

## МОДУЛЬНІ ЗЕРНОСУШАРКИ НА РИНКУ УКРАЇНИ

**В. Кравчук**, д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НААН України,  
<https://orcid.org/0000-0003-2196-4960>

**М. Занько**, канд. техн. наук,  
e-mail: [Nikolai.Zanko82@gmail.com](mailto:Nikolai.Zanko82@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-8964-0706>,

**О. Лисак**,  
ДНУ “УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого” смт Дослідницьке

**Анотація.** Мета статті: дослідження особливостей будови і функціонування та експлуатаційних показників призначення модульних сушарок виробництва провідних компаній. б  
Методи досліджень: аналітичний огляд та аналіз конструкції за даними компаній-виробників та реальних зразків модульних зерносушарок.

У статті наведено результати досліджень модульних зерносушарок виробництва провідних зарубіжних та вітчизняних компаній. Вони пропонують широкий вибір модульних сушарок, які здатні забезпечити продуктивність від 3,5 т/год до 250 т/год.

Особливості конструкції модульних сушарок: корпус зерносушарки, решета зернових колон виконані з оцинкованої сталі; потоковий режим руху зерна дозволяє сушити зерно до необхідної кондиційної вологості за один прохід; здатність роботи в режимах «сушіння» і «сушіння - охолодження»; у зернових колонах встановлені змішувачі для забезпечення рівномірного сушіння зерна; здатність працювати на природному або зрідженому газі та дизельному паливі; незначне споживання палива; об'єднання в одному корпусі вентилятора та пальника забезпечує оптимальне спалювання і нагрівання повітря; автоматична система контроль процесу пальників; зерносушарки мають режим ручного керування, що забезпечує вимкнення і припинення подачі газу в будь-якій ситуації.

Недоліки, властиві для модульних сушарок:

- зерно з внутрішньої (гарячої) сторони сушарки перегрівається і пересушується, а зовнішній шар зерна - недосушується;

- холодний вітер, або дощ призводять до неоднорідного сушіння зерна;

- для сушіння насіння дрібнонасінних культур

необхідні стінки з відповідним дрібним перфоруванням;

- під час руху вертикального стовпа зерна відбувається його тертя об внутрішні і зовнішні стінки, стирання і травмування;

- можливе застрявання вологого зерна в будь-якому місці по висоті потоку, що призводить до появи локальних місцевих потоків і перегріву;

- під час сушіння деяких культур виділяється багато зернового пилу, який забруднює прилеглу територію;

- тоненька оболонка, відділяючись від кожного зернятка, забиває зовнішні перфоровані листи. Це знижує ефективність сушіння;

- відсутність рекуперації тепла із зони охолодження висушеного зерна і відсутність теплоізоляції призводить до споживання величезної кількості енергоносія.

Визначальними факторами у підборі модульної зерносушарки, які впливають на вибір споживачів, є показники продуктивності сушарки, її енерговитратність, надійність, довговічність роботи і ціна.

**Висновки.** Модульні зерносушарки виробництва провідних компаній світу та вітчизняних підприємств-виробників мають просту та надійну конструкцію, забезпечують широкий діапазон продуктивності, адаптовані до технологічної роботи з пальниками, які працюють із використанням електроенергії, дизельного палива, газу та біопалива і наряду зерносушарками інших типів знаходять широке та ефективне застосування в Україні.

**Ключові слова:** модульна зерносушарка; особливість конструкції; сушильна камера та зерновий модуль; технологічні режими, режим та продуктивність сушіння; витрати енергоносія, недоліки та переваги модульних сушарок.

**Суть проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** Сьогодні на ринку України присутні сушарки з різноманітними конструкційними ознаками та характеристиками процесу сушіння, який проходить у них. Відповідно з ними зерносушарки класифікують за рядом ознак, визначальними із яких є: спосіб підведення тепла до зерна, стан зернового шару, режим роботи сушарки та конструкційне виконання.

За принципом побудови конструкції сушарки поділяються на мобільні сушарки, стаціонарні баштові та шахтні сушарки і модульні.

Принцип роботи горизонтальних (або вертикальних) модульних зерносушарок базується на поперечній подачі повітря (гарячого і холодного) через шар зерна, що протікає між стінками з перфорованих листів [1]. Модульні горизонтальні зерносушарки широко використовуються в Україні. В останні 5 років спостерігається стійка тенденція до зростання використання модульних сушарок (порівняно із поки що панівними шахтними сушарками) [2]. Однак, інформація про них, виробників, які їх постачають, особливості конструкції та експлуатації, а також експлуатаційні показники в значній мірі розрізнені і незначні. Це не сприяє їх об'єктивній оцінці та ефективності використання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми.** Модульними або колонковими прийнято називати сушарки через конструкційні особливості їхнього компонування. Основною складовою частиною модульної горизонтальної зерносушарки є сушильний модуль, завантажувальний та розвантажувальний пристрої, комплект газових пальників з вентиляторами або біотеплогенератор [3], органи управління і регулювання. Кількість модулів і колон (секцій) в сушарці залежить від заявленої споживачем продуктивності. Залежно від моделі зерносушарка може мати від одного до кількох модулів [4]. Сушильний модуль складається з камери нагрівання та охолодження. Базовий (нижній) модуль встановлюється на раму, яка закріплена на фундаменті. Для підтримання заданого рівня зерна в кожному модулі встановлені датчики верхнього і нижнього рівня. Розвантажувальний

пристрій складається з корпусу, дозувальних вальців з приводом і шнека. Привод дозувальних вальців здійснюється від двигун-редуктора.

За будь-якого методу процес сушіння полягає в підведенні тепла до зерна, переміщенні вологи з його внутрішніх шарів на поверхню зерна і видаленні вологи у вигляді пари в навколишнє середовище. За способами підведення тепла всі сушарки діляться на конвективні і контактні (кондуктивні). У більшості сучасних зерносушарок, включаючи і модульні, використовується **конвективний спосіб сушіння** [5]. Він є найбільш раціональним, оскільки за нього нагріте повітря або суміш повітря з гарячими топковими газами проникає в міжзерновий простір зернового шару, який перемішується або пересипається і відносить поглинуту вологу. У модульних сушарках процес сушіння здійснюється поперечною подачею повітря (гарячого і холодного) через шар зерна, який протікає між стінками модулів з перфорованих листів. У сушарках виробництва Європи та в США для сушіння зерна використовують, в основному, конвективний спосіб [5]. За станом зернового шару сушарки бувають з рухомих, нерухомих, псевдорозріджених і завислих шаром. Найбільше розповсюдження отримали сушарки, в яких зерно просушують комбінованим способом.

Режим роботи зерносушарок може бути періодичним і безперервним. В сушарках періодичної роботи зерно завантажують в робочу шахту на повну її місткість, висушують до потрібної вологості без перемішування і повністю розвантажують.

За конструкційним виконанням сушарки ділять на стаціонарні і пересувні. Пересувні сушарки використовують для сушіння невеликих партій зерна. Продуктивність пересувних сушарок обмежена їхніми габаритами і не перевищує (8 - 10) т/год. Стаціонарні сушарки встановлюють окремо, прив'язуючи технологічно-транспортними комунікаціями до елеваторів або силосних корпусів. Вони мають, як правило, більш високу продуктивність, їх використовують в механізованих технологічних лініях приймання і післязбиральної обробки зерна.

Основна конструкційна відмінність зерносушарок порційного і потокового типу полягає в

наявності у поточних зерносушарок дозувальних вальців, які регулюють швидкість розвантаження висушеного зерна і запобігають вивантаженню недосушеного. На відміну від порційних зерносушарок всі моделі поточних зерносушарок можуть працювати в режимі тільки нагріву зерна, але не всі моделі можуть працювати в режимі нагрівання та охолодження зерна в зерносушарках. Для того, щоб потокова зерносушарка мала можливість працювати в режимі нагрівання та охолодження зерна в зерносушарці вона повинна мати як мінімум два вентилятори з пальниками, а камера сушіння повинна бути розділена спеціальною перегородкою мінімум на два відсіки. Поки зерно проходить зону верхнього відсіку – воно нагрівається і досягає заданого рівня вологості. Після цього зерно проходить зону нижнього відсіку, в якому відбувається продування зерна холодним повітрям і його охолодження.

За принципом дії сушарки ділять на прямоочні і рециркуляційні. В прямоочних сушарках зерно проходить через сушильну шахту один раз, зниження його вологості залежить від прийнятого режиму сушіння. Для запобігання перегріву і погіршення якості зерна вологість знижують за один прохід не більше ніж на (6-7) %. За необхідності більшого зниження вологості застосовують дво- трикратний пропуск зерна через сушарку, або установлюють послідовно декілька сушарок. Повторне сушіння вологого зерна ускладнює його обробіток, різко знижує коефіцієнт використання сушильних потужностей, приводить до непродуктивних затрат на завантажувально-розвантажувальні роботи.

За результатами багатолітнього використання сушарок різних типів сформовані основні вимоги до зернових сушарок модульного типу:

- висока інтенсивність сушіння зерна і продуктивності при цьому;
- висока рівномірність вологості і якісних характеристик висушеного зерна;
- низький ступінь травмування зерна системами, механізмами та обладнанням сушарки;
- високі техніко-економічні показники питомих витрат палива та електроенергії;
- високий коефіцієнт використання отриманого тепла для сушіння та незначні його непродуктивні втрати;

дуктивні втрати;

- ефективне охолодження зерна після сушіння: температура зерна на виході із сушарки не повинна перевищувати температуру атмосферного повітря більше ніж на 10° С;

- можливість застосовувати економічні режимами сушіння;

- стабільність виконання технологічного процесу, надійність та безпечність у роботі;

- універсальність за кількістю та видами палива, яке використовується для сушіння зерна;

- наявність автоматизованої системи управління зерносушаркою і контролю вологості зерна;

- автоматизація та оперативне отримання параметрів сушіння і вологості зерна в процесі технологічного процесу;

- відсутність шкідливого впливу на обслуговування і навколишнє середовище.

**Мета статті:** дослідження особливостей будови і функціонування та експлуатаційних показників призначення модульних сушарок виробництва провідних компаній.

**Виклад основного матеріалу досліджень (результати досліджень).** Модульні (горизонтальні) зерносушарки знаходять достатньо широке застосування в Україні, де їх представляють близько трьох десятків виробників та постачальників. Безумовним лідером у виробництві та постачанні сушарок модульного типу є компанії-виробники США. Вони та їх представники пропонують широкий вибір модульних сушарок, які здатні задовольняти запити як фермерів (продуктивність від 3,5 т/год до 40 т/год за зниження вологості від 25 % до 15 % із охолодженням зерна і, відповідно, від 4,5 т/год до 66 т/год за зниження вологості зерна від 20 % до 15%), а також великих товаровиробників – за блокування двох, трьох і більше модулів загальною продуктивністю від 10 т/год до 250 т/год.

**Зерносушарки модульного типу серій DPSL, MSF, DPX8T і DPX12T** (компанія Delux MFG.Co, США) в дійсний час достатньо широко використовуються в господарствах України. Вони призначені для сушіння продовольчого, фуражного і насінневого зерна та зернобобових культур, можуть працювати як у поточному, так і порційному режимі. Залежно від моделі зерносушарка може мати від 1 до 3



модулів. Для підтримування заданого рівня зерна встановлено датчики верхнього і нижнього рівня. Розвантажувальний пристрій складається з корпусу, дозувальних вальців з приводом і шнека. Приводяться дозувальні вальці від мотор-редуктора. Теплоносій до сушильних камер та атмосферне повітря до охолоджувальної камери подається осьовими вентиляторами. Вони (1-4 шт. з різною потужністю залежно від моделі зерносушарки) встановлені в базовому модулі між зоною сушіння і зоною охолодження. Режим роботи сушильної зони – нагнітання, охолоджувальної зони – всмоктування. На зовнішніх стінках охолоджувальної секції змонтовані аварійні люки для випуску зерна із сушарки.

Автоматизована система управління забезпечує:

- контроль вологості зерна на виході із зерносушарки (за вимогою замовника – на вході);
- оптимальну швидкість проходження зерна через зерносушарку на основі показників вологоміра;
- сигналізацію про несправність, аварійну ситуацію та способи їх усунення;
- контроль температури теплоносія і нагрівання зерна;
- контроль роботи газового пальника;
- дистанційне керування роботою зерносушарки.

Сушарки працюють на газу. Їхня продуктивність сушіння кукурудзи від 25 °С до 15 °С становить (7,89 - 35,6) т/год. Згідно з технічною характеристикою витрата газу задекларована на рівні (0,6-1,54) м<sup>3</sup> на 1 т/%. Широкий модельний ряд сушарок дозволяє широко використовувати їх у сільськогосподарській структурі виробництва зерна залежно від їхньої продуктивності та потужності господарства. За останнє десятиліття в Україні реалізовано близько 300 сушарок. Компанія «Delux» – одна з перших фірм, яка представила на ринок зерносушарку з вакуумним охолодженням. Цей тип сушарки є найбільшою модульною сушаркою на ринку. Правильний потік повітря та ефективне згорання палива в ній і забезпечують свою перевагу, яка виражається в малих енерговитратах.

**Сушарки модульного типу UGT** (компанія United Grain Technologies Ltd) (рис. 1) скла-

дають модельний ряд (15 сушарок) з продуктивністю від 10 т/год до 150 т/год. На сушінні кукурудзи їхня продуктивність досягає 98 т/год.



Рисунок 1 - Модульна зерносушарка типу UGT

### **Особливості зерносушарок UGT:**

- корпус зерносушарки виконаний з оцинкованої сталі, що попереджає передчасну корозію металу;
- конструкція зерносушарки забезпечує легкість монтажу та обслуговування;
- управління автоматичною системою безпеки здійснюється електронним блоком контролю полум'я SIEMENS;
- потоковий режим руху зерна дозволяє довести зерно до необхідної кондиційної вологості за один прохід;
- можливість роботи в двох режимах: «сушіння» і «сушіння - охолодження»;
- у зернових колонах встановлені змішувачі для забезпечення рівномірного сушіння зерна;
- зерносушарки можуть працювати на природному або зрідженому газі та дизельному паливі;
- незначне споживання палива;
- зерносушарки забезпечені системою повного автоматичного контролю безпеки, а також ручним керуванням, що забезпечує ввмикання і припинення подачі газу в будь-якій аварійній ситуації.

**Зерносушарки модульного типу серії «TE»** (компанія «Sukup Manufaktur Company», США) (рис. 2) представлені широким рядом сушарок серії «TE». Число модулів зерносушарки може досягати трьох. Загальна місткість (зерно кукурудзи) становить від 5,5 тонн до 46 тонн. Продуктивність таких сушарок (на сушінні ку-

курудзи від 25 % до 15%) може становити (5,3...57,1) т/год. Середні витрати газу (пропан-бутан), залежно від продуктивності, становлять (42...680) м<sup>3</sup>/год. Сумарна потужність використаних електродвигунів лежить в діапазоні (15...100) кВт.

Зерносушарки модульного типу ADAKU-RUTMA (торгова марка «ADAKU-RUTMA», Туреччина) можуть мати 1-3 модулі (моделі 1060 - 1132, 2083 - 3135).



Рисунок 2 - Зерносушарка модульного типу ADAKURUTMA

Середній об'єм сушарок моделей 1060-1132 становить (10,6...22,9) м<sup>3</sup>, а моделей 2083-3135 – (25,95...61,7) м<sup>3</sup>. Продуктивність (без охолодження зерна), на сушінні зерна кукурудзи від 30 % до 15 % – (5,5...12) т/год і (14,9...40,6) т/год (відповідно). Середні витрати природного газу (відповідно до продуктивності сушіння) становлять (63...434) м<sup>3</sup>.

#### Особливості будови:

- зовнішні і внутрішні сита зернових колон виготовлені із нержавіючої сталі;
- оцинкований кожух пальника і вентилятора захищає зерносушарку від корозії. Всі металеві деталі зерносушарки, крім решіт, оцинковані;
- внутрішня перегородка ділить камеру сушіння в оптимальній пропорції, що спрямовано на максимальну ефективність і продуктивність у поточному сушінні в режимі «нагрівання - охолодження»;
- в процесі сушіння зерна пальники автоматично переходять з режиму «велике полум'я» в режим «мале полум'я», підтримуючи при цьому необхідну температуру агента сушіння в камері сушарки, забезпечуючи тим самим раціональне

використання газу;

- електронна система розпалювання і контролю полум'я пальника забезпечує стабільну роботу в двоступеневому режимі;

- вентилятор і пальник об'єднані в одному корпусі, що забезпечує оптимальне нагрівання агента сушіння (повітря);

- у вентиляторах встановлені поліпропіленові, армовані скловолокном, лопаті. Вони обумовлюють незначне навантаження на електродвигун на старті, точність балансування та низький рівень шуму. Це також дозволяє забезпечити інтенсивний повітряний потік в широкому діапазоні статичного тиску в камері сушіння;

- конструкція камери для змішування гарячого і холодного потоків повітря дозволяє сформувати рівномірний розподіл температури агенту сушіння по всьому об'єму сушарки;

- всі показники роботи сушарки: наявність полум'я пальників, робота верхнього і нижнього шнеків, автоматичне підтримування вологості кінцевого продукту, – контролюються оператором за допомогою дисплея;

- за спрацювання будь-якого з датчиків системи безпеки сушарка моментально від'єднується від газового постачання та електрозабезпечення.

**Принцип роботи.** Зерно подається в завантажувальну воронку норією або транспортером і розподіляється всередині сушарки завантажувальним шнеком. В процесі сушіння потік гарячого повітря проходить через шар зерна і нагріває його. Волога, яка виділяється, проходить через перфоровані стінки зернових колон. Температура в камері сушіння стабілізується і оператор задає необхідні параметри. Завдяки режимам «нагрівання-охолодження» і автоматичному встановленню частоти обертання дозувальних вальців на виході із сушарки зерно має заданий рівень вологості. Максимальна ефективність роботи зерносушарки досягається за умови її використання в проточному режимі і повній автоматизації процесу сушіння.

**Зерносушарки модульного типу Farm Fans** (фірма Farm Fans, США) представлені сушарками серій CMS та CF/AB. Їхня місткість коливається від 15,1 до 40,5 тонн, а продуктивність (з охолодженням зерна), на сушінні кукурудзи від 20 % до 15 % – від 13,2 т/год до 892

т/год. Однак слід пам'ятати, що в умовах України доводиться сушити кукурудзу з вологістю, яка іноді навіть перевищує 35 %. Тому задекларована вище продуктивність буде значно меншою.

**Зерносушарки модульного типу NEODRY** (торгова марка «NEODRY», Туреччина) виконані із модулів і колон, кількість яких визначається замовником. Фірма пропонує сушарки з 13-ма (!) колонами. Продуктивність сушарок (сушіння – до 15 %, без охолодження) кукурудзи з вологістю 35 % задекларована на рівні (2,5...40) тонн. Витрати газу при цьому становлять (125...177) м<sup>3</sup>/год.

**Модульна зерносушарка СЗМ-540** (ТОВ «Хорольський механічний завод»). Її основними складовими частинами є: сушильна камера, завантажувальний та розвантажувальний пристрій; комплект блочних газових пальників з вентиляторами; органи управління і регулювання. Кожна сушильна колонка по висоті складається з трьох секцій, між якими встановлено інвертори – спеціальні пристрої, за допомогою яких здійснюється переміщення зерна від зовнішньої стінки секцій колонки до внутрішньої і навпаки. Секція являє собою конструкцію у вигляді прямокутного паралелепіпеда, дві протилежні сторони якого виконано з перфорованого листа, а дві інші – суцільні. Простір між колонками розділено на шість камер. П'ять верхніх камер – сушильні, до них подається нагріте повітря; нижня – охолоджувальна, до неї подається атмосферне повітря. На зовнішніх стінках охолоджувальної секції змонтовані аварійні люки для випуску зерна із сушарки. Розвантажувальний пристрій складається з корпусу, живильників з приводом і розвантажувального шнека. Подача теплоносія до сушильних камер і подача атмосферного повітря до охолоджувальної камери здійснюється вентиляторами. Регулюють продуктивність розвантажувальних пристроїв зміною частоти обертання шнеків живильників частотним перетворювачем. Контроль температури зерна в сушильних секціях і на виході з охолоджувальної зони – дистанційний.

**Особливості роботи.** В сушильних колонках зерно рухається зверху вниз, по мірі його розвантаження. Нагріте повітря подається вентиляторами в сушильні камери, проходить через

шар зерна в сушильних колонках і виводиться назовні. Одночасно в охолоджувальну секцію вентилятором подається атмосферне повітря. Просушене і охолоджене зерно розвантажувальним пристроєм направляється відповідно до технологічної схеми. Режим роботи сушильних і охолоджувальної зон – нагнітання. Місткість сушарки (для зерна) – 48 м<sup>3</sup>. Продуктивність на сушінні кукурудзи з 25 % до 15 % досягає 30 т/год.

**Сушарки GSI та FFI** (компанія «GSI International», США) виробляються всесвітньо відомою компанією, яка є світовим лідером у виробництві сучасних технологій і обладнання для зернових систем. Її модульні зернові сушарки з мають продуктивність (100...6000) тонн за добу. За висоти зернової колони (2,4...6,0) м її місткість для зерна становить (3,2...37,3) тонни. Сушарки забезпечують продуктивність від 3 т/год (одномодульна модель серії 112) до 70 т/год (3-тримодульна модель серії 3626). Зазначені сушарки бездоганно підходять для дрібних та середніх господарств.

Вітчизняне підприємство ТОВ «Маловисківський завод сушильного та елеваторного обладнання» виробляє **одно- і тримодульні зерносушарки "Сапфір"** (рис. 3). Кількість секцій в їхньому складі може досягати 13. Нарощування їхньої продуктивності здійснюється завдяки збільшенню в їхньому складі кількості зернових колон або встановлення додаткового верхнього модуля. Проектна максимальна продуктивність на сушінні кукурудзи від 30 % до 15 % за один прохід (в режимі повного нагрівання) становить 36 т/год, а в режимі «нагрівання-охолодження» (від 25 % до 15 %) – 35 т/год.

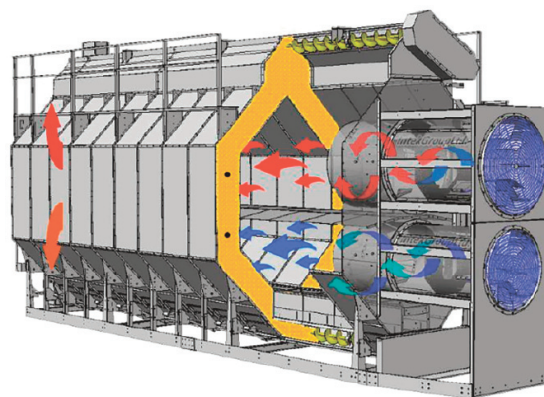


Рисунок 3 - Конструкційно-технологічна схема модульної зерносушарки «Сапфір»



Технічна надійність та довговічність роботи сушарок базуються на використанні елементної бази європейського рівня: в системі газового постачання – якісні електромагнітні клапани, в кріпленнях шнеків – фторопластових втулок з широким діапазоном механічних властивостей (низький коефіцієнт тертя, низькі значення зносу, стійкість до дії агресивних середовищ і навколишнього середовища, негорючі), в електронній системі зерносушарки – електронні компоненти фірми Schneider Electric (Німеччина), в системі пальника – блок управління розпалом і контролю горіння (виробництва Siemens). Зовнішні та внутрішні решета зерносушарки виготовлені з високоякісної нержавіючої сталі, що забезпечує значно більший термін експлуатації в порівнянні з оцинкованими аналогами. У стандартній комплектації діаметр отворів перфорації становить 2,5 мм. Передбачена також можливість комплектації решетами з діаметром перфорації 1,5 мм. Всі моделі зерносушарок комплектуються низько температурними пальниками, які забезпечують ефективно спалювання палива. У поєднанні з двоступінчастим принципом роботи пальника, в режимах малого і великого полум'я, це спрямовано на зниження витрат палива. Всі процеси і робочі параметри зерносушарки контролюються мікроконтролером з програмним забезпеченням. Зерносушарки комплектуються вологоміром (опціонально), за допомогою якого контролюється вологість висушеного зерна. Сенсорна панель, яка встановлюється на відстані 50 м від сушарки, забезпечує візуальний контроль і введення робочих параметрів: вологість висушеного зерна, температуру сушильного агента в камері сушіння, температуру зерна, яке піддається сушінню, режими роботи пальника, повідомлення системи безпеки. Сушарка обладнана системою безпеки її роботи.

Особливості конструкції сушарок «Сапфір»:

- зовнішні і внутрішні решета зернових колон виготовлені із високоякісної оцинкованої сталі;
- оцинкований кожух пальника і вентилятора захищають зерносушарку від корозії;
- газові пальники виготовлені із жаростійкої сталі та мають два режими роботи, які визначаються електронною системою розпалювання;
- об'єднання в одному корпусі вентилятора

та пальника забезпечує оптимальне спалювання і нагрівання повітря, створення інтенсивного повітряного потоку;

- дозувальні вальці виготовлені способом гарячого катання із алюмінію.

**Незважаючи на ряд позитивних моментів відмічено недоліки, які властиві всім модульним сушаркам:**

- зерно в сушарці рухається суцільним стовпом, до якого зсередини підводиться гарячий сушильний агент. Проходячи через шар зерна товщиною (250-300) мм, сушильний агент виходить за межі сушарки через перфоровану стінку сушарки. Це призводить до того, що з внутрішньої (гарячої) сторони зерно перегрівается і пересушується, а зовнішній шар зерна залишається недосушеними;

- якщо на модульну сушарку дме холодний вітер, або йде дощ, це призводить до неоднорідного нагрівання зерна (один бік сушарки інтенсивно охолоджується, а інший, з підвітряного боку, перегрівается. Тому спостерігається не зовсім якісне сушіння зернового потоку;

- для сушіння насіння дрібнонасінних культур (ріпак, гірчиця) необхідні стінки з відповідним дрібним перфоруванням, щоб насіння не застрявало в перфорації, тому що це погіршує прохідність для повітряного потоку;

- під час руху вертикального стовпа зерна відбувається його тертя об перфорацію внутрішньої і зовнішньої стінок, внаслідок чого зерно стирається, його зовнішня оболонка – травмується;

- можливе застрявання вологого зерна в будь-якому місці по висоті потоку, особливо – в місцях установки внутрішніх конструкцій, що призводить до появи локальних місцевих потоків і перегрівання;

- під час сушіння деяких культур виділяється багато зернового пилу, який осідає навколо сушарки і забруднює прилеглу територію, тим самим створюється пожежонебезпечна ситуація;

- тоненька оболонка, відділяючись від кожного зернятка під час сушіння (особливо – кукурудзи), забиває зовнішні перфоровані листи так, що повітря не може проходити крізь шар зерна і засмічену перфорацію. Це знижує ефективність сушіння в такій мірі, що необхідно сушарку додатково зупиняти для очищення;

- відсутність рекуперації тепла (використання теплого повітря) із зони охолодження висушеного зерна і відсутність теплоізоляції призводить до того, що сушарки споживають величезну кількість енергоносія на сушіння 1 тонни зерна.

**Економічні аспекти процесу сушіння.** У підборі модульної зерносушарки визначальними факторами, які впливають на вибір споживачів, є показники продуктивності сушарки, її енерговитратність, надійність, довговічність роботи і ціна. Витрата палива зерносушарки залежить від дуже багатьох чинників: впливу навколишнього середовища, вигляду просушуваного матеріалу, його початкових параметрів (початкова вологість, засміченість), якості палива і т.д.

Перш за все необхідно відзначити, що незалежно від конструкції сушарки кожен вид зерна для зниження вологості зерна на один відсоток вимагає однакової кількості тепла. Отже, у конструкторів різних сушарок стоїть однакове завдання: донести тепло до зерна, зробивши втрати мінімальними. Чим краще вирішене таке цільове завдання, тим менші експлуатаційні витрати на сушіння. Зважаючи на те, що вологому зерну потрібно для нагрівання (сушіння) однакову кількість тепла, можна зробити висновок: сушарки всіх типів, які мають однаковий обсяг завантаженого зерна (робочий об'єм), повинні мати приблизно однакову продуктивність за умови, що кількості підведеного тепла достатньо для випаровування вологи.

Вибираючи зерносушарку особливу увагу варто приділити режимам сушіння зерна, у яких може працювати зерносушарка. Перший можливий режим – нагрівання й охолодження зерна в зерносушарці. Під час роботи порційних зерносушарок у цьому режимі, зерносушарка заповнюється вологим зерном, після чого зерно продувається гарячим повітрям на протязі певного часу для досягнення необхідного рівня вологості. Після того, як буде досягнутий необхідний рівень вологості зерна, газові пальники автоматично вимикаються й зерно продувається атмосферним повітрям протягом 15-20 хвилин. За такого режиму сушіння зерно вивантажується уже висушеним, охолодженим і готовим до закладки на тривале зберігання.

Другий режим сушіння – тільки нагрівання

зерна, без його охолодження в зерносушарці. Для роботи зерносушарки в цьому режимі необхідно мати додатковий силос або вентиляований бункер для охолодження зерна. У цьому режимі зерно тільки нагрівається в зерносушарці й вивантажується гарячим. Відповідно, її продуктивність підвищується приблизно в 1,5 - 2 рази, а витрата газу зменшується на 15-20%. Такий спосіб сушіння зерна є оптимальним, тому що, по-перше, можна придбати зерносушарку нижчої продуктивності за нижчою ціною. По-друге, зменшується витрата палива й електроенергії. По-третє, зерно при такому способі сушіння менш пошкоджується, тому що процес охолодження відбувається повільніше. По-четверте, після закінчення сезону, силос можна використати як додатковий резервуар для тривалого зберігання зерна. Слід зазначити, що в **США в переважній більшості випадків зерно охолоджується в силосах, а не в зерносушарці.**

Всі порційні зерносушарки можуть працювати як у режимі нагрівання й охолодження зерна в зерносушарці, так і в режимі тільки нагрівання без охолодження. На відміну від порційних зерносушарок, всі моделі потокових зерносушарок можуть працювати в режимі тільки нагрівання зерна, але не всі моделі можуть працювати в режимі нагрівання й охолодження зерна. Для того, що потокова зерносушарка мала можливість працювати в режимі нагрівання й охолодження зерна в зерносушарці вона повинна мати як мінімум два вентилятори з пальниками, а камера сушіння повинна бути розділена спеціальною перегородкою мінімум на два відсіки. Поки зерно проходить зону верхнього відсіку, воно нагрівається й досягає заданого рівня вологості. Після цього зерно проходить зону нижнього відсіку, у якому відбувається продування зерна холодним повітрям і його охолодження.

Майбутні власники зерносушарок прискіпливо підходять до вибору зерносушарки – її типу, виробника, економічних показників роботи, оскільки це в майбутньому спричинить не тільки додаткові разові фінансові витрати, але й надалі, протягом усього строку її експлуатації, позначатиметься додатковими вкладеннями і високою собівартістю кінцевого продукту. Таку порівняльну оцінку можна зробити на основі



значного досвіду використання сушарок різних марок і виробників в умовах України та собівартості сушіння зерна. І вже за її результатами приймати обґрунтоване та зважене рішення на придбання певної сушарки.

**Висновки.** Ринок України наповнений пропозиціями модульних горизонтальних зерносушарок від провідних компаній світу та вітчизняних підприємств-виробників. У господарських умовах, поряд із зерносушарками інших типів вони знаходять широке та ефективне застосування. В основі всього цього – проста та оригінальна конструкція, наявність широкого типорозмірного ряду сушарок однієї марки та здатність забезпечити широкий діапазон продуктивності сушіння зерна, технічна та технологічна адаптація до технологічної роботи в тандемі з пальниками, які працюють із використанням електроенергії, дизельного палива, газу та біопалива. Зважаючи на збільшення виробництва зерна в Україні в поточні та майбутні роки запит на модульні сушарки не призупиниться в найближчі роки.

### Література

1. Машины, агрегаты та комплексы для післязбиральної обробки і зберігання зернових культур: Посібник, за ред. В.І. Кравчука. – Дослідницьке – УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. – 2011. – 224 с.
2. Кравчук В., Погорілий В., Постельга С. Погоріла В, Занько М. Наукові аспекти сучасних технологій збирання, післязбиральної переробки і зберігання зерна // Журнал «Техніка і технології АПК», - №7 (34) -липень 2012 р, Стор. 15 - 19.
3. Занько М. Дослідження теплогенераторів ТГБ на біопаливі під час обігрівань приміщень та сушінні насіння ріпака // Журнал «Техніка і технології АПК», - №2, 2017, - Стор. 5-8.
4. Бражевский В., Жеребцов Б., Кизуров А. Анализ зерносушилок // <http://technology.snauka.ru/2017/04/12978>.
5. Сорочинський В.Ф. Снижение затрат при конвективной сушке зерна ([http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?](http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?)).

### Literature

1. Machines, assemblies and complexes for post-harvest processing and storage of grain crops: Manual, ed. VI Kravchuk - Research - UkrNIIPVT them. L. Burned. - 2011 - 224 pages
2. Zanko M. Research of TSG heat generators on biofuels during premises heating and drying of rape seeds // Journal of Engineering and Technology of Agroindustrial Complex, №2, 2017, Pages. 5-8.
3. Kravchuk V., Pogorily V., Postelga S. Pogorila B., Zanko M. Scientific aspects of modern technologies of harvesting, after harvesting and storage of grain // Journal "Engineering and Technology of Agroindustrial Complex", - No.7 (34) -February 2012, - Pages 15 - 19.
4. Sorochinsky V.F. Reduce the cost of convection drying grain ([http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?](http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?))
5. Brazhevsky V., Zherebtsov B., Kizurov A. Analysis of grain dryers // <http://technology.snauka.ru/2017/04/12978>

### Literatura

1. Mashyny, agregaty ta komplekxy dlja pisljazbyral'noi' obrobky i zberigannja zernovyh kul'tur: Posibnyk, za red. V.I. Kravchuka. – Doslidnyč'ke – UkrNDIPVT im. L. Pogorilogo. – 2011. – 224 s.
2. Kravchuk V., Pogorilyj V., Postel'ga S. Pogorila V, Zan'ko M. Naukovi aspekty suchasnyh tehnologij zbyrannja, pisljazbyral'noi' pererobky i zberigannja zerna // Zhurnal «Tehnika i tehnologii' APK», - №7 (34) -lypen' 2012 r, Stor. 15 - 19.
3. Zan'ko M. Doslidzhennja teplogeneratoriv TGB na biopalyvi pid chas obigrivan' prymishhen' ta sushinni nasinnja ripaka // Zhurnal «Tehnika i tehnologii' APK», - №2, 2017, - Stor. 5-8.
4. Brazhevskij V., Zherebcov B., Kyzurov A. Analyz zernosushylok // <http://technology.snauka.ru/2017/04/12978>
5. Sorochyns'kyj V.F. Snyzhenye ztrat pry konvektivnoj sushke zerna ([http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?](http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?))

UDC 631.365:001.8

## MODULAR ZERNOSUSKARKI ON THE MARKET OF UKRAINE

**V. Kravchuk**, Dr. Tekhn. Sciences, prof., Corr. NAAS of Ukraine,  
<https://orcid.org/0000-0003-2196-4960>

**M. Zanko**, Cand. tech Sciences, Art. sciences

E-mail: Nikolai Zanko 82@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8964-0706>,

**O. Lisak**,

L. Pogorilly UkrNIIPVT

**Annotation.** *The purpose of the article: the study of structural features and operation and performance indicators for the design of modular dryers produced by leading companies.*

*Research methods: analytical review and analysis of the design of grain dryers based on the data of the companies-manufacturers and real samples.*

*The article presents the results of studies of modular grain dryers produced by leading foreign and domestic companies. They offer a wide range of modular dryers that can deliver from 3.5 t / h to 250 t / h.*

*Features of the design of modular dryers: the case of grain dryers, sieve of grain columns is made of galvanized steel; the flow mode of grain allows you to dry the grain to the required conditional humidity in one pass; ability to work in the "drying" and "drying - cooling" modes; mixers are installed in grain columns to ensure uniform drying of grain; the ability to work on natural or liquefied gas and diesel fuel; insignificant fuel consumption; Combining in one case the fan and burner provides optimal combustion and heating of air; automatic burner control system; grain dryers have a manual control mode, which ensures the shutdown and stopping of gas supply in any situation.*

*The disadvantages inherent in modular dryers:*

*- the grain from the internal (hot) side of the grain overheats and overheats, and the outer layer of grain - is not dried;*

*- cold wind, or rain cause uneven drying of the grain;*

*- For drying of seed of small-flowered crops necessary walls with the corresponding small perforation;*

*- when the vertical pillar of the grain is moving, its friction on the internal and external walls, erosion and trauma occurs;*

*- it is possible to get wet grain in any place at the height of the stream, which causes local local flows and overheating;*

*- when drying some crops, there is a lot of grain dust that contaminates the adjacent area;*

*- a thin shell, separating from each grain, clogs the outer perforated leaves. This reduces the effectiveness of drying;*

*- the lack of heat recovery from the cooling zone of the dried grain and the lack of thermal insulation leads to the consumption of a huge amount of energy.*

*The determinants of choosing modular grain dryers that affect the choice of consumers are the performance of the dryer, its energy efficiency, reliability, durability and price.*

УДК 631.365.:001.8

## МОДУЛЬНЫЕ ЗЕРНОСУШИЛКИ НА РЫНКЕ УКРАИНЫ

**В. Кравчук**, д-р техн. наук, проф., чл.-корр. НААН Украины,  
<https://orcid.org/0000-0003-2196-4960>

**М. Занько**, канд. техн. наук,

E-mail: Nikolai Zanko 82@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8964-0706>,

**А. Лысак**,

ГНУ «УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого»;

**Аннотация.** Цель статьи: исследование особенностей строения и функционирования и эксплуатационных показателей назначения модульных сушилок производства ведущих компаний.

В статье приведены результаты исследований модульных зерносушилок производства ведущих зарубежных и отечественных компаний. Они предлагают широкий выбор модульных сушилок, которые способны обеспечить производительность от 3,5 т / ч до 250 т / час.

Особенности конструкции модульных сушилок: корпус зерносушилки, решетка зерновых колонн выполнены из оцинкованной стали; потоковый режим движения зерна позволяет сушить зерно до необходимой кондиционной влажности за один проход; способность работы в режимах «сушки» и «сушки-охлаждения»; в зерновых колоннах установлены смесители для обеспечения равномерного сушки зерна; способность работать на природном или сжиженном газе и дизельном топливе; незначительное потребление топлива; объединение в одном корпусе вентилятора и горелки обеспечивает оптимальное сжигание и нагрев воздуха; автоматическая система контроля процесса горелок; зерносушилки имеют режим ручного управлением, обеспечивает отключение и прекращение подачи газа в любой ситуации.

Недостатки, присущие для модульных сушилок:

- зерно с внутренней (горячей) стороны зерно перегревается и пересушиваются, а внешний слой зерна - недосушивается;

- холодный ветер, или дождь приводят к неоднородной сушке зерна;

- для сушки семян мелкосемянных культур необходимы стенки с соответствующим мелким перфорированием.

В статье приведены результаты исследований конструктивных и технологических особенностей, эксплуатационные показатели, недостатки и экономические аспекты процесса сушки модульных зерносушилок производства ведущих зарубежных и отечественных компаний:

- при движении вертикального столба зерна происходит его трение о внутренние и внешние стенки, стирание и травмирование;

- возможно застревание влажного зерна в любом месте по высоте потока, что приводит к появлению локальных местных потоков и перегрева;

- при сушке некоторых культур выделяется много зерновой пыли, которая загрязняет прилегающую территорию;

- тоненькая оболочка, отделяясь от каждого зернышка, забивает внешние перфорированные листы. Это снижает эффективность сушки;

- отсутствие рекуперации тепла из зоны охлаждения высушенного зерна и отсутствие теплоизоляции приводит к потреблению большого количества энергоносителя.

Определяющими факторами при подборе модульной зерносушилки, влияющие на выбор потребителей, являются показатели производительности сушилки, ее энергозатратность, надежность, долговечность работы и цена.