушка зерна є центральним елементом системи. Апаратно сушильна камера 3 розміщується після грядок для пророщення зерна 2, звідки воно транспортується в ємність для сушки за допомогою води і з'єднана конвеєром з очисним апаратом куди зерно відправляється після протікання процесу сушки.



**Рис. 1. Схема перебігу процесу виготовлення/заготовки зерна:**  
**1 – елеватор для зерна, 2 – грядки, де знаходиться зерно до утворення в ньому ростків, 3 – сушильна камера для сушки зерна, 4 – теплогенератор газовий, 5 – апарат для чистки зерна після сушки, 6 – сортувальна машина для відбору відходів від зерна.**

Розроблена автоматизована схема управління сушінням зерна без ворущіння [5] наведена на рис. 2.



**Рис. 2. Схема автоматизованої сушильної камери без ворущіння:**

- 1 – трубопровід, по якому зерно разом з водою потрапляє до сушильної камери, 2 – схематичне зображення теплообмінника для нагрівання вуличного повітря що забирається до теплогенератора з метою економії, 3 – витяжний вентилятор, 4 – злив для води, 5 – вивідний конвектор для готової продукції, 6 – вентилятор, що подає тепло з теплогенератора в бункер, 7 – трубопроводи для подачі газового палива в теплогенератор, 8 – протиаварійний витяжний механізм теплогенератора.

По трубопроводу 1 зерно надходить до бункера та рівномірно розміщується черв'ячним валом.

Рівень зерна в ємності регулюється датчиком рівня LE1, а вода в цей час зливається по трубопроводу 4. Для запобігання ушкоджень також встановлено захисну перегородку над вентилятором 6.

Після надходження зерна в ємність та рівномірного розподілення вмикається газогенератор.

Газогенератор здатен працювати на більш дешевому природному паливі, але його для цього необхідно додатково запалювати за допомогою більш горючих газів. Процес подачі газів керується за допомогою клапанів на трубопроводах 7, тиск в яких регулюється за показами датчиків PE. Для додаткової безпеки та запобігання аварії в газогенераторі встановлено протиаварійний витяжний механізм що при надмірному тиску відкриває заслону і дозволяє стравити газ.

Гаряче повітря з теплогенератора подається в бункер вентилятором 6, та проходячи крізь шар зерна витяжним вентилятором виноситься назовні крізь теплообмінну систему труб 2, крізь яку наганяється повітря з вулиці, що також дозволяє зекономити теплові ресурси.

Можливість продувати шар зерна вентилятором дозволяє даному процесу протікати без ворушіння і тим самим як спростити схему в програмному плані так і здешевити її в технологічному.

Вологість зерна в процесі сушки визначається як різниця температур між сухим та вологим повітрям, до шару зерна та після відповідно. Для цього встановлені температурні датчики Т1 над шаром зерна та Т2 над вентилятором.

Після закінчення процесу сушки зерно по вивідному конвеєру для зерна відправляється далі згідно технічній карті процесу.

Використовуваний в даній системі контролер Simantic S7-300 в своїй структурі передбачає модульну конструкцію, тому можливо з'єднати вторинні перетворювачі що з'єднані з датчиками вмонтованими по місцю Profibus-ом через модульну базу ET 1200. Таким чином біля всіх необхідних елементів можна встановити щити по місцю, та керувати ними через SCADA систему з операторського місця.

Загалом дана система має стати більш надійною, універсальною, а також більш безпечною аніж аналогічні системи сушки зерна.

### Висновки

Удосконалення, запропоноване в даній статі, забезпечує оптимізацію та уніфікацію процесу сушки під час обробки та заготівлі зерна.

Використання запропонованої роботи з модернізації дозволить більш ефективно підходити до процесу сушки зерна та мати можливість обирати більш різноманітні сорти та види зернових культур. Крім того ця схема переробки суттєво знижує ризики виникнення аварійних ситуацій, які можуть виникнути внаслідок виділення небезпечних токсинів та супутніх газів від зерна.

Також широкі можливості в програмному налаштуванні запропонованим мікроконтролером дозволять лише заміною програми змінити обрану зернову культуру та налаштувати процес сушки під необхідні потреби. Значним плюсом в даному плані стає можливість встановити SCADA систему для полегшення роботи з програмою операторам лінії.

### Список використаних джерел

1. Баланов П. Е., Смотраева И. В. Технология солода. СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. 82 с.
2. Манасян С. К. Методы интенсификации процессов сушки зерна. *Ресурсосберегающие технологии сельского хозяйства: Приложение к «Вестнику КрасГАУ»*. 2007. Вып. 4. С. 89–92.
3. Пузик Л.М., Пузик В.К.Технологія зберігання і переробки зерна. Х.: ХНАУ, 2013. 312 с.
4. Цугленок Н. В., Манасян С. К., Демский Н. В. Техника и технология сушки зерна. Красноярск: Красноярский гос. аграрный ун-т., 2009. 104 с.
5. ДСТУ Б А.2.4-3:2009. СПДБ. Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів. [Чинний від 2010-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 56 с.

### References

1. Balanov, P. E., & Smotraeva, I. V. (2014). *Tehnologiya soloda*. SPb.: NIU ITMO; IHiBT.
2. Manasyan, S. K. (2007). *Metodyi intensifikatsii protsessov sushki zerna. Resursosberegayuschie tehnologii selskogo hozyaystva: Prilozhenie k «Vestniku KrasGAU»*. 4, 89–92.
3. Puzik, L. M., & Puzik, V. K. (2013). *Tekhnolohiia zberihannia i pererobky zerna*. Kh. : KhNAU.

4. Tsuglenok, N. V., Manasyan, S. K., & Demskiy, N. V. (2009). *Tehnika i tehnologiya sushki zerna*. Krasnoyarsk: Krasnoyarskiy gos. agrarniy un-t.
5. DSTU В А.2.4-3:2009. SPDB. *Pravyla vykonannya robochoi dokumentatsii avtomatyzatsii tekhnolohichnykh protsesiv*. [Chynnyi vid 2010-01-01]. Vyd. ofits. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy.

Голубев Леонтій Петрович – к.т.н., доцент кафедри комп’ютерно-інтегрованих технологій та вимірювальної техніки Київського національного університету технологій та дизайну, e-mail: golubev1@ukr.net, ORCID: 0000-0002-2980-8017.

Ківа Ігор Леонідович – к.т.н., доцент кафедри комп’ютерно-інтегрованих технологій та вимірювальної техніки Київського національного університету технологій та дизайну, e-mail: leonidovich1259@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2920-5312.