

**М. Петренко, канд. техн. наук; І. Скриннік ;  
Д. Богатирьов, канд. техн. наук; М. Скриннік**

*Кіровоградський національний технічний університет*

## **РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ПРОЦЕС СУШІННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР В ЗЕРНОШУШАРЦІ КАСКАДНОГО ТИПУ**

*В статті наведено експериментальні дослідження і встановлені основні закономірності впливу параметрів зерносушарки каскадного типу на якісні показники роботи під час сушіння насіння в киплячому шарі.*

**M.Petrenko, I. Skrunnik, D.Bogatyrev, M.Skrunnik**

## **RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCHES OF INFLUENCING OF BASIC PARAMETERS ARE ON THE PROCESS OF DRYING OF CORN CULTURES IN THE GRAIN DRYER OF CASCADE TYPE**

*In the article experimental researches are resulted and basic conformities to the law of influencing of parameters of grain dryer of cascade type are set on the high-quality indexes of work during drying of seed in a boiling layer.*

Сушіння зерна та насіння є основною технологічною операцією з приведення його в стійкий стан. Необхідність і своєчасність штучного сушіння зернових культур викликана підвищеною післязбиральною вологістю. До 80% врожаю усіх зернових культур, що поступають на хлібозбиральні підприємства або на господарські токи, мають підвищену вологість під час збирання до 35-45% і обов'язково потребують додаткового сушіння. Тому забезпечення стійкого збереження і стабілізація якості насіння можуть бути досягнуті тільки своєчасним, якісним та інтенсивним сушінням [1].

На сьогодні запропоновано багато технічних рішень для сушіння насіння за фізико-механічними властивостями. Але слід відзначити, що більшість з них не забезпечують агротехнічні вимоги або економічно не ефективні [2].

На кафедрі сільськогосподарського машинобудування Кіровоградського національного технічного університету розроблено конструкцію зерносушарки каскадного типу з попереднім прогріванням зерна [3].

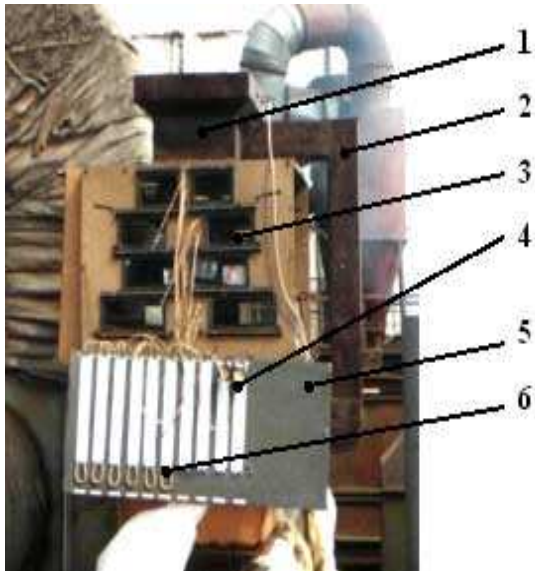
Мета дослідження полягає у визначенні основних закономірностей впливу параметрів зерносушарки каскадного типу на якісні показники роботи під час сушіння насіння в киплячому шарі з попереднім прогріванням.

Для дослідження впливу окремих факторів на цільові функції та знаходження оптимальних значень факторів було виготовлено експериментальну установку (рис. 1).

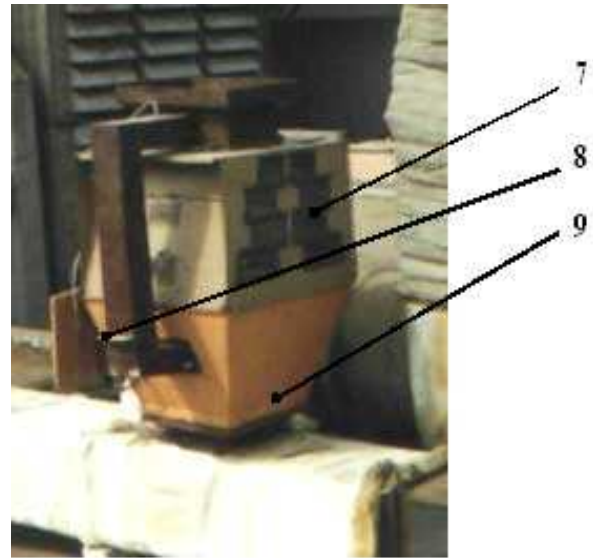
Виходячи з теоретичних досліджень, визначено, що чинниками, які впливають на параметри оптимізації, є:

- геометричні параметри: кут нахилу каскадів  $\alpha$ ; товщина шару матеріалу  $h$ ;
- технологічні параметри: температура в сушарці  $t_1$  і температура в трубі попереднього прогріву зерна  $t_2$ ; тиск в сушарці  $P_1$  і тиск в трубі попереднього прогріву  $P_2$ .

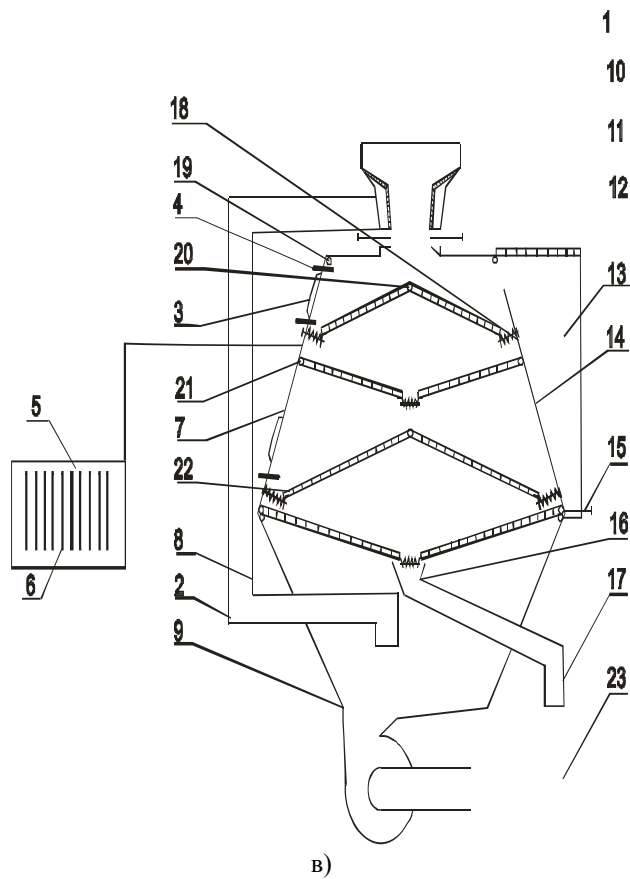
Параметричні обмеження, які є рівнями варіювання факторів, наведено в табл. 1.



а)



б)



в)

Рисунок 1 – Загальний вигляд експериментальної установки

а) вигляд спереду; б) вигляд ззаду; в) схема експериментальної установки;  
 1-бункер;2-труба попереднього прогрівання;3-оглядові віконця;4-термометри;5-щит контроль-вимірювальних приладів;6-и подібні рідинні манометри;7-конфузор;8-шибер;9-дифузор;10-касета для попереднього прогріву зерна;11-шибер для подачі сирого зерна з касети попереднього підігрівання;12-сітки для виходу відпрацьованого агента сушки;13-осадова камера для легких домішок (фракцій);14-бокова регулююча стінка конфузора;15-шибер осадової камери;16-короб для сухого зерна;17- труба для виходу сухого зерна;18-регулюючі каскади з решетами для сушіння зерна;19-регулювальні пелюстки для проходження зерна з верхнього каскаду на нижній;20-шарніри для кріплення каскадів;21-шарніри для кріплення бокових стінок конфузора; 22-регулюючі пелюстки; 23-теплогенератор

Таблиця 1 - Рівні варіювання факторів

№ п.п.	Фактори		Рівні варіювання		Нульовий
	Найменування	Позначення	Верхній (+)	Нижній (-)	
1	Тиск в конфузорі $P_1$ , кПа	$X_1$	60	50	55
2	Тиск в трубопроводі попереднього прогрівання, $P_2$ , кПа	$X_2$	25	0	12,5
3	Температура агента сушки в конфузорі $t_1$ , $^{\circ}C$	$X_3$	130	110	120
4	Температура агента сушки в трубопроводі попереднього прогрівання, $t_2$ , $^{\circ}C$	$X_4$	50	0	25
5	Товщина шару матеріалу $H$ , мм	$X_5$	20	10	15
6	Кут нахилу касет (каскадів) $\alpha$ , град	$X_6$	2,75	1,25	2,0

Можливість відтворюваності даних експериментів визначали за допомогою критерію Кохрена (G), а отриману модель перевіряли на адекватність за допомогою критерію Фішера (F) табл. 2.

Параметри оптимізації в даному випадку були вибрані наступні:

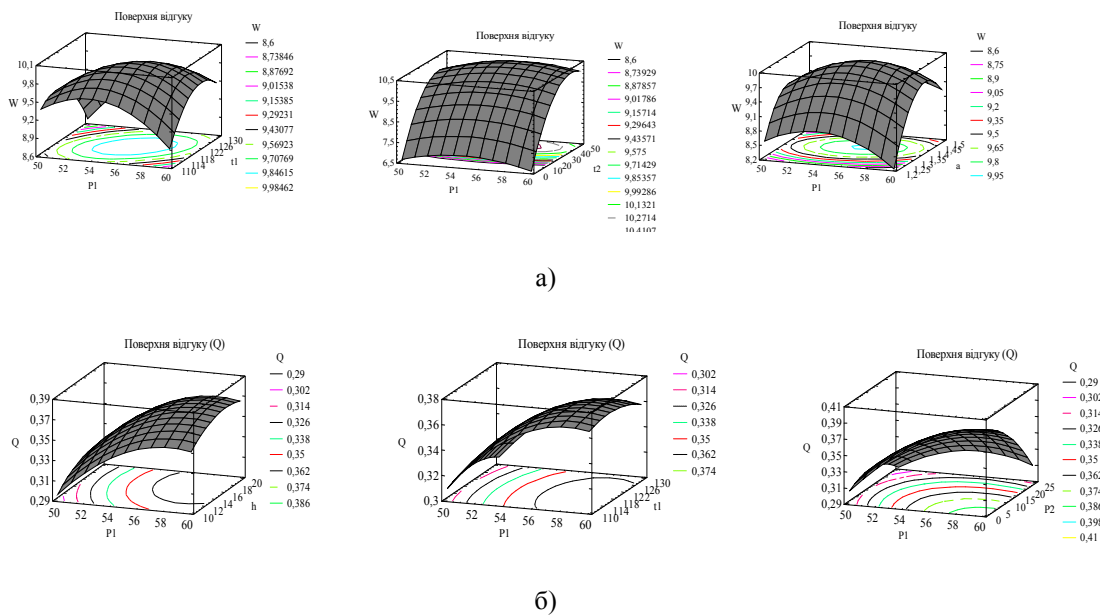
$Y_1$  – ефект сушіння (W), %;  $Y_2$  – продуктивність (Q), т/год.;  $Y_3$  – енергетичні витрати (E), кДж/кг.

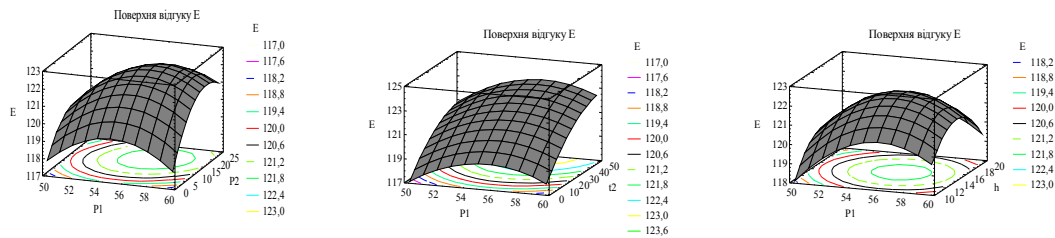
Таблиця 2 – Статистична оцінка нелінійних моделей

№ п/п	Параметр оптимізації	Критерій Кохрена		Критерій Фішера	
		$G^p$	$G^I$	$F^p$	$F^I$
Соняшник					
1	Ефекти сушіння (W)	0,101	0,182	0,02	2,2
2	Продуктивність (Q)	0,057		0,284	
3	Питомі енергетичні витрати (E)	0,127		1,42	

Для визначення взаємозв'язку між конструктивними та технологічними параметрами, визначення їх оптимального варіанту в роботі проведено математичне планування експерименту.

Процедуру планування експерименту, визначення суттєвості факторів та комплекс обчислень здійснювали, використавши модуль Design of Experiment (DOE) STATGRAPHICS plus for Windows (рис. 2).





в)

Рисунок 2 – Поверхні відгуку та лінії рівного виходу:  
 а) для технологічного ефекту сушіння (W); б) для продуктивності (Q);  
 в) для енергетичних витрат (E)

Для визначення найбільш суттєвого впливу факторів на цільову функцію використали відображення стандартизованої Парето-карти (рис. 3).

На карті Парето наочно можна побачити фактори та їх взаємозв'язки, що мають статистично-значимі ефекти. На це вказує те, що відповідні стовпці перетинають вертикальну лінію, яка є на 95% тестом для визначення значимості, а також підтверджується графіками головних ефектів і відповідного розподілу.

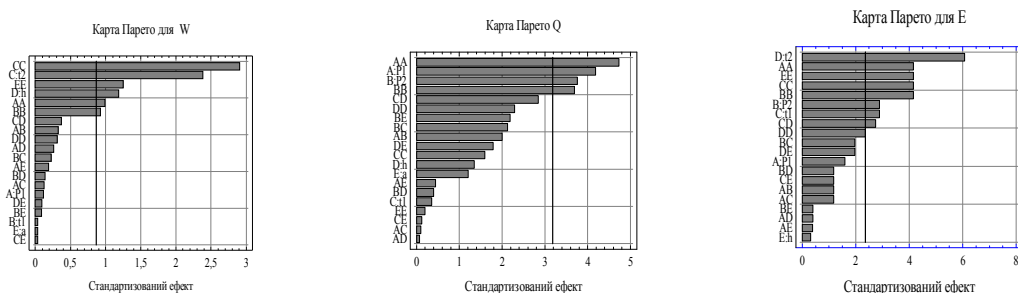


Рисунок 3 - Межа статистичного значення коефіцієнта математичного чекання

Після проведення серії дослідів, побудови Парето-карт для трьох параметрів оптимізації та побудови поверхонь відгуків були побудовані рівняння регресії в кодованих чинниках для трьох параметрів оптимізації:

$$Y_1 = W = 10,4579 + 0,927 \cdot X_1 + 0,529 \cdot X_3 + 0,190 \cdot X_4 + 0,362 \cdot X_5 + 76,124 \cdot X_6 - 0,017 \cdot X_1^2 + 0,006 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,0009 \cdot X_1 \cdot X_4 - 0,010 \cdot X_1 \cdot X_5 + 0,292 \cdot X_1 \cdot X_6 - 0,004 \cdot X_3^2 - 0,0008 \cdot X_3 \cdot X_4 + 0,002 \cdot X_3 \cdot X_5 + 0,067 \cdot X_3 \cdot X_6 - 0,002 \cdot X_4^2 + 0,002 \cdot X_4 \cdot X_5 - 0,010 \cdot X_4 \cdot X_6 - 0,005 \cdot X_5^2 - 0,140 \cdot X_5 \cdot X_6 - 35,560 \cdot X_6^2$$

$$Y_2 = Q = 0,360 + 0,026 \cdot X_1 - 0,023 \cdot X_2 - 0,002 \cdot X_3 + 0,008 \cdot X_5 + 0,007 \cdot X_6 - 0,019 \cdot X_1^2 - 0,017 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,0008 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,0006 \cdot X_1 \cdot X_5 - 0,003 \cdot X_1 \cdot X_6 - 0,015 \cdot X_2^2 + 0,018 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,003 \cdot X_2 \cdot X_5 - 0,019 \cdot X_2 \cdot X_6 - 0,006 \cdot X_3^2 - 0,025 \cdot X_3 \cdot X_5 + 0,001 \cdot X_3 \cdot X_6 - 0,009 \cdot X_5^2 + 0,015 \cdot X_5 \cdot X_6 - 0,0008 \cdot X_6^2$$

$$Y_3 = E = 122,042 + 0,562 \cdot X_1 + 1,013 \cdot X_2 + 1,013 \cdot X_3 + 2,139 \cdot X_4 + 0,115 \cdot X_5 - 1,563 \cdot X_1^2 + 0,506 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,506 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,168 \cdot X_1 \cdot X_4 - 0,167 \cdot X_1 \cdot X_5 - 1,563 \cdot X_2^2 - 0,845 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,507 \cdot X_2 \cdot X_4 - 0,168 \cdot X_2 \cdot X_5 - 1,563 \cdot X_3^2 - 1,18 \cdot X_3 \cdot X_4 + 0,506 \cdot X_3 \cdot X_5 - 0,887 \cdot X_4^2 + 0,843 \cdot X_4 \cdot X_5 - 1,563 \cdot X_5^2$$

Після проведення експериментальних дослідів та зняття відповідних показників, котрі впливають на параметри оптимізації, були побудовані графіки вологоз'єму з попереднім прогріванням та без попереднього прогрівання (рис. 4).

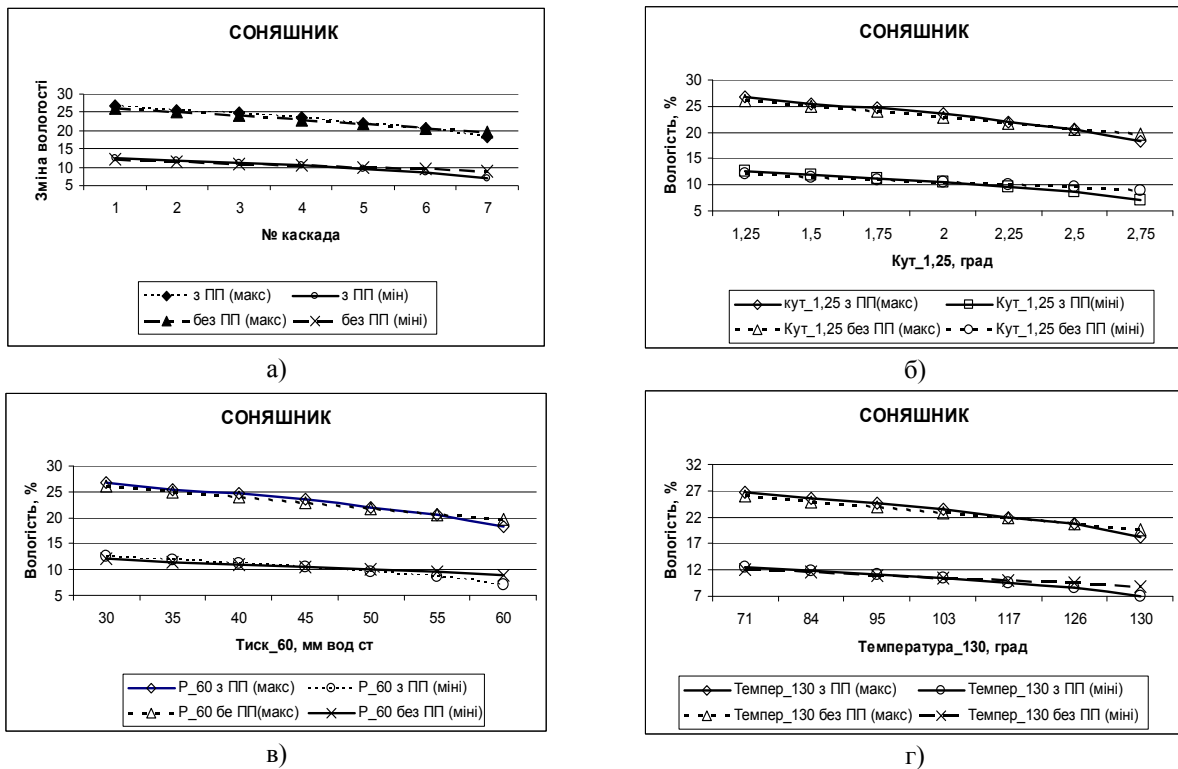


Рисунок 4 – Графіки вологості зернової культури пшениці:  
 а) – від кута нахилу каскаду; б) – від тиску; в) – від кількості каскадів; г) - від тиску

В результаті проведення експериментальних досліджень отримані наступні раціональні значення параметрів зерносушарки каскадного типу для сушіння насіння з попереднім прогріванням, при яких підвищується ефективність сушіння ( $W$ ), продуктивність ( $Q$ ) і зменшуються енергетичні витрати ( $E$ ). Значення чинників представлені в табл. 5-7.

Таблиця 5 – Раціональні значення параметрів зерносушальної установки каскадного типу для підвищення ефективності сушіння  $W, \%$

Тиск в сушальній камері $P_1$ , мм.вод.ст	Температура в сушальній камері $t_1$ , °C	Температура в трубі попереднього прогріву $t_2$ , °C	Товщина шару матеріалу $h$ , мм	Кут нахилу робочих каскадів $\alpha$ , °
Соняшник ( $W = 9.9-10.5\%$ )				
55-60	114-126	45-50	12-20	1.35-1.4

Таблиця 6 – Раціональні значення параметрів зерносушальної установки каскадного типу для підвищення продуктивності  $Q, \text{т/год}$

Тиск в сушальній камері $P_1$ , мм.вод.ст	Тиск в трубі попереднього прогріву $P_2$ , мм.вод.ст	Температура в сушальній камері $t_1$ , °C	Товщина шару матеріалу $h$ , мм	Кут нахилу робочих каскадів $\alpha$ , °
Соняшник ( $Q = 0.37-0.41 \text{ т/год}$ )				
55-60	0-50	114-126	12-20	1.35-1.4

Таблиця 7 – Раціональні значення параметрів зерносушальної установки каскадного типу для зменшення енергетичних витрат  $E$ , кДж/кг

Тиск в сушальній камері $P_1$ , мм.вод.ст	Тиск в трубі попереднього прогрівання $P_2$ , мм.вод.ст	Температура в сушальній камері $t_1$ , °C	Температура в трубі попереднього прогрівання $t_2$ , °C	Товщина шару матеріалу $h$ , мм
Соняшник ( $E = 123 \text{ кДж/кг}$ )				
55-60	0-50	114-126	45-50	12-20

Аналізуючи табличні дані та графіки вологоз'єму, побудовано номограму для визначення ефекту сушіння, продуктивності та енергетичних витрат, котрі необхідно визначати в процесі сушіння насіння в киплячому шарі зерносушарки каскадного типу (рис. 5). На графічних залежностях видно, що сушіння насіння з попереднім прогріванням набагато ефективніше, як з точки зору ефекту сушіння, так і з точки зору часу сушіння.

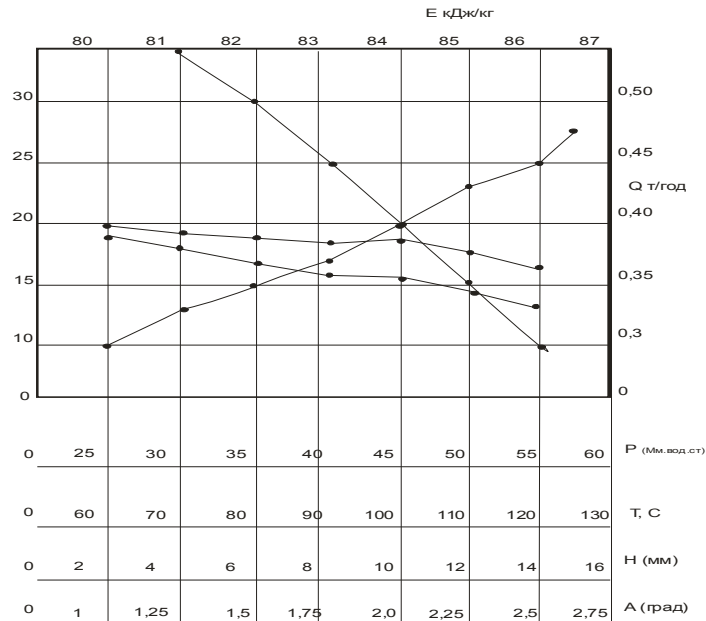


Рисунок 5 – Номограма для визначення ефекту сушіння ( $W$ ), продуктивності ( $Q$ ) та енергетичних витрат ( $E$ )

Отримані вищенаведені залежності у вигляді графіків, таблиць та номограм показують, що під час процесу сушіння насіння в киплячому шарі на каскадах зерносушарки впливають як параметри сушарки (робочий тиск, кут нахилу каскадів, геометричні розміри решета та його аеродинамічний опір), так фізико-механічні властивості насіння (форма, вага, шорсткість) та шару в цілому (кут вкладання, порозність шару).

Експериментально встановлено область раціональних значень параметрів зерносушарки каскадного типу, при яких спостерігається підвищення якісних показників роботи (ефект сушіння для зернових культур  $W=9,9-10,5\%$ , продуктивність  $Q=0,37-0,41$  т/год, при енергетичних витратах  $E=123$  кДж/кг):

- тиск в сушильній камері –  $P_1=55-60$  мм.вод.ст.;
- температура в сушильній камері –  $t_1=114-126$  °С;
- товщина шару матеріалу –  $h=12-20$  мм;
- кут нахилу робочих каскадів –  $\alpha=1,35-1,4$  °;
- температура в трубі попереднього прогрівання  $t_1=45-50$  °С;
- тиск в трубі попереднього прогрівання  $P_2=0-50$  мм.вод.ст.

#### Література

1. Котов Б.І., Коваль С.М., Шустик Л.П., Цема Т.В. Технічні засоби для зберігання зерна в господарствах України // Пропозиція, 1999.-№ 11. – С. 25-27.
2. Соколов А.Я. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна. – М.: Колос, 1975. – 496 с.
3. Петренко М.М., Скриннік І.О. Зерносушильна установка касетного типу // Збірник наукових праць КДТУ (техніка в сільськогосподарському машинобудуванні, галузеве машинобудування, автоматизація). Випуск 15. – Кіровоград: КДТУ, 2004. – С.323 - 328.

Одержано 16.04.2007 р.