

doi: 10.33249/2663-2144-2019-78-5-23-30

УДК 631.362.3

**ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ
ФОТОЕЛЕКТРОННОГО СЕПАРАТОРА НАСІННЯ СОНЯШНИКА****Е. Б. Алієв***e-mail: aliev@meta.ua*Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України
вул. Інститутська, 1, с. Сонячне, Запорізький р-н, Запорізька обл., 69093, Україна

Незважаючи на все більш зростаюче застосування фотоелектронних сепараторів при контролі і сортуванні на стадії випуску готової продукції олійних культур, область їх застосування продовжує залишатися досить вузькою. Тому передбачено проведення експериментальних досліджень та обґрунтування раціональних параметрів робочих органів фотоелектронного сепаратора. Метою досліджень є підвищення ефективності технологічного процесу сепарації насіннєвого матеріалу соняшника за їх морфологічними показниками шляхом обґрунтування конструктивно-режимних параметрів розробленого фотоелектронного сепаратора. Експериментальні дослідження проводилися на установці, що складалася з експериментального зразка фотоелектронного сепаратора, частотного перетворювача, лабораторного блока живлення із можливістю зміни напруги і лічильника електроенергії. Експериментальний зразок фотоелектронного сепаратора містив бункер, відкалібровану заслінку, барабан із радіальними лопатями, електродвигун, вібрлоток, вібродвигун, фотоелектронну систему реєстрації насіння, газові форсунки, реле керування, повітряний компресор. В результаті експериментальних досліджень фотоелектронного сепаратора було розроблено фізико-математичну модель, яка зв'язала сумарну концентрацію насіння, продуктивність фотоелектронного сепаратора і його споживаєму потужність з подачею насіння, частотою коливань вібрлотка, частотою обертання барабана, часовою затримкою спрацьовування форсунки, чутливістю фотодатчика. У процесі досліджень було вирішено компромісне завдання, а саме, мінімізація сумарної концентрації насіння і потужності, що споживається фотоелектронним сепаратором, за максимального значення його продуктивності, яка порівняна із значенням подачі насіння. В результаті встановлені раціональні конструктивно-технологічні параметри фотоелектронного сепаратора.

Ключові слова: соняшник, насіння, фотоелектронний сепаратор, якість, продуктивність, енерговитрати, параметри.

Постановка проблеми

Незважаючи на все більш зростаюче застосування фотоелектронних сепараторів при контролі і сортуванні на стадії випуску готової продукції олійних культур, область їх застосування продовжує залишатися досить вузькою. Однак, вчені вже оцінили переваги фотоелектронного сепарування навіть, всього лише за одним параметром (за кольором). Більш того, по відбивній здатності зернівки, крім кольору, навчилися судити про якість лушення зернівок і якість шліфування їх поверхні [1]. У працях [2–4] йдеться про великі перспективи фотоелектронного сепарування в зернопереробних вироб-

ництвах. Тому можна з великим ступенем ймовірності прогнозувати поширення фотоелектронного сепарування за кольором у насінництві і селекції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Навіть у рамках переробки готової сільськогосподарської продукції потенційні можливості фотоелектронних приладів використовуються не повною мірою. Окремими розробками розширені деякі можливості фотоелектронних сепараторів, однак, є досить велика проблема з нестачею математичних моделей процесу визначення забарвлення насіння і відповідних для них алго-

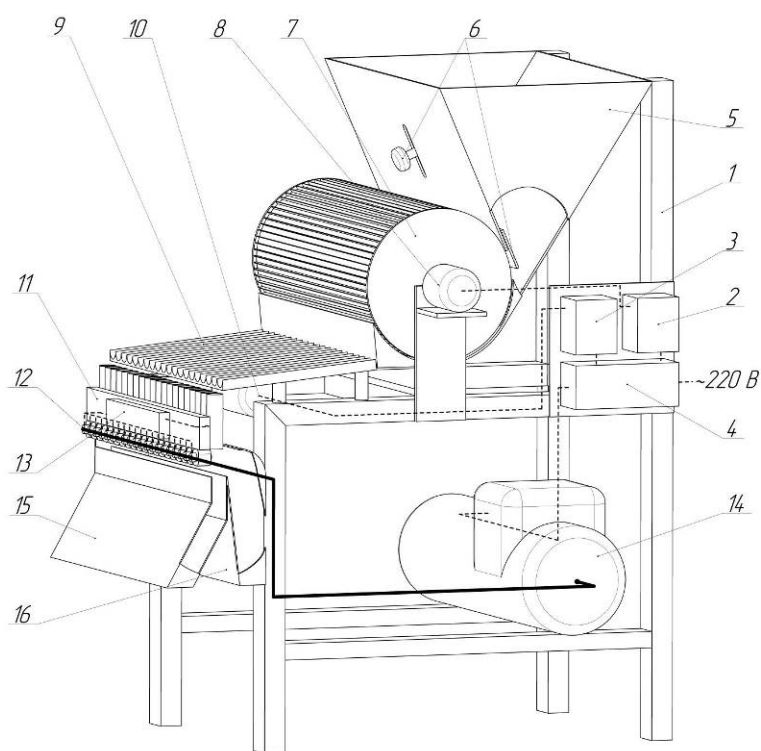
ритмів [5; 6]. Тому передбачено проведення експериментальних досліджень та обґрунтування раціональних параметрів робочих органів фотоелектронного сепаратора.

Мета, завдання та методика досліджень

Метою досліджень є підвищення ефективності технологічного процесу сепарації насінневого матеріалу соняшника за їх морфологічними показниками шляхом обґрунтування конструктивно-режимних параметрів розробленого фотоелектронного сепаратора.

Експериментальні дослідження проводилися

на установці, що складалася з експериментального зразка фотоелектронного сепаратора, частотного перетворювача Danfoss VLT Micro Drive, лабораторного блока живлення із можливістю зміни напруги і лічильника електроенергії. Експериментальний зразок фотоелектронного сепаратора містив бункер, відкалібровану заслінку, барабан із радіальними лопатями, електродвигун, вібрлоток із 20-и однакових повздовжніх каналів, вібродвигун, фотоелектронну систему реєстрації насіння, газові форсунки RAIL 67R-01 4303, USB-реле керування STU2161407M-H, повітряний компресор (рис. 1).



а



б

Рис. 1. Конструктивно-технологічна схема (а) та загальний вигляд (б) експериментальної установки

Примітка: рис. 1. (а) 1 – експериментальний зразок фотоелектронного сепаратора; 2 – частотний перетворювач Danfoss VLT Micro Drive; 3 – лабораторний блок живлення; 4 – лічильник електроенергії; 5 – бункер; 6 – відкалібрована заслінка; 7 – барабан із радіальними лопатями; 8 – електродвигун; 9 – вібрлоток; 10 – вібродвигун; 11 – фотоелектронна система реєстрації насіння; 12 – газові форсунки RAIL 67R-01 4303; 13 – USB-реле керування STU2161407M-H; 14 – повітряний компресор; 15 – камера ліквідних насінин; 16 – камера неліквідних насінин;

Для забезпечення певної подачі насіння використовувалася відкалібрована заслінка, яка обмежує вхідну продуктивність. З використанням частотного перетворювача здійснюється

зміна частоти обертів ротора електродвигуна і, як наслідок, барабана. Зміна частоти вібрації вібрлотка здійснювалася за допомогою зміни напруги лабораторного блока живлення, який

приєднано до вібродвигуна. Часова затримка спрацьовування газової форсунки і чутливість фотодатчиків фотоелектронної система реєстрації насіння змінюється за допомогою відповідних змінних резисторів.

Вихідним матеріалом при проведенні експериментальних досліджень була насіннева суміш

соняшнику, яка була відкалібрована до розміру 2,8–3,0 мм. До складу насінневої суміші входили наступні різнобарвні сортозразки соняшнику селекції Інституту олійних культур НААН: Сл2613, 14RNA274, BK419-2, InK225 – 1 група; InK404, I2K2218, ВІР130, КГ9 – 2 група (рис. 2).

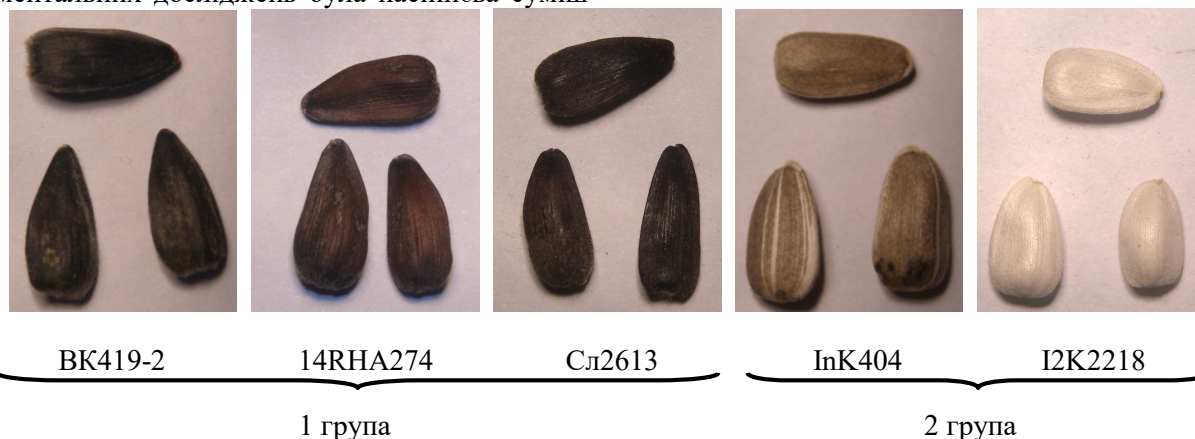


Рис. 2. Забарвлення сортозразків соняшника, що входять до складу вхідної насінневої суміші

На основі проведених попередніх теоретичних і експериментальних досліджень у якості найбільш вагомих було обрано такі фактори: подача насіння Q , частота коливань віброрізка ψ , частота обертання барабана n , часова затримка

спрацьовування форсунки Δt , чутливість фотодатчика λ [7; 8]. Інтервали і рівні варіювання факторів при проведенні досліджень наведені у табл. 1.

Таблиця 1. Рівні та інтервали варіювання факторів при проведенні експериментальних досліджень процесу роботи фотоелектронного сепаратора

Рівні варіацій факторів	Фактори				
	подача насіння Q , кг/год	частота коливань віброрізка ψ , s^{-1}	частота обертання барабана n , об/хв	часова затримка спрацьовування форсунки Δt , мс	чутливість фотодатчика λ , %
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
Верхній (+1)	15	10	15	140	90
Нульовий (0)	9	7,5	10	80	70
Нижній (-1)	3	5	5	20	50
Інтервал	6	2,5	5	60	20

Джерело: власні дослідження.

В якості критеріїв оптимізації було прийнято наступне: продуктивність q , кг/год; споживану потужність P , кВт; сумарну концентрацію насіння θ , %. Продуктивність фотоелектронного сепаратора q визначалася шляхом вимірювання маси насіння M , що пройшло через нього, і відповідного часу τ . Потужність, що витрачається фотоелектронним сепаратором, вимірювалася з використанням повіреного лічильника електроенергії. Сумарна концентрація

насіння θ – це сума масових концентрацій неліквідних насінини у приймальній камері ліквідних насінин і ліквідних насінини у приймальній камері неліквідних насінин. Чим нижче сумарна концентрація, тим вище якість технологічного процесу сепарації насіння.

Один дослід проводився при пропусканні через експериментальний зразок сепаратора 10 кг насінневої суміші. Дослідження проводилися за D-оптимальним планом Бокса-Бенкіна другого порядку для 5 факторів у триразовій повторності.

Обробка результатів досліджень, проведених методом математичного факторного планування експериментів, виконувалися за допомогою комп'ютерної програми «Mathematica». Математична модель визначалася за кожним критерієм оптимізації.

Результати досліджень

В результаті експериментальних досліджень отримана математична модель впливу досліджуваних факторів на сумарну концентрацію насіння мала вигляд:

$$\begin{aligned} \theta = & 803,784 - 1,50833 n + 0,21075 n^2 - 17,0708 Q + 0,256308 Q^2 - \\ & - 3,92507 \Delta t - 0,0103333 n \Delta t + 0,0420833 Q \Delta t - 0,010408 \Delta t^2 - \\ & - 5,30823 \lambda + 0,0347552 \lambda^2 - 86,2992 \psi - 0,248 n \psi + \\ & + 1,01167 Q \psi + 0,257333 \Delta t \psi + 3,67633 \psi^2. \end{aligned} \quad (1)$$

З використанням програмного пакету Mathematica визначено раціональні значення факторів досліджень за умови забезпечення мінімальної сумарної концентрації насіння:

$$\theta (Q = 11,7 \text{ кг/год}, \psi = 7,9 \text{ с}^{-1}, n = 10,0 \text{ об/хв}, \Delta t = 71 \text{ мс}, \lambda = 76,3 \%) = 9,76 \% \quad (2)$$

Приймаючи отримані раціональні значення факторів досліджень (2) побудовані двомірні поверхні (рис. 3).

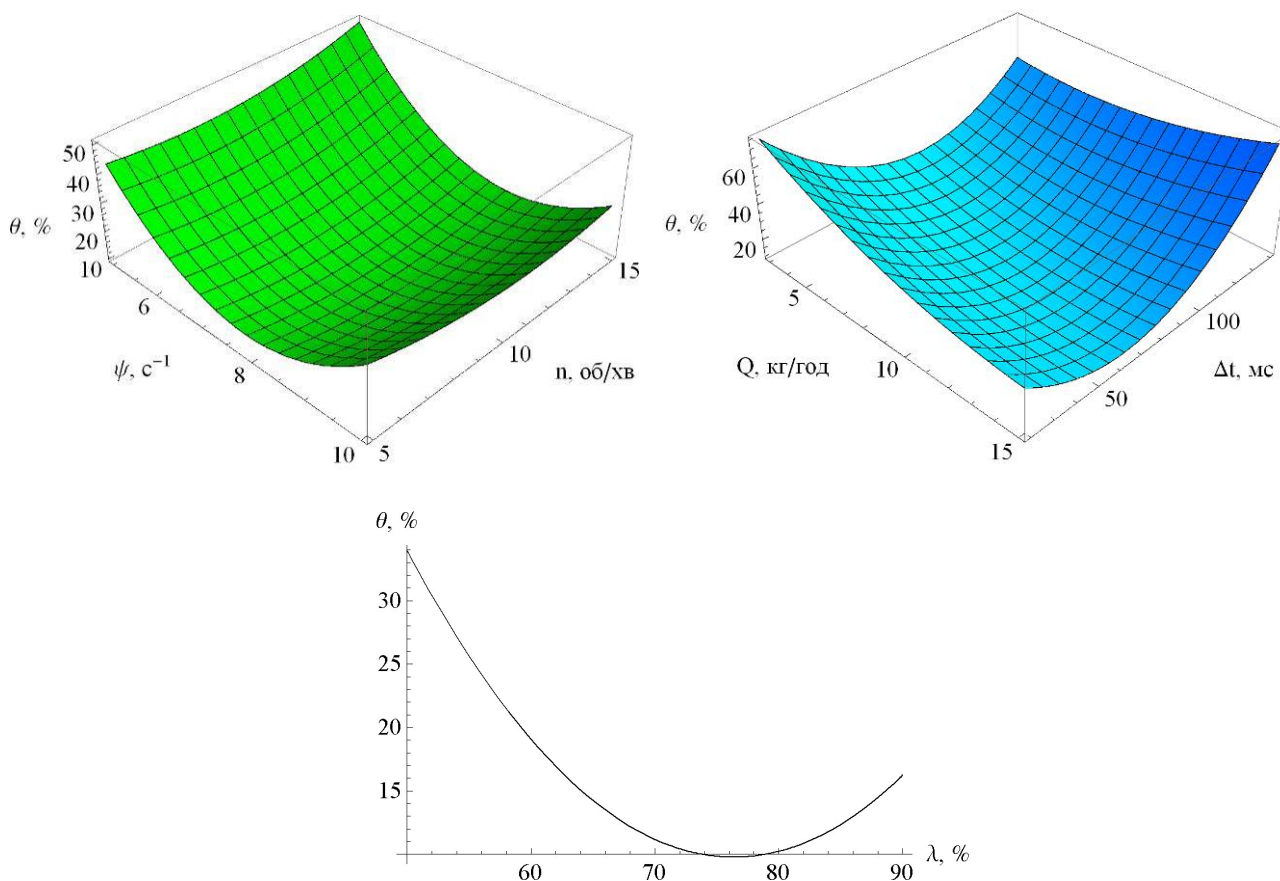


Рис. 3. Залежність сумарної концентрації насіння θ від факторів досліджень за відповідних раціональних значень (2)

Джерело: власні дослідження.

Аналізуючи рис. 3, можна стверджувати, що на сумарну концентрацію насіння θ впливають всі вищезгадані фактори, які мають оптимум у найменшій точці у заданому інтервалі.

$$q = 9,9901 + 0,166667 n - 0,01675 n^2 + 0,652083 Q - 0,0715856 Q^2 + 0,005 \Delta t + 0,000666667 n \Delta t + 0,00333333 \lambda - 0,00125 n \lambda - 0,000166667 \Delta t \lambda - 3,785 \psi + 0,032 n \psi + 0,145 Q \psi + 0,003 \lambda \psi + 0,223667 \psi^2. \quad (3)$$

З використанням програмного пакету Mathematica визначено раціональні значення факторів досліджень з умови забезпечення максимальної продуктивності фотоелектронного сепаратора:

Отримана математична модель впливу досліджуваних факторів на продуктивність фотоелектронного сепаратора мала вигляд:

$$q (Q = 14,9 \text{ кг/год}, \psi = 10,0 \text{ с}^{-1}, n = 12,7 \text{ об/хв}, \Delta t = 79 \text{ мс}, \lambda = 90,0 \%) = 14,8 \text{ кг/год} \quad (4)$$

Приймаючи отримані раціональні значення факторів досліджень (4), побудовані двомірні поверхні (рис. 4).

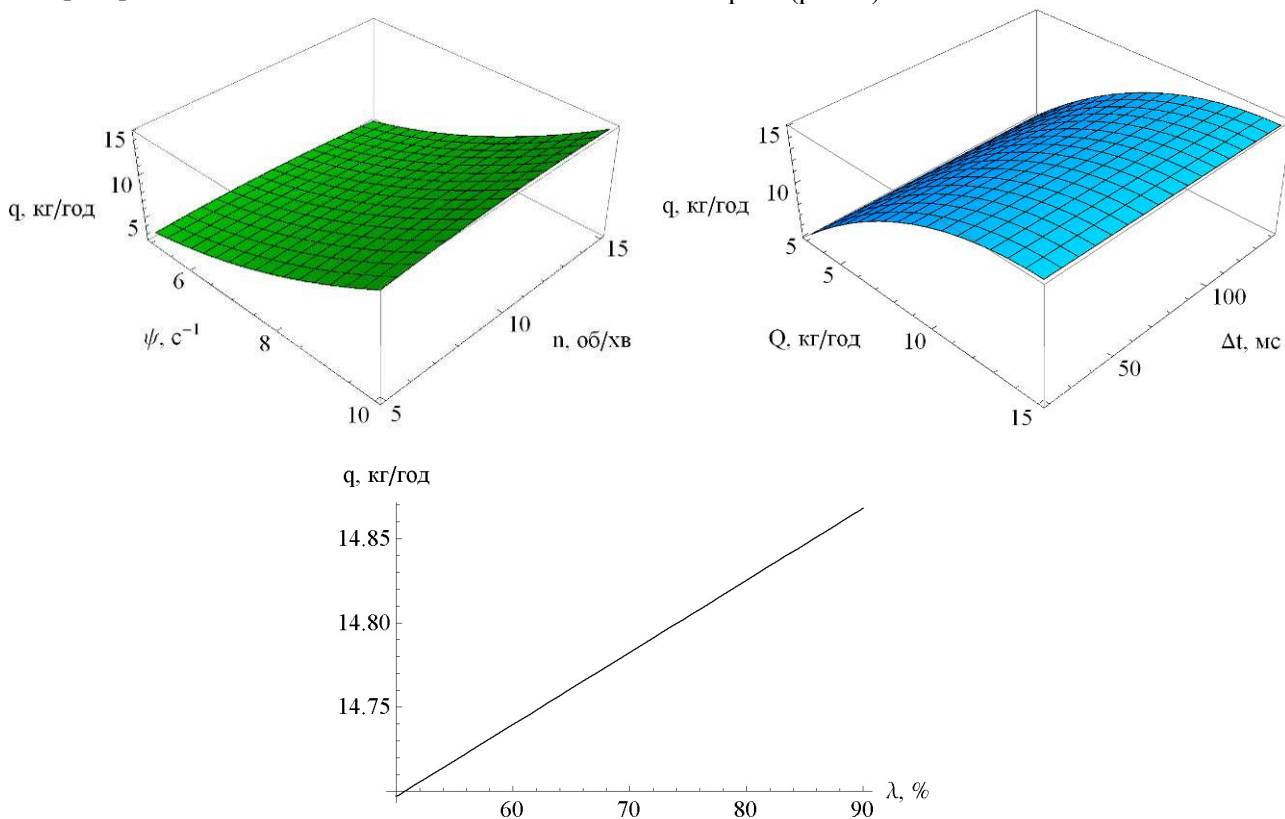


Рис. 4. Залежність продуктивності фотоелектронного сепаратора q від факторів досліджень за відповідних оптимальних значень (4)

Аналізуючи рис. 4, можна стверджувати, що на продуктивність фотоелектронного сепаратора впливають всі вищезгадані фактори. При цьому зі збільшенням частоти коливань вібрлотка, подачі насіння і чутливості фотодатчика збільшується і продуктивність фотоелектронного сепаратора. А для частоти обертання барабана $n = 12,7$ об/хв і часової затримки спрацьовування форсунки $\Delta t = 79$ мс спостерігається оптимум.

Математична модель впливу досліджуваних факторів на потужність, що споживається фотоелектронним сепаратором, мала вигляд:

$$P = -16,9896 + 6,875 n + 0,26 n^2 + 10,6563 Q + 15,4 \psi - 0,52 n \psi - 0,333333 Q \psi. \quad (5)$$

З використанням програмного пакету Mathematica визначено раціональні значення факторів досліджень з умови забезпечення мінімальної потужності, що споживається

фотоелектронним сепаратором:

$$P(Q = 3 \text{ кг/год}, \psi = 5 \text{ с}^{-1}, n = 5 \text{ об/хв}) = 114 \text{ Вт} \quad (6)$$

Приймаючи отримані раціональні значення факторів досліджень (6), побудовані двомірні поверхні (рис. 5).

Аналізуючи рисунок 5, можна стверджувати, що на потужність, яка витрачається фотоелектронним сепаратором впливає тільки подача насіння, частота коливань віброрізка і частота обертання барабана. При цьому, із їх збільшенням, збільшується і потужність.

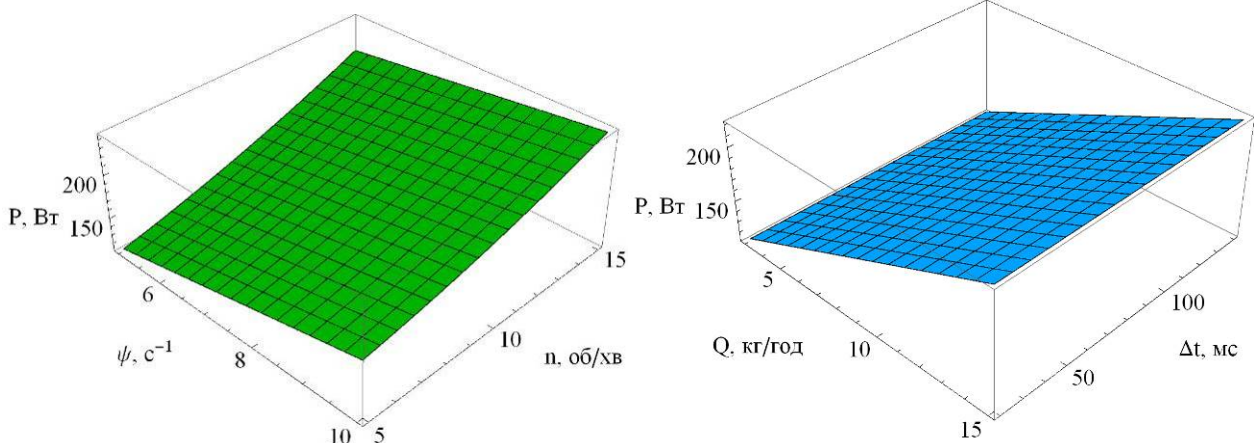


Рис. 5. Залежність потужності P , що споживається фотоелектронним сепаратором, від факторів досліджень за відповідних оптимальних значень (6)

Джерело: власні дослідження.

Вирішення задачі (7) за допомогою програмного пакету «Mathematica» призвели до раціональних параметрів і режимів роботи фотоелектронного сепаратора:

$$Q = q = 9,7 \text{ кг/год}; \psi = 8,6 \text{ с}^{-1}; n = 9,7 \text{ об/хв}; \Delta t = 66 \text{ мс}; \lambda = 76,4 \%; P = 239 \text{ Вт}. \quad (8)$$

Висновки та перспективи подальших досліджень

В результаті експериментальних досліджень фотоелектронного сепаратора було розроблено фізико-математичну модель, яка зв'язала сумарну концентрацію насіння θ , продуктивність фотоелектронного сепаратора q і його споживану потужність P від подачі насіння Q , частоти коливань віброрізка ψ , частоти обертання барабана n , часової затримки спрацьовування форсунки Δt , чутливості фотодатчика λ .

У процесі досліджень була вирішена компромісна задача, а саме мінімізація сумарної концентрації насіння θ і потужності P , що споживається фотоелектронним сепаратором, за максимального значення його продуктивності q ,

Завданням вирішення компромісної задачі була мінімізація сумарної концентрації насіння і потужності, що споживається фотоелектронним сепаратором, за максимального значення його продуктивності, яка порівняна із значенням подачі насіння, тобто:

$$\begin{cases} \theta(Q, \psi, n, \Delta t, \lambda) \rightarrow \min, \\ P(Q, \psi, n, \Delta t, \lambda) \rightarrow \min \\ q(Q, \psi, n, \Delta t, \lambda) = Q \rightarrow \max. \end{cases} \quad (7)$$

яка порівняна із значенням подачі насіння Q . В результаті раціональними конструктивно-технологічними параметрами фотоелектронного сепаратора є: $Q = q = 9,7 \text{ кг/год}$; $\psi = 8,6 \text{ с}^{-1}$; $n = 9,7 \text{ об/хв}$; $\Delta t = 66 \text{ мс}$; $\lambda = 76,4 \%$; $P = 239 \text{ Вт}$.

Перспективним напрямом подальших досліджень є.

References

1. Butkovskiy, V. A., Merko, A. I. & Melnikov, V. M. (1999). *Tehnologii zernopereraba tyivayuschih proizvodstv* [Technologies of grain processing industries]. Moskva: Intergraf servis [in Russian].
2. Clie, C., Chiang, Y. P. & Pomeranz, Y. (1989). Image analysis and characterization of cereal grains with a laser range finder and camera contour extractor. *Cereal Cliem*, 6, 466–470.
3. Thomson, W. H. & Pomerang, Y. (1991). Classification of wheal kernels using three-dimensional image analysis. *Cereal Chem*, 34, 357–361.

4. Shazzo, A. Yu. & Usatkov, S. V. (2012). Efektyvnist rozpoznavannia prykhovanoi zarazhenosti zernivok iz zobrazhen v infrachervonomu spektri [Effectiveness of detecting hidden infectivity of grains from images in the infrared spectrum]. *Visnyk ONU. Kharchova tekhnolohiia*, 4, 105–108 [in Ukrainian].

5. Adams D., Peelaers, B., & Dirix, B. (2009). U.S. Patent 7557922B2. Washington, O.S. : U.S. Patent and Trademark Office.

6. Algazinov, E. K., Dryuchenko, M. A., Minakov, D. A., Sirota, A. A., & Shulgin, V. A. (2013). Elements of grain mixture recognition method based on the spectral characteristics analysis in real-time color sorting systems. *VSU Bulletin*, 2 (System analysis and information technologies), 9–19.

7. Shevchenko, I. A. & Aliiev, E. B. (2018). Research on the photoelectronic separator seed supply block for oil crops. *INMATEH Agricultural Engineering*, 54 (1), 129–138.

8. Aliiev, E. B. & Yaropud, V. M. (2017). Rezultaty chyselnoho modeliuvannia protsesu roboty bloka podachi nasinnia fotoelektronnoho separatora [Results of numerical modeling of the process of operation of the seed supply unit of the photoelectronic separator]. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*, 4 (99), 18–23 [in Ukrainian].

JUSTIFICATION OF CONSTRUCTIVE-MODE PARAMETERS OF A PHOTO-ELECTRON SEPARATOR OF SUNFLOWER SEEDS

E. Aliiev

e-mail: aliev@meta.ua

Institute of Oilseed Crops of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
st. Institutskaya, 1, pos. Sunny, Zaporozhye district,
Zaporozhye region, 69093, Ukraine

Despite the ever-increasing use of photoelectronic separators in the control and sorting at the stage of production of finished oilseeds, the area of their application continues to remain quite narrow. Therefore, it is envisaged to conduct experimental studies and substantiate rational parameters of the working bodies of the photoelectronic separator. The aim of the research is to increase the efficiency of the technological process of separation of sunflower seed according to its morphological indicators by justifying the design-

mode parameters of the developed photoelectronic separator. Experimental studies were conducted on the installation, consisting of an experimental sample of a photoelectric separator, a frequency converter, a laboratory power supply unit with the possibility of changing the voltage and an electricity meter. An experimental sample of a photoelectronic separator contained a bunker, a calibrated damper, a drum with radial blades, an electric motor, a vibrating channel, a vibromotor, a photoelectronic system for registering seeds, gas jets, a control relay, an air compressor. As a result of experimental studies of the photoelectronic separator, a physico-mathematical model was developed that linked the total seed concentration, photoelectronic separator performance and its power consumption with seed supply, vibratory frequency, vibration frequency, drum rotation frequency, photosensor sensitivity. In the process of research, a compromise problem was solved, namely, minimizing the total concentration of seeds and power consumption by the photoelectric separator, with a maximum value of its productivity, which is comparable to the value of the seed supply. As a result, rational design and technological parameters of the photoelectronic separator were established.

Keywords: *sunflower, seeds, photoelectronic separator, quality, performance, energy consumption, parameters.*

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФОТОЭЛЕКТРОННОГО СЕПАРАТОРА СЕМЯН ПОДСОЛНЕЧНИКА

Э. Б. Алиев

e-mail: aliev@meta.ua

Институт масличных культур Национальной академии аграрных наук Украины
ул. Институтская, 1, пос. Солнечный, Запорожский р-н,
Запорожская обл., 69093, Украина

Несмотря на все более возрастающее применение фотоэлектронных сепараторов при контроле и сортировке на стадии выпуска готовой продукции масличных культур, область их применения продолжает оставаться достаточно узкой. Поэтому предусмотрено проведение экспериментальных исследований и обоснование рациональных параметров рабочих органов

фотоэлектронного сепаратора. Целью исследований является повышение эффективности технологического процесса сепарации семенного материала подсолнечника по его морфологическим показателям путем обоснования конструктивно-режимных параметров разработанного фотоэлектронного сепаратора. Экспериментальные исследования проводились на установке, состоящей из экспериментального образца фотоэлектронного сепаратора, частотного преобразователя, лабораторного блока питания с возможностью изменения напряжения и счетчика электроэнергии. Экспериментальный образец фотоэлектронного сепаратора содержал бункер, откалиброванную заслонку, барабан с радиальными лопастями, электродвигатель, вибрлоток, вибродвигатель, фотоэлектронную систему регистрации семян, газовые форсунки, реле управления, воздушный компрессор. В результате экспериментальных исследований фотоэлектронного сепаратора разработана физико-математическая модель, которая связала суммарную концентрацию

семян, производительность фотоэлектронного сепаратора и его потребляемую мощность с подачей семян, частотой колебаний вибрлотка, частотой вращения барабана, временем задержки срабатывания форсунки, чувствительностью фотодатчика. В процессе исследований была решена компромиссная задача, а именно минимизация суммарной концентрации семян и потребляемой мощности фотоэлектронным сепаратором, при максимальном значении его производительности, которая сопоставима со значением подачи семян. В результате установлены рациональные конструктивно-технологические параметры фотоэлектронного сепаратора.

Ключевые слова: подсолнечник, семена, фотоэлектронный сепаратор, качество, производительность, энергозатраты, параметры.