

Ірклієнко В.І.

Харківський національний технічний  
університет сільського господарства  
імені Петра Василенка  
E-mail: viktorirklienko@gmail.com

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ  
СКОЛЮВАННЯ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ В ДИСКОВОМУ  
ЗДРІБНЮВАЧІ

УДК 621.928.26

DOI 10.37700/ts.2020.21.235-242

Ірклієнко В.І. «Оптимізація параметрів процесу сколювання зерна пшениці в дисковому здрібнювачі»

Розглянуто питання дослідження залежності технологічних і конструктивних параметрів дискового здрібнювача на енергоємність процесу дрібнення, продуктивність і відсоток виходу повноцінного продукту.

Визначено фактори та обґрунтовані значення інтервалів варіювання. Значення фактора і інтервал варіювання частоти обертання диска  $n$  (об/хв). Визначені за допомогою однофакторного експерименту. Побудовано графіки залежності питомої енергії від зміни факторів в обраних інтервалах.

З аналізу двовимірних перерізів рекомендовані наступні оптимальні значення факторів: частота обертання ротора  $n=336,5$  об/хв.; подача зерна  $Q=46,5$  кг/год; зазор між дисками  $h=0,3$  мм.

**Ключові слова:** сколювання, зерно пшениці, фактор, експеримент.

Ирклиенко В.И. «Оптимизация параметров процесса скалывания зерна пшеницы в дисковом измельчителе»

Рассмотрены вопросы исследования зависимости технологических и конструктивных параметров дискового измельчителя на энергоёмкость процесса измельчения, производительность и процент выхода полноценного продукта.

Определены факторы и обоснованы значения интервалов варьирования. Значение фактора и интервал варьирования частоты вращения диска  $n$  (1/мин.) определены с помощью однофакторного эксперимента. Построены графики зависимости удельной энергии от изменения факторов в выбранных интервалах.

Из анализа двумерных сечений рекомендованы следующие оптимальные значения факторов: частота вращения ротора  $n=336,5$  об/мин.; подача зерна  $Q=46,5$  кг/час; зазор между дисками  $h=0,3$  мм.

**Ключевые слова:** скалывание, зерно пшеницы, фактор, эксперимент.

Irkljenko V. "Optimization of parameters of the process of chipping wheat grain in a disk crusher"

The question of research of dependence of technological and constructive parameters of the disk crusher on energy consumption of process of crushing, productivity and percent of an exit of a high-grade product is considered.

Factors and substantiated values of variation intervals are determined. The value of the factor and the interval of variation of the disk speed  $n$  (rpm). Determined using a one-factor experiment. The graph and dependences of specific energy on change of factors in the chosen intervals are constructed.

From the analysis of two-dimensional sections the following optimal values of factors are recommended: rotor speed  $n=336.5$  rpm; grain supply  $Q=46.5$  kg/year; the gap between the disks  $h=0.3$  mm.

**Keywords:** chipping, wheat grain, factor, experiment.

## Постановка задачі

У технології виробництва крупи з зерна пшениці основним енергоємним процесом є процес дрібнення зерна. Тому в багатьох роботах присвячених дрібнення зерна порушується питання пошуку мінімальних енерговитрат при максимальній продуктивності з найбільшим відсотком виходу продукту дрібнення без втрати якості [1-7].

## Аналіз останніх досліджень

В роботі [6] були показані переваги дрібнення, способом відколу зерна по борозенці, з точки зору зменшення енерговитрат і підвищення виходу борошна після вальцевого верстата. У роботах [1, 2] запропоновано новий вид пшеничної крупи і експериментально визначені руйнують зусилля по двох напрямках – поперек зернівки і уздовж борозенки. Середні значення напруг для зерна пшениці розколотої уздовж зернівки по борозенці склали  $7,4$  Н/мм<sup>2</sup>, а середні значення напруг для зерна пшениці розколотої поперек осі зернівки складають  $10,0$  Н/мм<sup>2</sup>.

Результати та аналіз цих робіт підтверджує, що скол зерна по борозенці зерна є менш енергоємним.

Метою дослідження є визначення оптимальних конструктивних і технологічних параметрів дискового здрібнювача побудованого на принципі сколювання зерна по борозенці на дві частини.

Дослідження проводилося на кафедрі обладнання та інжинірингу переробних та харчових виробництв ХНТУСГ. Для проведення дослідження використовувалася лабораторне обладнання розроблене кафедрою: дисковий здрібнювач зерна, шелушильно – шліфувальна машина, циліндричний просеиватель.

Після обробки зерна на шелушильно-шліфувальній машині воно прямувало в дисковий здрібнювач сколювальні дії розміщений в експериментальній установці. Загальний вигляд експериментальної установки представлений на рис. 1. Зерно засипали в бункер 1 живильника 3. Подачу зерна на здрібнювач 4 встановлювали регулятором 2. Час проведення кожного експерименту фіксувалося секундоміром.

Установка величини обертів на валу двигуна 4 здійснювалася перетворювачем частоти ATV312HU15N4 8 за допомогою програми SoMove\_V2.6.2 встановленої на ЕОМ 9. На здрібнювачі встановлений трифазний двигун 2 АІР 71 потужністю 0,37 кВт і частотою обертання валу 2880 об/хв.



Рис. 1. Загальний вид експериментальної установки для проведення дослідження:

1 – завантажувальний бункер живильника; 2 – регулятор подачі зерна; 3 – живильник; 4 – електродвигун здрібнювача; 5 – дисковий здрібнювач; 6 – пульт управління; 7 – ємність для збору продуктів дрібнення; 8 – перетворювач частоти; 9 – ноутбук

В результаті попередніх дослідів і їх статистичної обробки було встановлено, що лінійна регресійна модель не входить в 95 % довірчий інтервал, тому перейшли на модель більш високого порядку.

В якості критеріїв оптимізації були прийняті наступні показники: питомі енерговитрати,  $G, \text{кВт} \cdot \text{год} / \text{кг}$ ; пропускна здатність,  $P, \text{кг} / \text{год}$ ; відсоток виходу продукту сходом з сита  $\Phi 2,5, M, \%$  (повноцінний продукт). Параметри оптимізації, залежать від наступних факторів:  $X1$ - частота обертання диска,  $n, \text{об} / \text{хв}$ .;  $X2$ - подача зерна  $Q, \text{кг} / \text{год}$ ;  $X3$ - зазор між дисками,  $h, \text{мм}$ .

Значення факторів  $X2$  і  $X3$  визначені в теоретичному дослідженні.

Значення фактора  $X1$  визначено в результаті проведення однофакторного

експерименту з встановленими на нульових рівнях факторами  $X1$  ( $Q=30$  кг/год) і  $X3$  ( $h=0,3$ ).

Як випробуваного матеріалу використовували лущену озиму пшеницю сорту "Смуглянка" з наступними показниками якості: початкова вологість 14 %; натура 746 г/л; стекловидність 70%; маса 1000 зерен 35,2 г; зольність 1,36%; коефіцієнт лушення  $C_{III}=5$ .

За допомогою частотного перетворювача 8 (рис. 1) встановлювали частоту обертання на валу двигуна 5 здрібнювача в діапазоні від 140 об/хв. до 1600 об/хв.

Потужність витрачену на дрібнення визначали за допомогою електронного трифазного вимірювача потужності мережі N14 з похибкою вимірювання:  $\pm 0,1$  %. Частоту обертання вала двигуна 4  $n_{об}$  заміряли тахометром Venetech GM8905 8 з похибкою вимірювання:  $\pm 1$  %.

Після обробки зерна в експериментальній установці отримані продукти прямували в циліндричний просеиватель.

За результатами дослідів був побудований графік (рис. 2) залежності потужності  $N$  і маси продукту  $m$  (схід з сита  $\varnothing 2,5$ ) від частоти обертання диска  $n$ .

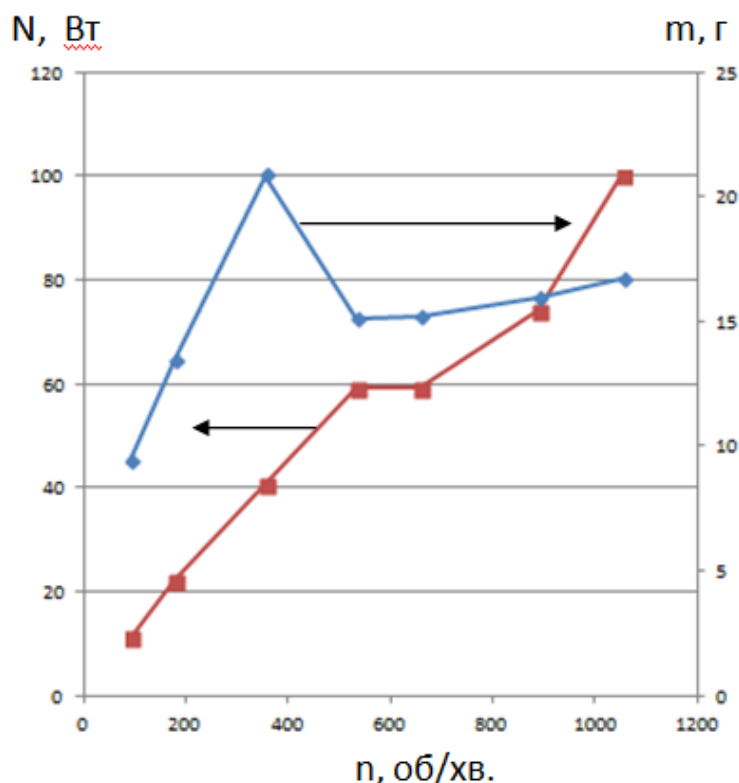


Рис. 2. Залежність потужності електродвигуна  $N$ , Вт і маси продукту сходом з сита  $\varnothing 2,5$  мм від частоти обертання ротора здрібнювача

Як видно з графіка представленого на рис. 2 максимальний вихід продукту відповідає  $n=355,3$  об/хв на роторі машини. При подальшому зростанні числа обертів йде падіння виходу продукту з одночасним зростанням потужності. Приймаємо значення рівня рівне 350 об/хв, а інтервал фактора в діапазоні від 200 до 500 об/хв.

Після того як визначені значення рівнів і інтервалів трьох факторів і функції оптимізацій можна приступити до факторному аналізу. Для проведення експерименту було обрано трирівневий план Боксу-Бенкіна другого порядку. Для статистичної обробки була розроблена програма в Microsoft Excel, алгоритм якої відповідав методикам обробки статистичних даних експерименту [8].

У таблиці 1 наведені значення факторів і інтервали варіювання факторів.

Значення факторів і інтервали варіювання факторів							
Фактор			рівні варіювання фактора			Інтервал варіювання	Формули для розрахунку факторів
Найменування	Позначення	кодівое	+1	0	-1		
Частота обертання диска $n$ , об/хв	$X_1$	$x_1$	500	350	200	150	$x_1 = \frac{n - 350}{150}$
Подача зерна, $Q$ , кг/год.	$X_2$	$x_2$	30	45	60	15	$x_2 = \frac{Q - 45}{15}$
Зазор між дисками, $h$ , мм	$X_3$	$x_3$	0,5	0,3	0,1	0,2	$x_3 = \frac{h - 0,3}{0,2}$

Перед початком досліду встановлювали значення факторів згідно матриці планування експерименту. При сталому режимі роботи дрібнювача здійснювали збір продуктів дрібнення в перебігу 10 с. Потужність визначали за допомогою ватметра, включеного в ланцюг живлення лабораторної установки.

Після закінчення експерименту продукти дрібнення просівали на лабораторному просіювачі. Продуктивність установки  $P$  (кг/год.) Визначали за формулою:

$$P = \frac{0,36 \cdot M}{t};$$

де  $M$  – маса наважки, гр.;

$t$  – тривалість сбору наважки, 10 с.

Енергоємність  $G$  (кВт•год/кг) визначили за формулою:

$$G = \frac{N}{P};$$

де  $N$  – потужність електродвигуна при робочому навантаженні, кВт;

$P$  – пропускна здатність, кг/год.

Після проведення експерименту відповідно до розрахунків матриці планування табл. 2, отримані математичні моделі залежності критеріїв оптимізації від досліджуваних факторів і проведена оцінка значимості коефіцієнтів. Перевірку коефіцієнтів регресії проводили за критерієм Стьюдента. Результати перевірки зведені в таблицю 3.

Таблиця 2

Матриця плану 3 <sup>3</sup> і результати дослідів							
№ п/п	Рандомизация	$n$ , об/хв.	$Q$ , г/хв.	$h$ , мм	$G$ , кВт•год/кг	$P$ , кг/год.	$M$ , %
1	14	500	60	0,3	3,29	23,63	63,83
2	9	500	30	0,3	2,72	17,55	66,01
3	15	200	60	0,3	1,94	17,12	60,99
4	10	200	30	0,3	1,67	18,11	63,65
5	3	500	45	0,5	2,60	21,47	60,30
6	5	500	45	0,1	2,44	25,82	61,67
7	2	200	45	0,5	1,52	19,74	68,21
8	6	200	45	0,1	1,91	17,48	62,55
9	7	350	60	0,5	1,61	29,91	63,83
10	11	350	60	0,1	2,18	26,67	64,95
11	4	350	30	0,5	1,92	15,25	62,50
12	12	350	30	0,1	2,28	20,03	65,68
13	1	350	45	0,3	0,89	28,06	67,53
14	13	350	45	0,3	0,95	27,06	68,59
15	8	350	45	0,3	0,93	28,27	67,29

В результаті отримані наступні математичні моделі у вигляді рівнянь регресій:

$$y_G = 0,92 + 0,08x_1 - 0,08x_2 + 0,04x_3 + 0,6x_1x_2 + 0,4x_1x_3 - 0,08x_2x_3 + 0,8x_1^2 + 0,7x_2^2 + 0,4x_3^2; \quad (1)$$

$$y_P = 27,8 + 0,69x_2 + 1,49x_1x_2 + 2,52x_1x_3 + 5,3x_2x_3 - 5,3x_1^2 - 3,4x_2^2 - 1,4x_3^2; \quad (2)$$

$$y_M = 67,8 + 1,26x_1x_2 - 2,2x_1x_3 + 0,7x_2x_3 - 2,6x_1^2 - 1,6x_2^2 - 2x_3^2. \quad (3)$$

Таблиця 3

Коефіцієнти регресії і їх значущість

		$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{23}$	$b_{11}$	$b_{22}$	$b_{33}$
$G$	$b_i$	0,92	0,08	-0,08	0,04	0,59	0,40	-0,10	0,80	0,68	0,39
	$tS_{b_i}$	0,04	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,04	0,047	0,05	0,05
	$b^*$	0,92	0,08	-0,08	0,04	0,59	0,40	-0,10	0,80	0,68	0,39
$P$	$b_i$	27,79	0,38	0,68	0,17	1,49	2,52	5,32	-5,27	-3,43	-1,40
	$tS_{b_i}$	0,75	0,46	0,46	0,46	0,66	0,66	0,66	0,87	0,87	0,87
	$b^*$	27,79	0	0,69	0	1,49	2,52	5,32	-5,27	-3,43	-1,40
$M$	$b_i$	67,81	-0,07	-0,48	-0,62	1,30	-2,19	0,15	-2,62	-1,56	-2,0
	$tS_{b_i}$	0,82	0,50	0,50	0,50	0,71	0,71	0,71	0,94	0,94	0,94
	$b^*$	67,81	0	0	0	1,30	-2,19	0,72	-2,62	-1,56	-2,0

Перевірку адекватності рівнянь проводилася шляхом порівняння дисперсії адекватності з дисперсією параметра оптимізації за критерієм Фішера. Результати представлені в табл. 4.

Таблиця 4

Результати статистичної обробки рівнянь регресії

№ п/п	Позначення	Питома енергія $G$ , $Вт \cdot год/кг$	Пропускна здатність $P$ , $г/хв.$	Маса сходу з сита $\varnothing 2,5 M$ , $г$
4	$F_{расч.}$	1,2000	0,8571	0,7500
5	$F_{табл.}$	2,1200	2,1200	2,1200

В результаті отриманих розрахунків  $F_{табл.} > F_{розр.}$ , отже рівняння (1), (2), (3) адекватні.

Для визначення значень факторів, що забезпечують мінімальну енергоємність  $G$  і максимальну прохідну здатність  $P$  при максимальному виході повноцінного продукту  $M$ , складені системи диференціальних рівнянь і провели їх канонічне перетворення [8, 9]. Результати розрахунків для кожного рівняння представлені в таблиці 5.

Таблиця 5

Результати канонічних перетворень рівнянь регресії для двовірних перетинів поверхонь відгуків

Параметри оптимізації	Не відомі рівняння	Коефіцієнти рівняння		Координати нового центру, $S$			Значення параметра опт. в точці $S$	Значення факторів в центрі $S$			Кут повороту осей в центрі $S$ , $\varphi, ^\circ$
		$B_1$	$B_2$	$x_{s1}$	$x_{s2}$	$x_{s3}$		$n$ , $об/хв.$	$Q$ , $г/хв.$	$h$ , $мм$	
$G$ , $Вт \cdot год/кг$	$x_1=0$	0,64	0,43		-0,11	-0,08	0,94		43,41	0,19	-10
	$x_2=0$	0,80	0,39	0,09		-0,02	0,93	363,29		0,20	22
	$x_3=0$	0,89	0,60	0,54	0,59		1,57	430,48	53,82		19
$P$ , $г/хв.$	$x_1=0$	-0,47	-4,36		0,04	-0,16	27,75		45,62	0,27	-34
	$x_2=0$	-5,64	-1,29	0,00		0,00	27,80	350,00		0,30	-16
	$x_3=0$	-5,31	-3,39	-0,06	0,23		27,73	317,63	58,75		-20
$M$ , $г$	$x_1=0$	-2,21	-1,88		0,00	0,00	68,10		45,00	0,20	10
	$x_2=0$	-1,20	-3,21	0,00		0,00	68,10	350,00		0,30	37
	$x_3=0$	-3,19	-1,59	0,00	0,00		68,10	350,00	45,00		-20

Використовуючи дані розрахунку з таб. 3 побудували двовимірні перерізи поверхонь відгуку:  $G$  – енергоємності;  $P$  – пропускної здатності;  $M$  – відсотки виходу продукту сходом

з сита  $\varnothing 2,5$  мм. Для побудови графіків використовували програми MathCAD v14 і i Компас 3D V15 [10]. Графіки представлені на рис. 3, 4, 5.

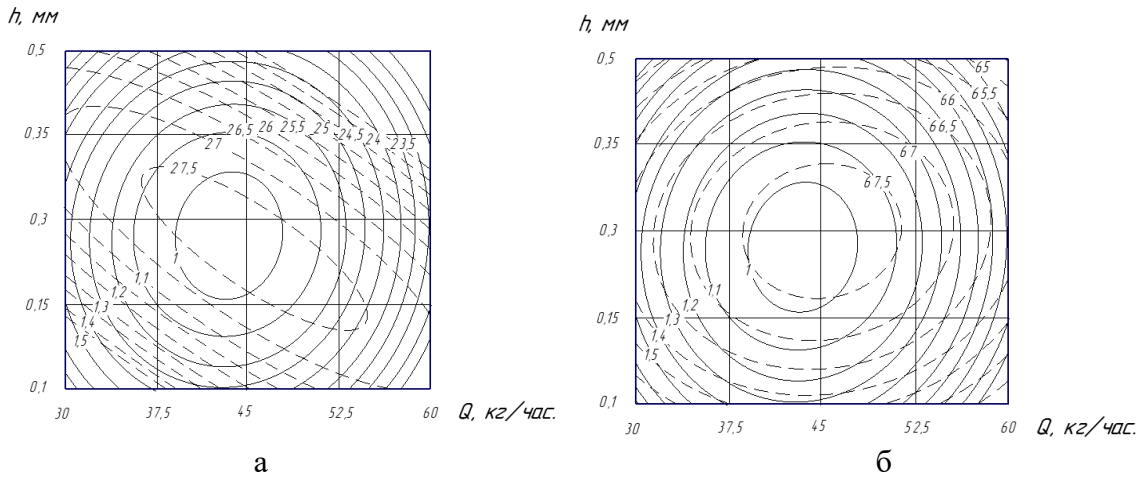


Рис. 3. Двовимірні перерізи поверхонь відгуку, що характеризують вплив подачі зерна  $Q$  (фактор  $x_2$ ) і зазору між дисками  $h$  (фактор  $x_3$ ) на:  
 а – питому енергоємність  $G$  (—) і пропускну здатність  $P$  (---); б – питому енергоємність  $G$  (—) і відсоток виходу продукту сходом з сита  $\varnothing 2,5$  М (---)

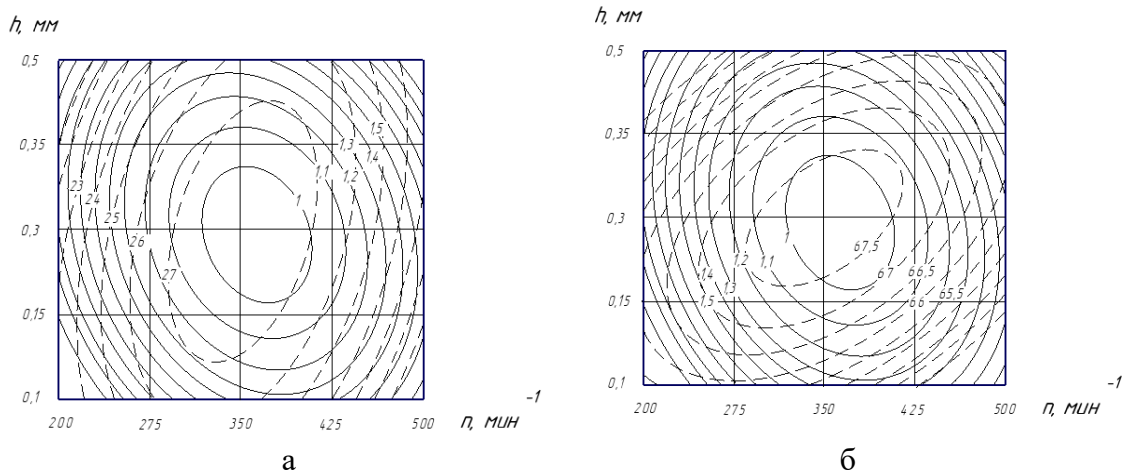


Рис. 4. Двовимірні перерізи поверхонь відгуку, що характеризують вплив частоти обертання ротора  $n$  (фактор  $x_1$ ) і зазору між дисками  $h$  (фактор  $x_3$ ) на:  
 а – питому енергоємність  $G$  (—) і пропускну здатність  $P$  (---); б – питому енергоємність  $G$  (—) і відсоток виходу продукту сходом з сита  $\varnothing 2,5$  М (---)

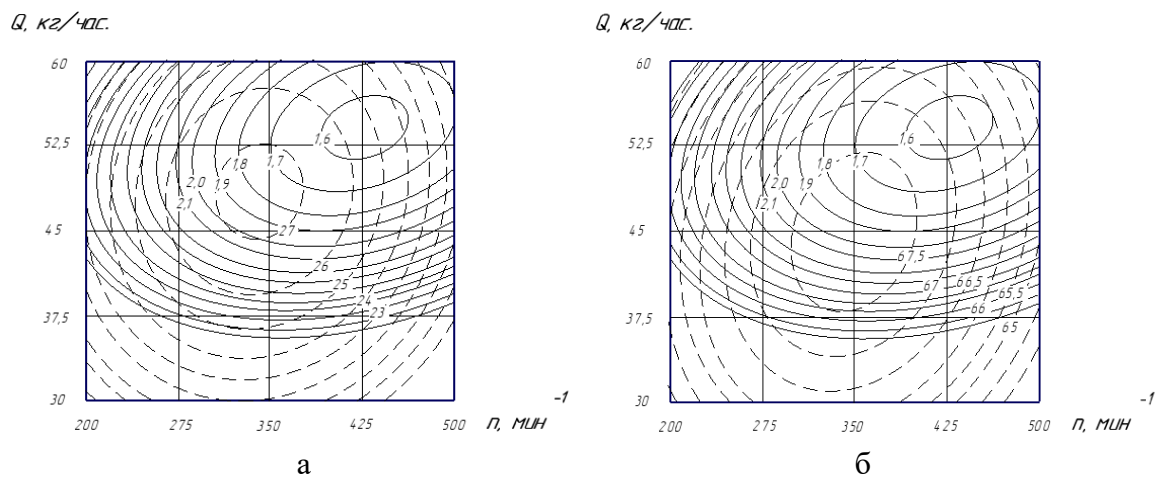


Рис. 5. Двовимірні перерізи поверхонь відгуку, що характеризують вплив частоти обертання ротора  $n$  (фактор  $x_1$ ) і подачі зерна  $Q$  (фактор  $x_2$ ) на:  
 а – питому енергоємність  $G$  (—) і пропускну здатність  $P$  (---); б – питому енергоємність  $G$  (—) і відсоток виходу продукту сходом з сита  $\varnothing 2,5$  М (---)

При  $x_1=0$  максимальне значення пропускної здатності  $P=27,75$  кг/год ( $Q=45,62$  кг/год,  $h=0,27$  мм) і максимальний відсоток виходу повноцінного продукту  $M=68,1$  % ( $Q=45,0$  кг/год,  $h=0,2$  мм) відповідають значенням питомої енергоємності  $G=0,94$  кВт•год/кг ( $Q=43,4$  кг/год,  $h=0,19$  мм).

При  $x_2=0$  максимальне значення пропускної здатності  $P=27,75$  кг/год ( $n=350$  об/хв.,  $H=0,3$  мм) і максимальний відсоток виходу повноцінного продукту  $M=68,1$  % ( $n=350$  об/хв.,  $h=0,3$  мм) відповідають значенням питомої енергоємності  $G=0,93$  кВт•год/кг ( $n=363$  об/хв.,  $h=0,2$  мм).

При  $x_3=0$  максимальне значення пропускної здатності  $P=27,75$  кг/год ( $n=317,63$  об/хв.,  $Q=58,75$  кг/год) і максимальний відсоток виходу повноцінного продукту  $M=68,1$  % ( $n=317$  об/хв.,  $Q=58,75$  кг/год) відповідають значенням питомої енергоємності  $G=1,57$  кВт•год/кг ( $n=430,48$  об/хв.,  $Q=53,82$  кг/год).

Зі збільшенням подачі зерна спостерігається зменшення пропускної здатності і збільшення питомої енергоємності  $G$  кВт•год/кг. Це можна пояснити тим, що збільшення маси зерна в живильній горловині машини збільшує тиску зернової маси зерна на крайній ряд зерна в подає поясі, порушуючи їх орієнтування, а значить і зростання питомої енергоємності з одночасним зменшенням відсотка виходу повноцінного продукту.

При збільшенні зазору між дисками питома енергоємність зростає. Це пов'язано з тим що частинки подрібненого зерна потрапляють на плоскі поверхні дисків (поверхню між сусідніми рифлями) тим самим викликаючи додаткове збільшення енергії на їх дрібнення (до процесу сколювання додається процес стирання).

## Висновки

За результатами аналізу рівнянь (1), (2) і (3) методом накладання двовимірних перерізів поверхонь відгуку (рис. 3, 4, 5) прийнято компромісне рішення і визначені раціональні значення досліджуваних факторів з умови досягнення максимального відсотка виходу повноцінного продукту і мінімальної питомої енергоємності. Частота обертання ротора  $n=336,5$  об/хв.; подача зерна  $Q=46,5$  кг/год; зазор між дисками  $h=0,3$  мм.

## Список використаних джерел

1. Богомолів А. В., Ірклиєнко В. І. Інноваційна технологія виробництва крупи нового виду [Текст] // Вісник Харків. нац. техн. ун-ту сіл. госп-ва ім. П. Василенка. - Харків: ХНТУСГ, 2016. - Вип. 179: Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харч. вир-в. - С. 54-58. - Бібліогр. наприкінці ст.
2. Богомолів А. В., Ірклиєнко В. І. К вопросу энергоёмкости измельчения зерна пшеницы [Текст] // Вісник Харків. нац. техн. ун-ту сіл. госп-ва ім. П. Василенка. - Харків: ХНТУСГ, 2019. - Вип. 207: Сучасні напрямки технології та механізації процесів перероб. і харч. виробництва. - С. 68-74.
3. Нанка О. В. Теоретичні і практичні аспекти розробки енергозберігаючої конструкції подрібнювача зернових кормів / О. В. Нанка // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. - Х.: ХНТУСГ ім. Петра Василенка, 2011. - Вип. 119. - С. 89-96.
4. Злочевский В.Л., Борисов А. П. Автоматизированный комплекс для исследования разрушения зерновых материалов / Вестник алтайской науки, №1, 2015.
5. Злочевский В.Л., Борисов А.П. Исследование прочностных свойств зерновых материалов: Учебное пособие. - СПб.: Издательство "Лань", 2017. - 180с.
6. Злочевский, В. Л. Исследования работы маятникового деформатора и свойств зерна при измельчении. Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания, № 1, 2017
7. Верещинский А.П. Закономерности измельчения шелушенного зерна пшеницы / А.П. Верещинский // Хлебопродукты. - 2012. - №12. - С.38-39.

8. Адлер Ю.П., Марков Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука. – 1976. – 278 с.
9. Кононюк А.Е. Основы научных исследований том 1-3. Издательство «КТН» 04210, г.Киев, пр. Героев Сталинграда, 8, корпус 8, оф. 1. Киев 2013.
10. Федоренко И.Я. Оптимизация в агроинженерии. Компьютерный практикум. Учебное пособие для студентов вузов. РИО Алтайского ГАУ 656049, г. Барнаул.

### References

1. Bohomolov A. V., Yrklyenko V. Y. Ynnovatsyonnaya tekhnolohyya proyzvodstva krupy novoho vyda [Tekst] // Visnyk Kharkiv. nats. tekhn. un-tu sil. hosp-va im. P. Vasylenka. - Kharkiv: KHNTUS·H, 2016. - Vyp. 179: Suchasni napryamky tekhnolohiyi ta mekhanizatsiyi protsesiv pererobnykh i kharch. vyr-v. - S. 54-58. - Bibliohr. naprykintsi st.
2. Bohomolov A. V., Yrklyenko V. Y. K voprosu énerhoemkosti yzmel'chenyya zerna pshenytsy [Tekst] // Visnyk Kharkiv. nats. tekhn. un-tu sil. hosp-va im. P. Vasylenka. - Kharkiv: KHNTUS·H, 2019. - Vyp. 207: Suchasni napryamky tekhnolohiyi ta mekhanizatsiyi protsesiv pererob. i kharch. vyrobnystv. - S. 68-74.
3. Nanka O. V. Teoretychni i praktychni aspekty rozrobky enerhozberihayuchoyi konstruktsiyi podribnyuvacha zernovykh kormiv / O. V. Nanka // Visnyk KHNTUS·H im. Petra Vasylenka. – KH.: KHNTUS·H im. Petra Vasylenka, 2011. – Vyp. 119. – S. 89–96.
4. Zlochevskyy V.L., Borysov A. P. Avtomatyzirovannyi kompleks dlya yssledovannya razrushenyya zernovykh materyalov / Vestnyk altayskoy nauky, №1, 2015.
5. Zlochevskyy V.L., Borysov A.P. Yssledovanye prochnostnykh svoystv zernovykh materyalov: Uchebnoeposobye. - SPb,: Yzdatel'stvo "Lan'", 2017. - 180s.
6. Zlochevskyy, V. L. Yssledovannya raboty mayatnykovoho deformatora y svoystv zerna pry yzmel'chenyy. Tekhnolohyy pyshchevoy y pererabatyvayushchey promyshlennosti APK-produkty zdorovoho pytannya, № 1, 2017
7. Vereshchynskyy A.P. Zakonomernosty yzmel'chenyya shelushennoho zerna pshenytsy / A.P. Vereshchynskyy // Khleboprodukty. – 2012. – №12. – S.38-39.
8. Adler YU.P., Markov E.V., Hranovskyy YU.V. Planirovaniye ékspérymenta pry poyske optymal'nykh uslovyu. – М.: Nauka. – 1976. – 278 s.
9. Kononyuk A.E. Osnovy nauchnykh yssledovanyy tom 1-3. Yzdatel'stvo «КТН» 04210, h.Kyev, pr. Heroev Stalynhrada, 8, korpus 8, of. 1. Kyev 2013.
10. Fedorenko Y.YA. Optymyzatsyya v ahroynzheneryy. Komp'yuternyy praktykum. Uchebnoe posobye dlya studentov vuzov. RYO Altayskoho HAU 656049, h. Barnaul.