

## МАШИНИ І ЗАСОБИ МЕХАНІЗАЦІЇ

УДК 622.636:631.365

### ОЦІНКА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СУШІННЯ ЗЕРНА З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

*Г. А. Голуб, доктор технічних наук  
Національний університет біоресурсів і  
природокористування України*

*С. М. Кухарець, доктор технічних наук*

*Я. Д. Ярош, кандидат технічних наук*

*Житомирський національний агроекологічний університет*

*e-mail: gagolub@mail.ru*

**Анотація.** Проведено багатокритеріальний аналіз сучасного обладнання для сушіння зерна. Виконано аналіз економічної ефективності використання біопалива в сушильних установках по питомих показниках роботи. Наведено методику визначення даних показників. Відповідно найкращим буде вважатися варіант зерносушарки котра має найменшу відстань до цілі.

На основі проведених досліджень можна зробити наступні висновки: найближчим до ідеального варіанту є шахтна зерносушарка ESR216 польської компанії AG-Project, котра має низьке енергоспоживання, може працювати як на природному газі так і на твердому біопаливі та має компактні розміри; з точки зору витрат енергоносіїв на т/% виражених в грошових одиницях на сьогодні сушильні агрегати на біопаливі є більш економічними ніж сушарки, котрі працюють на природному газі чи дизельному паливі; аналіз відстані для цілі показує, що зерносушарки котрі використовують біопаливо мають перевагу та є ближчими до цілі.

На підставі багатокритеріального аналізу визначено, що найраціональнішими є сушильні агрегати на твердому біопаливі. З огляду витрат енергоносіїв (в грошових одиницях) сушильні агрегати на твердому біопаливі є більш економічними, відносно сушарок, котрі працюють на природному газі в середньому на 47 % та на дизельному паливі на 73 %.

**Ключевые слова:** сушіння, біомаса, енергоефективність, питомі показники

**Постановка проблеми.** Одним із ключових факторів, котрий спричиняє невинуваті втрати зерна та іншої продукції є підвищена

© Г. А. Голуб, С. М. Кухарець, Я. Д. Ярош, 2016

їх вологість. Адже волога – це продукт за участю яких відбувається обмін речовин [1].

Технічні способи і конструкція сушильних установок досить різноманітні [2]. Так як сушіння є одним з найбільш енергоємних процесів у післязбиральній обробці зерна, то затрати на його доведення до кондиційної вологості можуть сягати від 30 до 70% від всіх енергетичних затрат післязбиральної обробки [3]. На сьогодні в Україні, в основному, використовують сушарки, у яких енергоносіями для виконання процесу сушіння є природний газ, дизельне паливо та електроенергія. Переважна більшість сушарок працюють на природному газі [1]. Але в останні роки спостерігається тенденція до зростання кількості сушарок, що працюють на біопаливі.

**Аналіз останніх досліджень.** Із урахуванням питомої вартості тепла (табл. 1), отриманого від спалювання традиційних енергоносіїв (природний газ, мазут, дизпаливо, антрацит та ін.), сучасні економічні реалії спонукають виробників переходити від традиційних викопних енергоносіїв до відновлювальних джерел енергії (ВДЕ). Це призвело до розробки нового сушильного обладнання, в якому використовуються пелети, рулони, тюки із соломи зернових колосових культур і міскантуса, лушпиння соняшнику, тирса, дерев'яні тріски, дрова та ін. [1].

### **1. Оціночне порівняння вартості тепла отриманого від спалювання різних типів енергоносіїв (на початок 2016 р.)**

Вид палива	Теплота згоряння, МДж	ККД обладнання, %	Ціна за одиницю палива, грн.	Ціна за 1 ГДж, грн
Газ	33,65 м <sup>3</sup>	90	7,188 грн/м <sup>3</sup>	213,05
Електроенергія	3,59/кВт	98	1,49 грн/кВт	413,68
Дизпаливо	34,44/дм <sup>3</sup>	92	17 грн/дм <sup>3</sup>	492,74
Вугілля (антрацит)	25,08/кг	85	3,3 грн/кг	131,37
Пелети (деревина)	17,56/кг	85	2 грн/кг	113,69
Пелети (солома)	18,39/кг	85	1,66 грн/кг	90,04
Торфобрикет	16,30/кг	85	1,6 грн/кг	97,93

Одним із ключових факторів при сушінні є те, що не дотримання температурного режиму як сушильного агенту, так і, наприклад, насіння, може призвести до коагуляції білка, втрату життєвих функцій насінини та здатності її до проростання, різкого погіршення розтяжності білків (ендосперму) і, отже, зниження кількості та якості клейковини. Із цих позиції при багатокритеріальній оцінці сушильного обладнання важливо враховувати керованість температурного режиму сушарок у яких використовуються теплогенератори на біопаливі. Із аналізу перспектив фірм-виробників сушильного обладнання можна зробити висновок, що різні

виробники вказують номінальну продуктивність сушарок при різних початкових умовах сушки, що може призводити до невідповідності фактичним значенням продуктивності. Найчастіше виробники вказують різні значення початкової та кінцевої вологості, різну температуру сушильного та навколишнього середовища (температура, відносна вологість), різний ступінь забруднення матеріалу, тощо. Це пов'язано з відсутністю загальноприйнятої методології визначення продуктивності, а тому виробники різних країн світу в специфікаціях до сушильного обладнання вказують декілька значень продуктивності, котрі реалізуються для різних значень початкової та кінцевої вологості. Також необхідно враховувати те, що декларована продуктивність може враховувати нагрівання та охолодження продукту сушіння або тільки його нагрівання. Тому слід використовувати поправочні коефіцієнти на наступні показники: культура, режим, вологість (початкова та кінцева), а також температура атмосферного повітря, температура сушильного агента [1, 2].

Згідно до прогнозу [4, 5], використання біомаси буде зростати в найближчі десятиліття, в тому числі і для нагрівання сушильних агентів. Також слід зазначити, що теплогенератори на біопаливі [6] набувають все більшого використання в сушильних агрегатах для сушіння різних типів сільськогосподарських матеріалів: від зернових матеріалів до плодоовочевої сировини. Процес модернізації існуючих сушильних агрегатів з заміною базової теплоенергетичної установки на установку, що працює на твердому паливі на сьогодні носить масовий характер. На сьогодні відомі теплогенератори, котрі можуть бути використанні для сушки матеріалів якість котрих сильно залежить від дотримання оптимальних режимів сушіння (лікарські трави, хміль, тощо). Так, наприклад, в роботі [6] описана модернізація хмелесушарки ПХБ-750К шляхом заміни в ній існуючої установки, що працює на рідкому паливі (дизельне пальне) на теплоенергетичну установку на твердому паливі (суха деревина) для сушіння хмелю. По результатах виробничих випробувань встановлено, що грошові витрати у разі використання сухої деревини для одержання однієї тонни хмелесировини в 5,1 рази менші в порівнянні з дизельним паливом.

В даний час зерносушильний парк України налічує значну кількість найменувань зерносушарок різних типів та різних виробників. Серед них: США – Farm Fans, QED, Meyer, Delux, Mini-Max, Mathews, Cukup, Neco; Німеччина – Petkus, Neuero, Schmidt-Seeger, Monsum Lachenmeier, Riela; Данія – Cimbria, Crocus; Швеція – Tornum; Фінляндія – Antti, Meru; Польща – Araj, AG – Projekt; Франція – LAW; Аргентина – Mega; Туреччина – Тесо; Італія – Agrex,

Mulmix, Mecmar, Pedrotti; Бразилія – Kepler Weber; Україна – ДСП-10/20/25; А1-ДСП-50; ТДВ «Бриг»; ЗАТ «Порцелакінвест»; Росія – АО «Брянксельмаш», ОАО «Воронежсельмаш», АО «Мель-інвест», ЗАО «Агропромтехніка», ОАО «Тверьсельмаш», ЗАО «Сибирський Агропромшленний Дом».

Найбільш поширеними на сьогоднішній момент серед дрібних та середніх фермерських господарств в Україні є мобільні сушарки циклічного типу, модульні сушарки, шахтні сушарки потокового типу. Основні виробники мобільних сушарок циклічного типу – італійські компанії Pedrotti, Agrex, Mecmar та фінська Meru. Лідерами на ринку модульних сушарок є американські компанії GSI, Mathews.

Найбільш поширеними серед великих агропідприємств на сьогоднішній день є зерносушарки шахтного типу. Основними виробниками шахтних сушарок потокового типу є компанії Cimbria, Tornum, Petkus. У зв'язку з цим, багатокритеріальна порівняльна оцінка існуючих сушарок, які використовують традиційні та відновлювані джерела енергії є актуальною задачею.

**Метою досліджень** є розробка багатокритеріальної порівняльної оцінки сучасного сушильного обладнання на прикладі зерносушарок в яких використовуються ВДЕ на основі аналізу питомих показників його роботи.

**Результати досліджень.** На основі аналізу літературних джерел [7–17] прийmemo наступні умови, за яких продуктивність сушарки будемо вважати номінальною: температура навколишнього середовища 20°C; відносна вологість повітря 60%; атмосферний тиск 760 мм рт. ст.; режим сушіння – продовольчий; сушіння з охолодженням; культура – пшениця; початкова вологість 20%, кінцева 14%; температура сушильного агента 110°C. Для приведення продуктивності до номінальної виразимо вплив вищезазначених умов через систему коефіцієнтів. Для розрахунку фактичної продуктивності на основі методик [2, 4, 8, 9] запропоновано наступну формулу:

$$P_{\text{факт}} = P_{\text{ном}} k_1 k_2 k_3 k_4 k_5 k_6, \quad (1)$$

де:  $P_{\text{факт}}$  – фактична продуктивність;  $P_{\text{ном}}$  – номінальна продуктивність;  $k_1$  – коефіцієнт, що враховує залежність продуктивності від початкової та кінцевої вологості (рис. 1);  $k_2$  – коефіцієнт, що враховує відносну вологість та температуру навколишнього середовища (табл. 2);  $k_3$  – коефіцієнт, що враховує тип матеріалу, котрий висушується: для пшениці  $k_3=1$ , для кукурудзи  $k_3=0,67$ ;  $k_4$  – коефіцієнт, що враховує залежність продуктивності від температури теплоагента (табл. 3);  $k_5$  – коефіцієнт, що враховує

режим сушіння: для продовольчого режиму  $k_5=1$ , для насіннєвого  $k_5=0,7$ ;  $k_6$  – коефіцієнт, що враховує наявність нагрівання та охолодження продукту сушіння ( $k_6=1$ ) або тільки нагрівання ( $k_6=1,15$ ).

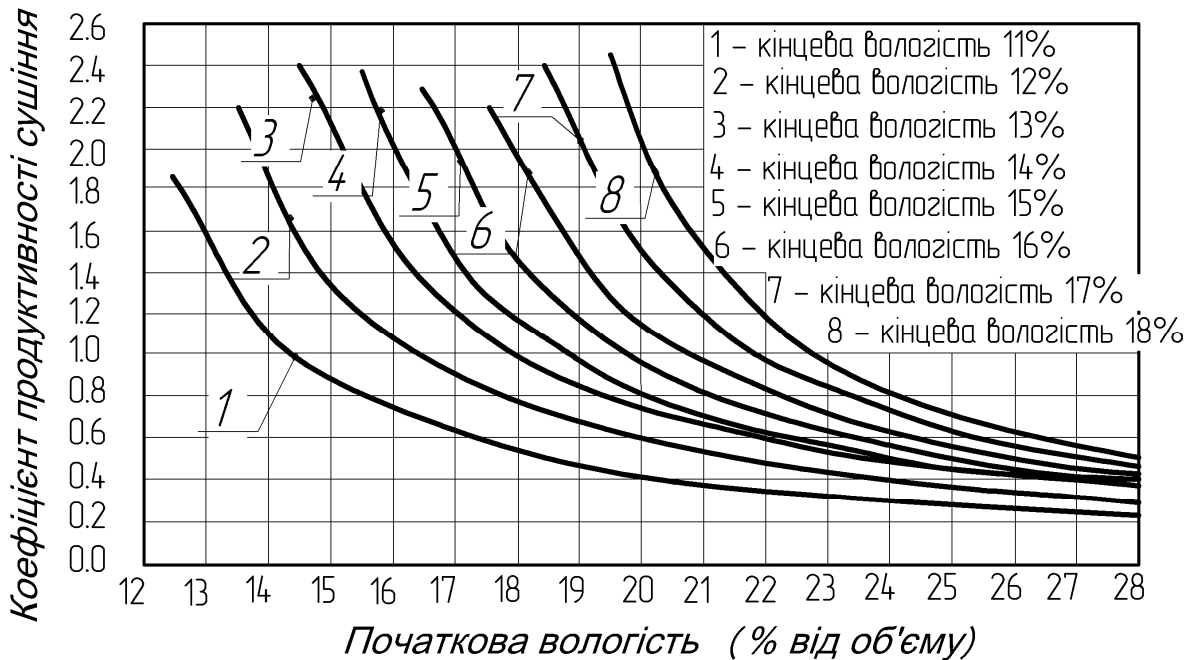


Рис. 1. Залежність продуктивності сушіння від вологості на вході та виході по даних фірми Kerpler Weber [4].

## 2. Величини коефіцієнтів в залежності від температури і відносної вологості повітря [4]

Відносна вологість, %	Температура навколишнього середовища					
	5°C	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C
50	0,91	0,93	0,99	1,01	1,01	1,01
60	0,90	0,93	0,97	1,00	1,00	1,01
70	0,89	0,91	0,93	0,97	0,97	0,97
80	0,89	0,91	0,92	0,92	0,92	0,91
90	0,92	0,89	0,90	0,90	0,89	0,87

## 3. Величини коефіцієнтів продуктивності в залежності від температури сушіння [4]

Температура, °C	Коефіцієнт продуктивності
120°C	1,07
110°C	1,00
100°C	0,90
90°C	0,82
80°C	0,75
70°C	0,65
60°C	0,52
55°C	0,45

Порівняльні характеристики зерносушарок, при роботі на традиційних та відновлюваних джерелах енергії, наведені в табл. 4. Причому фактична продуктивність  $P_{факт}$  розраховано за виразом (1).

#### 4. Порівняльна характеристика зерносушарок

Марка сушарки (країна виробник, фірма)	Продуктивність $P_{факт}$ т/год	Питома витрата палива (сушіння пшениці), кг/т/% ( $m^3/т/%$ для газу)					Габаритні розміри $D \times Ш \times В$ , м Вага, кг
		Пшениця Кукурудза	Газ	Рідке паливо	Пелети	Солома з W до 20%	
1	2	3	4	5	6	7	8
1600FR, Italy, Grain Complex& Systems [6]	$\frac{12}{6,4}$	1,16	0,96	-	-	-	$\frac{6,6 \times 2,8 \times 10,7}{4025}$
ESR6, Poland, AG-Project Grzegorz Skoczylas [7]	$\frac{20}{12,6}$	0,93	-	2,5	4	-	$\frac{9,6 \times 3,1 \times 10}{6235}$
ESR21, Poland, AG-Project Grzegorz Skoczylas [7]	$\frac{70}{50}$	0,9	-	2,3	3,5	-	$\frac{13,8 \times 3,1 \times 21,0}{18612}$
ESR216, Poland, AG- Project Grzegorz Skoczylas [7]	$\frac{100}{73}$	0,89	-	2	3	-	$\frac{12,1 \times 6,2 \times 17,34}{30025}$
GDT 300/12/2, Germany, RIELA [8]	$\frac{20}{14,2}$	1,3	1,05	-	-	-	$\frac{5,2 \times 3 \times 12,7}{7025}$
GDT 400/27/3, Germany, RIELA [8]	$\frac{87}{59}$	1,3	1,05	-	-	-	$\frac{5,3 \times 4,4 \times 23,3}{27036}$
Vesta 5, Україна, БОЕЗ [9]	$\frac{5}{3,7}$	-	-	3	-	-	$\frac{5,3 \times 3,4 \times 8,5}{9000}$
Vesta 15, Україна, БОЕЗ [9]	$\frac{10}{8,5}$	-	-	3	-	-	$\frac{5,3 \times 3,4 \times 12,8}{11330}$
Vesta 20, Україна, БОЕЗ [9]	$\frac{20}{12}$	-	-	3	-	-	$\frac{5,3 \times 3,4 \times 16,0}{12300}$
Astra I, Україна, БОЕЗ [9]	$\frac{19,1}{24,9}$	0,9	-	-	-	-	$\frac{2,5 \times 2,3 \times 12,9}{6500}$
Astra II, Україна, БОЕЗ [9]	$\frac{37,03}{44,7}$	0,9	-	-	-	-	$\frac{5,1 \times 2,3 \times 12,9}{13000}$

Продовження табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8
Astra IV, Україна, БОЕЗ [9]	$\frac{74,07}{59}$	0,9	-	-	-	-	$\frac{5,1 \times 6,3 \times 12,9}{19500}$
ASD 10 R, Brasil, Kepler Weber [10]	$\frac{6,48}{5,22}$	-	-	-	-	9,2	$\frac{6,87 \times 1,74 \times 12,1}{2902}$
ASD 60 R, Brasil, Kepler Weber [10]	$\frac{13,8}{9,52}$	-	-	-	-	9,05	$\frac{6,9 \times 4,93 \times 20,3}{7025}$
ASD 200 R, Brasil, Kepler Weber [10]	$\frac{122,7}{104}$	-	-	-	-	7,38	$\frac{6,87 \times 9,82 \times 28,9}{45026}$
MDB-XN-2-15- SU, Germany, STELA Laxhuber GMBH [11]	$\frac{100}{79}$	1,15	0,8	-	-	-	$\frac{7,3 \times 2,7 \times 25}{25360}$
ДСП-25, Україна, KMZ INDUSTRIES [11]	$\frac{25}{16,5}$	1,5	1,22	-	-	-	$\frac{9 \times 7,5 \times 19}{22000}$
A1-ДСП-50, Україна, KMZ INDUSTRIES [11]	$\frac{50}{-}$	1,5	1,22	-	-	-	$\frac{11,5 \times 7,5 \times 20,5}{37000}$
ЗШ-300Г, Україна, «Сокол» [12]	$\frac{5}{3,73}$	-	-	3,4	4	6,4	$\frac{9,7 \times 2,85 \times 8}{9000}$
ЗШ-6000Г, Україна, «Сокол» [12]	$\frac{100}{67,9}$	-	-	3,2	4	5,6	$\frac{9,7 \times 11,4 \times 15,2}{62000}$
Dryer-One 240м <sup>3</sup> , Belgum, AG-Proekt [13]	$\frac{106}{70}$	1,52	-	-	-	-	$\frac{13,5 \times 13,5 \times 12}{26890}$
Dryer-One 480м <sup>3</sup> , Belgum, AG-Proekt [13]	$\frac{215}{145}$	1,01	-	-	-	-	$\frac{20,5 \times 20,5 \times 14}{50025}$

Для комплексної порівняльної оцінки зерносушарок які використовують в якості енергоносіїв, як викопні види палива, так і ВДЕ використано метод інтегрального критерію відстані до цілі [8, 9]. Сутність даного методу полягає в обґрунтуванні ідеалу та оцінці міри наближення до нього кожного з варіантів.

Ідеальний варіант характеризує таку систему, для якої кожен із критеріїв досягає свого потенційно можливого найкращого значення. Такі значення можуть бути обґрунтовані теоретично або відповідати

кращій реально досягнутій величині [8, 9]. Формування множини прийнятих критеріїв здійснено при однаковому напрямку їх покращення. Завдання їх порівняння вирішувалося за допомогою коефіцієнтів значимості критеріїв  $\lambda_i$ , значення яких розраховано виходячи з умови, що  $\sum \lambda_i = 1$ .

Для порівняльної оцінки встановлені наступні критерії:  $K_1$  – питомі витрати палива в т/% у вартісному вираженні,  $K_1 = V_{\text{УМ.ПАЛ}} \cdot Ц$ , де  $V_{\text{УМ.ПАЛ}}$  – питомі втрати газоподібного ( $\text{м}^3/\text{т}/\%$ ), рідкого ( $\text{кг}/\text{т}/\%$ ) або твердого палива ( $\text{кг}/\text{т}/\%$ );  $Ц$  – ціна одиниці обсягу відповідного палива, грн.;  $K_2$  – питомі втрати електроенергії  $e = \frac{E}{Q}$ , кВт год./т;  $Q$  –

номінальна продуктивність, т/год.;  $K_3$  – питома маса обладнання  $m = \frac{m_{\text{ОБЛ}}}{Q}$ , т/(т/год);  $m_{\text{ОБЛ}}$  – маса сушильного агрегату, т;  $K_4$  – коефіцієнт

диверсифікації енергоносіїв  $K_4 = \frac{5}{n}$ , де 5 – максимально можлива

кількість різних видів енергоносіїв, котрі можуть бути використані (газоподібні, рідкі та 3 види твердих енергоносіїв – пелети, солома та дрова);  $n$  – кількість видів палива, що можуть бути використані в даному агрегаті.

При розрахунках прийнято, що критерії  $K_1$  та  $K_4$ , які враховують енергоємність процесу та можливість використання в одній установці різних енергоносіїв, рівнозначні та мають перевагу над критерієм  $K_2$ . У свою чергу критерій  $K_2$  має перевагу над критерієм  $K_3$  (тобто  $K_1 = K_4 > K_2 > K_3$ ).

Визначені наступні коефіцієнти значимості для критеріїв: для  $K_1$  та  $K_4$  –  $\lambda_i = 0,35$ , для  $K_2$  –  $\lambda_i = 0,2$ , та для  $K_3$  –  $\lambda_i = 0,1$ . Значення критеріїв для зерносушарок різних типів та виробників зведені в таблицю 5.

### 5. Значення критеріїв і відстані до цілі для зерносушарок

Марка сушарки (країна виробник, фірма)	Показники				
	Питомі витрати		Коефіцієнт диверсифіка- ції енергоносіїв, $K_4$	Питома маса обладнан- ня, т/(т/год.)	Відс- тань до цілі, $\mu$
	палива на т/% у вартісному вираженні, грн/т/%	електроенер- гії, кВт год/т			
1	2	3	4	5	6

1600FR, Italy,  
Grain  
Complex&  
Systems

2,30

1,93

1,51

1,33

1,01



Продовження табл. 5

1	2	3	4	5	6
ESR216, Poland, AG- Project Grzegorz Skoczylas	1,17	1,70	1,00	1,20	0,13
GDT 400/27/3, Germany, RIELA	3,11	1,03	1,51	1,15	0,39
Vesta 20, Україна, БОЕЗ	2,00	1,94	3,01	2,46	0,86
Astra IV, Україна, БОЕЗ	2,16	1,69	3,01	1,10	1,08
ASD 60 R, Brasil, Kepler Weber	4,53	1,18	3,01	2,03	1,13
ASD 200 R, Brasil, Kepler Weber	3,69	1,14	3,01	1,47	0,88
MDB-XN-2-15- SU, Germany, STELA Laxhuber GMBH	2,76	1,00	1,51	1,00	0,29
ДСП-25, Україна, KMZ INDUSTRIES	3,59	2,05	1,51	3,52	1,04
ЗШ-300Г, Україна, «Сокол»	2,13	3,64	1,00	3,20	1,07
ЗШ-6000Г, Україна, «Сокол»	1,87	3,42	1,00	2,84	0,91
Dryer-One 480м <sup>3</sup> , Belgium, AG-Proekt	2,42	2,49	3,01	0,93	0,96

Приведення вказаних критеріїв до нормативного вигляду здійснили через уведення нормативного дільника, котрий відповідає кращому значенню критерію [8, 9]:

$$K_i^H = \frac{K_i}{K_0}, e_i^H = \frac{e_i}{e_0}, m_i^H = \frac{m_i}{v_0}, K_{ni}^H = \frac{K_{ni}}{K_{n0}},$$

де: індекс «Н» означає нормування, а індекс «0» – краще значення критерію.

Таким чином цільову функцію можна записати у вигляді [8, 9]:

$$\mu = (K_i^H \lambda_i + e_i^H \lambda_i + m_i^H \lambda_i + K_{ni}^H \lambda_i) - 1 \rightarrow 0.$$

Відповідно найкращим буде вважатися варіант зерносушарки котра має найменшу відстань до цілі.

На основі проведених досліджень зведених у таблиці 5 можна зробити наступні висновки:

– найближчим до ідеального варіанту є шахтна зерносушарка ESR216 польської компанії AG-Project, котра має низьке енергоспоживання, може працювати як на природному газі так і на твердому біопаливі та має компактні розміри;

– з точки зору витрат енергоносіїв на т/% виражених в грошових одиницях на сьогодні сушильні агрегати на біопаливі є більш економічними ніж сушарки, котрі працюють на природному газі чи дизельному паливі;

– аналіз відстані для цілі показує, що зерносушарки котрі використовують біопаливо мають перевагу та є ближчими до цілі.

**Висновок.** На підставі багатокритеріального аналізу визначено, що найраціональнішими є сушильні агрегати на твердому біопаливі. З огляду витрат енергоносіїв (в грошових одиницях) сушильні агрегати на твердому біопаливі є більш економічними, відносно сушарок, котрі працюють на природному газі в середньому на 47 % та на дизельному паливі на 73 %.

### Список літератури

1. *Занько М.* Як висушити зерно із застосуванням біопалива / *М. Занько* // Пропозиція. – 2014. – № 11. – С. 102–108.
2. *Цугленок Н. В.* Основные факторы и показатели для сравнительной характеристики зерносушилок / *Н. В. Цугленок, С. К. Манасян, М. А. Жуков* // Вестник КрасГАУ. – 2010. – №5. – С. 114–119.
3. *Гапонюк І. І.* Зменшення енергозатрат вітчизняних зерносушарок / *І. І. Гапонюк* // Харчова промисловість. – 2011. – № 10. – С. 112–116.
4. *Panwara N. L.* Role of renewable energy sources in environmental protection / *N. L. Panwara, S. C. Kaushik, K. H. Surendra* // Renewable and Sustainable Energy Review. – 2011. – №5. – P. 1513–1524.
5. *Технічні та технологічні пропозиції отримання енергії із сировини сільськогосподарського походження* / [С. М. Кухарець, Г. А. Голуб, О. В. Скидан, О. Ю. Осипчук] // Вісник ЖНАЕУ. – 2015. – № 2 (50), т. 1. – С. 369–385.
6. *Любченко В. В.* Модернізація установки для сушіння хмелю / *В. В. Любченко, І. І. Борисюк* // Агропромислове виробництво Полісся. – 2014. – №7. – С. 88–91.
7. *Руководство для пользователя зерносушилки KW ADS средней производительности* [Електронний ресурс] // EIMAN 929. – 2010. – Режим доступу до ресурсу: <http://maxsafe.com.ua>.
8. *Нагірний Ю. П.* Обґрунтування інженерних рішень / *Ю. П. Нагірний*. – К.: Урожай, 1994. – 216 с.
9. *Сарана В. В.* Багатокритеріальна оцінка сучасного обладнання для виготовлення паливних гранул і брикетів з відходів переробки сільськогосподарських культур і деревини / *В. В. Сарана, М. М. Гудзенко, С. М. Кухарець* // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – 2010. – Вип. 144, ч. 3. – С. 190–197.

10. *Зерносушилка* энергосберегающая STRAHL тип FR. Описание конструкции [Электронный ресурс] // 2015 – Режим доступа до ресурсу: [http://www.officineminute.it/officineminute\\_files/file/Relazione-tecnica-FR-ukr.pdf](http://www.officineminute.it/officineminute_files/file/Relazione-tecnica-FR-ukr.pdf).
11. *Зерносушилки* шахтные Eco Silent Recuperation (ESR) [Электронный ресурс] // Элеваторный альянс. – 2015. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.agprojekt.pl/ru/index.html>.
12. *Зерносушилка* RIELA тип GDT [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа до ресурсу: <http://riela.all.biz>.
13. *Докладний* перелік продукції [Электронный ресурс] // ТОВ "Українсько-російське підприємство" БОЕЗ Україна". – 2015. – Режим доступа до ресурсу: <http://boez.com.ua/ua/produktsiya/perelik-produktsiji.html>.
14. *Зерносушилки* Kepler Weber [Электронный ресурс] // Kepler Weber. – 2016. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.kepler.com.br>.
15. *Аграрные* сушилки «STELA» с технологией «Biturbo» [Электронный ресурс] // KMZ INDUSTRIES. – 2016. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.stela.de/ru/?s=N2xGr6z5UvX2Ut94A>.
16. *Зерносушилки* шахтные на отходах типа ЗШ.Р [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.zeosokol.com/product/product5/>.
17. *Сушилки* DRYER ONE™ [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа до ресурсу: <http://insightex.com.ua>.

## References

1. *Zan'ko, M.* (2014). Yak vysushyty zerno iz zastosuvannyam biopalyva [How to dry the grain with the use of biofuels]. *Offer*, 11, 102–108.
2. *Tshlenok, N. V., Manasyan, S. K., Zhukov, M. A.* (2010). Osnovnie faktory y pokazately dlya sravnytel'noy kharakterystyky zernosushylok [The main factors and indicators for the comparative features]. *Vestnyk Kras'HAU*, 5, 114–119.
3. *Haronyuk, I. I.* (2011). Zmenschennya enerhozatrat vitchyznyanykh zernosusharok [Reduction of energy consumption of domestic dryers]. *Food industry*, 10, 112–116.
4. *Panwara, N. L., Kaushik, S. C., Surendra, K. H.* (2011). Role of renewable energy sources in environmental protection. *Renewable and Sustainable Energy Review*, 5, 1513–1524.
5. *Kukharets', S. M., Holub, H. A., Skydan, O. V., Osypchuk, O. Yu.* (2015). Tekhnichni ta tekhnolohichni propozytyi otrymannya enerhiyi iz syrovyny sil'skohospodars'koho pokhodzhennya. [Technical and technological proposals to produce energy from raw materials of agricultural origin]. *Visnyk ZhNAEU*, 2 (50), t. 1, 369–385.
6. *Lyubchenko, V. V., Borysyuk, I. I.* (2014). Modernizatsiya ustanovky dlya sushynnya khmelyu [Modernization of the installation for drying hops]. *Agricultural production Polesie*, 7, 88–91.
7. Rukovodstvo dlya pol'zovatelya zernosushylky KW ADS sredney proyzvodytel'nosty [Elektronnyy resurs] [User's manual of the dryer KW ADS average performance : Electronic resource] (2010). // EIMAN 929, Rezhym dostupu do resursu: <http://maxsafe.com.ua>.
8. *Nahirnyy, Yu. P.* (1994). Obgruntuvannya inzhenernykh rishen' [Study engineering solutions]. K.: Urozhay, 216.
9. *Sarana, V. V., Hudzenko, M. M., Kukharets', S. M.* (2010). Bahatokryterial'na otsinka suchasnoho obladdnannya dlya vyhotovlennya palyvnykh hranul i bryketiv z vidkhodiv pererobky sil'skohospodars'kykh kul'tur i derevyny [Multi-criteria evaluation of modern equipment for the manufacture of fuel pellets and briquettes made of

wastes of agricultural crops and wood]. Scientific Bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: machinery and energetics AIC, Vyp. 144, ch. 3, 190–197.

10. Zernosushylka enerhosberehayushchaya STRAHL typ FR. Opysanye konstruktsyy [Elektronnyy resurs] [Grain dryer energy saving STRAHL type FR. Description of design : Electronic resource] (2015). Rezhym dostupu do resursu: [http://www.officineminute.it/officineminute\\_files/file/Relazione-tecnica-FR-ukr.pdf](http://www.officineminute.it/officineminute_files/file/Relazione-tecnica-FR-ukr.pdf).

11. Zernosushylky shakhtnye Eco Silent Recuperation (ESR) [Elektronnyy resurs] [Dryers of mine Eco Silent Recuperation (ESR) : Electronic resource] (2015). Elevatorniy al'yans. Rezhym dostupu do resursu: <http://www.agprojekt.pl/ru/index.html>.

12. Zernosushylka RIELA typ GDT [Elektronnyy resurs]. [Dryers of RIELA typ GDT : Electronic resource] (2016). Rezhym dostupu do resursu: <http://riela.all.biz>.

13. Dokladnyy perelik produktsiyi [Elektronnyy resurs] [A detailed list of products : Electronic resource] (2015). TOV "Ukrayins'ko-rosiys'ke pidpryyemstvo" BOEZ Ukrayina". Rezhym dostupu do resursu: <http://boez.com.ua/ua/produktsiya/perelik-produktsiji.html>.

14. Zernosushylky Kepler Weber [Elektronnyy resurs]. [Grain dryer Kepler Weber : Electronic resource] (2016). Kepler Weber. Rezhym dostupu do resursu: <http://www.kepler.com.br>.

15. Ahrarnie sushylky «STELA» s tekhnolohyey «Biturbo» [Elektronnyy resurs] [Agricultural dryer "STELA" technology "Biturbo" : Electronic resource] (2016). KMZ INDUSTRIES. Rezhym dostupu do resursu: <http://www.stela.de/ru/?s=N2xGr6z5UvX2Ut94A>.

16. Zernosushylky shakhtnie na otkhodakh typa ZSh.R [Elektronnyy resurs] [Dryers of mine type of waste-ZS.G: Electronic resource]. (2016). Rezhym dostupu do resursu: <http://www.zeosokol.com/product/product5/>.

17. Sushylky DRYER ONE™ [Elektronnyy resurs] [Dryers of DRYER ONE™: Electronic resource]. (2015). Rezhym dostupu do resursu: <http://insightex.com.ua>.

## **ОЦЕНКА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СУШКИ ЗЕРНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

***Г. А. Голуб, С. Н. Кухарец, Я. Д. Ярош***

**Аннотация.** *Проведен многокритериальный анализ современного оборудования для сушки зерна. Выполнен анализ экономической эффективности использования биотоплива в сушильных установках по удельным показателям работы. Приведена методика определения данных показателей. Соответственно, лучшим будет считаться вариант зерносушилки которая имеет наименьшее расстояние до цели.*

*На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы: в ближайшее идеального варианта является шахтная зерносушилка ESR216 польской компании AG-Project, которая имеет низкое энергопотребление, может работать как на природном газе так и на твердом биотопливе и имеет компактные размеры, с точки зрения затрат энергоносителей на*

*m/%* выраженных в денежных единицах на сегодня сушильные агрегаты на биотопливе являются более экономичными чем сушилки, которые работают на природном газе или дизельном топливе, анализ расстояния для цели показывает, что зерносушилки которые используют биотопливо имеют преимущество и ближе к цели.

На основании многокритериального анализа определено, что наиболее рациональным есть сушильные агрегаты на твердом биотопливе. С учетом затрат энергоносителей (в денежных единицах) сушильные агрегаты на твердом биотопливе являются более экономичными, в отношении сушилок, работающих на природном газе в среднем на 47 % и на дизельном топливе на 73 %.

**Ключевые слова:** сушка, биомасса, энергоэффективность, удельные показатели

## **ASSESSMENT OF EQUIPMENT FOR GRAIN DRYING WITH USE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES**

**G. A. Golub, S. M. Kuharets, Ya. D. Yarosh**

**Abstract.** *The multi objective analysis of the modern equipment for drying grain is spent. The analysis of the economic efficiency of the using of biofuels in drying plants for specific performance is spent. The method of determining these indicators is resulted. Conducted a multi-criteria analysis modern equipment for grain drying.*

*On the basis of conducted research we can draw the following conclusions: in the near future, the ideal option is mining dryer ESR216 of the Polish company AG-Project, which has low power consumption, can run on natural gas and solid biofuels and is compact, from the point of view of cost of energy carriers on m/% expressed in monetary units today drying units on biofuels are more efficient than dryers that run on natural gas or diesel fuel analysis distance to the target shows that dryers that use biofuels have the advantage of being closer to the goal.*

*On the basis of multicriteria analysis determined that niral is drying aggregates on solid biofuels. Taking into account the cost of energy (in monetary units) drying units for solid biofuels are more economical in respect of dryers running on natural gas at an average of 47% and diesel fuel by 73 %.*

**Keywords:** *drying, biomass, energy efficiency, specific indicators*