



# Механізація, електрифікація

УДК 633.15:631.53.026

© 2019

## НОВИЙ ЕНЕРГООЩАДНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ СУШІННЯ НАСІННЯ КУКУРУДЗИ

*М.Я. Кирпа<sup>1</sup>, В.О. Кулик<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>доктор сільськогосподарських наук  
ДУ Інститут зернових культур НААН  
вул. Володимира Вернадського, 14, м. Дніпро, 49027, Україна  
e-mail: <sup>1</sup>tk170@ukr.net, <sup>2</sup>kylik9379992@ukr.net*

Надійшла 13.02.2019

**Мета.** Визначити техніко-технологічні параметри нового енергоощадного комплексу, який складається з типової камерної кукурудзосушарки та теплогенератора, що працює від спалювання стрижнів кукурудзи. Енергоощадність забезпечується повною заміною традиційних невідновлюваних енергоресурсів на рослинне біопаливо. **Методи.** Узагальнення літературних даних, проведення експериментальних, лабораторних та польових дослідів. **Результати.** Визначено основні техніко-технологічні показники нового енергоощадного комплексу, а саме температурний та вентиляційний режими, параметри відносної вологості робочого та відпрацьованого теплоносія, швидкість сушіння, продуктивність сушарки та показники якості висушеного насіння. Температурний режим на комплексі варіював у межах 38–43°C, залежно від вологості качанів. Вентиляційний режим складався залежно від потужності вентиляційних агрегатів та умов експлуатації паливно-вентиляційного відділення. Відносна вологість робочого теплоносія становила 10–12%, відпрацьованого – 20–44% залежно від стадії сушіння. Швидкість сушіння була в межах 0,16–0,39%/год, продуктивність становила 1,2–6,0 т-%/год, залежно від маси качанів, їх вологості та експозиції сушіння. Новий метод сушіння не мав негативного впливу на якість насіння гібридів кукурудзи та їх батьківських компонентів. **Висновки.** Встановлені техніко-технологічні параметри рекомендуються для нового енергоощадного комплексу і забезпечують швидке та рівномірне просушування качанів кукурудзи, отримання високоякісного кондиційного насіння, повну заміну традиційного палива (рідке, газоподібне) на біопаливо (рослинні рештки).

**Ключові слова:** комплекс енергоощадний, техніко-технологічні параметри сушіння, біопаливо, якість насіння.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201904-09>

Сушіння є найбільш відповідальною технічною операцією в процесі післязбиральної

обробки високоякісного насіння кукурудзи. Від цього процесу залежить зниження вологості

зерна кукурудзи до безпечного сухого стану, збереження його якості, витрата енергоресурсів [1, 2].

Основними параметрами чинного (регламентованого) способу сушіння насінневих качанів кукурудзи в типових камерних зерносушарках СКП є: температурний режим 35–50°C залежно від вологості зерна, послідовне чи паралельне включення камер у роботу, безциклічний графік сушіння, реверсування, тобто зміна напрямку продування камер, що забезпечує більш рівномірне просування качанів по всій висоті насипу [3, 4]. Але цей спосіб є доволі енерговитратним у зв'язку з чинними умовами виконання. Тому виникає необхідність пошуку та створення нових методів сушіння зі значним зниженням витрат енергоресурсів.

Відомі різні техніко-технологічні операції, що сприяють зниженню енерговитрат в процесі сушіння качанів кукурудзи, це двостадійне сушіння качанів із досушуванням у зерні, імпульсний режим сушіння із чергуванням нагріву і охолодження, сушіння за максимально допустимих температур [5–8]. До прийомів, які сприяють зниженню енерговитрат, відносяться ще й герметизація сушарок, максимальне завантаження сушильних камер, видалення самообрушу (зерна) з маси качанів.

Всі відомі технології енергоощадження базуються на модернізації камерної кукурудзосушарки без заміни виду палива. Принципово іншим методом енергоощадження є сушіння із використанням теплогенераторів та отриманням тепла від спалювання рослинних видів палива, зокрема стрижнів кукурудзи [9]. Для цього створюють комплекси енергоощадні, до складу яких входять типові камерні кукурудзосушарки та теплогенератори. Проте залишаються невідомими техніко-технологічні параметри експлуатації таких комплексів.

**Мета досліджень** — визначити техніко-технологічні параметри комплексу енергоощадного, провести його виробниче випробовування, встановити вплив енергоощадного сушіння на посівні і врожайні властивості насіння гібридів кукурудзи та їх батьківських компонентів.

**Методика і методи досліджень.** Досліджували енергоощадний комплекс, який

складається з камерної кукурудзосушарки та нового теплогенератора тепловою потужністю 2,5 МВт для спалювання стрижнів кукурудзи. Досліди проводили в умовах ДП ДГ «Дніпро» та ТОВ «Агросфера» у Дніпропетровській обл. Методика досліджень відповідала вимогам рекомендацій, методичних вказівок та методик щодо сушіння насіння зернових культур [10–12]. Вивчали такі основні показники процесу сушіння: температурний режим, об'єм теплоносія, відносна вологість атмосферного повітря та теплоносія. Температурний режим визначали за допомогою термографів марки М-16АН та термодатчиків. Вимірювали температуру на термографах відповідно до вимог ГОСТ 64–75.

Об'єм теплоносія визначали за допомогою лопатевого та чашкового анемометрів за різних режимів роботи паливно-вентиляційного відділення. Відносну вологість робочого теплоносія визначали за допомогою гігрографів та психрометра.

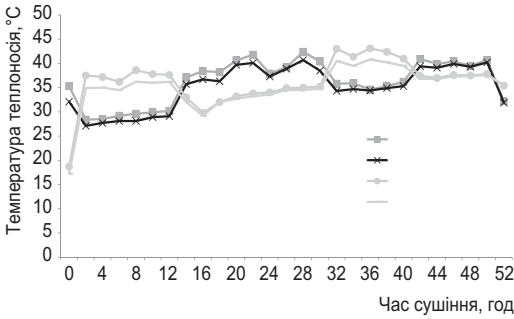
Швидкість сушіння качанів кукурудзи ( $V$ , %/год) визначали, враховуючи тривалість процесу ( $\tau$ , год), показники початкової ( $W_1$ , %) і кінцевої ( $W_2$ , %) вологості зерна ( $W^3$ , %) та стрижнів ( $W^c$ , %) за формулою:

$$V = \frac{[(W_1^3 \cdot 0,75) + (W_1^c \cdot 0,25)] - [(W_2^3 \cdot 0,8) + (W_2^c \cdot 0,2)]}{\tau}$$

де 0,75 і 0,25 — співвідношення зерна і стрижнів до сушіння; 0,8 і 0,2 — співвідношення зерна і стрижнів після сушіння.

Експериментальні дослідження супроводжували також теоретичним аналізом та математичними розрахунками відповідно до теорії зерносушіння термолабільних матеріалів [3, 8].

**Результати досліджень.** Уперше проведено дослідження нового методу сушіння на енергоощадному комплексі, який включав камерну кукурудзосушарку СКП-10 із теплогенератором ТПГ-1/25. Новий теплогенератор працював у режимі прямого згоряння палива — стрижнів кукурудзи, тому коефіцієнт корисної дії становить 90–95%. Кукурудзосушарка обладнана системою реверсування (зміна напрямку) теплоносія через певні проміжки часу.



**Коливання температури теплоносія у процесі сушіння залежно від напрямку продування сушильних камер:** — — нижній коридор; + — під днищем камери; — — верхній коридор; — — над насипом кукурудзи

Температурний режим сушіння у сушарці коливався в межах оптимальних температур — 38–43°C, залежно від вологості качанів, а саме знижувався на початку сушіння, підвищувався — наприкінці (рисунок). Температура також змінювалася залежно від напрямку продування камер, вона була вищою у місцях входу робочого теплоносія та нижчою на його виході. Зафіксовано температурну різницю між верхнім та нижнім коридорами сушарки, вона становила 8–10°C на початку сушіння та 2–3°C — наприкінці.

В процесі сушіння велике значення мають показники відносної вологості робочого та відпрацьованого теплоносіїв, від яких залежить швидкість вологовіддачі качанів. Вірогідно, що відносна вологість теплоносія змінюється також залежно від хімічного складу палива, вмісту у ньому водню, кисню, діоксиду вуглецю, сірки, водяних парів, зольних речовин. У дослідях встановлено, що відносна вологість робочого теплоносія становила 10–12%, відпрацьованого — 20–44% залежно від часу сушіння (табл. 1). Температура робочого теплоносія становила 36–41°C, відпрацьованого — 29–33°C за температури навколишнього повітря в межах 1,8–8,6°C.

Досліджували також вентиляційний режим, який складався у кукурудзосушарці залежно від потужності вентиляційних агрегатів. У сушарці встановлено два вентиляційні агрегати Ц-4-70, продуктивністю 70 тис. м<sup>3</sup>/год кожний. Об'єм теплоносія у сушарці вимірювали при роботі обох та кожного вентилятора за різного доступу повітря до паливно-вентиляційного відділення (табл. 2). Різний доступ повітря створювали шляхом відкриття-закриття люків, шиберів, якими змінювали повітряний потік. За повного доступу

**1. Характеристика робочого та відпрацьованого теплоносіїв у процесі сушіння качанів кукурудзи на комплексі енергоощадному**

Час сушіння, год	Робочий теплоносій		Відпрацьований теплоносій		Контроль — атмосферне повітря	
	відносна вологість, %	температура, °C	відносна вологість, %	температура, °C	відносна вологість, %	температура, °C
4,5	10	36,1	44	29,1	60	6,5
9	11	39,7	43	31,4	77	3,0
13,5	11	39,4	39	31,7	80	2,3
18	10	40,0	36	31,5	59	7,0
22,5	10	41,0	35	31,4	60	7,4
27	10	38,7	28	32,3	68	4,8
31,5	12	39,9	24	33,2	83	2,1
36	11	38,8	23	32,5	85	1,8
40,5	10	39,0	21	32,2	71	5,4
45	12	39,9	19	32,1	64	8,6
49,5	10	38,7	19	31,9	68	5,1
54	10	38,2	20	32,5	72	4,8

**2. Загальна та питома подача теплоносія залежно від режиму паливно-вентиляційного відділення сушарки з теплогенератором ТПГ-1/25**

Режим доступу повітря	Задіяні два вентилятори		Задіяний вентилятор № 1		Задіяний вентилятор № 2	
	Загальна витрата, м³/год	Питома витрата*, м³/год на 1 т	Загальна витрата, м³/год	Питома витрата*, м³/год на 1 т	Загальна витрата, м³/год	Питома витрата*, м³/год на 1 т
Повний	125400	1393	71812	798	53588	595
Обмежений	72520	806	38509	428	34011	377

\*Питома витрата в перерахунку на 90 т качанів.

повітря і роботи двох вентиляторів питомий об'єм теплоносія становить 1393 м³/год на 1 т качанів, що цілком задовольняє норму, встановлену для гібридів і батьківських компонентів (800 і 1000 м³ відповідно). При роботі одного вентилятора та повному доступі повітря витримується норма, встановлена для гібридів. При обмеженому доступі норма витримується для гібридів лише за умови роботи двох вентиляторів.

Технологічну ефективність енергоощадного методу сушіння визначали окремими показниками — швидкістю сушіння, продуктивністю сушарки, якістю насіння. У досліджах швидкість сушіння коливалася в межах 0,16–0,39%/год, продуктивність становила 1,2–6,0 т-%/год, залежно від маси качанів,

їх вологості та експозиції сушіння (табл. 3).

Низька швидкість сушіння гібридів кукурудзи в дослідях пояснюється збільшеною експозицією і як наслідок низькою вологістю на рівні 10%. На швидкість також впливала маса качанів в окремих камерах сушарки.

Дослідження показали, що в результаті сушіння качанів кукурудзи, зібраних з вологістю 20,3–29,5%, отримували високоякісне насіння гібридів кукурудзи та їх батьківських компонентів. Лабораторна схожість була кондиційною, в межах 95–98%. Польова схожість була на рівні контролю, врожайність не знижувалася порівняно з ним (табл. 4).

Унаслідок сушіння на енергоощадному комплексі і застосування біопалива отримували значний економічний ефект.

**3. Техніко-технологічні параметри енергоощадного методу сушіння качанів 2016–2018 рр.**

Гібрид/лінія	Маса качанів, т	Вологість качанів, %		Експозиція сушіння, год	Швидкість сушіння, %/год	Продуктивність, т-%/год
		до сушіння	після сушіння			
Оржиця 237 МВ	6,0	21,8	11,0	28,0	0,33	2,3
ДН Зоряна	18,4	26,9	11,2	54,0	0,25	5,3
ДН Хортиця	14,3	24,1	10,6	74,0	0,16	2,6
ДБ Хотин	13,5	33,6	13,9	88,0	0,21	3,0
ДН Пивиха	15,1	29,2	10,9	88,0	0,18	3,1
Крос 255 Мст	9,3	27,3	10,1	80,5	0,20	2,0
Крос 260 М	12,0	37,3	13,3	88,0	0,25	3,3
Крос 254 М	4,2	24,7	11,0	54,0	0,25	1,2
Крос 222 С	3,9	25,8	10,2	54,0	0,29	1,3
ДК 744 3М СВ	4,2	27,2	10,9	36,5	0,39	1,8
ДК 365 СВ	11,4	32,2	12,1	61,5	0,30	6,0
ДК 4163 МВ	7,1	26,4	10,3	54,0	0,30	2,4

**4. Вплив методів сушіння на посівні і врожайні властивості насіння гібридів кукурудзи, 2016–2018 рр.**

Гібрид/лінія	Початкова вологість зерна, %	Метод сушіння	Схожість насіння, %			Урожайність, т/га
			лабораторна	холодний тест	польова	
Оржиця 237 МВ	20,3	Контроль*	98	90	80	5,50
		Контроль**	95	92	81	5,40
		Енергоощадний	95	93	84	6,03
		НІР <sub>0,5</sub>			4,6	0,33
ДН Аквзор	21,5	Контроль*	96	93	82	7,61
		Контроль**	97	95	84	7,80
		Енергоощадний	98	95	81	7,79
		НІР <sub>0,5</sub>			4,6	0,30
ДБ Хотин	29,5	Контроль*	99	90	76	7,25
		Контроль**	97	90	80	7,27
		Енергоощадний	97	92	80	7,21
		НІР <sub>0,5</sub>			4,4	0,35
Крос 254 Мст	22,4	Контроль*	97	83	75	5,45
		Контроль**	98	79	73	5,44
		Енергоощадний	97	90	82	5,47
		НІР <sub>0,5</sub>			4,2	0,53
Крос 255 Мст	25,2	Контроль*	99	90	88	5,81
		Контроль**	98	86	87	6,03
		Енергоощадний	95	89	85	5,99
		НІР <sub>0,5</sub>			3,9	0,53

\*Природне сушіння (t=20–24°C); \*\* — лабораторне сушіння, t=38°C.

Загальні витрати на сушіння качанів кукурудзи при використанні різних видів палива були такі: з дизельним — 1145 грн/т; газоподібним — 665 грн/т; стрижнями кукурудзи — 250 грн/т. З урахуванням вартості обладнання, монтажно-транспортних та

пуско-налагоджувальних робіт строк окупності нового енергоощадного комплексу становить 1,5–3 роки залежно від об'ємів сушіння. Крім того, досягається повна незалежність від поставок традиційних видів палива та коливань їх ціни.

### **Висновки**

Визначено та досліджено техніко-технологічні показники нового енергоощадного комплексу, який складається з типової камерної кукурудзосушарки та теплогенератора тепловою потужністю 2,5 МВт. Енергоощадність нового комплексу полягає в тому, що для утворення теплоносія та сушіння використовується рослинне біопаливо (стрижні кукурудзи),

це дає можливість повністю замінити традиційні невідновлювані енергоресурси. Температурний режим сушарки відповідає нормативним вимогам та становить 38–43°C. Вентиляційний режим залежав від режиму доступу повітря до паливно-вентиляційного відділення та числа вентиляторів. Повний доступ повітря за двома вентиляторами забезпечував питомий

об'єм теплоносія на рівні 1393 м<sup>3</sup>/год на 1 т качанів, що задовольняє норму, встановлену для гібридів і самозапиленних ліній кукурудзи 800–1000 м<sup>3</sup>/год. Відносна вологість робочого теплоносія протягом усього процесу сушіння становила 10–12%, а відпрацьованого — 20–44%. Швидкість сушіння качанів варіювала в межах 0,16–0,39%/год, продуктивність однієї камери становила 1,2–6,0 т-%/год.

Кирпа Н.Я.<sup>1</sup>, Кулик В. А.<sup>2</sup>

ГУ Інститут зернових культур НААН, ул. Владимира Вернадского, 14, г. Днепр, 49027, Украина; e-mail: <sup>1</sup>tk170@ukr.net, <sup>2</sup>kylik9379992@ukr.net

### Новый энергосберегающий комплекс для сушки семян кукурузы

**Цель.** Определить технико-технологические параметры нового энергосберегающего комплекса, который состоит из типовой камерной кукурузосушилки и теплогенератора, работающего от сжигания стержней кукурузы. Энергосбережение обеспечивает полную замену традиционных невозобновляемых энергоресурсов на растительное биотопливо. **Методы.** Обобщение литературных данных, проведение экспериментальных, лабораторных и полевых опытов. **Результаты.** Определены основные технико-технологические показатели нового энергосберегающего комплекса, а именно температурный и вентиляционный режимы, параметры относительной влажности рабочего и отработанного теплоносителя, скорость сушки, производительность сушилки и показатели качества высушенных семян. Температурный режим на комплексе колебался в пределах 38–43°C, в зависимости от влажности початков. Вентиляционный режим состоял в зависимости от мощности вентиляционных агрегатов и условий эксплуатации топливно-вентиляционного отделения. Относительная влажность рабочего теплоносителя составляла 10–12%, отработанного — 20–44% в зависимости от стадии сушки. Скорость сушки колебалась в пределах 0,16–0,39%/ч, производительность составляла 1,2–6,0 т-%/ч, в зависимости от массы початков, их влажности и экспозиции сушки. Новый метод сушки не имел негативного влияния на качество семян гибридов кукурузы и их родительских компонентов. **Выводы.** Установленные нами технико-технологические параметры рекомендуются для нового энергосберегающего комплекса и обеспечивают быстрое и равномерное просушивание початков кукурузы, получение высококачественных кондиционных семян, полную замену традиционного топлива (жидкое, газообразное) на биотопливо (растительные остатки).

Сушіння на енергоощадному комплексі не мало негативного впливу на якість насіння кукурудзи, лабораторна схожість становила 95–98%. Врожайність насіння, висушеного на енергоощадному комплексі, була на рівні контролю (лабораторне сушіння). Вартість сушіння на енергоощадному комплексі була нижчою на 415–895 грн/т порівняно із традиційними видами палива.

**Ключевые слова:** комплекс энергосберегающий, технико-технологические параметры сушки, биотопливо, качество семян.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201904-09>

Кирпа М.<sup>1</sup>, Кулик В.<sup>2</sup>

SE Institute of cereal crops of NAAS, V. Vernadskyi Str., 14, Dnipro, 49027, Ukraine; e-mail: <sup>1</sup>tk170@ukr.net, <sup>2</sup>kylik9379992@ukr.net

### New power-saving complex for drying seeds of corn

**The purpose.** To determine technical-technological parameters of new power-saving complex which consists of standard chamber corn dryer and generator of warm, working from incineration of rods of corn. Full substitution of traditional not restored power resources on vegetable biofuel ensures saving of power. **Methods.** Generalization of literary data, holding experimental, laboratory and field experiments. **Results.** Basic technical-technological indexes of new power-saving complex, namely temperature and ventilation regimes, parameters of relative humidity of working and completed heating medium, speed of drying, drying capacity and quality factors of the exsiccated seeds are specified. The temperature regime in the complex oscillated within the limits of 38–43°C, depending on damp of corn cobs. Ventilation regime consisted depending on power of ventilation aggregates and service conditions of fuel-air compartment. Relative humidity of working heating medium made 10–12%, completed — 20–44% depending on stage of drying. Speed of drying oscillated within the limits of 0,16–0,39 %/h, productivity made 1,2–6,0 t-%/hour, depending on mass of corn cobs, their damp and exposure of drying. New method of drying had no negative effect on quality of seeds of hybrids of corn and their parent ingredients. **Conclusions.** Technical-technological parameters established by authors may be recommended for new power-saving complex and ensure fast and uniform mealles drying, exit of high-quality conditioned seeds, full substitution of traditional fuel (liquid, gaseous) for biofuel (plant residues).

**Key words:** power-saving complex, technical-technological parameters of drying, biofuel, quality of seeds.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201904-09>

---

**Бібліографія**

---

1. *Claumann C.A., Cancelier A., Silva A. et al.* Fitting semi-empirical drying models using a tool based on wavelet neural networks: Modeling a maize drying process. *J. of Food Process Engineering*. 2017. № 41, P. 1–12. doi: 10.1111/jfpe.12633
2. *Suleiman R., Bern C.J., Brumm T.J., Rosentrater K.A.* Impact of moisture content and maize weevils on maize quality during hermetic and non-hermetic storage. *J. of Stored Products Research*. 2018. № 78. P. 1–10. doi: 10.1016/j.jspr.2018.05.007
3. *Жидко В.И., Резчиков В.А., Уколов В.С.* Зерносушение и зерносушилки. Москва: Колос, 1982. 239 с.
4. *Науменко А.И., Кирпа Н.Я., Алейников В.И.* Новый способ сушки семян кукурузы. *Доклады ВАСХНИЛ*. 1986. № 11. С. 43–45.
5. *Атаназевич В.И.* Сушка зерна. Москва: Агропромиздат, 1989. 240 с.
6. *Алейников В.И.* Комплексное совершенствование процесса сушки в шахтных и камерных зерносушилках. *Наукові праці ОДАХТ*. 2002. Вип. 24. С. 28–31.
7. *Кирпа Н.Я.* Двухстадийная сушка семян кукурузы. *Селекция и семеноводство кукурузы: сб. науч. тр. ВНИИ кукурузы*. 1986. С. 174–181.
8. *Станкевич Г.М., Страхова Т.В., Атаназевич В.И.* Сушіння зерна: підручник. Київ: Либідь, 1997. 352 с.
9. *Кирпа М.Я., Кулик В.О.* Енергоощадні прийоми у технологіях сушіння насіння кукурудзи. *Бюлетень Інституту сільськогосподарства степової зони НААН України*. 2016. № 11. С. 82–87.
10. *Витоженц Э.Н., Окунь Г.С., Чижиков А.Г.* Рекомендации по использованию материально-технической базы для сушки семян зерновых и других культур в семеноводческих хозяйствах. Москва: Колос, 1983. 38 с.
11. *Кульков О.В., Коган В.А.* Измерение влажности воздуха в сельскохозяйственных целях. Ленинград: Гидрометеиздат, 1977. 143 с.
12. *Бородин И.Ф., Мищенко С.В.* Приборы контроля и управления влажностотепловыми процессами: справочная книга. Москва: Россельхозиздат, 1985. 239 с.