



УДК 621.3:631.362.36

М.В. Постнікова, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-2025-6199

*Таврійський державний агротехнологічний університет**імені Дмитра Моторного*

e-mail: marina.postnikova@tsatu.edu.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МАШИН ВТОРИННОГО ОЧИЩЕННЯ ПОСІВНОГО ЗЕРНА

Анотація. В якості типового представника машин вторинного очищення посівного зерна представлена машина СВУ-5А. В роботі були проаналізовані режими роботи електропривода робочої машини та технологічні вимоги до очищення посівного зерна. Вперше для визначення оптимальних умов очищення зерна був використаний багатофакторний математичний експеримент, що дозволило при невеликій кількості дослідів провести дослідження і дати рекомендації по удосконаленню робочої машини і керуванню технологічним процесом очищення зерна. Вперше в результаті обробки матриць плану було отримано рівняння регресії для розрахунку спожитої потужності робочої машини в залежності від режимних та конструктивних параметрів. Результати проведених досліджень дозволили розробити рекомендації щодо реалізації енергозберігаючих режимів роботи, що дозволить економити 8-10 % електроенергії.

Ключові слова: енергозбереження, раціональне використання електроенергії, економія електроенергії, багатофакторний експеримент, зерноочисний агрегат.

Постановка проблеми. За даними різних джерел [1] енергозатрати на післязбиральну обробку зерна складають 25-30 % від загальних на його виробництво. Енергоресурсозбереження є однією з важливих задач в теперішній час [2].

Для вирішення питання енергозбереження Jiang Sheng-Long, Zhang Long [3] рекомендує застосовувати енергетично орієнтоване планування оптимізації технологічного процесу очищення посівного зерна з ефективною багатоцільовою оптимізацією. Для цього, як вважає А. Abdel-Hadi [4] для мінімізації енергоспоживання необхідно мати максимум інформації про енергоємність технологічного процесу очищення посівного зерна.

Аналіз останніх досліджень. Характер взаємозв'язку між енергетичними характеристиками технологічного обладнання



зернопунктів в раніше проведених дослідженнях не розглядався взагалі або носив другорядний характер, внаслідок чого характер взаємозв'язку між енергетичними характеристиками зернопунктів залишався мало вивченим.

Важливою умовою надійної і економічної роботи зернопункту є відповідність електроприводів характеристикам робочих машин. У зв'язку із цим виникла необхідність проведення досліджень по визначенню раціональних параметрів електроприводів, вибору електродвигунів відповідної потужності.

Існуюча невідповідність технологій і машин для післязбиральної обробки зерна сучасним вимогам ґрунтується на високому рівні капіталовкладень, обумовленому значними розрахунками матеріаломісткості і енергоємності, великим об'ємом будівельно-монтажних робіт при недостатній ефективності процесів обробки. Низька якість обробки, в свою чергу, визначається суттєвими втратами зерна у відходи та його травмування при багаторазовому (4-7) транспортуванні до різних робочих органів багатомашинних агрегатів і комплексів. При цьому кількість травмованого зерна доходить до 18-48 %, що приводить до псування зерна при тимчасовому або тривалому зберіганні [5].

Підвищення якості насіннєвого матеріалу і відповідно врожайності зернових культур шляхом машинної доробки зерна досягається такими операціями [5, 6]: видалення щуплого, подрібненого зерна та дрібного насіння засмічувачів; сортування за розмірами; сортування за комплексом фізико-механічних властивостей. При розробці нової техніки доцільно орієнтуватися на створення машин багаторазового використання для реалізації поетапної технології [6].

Щоб досягти чистоти посівного зерна, яку вимагає ДСТУ [7] А. Н. Головнов [8] пояснює, як правильно вибрати зерноочисну машину вторинного очищення зерна, а Г. В. Чуйко, В. Д. Олейников [9] – як підвищити її технічний рівень. Очищення зерна, як правило, виконується різними машинами. При цьому кількість транспортних засобів на одиницю продукції значно перевищує кількість машин, а це збільшує травмування зерна до 10-14 % на один робочий орган.

Використовуючи внутрішні компоувальні зв'язки декількох робочих органів в одному агрегаті якість обробки насіння значно підвищується, зменшується травмування в 2-4 рази. При цьому знижується матеріаломісткість обладнання на 50-60 %.

А зменшення електроспоживання, вважає J. Gembski [10], в свою чергу приводить до зменшення викидів пилу при очищенні зерна в навколишнє середовище, що є актуальною задачею сьогодення.



Д. С. Начинов [11] вважає, що потокові лінії очищення зерна вимагають удосконалення з точки зору енергозбереження та покращення техніко-економічних показників.

Незалежно від початку застосування нових агрегатів і комплексів, ще багато років основна маса зерна, яке збирається, буде оброблюватися на обладнанні, яке є в наявності в господарствах, тому необхідно раціонально використовувати це обладнання [12].

Наприклад, для більш досконалого очищення посівного зерна L. S. Soldatenko, I. A. Ostrovkyi [13] пропонують застосовувати удосконалені малогабаритні дискові трієри.

Формулювання цілей статті. Мета дослідження – енергозбереження в технологічному процесі очищення посівного зерна. Для досягнення поставленої цілі необхідно встановити вплив режимних та конструктивних параметрів робочих машин на енергоефективність технологічного процесу.

Основна частина. На вітчизняному ринку є велике різноманіття машин для післязбиральної обробки зерна і підготовки насіння до посіву. Для гарантованого очищення першокласного насіння агрегати комплектуються насіннеочисними приставками. Зерноочисні машини вторинного очищення, як і машини первинного очищення, мають в своєму складі аспіраційну частину і решітну.

Відміна складається в тому, що в машинах вторинного очищення зерно проходить аспірацію, як до решітного очищення, так і після нього, і питомі навантаження на аспіраційний канал приймаються занижені. На решітну поверхню також відбувається менше навантаження. Ці зміни пояснюються тим, що вимоги до якості очищення насінневого матеріалу, який оброблюється на цих машинах, значно вищі. На машині вторинного очищення необхідно виділити не тільки сміттєві домішки, які не виділені попередніми машинами, але і щуплі, недозрілі зерна основної культури. Це здійснюється як решетами, так і другою аспірацією.

В якості типового представника цієї групи машин є СВУ-5А. Її решітна частина має три яруси решіток, причому два нижніх яруси виділяють дрібні домішки, що є найбільш важкою і відповідальною операцією, яка визначає в значній мірі якість отриманого насіння.

Робочі органи приводяться в дію за допомогою чотирьох клинопасових і однією ланцюговою передачами від електродвигуна потужністю 5,5 кВт при $n = 1440$ об/хв.

При аналізі шляхів зниження енергетичних витрат при обробці зерна був врахований вплив режимних та конструктивних параметрів робочих машин поточкових ліній. В зв'язку з цим виникла необхідність проведення досліджень по визначенню раціональних режимних та

конструктивних параметрів робочих машин і вибору потужності приводних електродвигунів та оптимальних ККД передачі.

Недосконалість існуючих методів розрахунку потужності електродвигунів, вважають L. S. Soldatenko, O. V. Hornishnyi [14], призводить до використання в деяких машинах потужних двигунів, вибір яких базується на індикативних розрахунках. Наприклад, за допомогою методу питомого споживання енергії або порівняння з аналогами. Оскільки розрахункові методи залежать від закону руху робочих органів і їх двигуна, кожен приклад необхідно розглядати окремо.

Для мінімізації електроспоживання електроприводами потокових ліній I. M. Kurchuk, O. V. Solona, I. A. Derevenko, I. V. Tverdokhlib [15] рекомендують розробити і проаналізували математичну модель електроспоживання електроприводами. А М. Postnikova, E. Mikhailov, D. Nesterchuk, O. Rechina [16] вважають, що для зниження витрат електроенергії електромеханічних систем необхідно провести оптимізацію режимів роботи електрообладнання.

Використання багатofакторного математичного експерименту при дослідженні процесів очищення зерна на потокових лініях дозволило при невеликій кількості дослідів визначити оптимальні умови очищення зерна на потокових лініях та дати рекомендації по удосконаленню робочих машин потокових ліній і керуванню технологічним процесом очищення зерна [17].

В математичній моделі (рисунок 1) прийнято:

x_1 – продуктивність зерноочисної машини, кг/с;

x_2 – ширина решета, дм;

x_3 – число коливань решітного стану, колів./хв.;

x_4 – кут між напрямком коливань та площиною решета, град.;

x_5 – коефіцієнт корисної дії передачі;

x_6 – вага решітного стану, кг;

x_7 – коефіцієнт корисної дії електродвигуна;

y – спожита потужність електродвигуна, кВт.



Рисунок 1. Математична модель спожитої потужності електродвигуна зерноочисної машини



Позначення факторів і рівні їх варіювання при використанні методу планування математичного експерименту наведені в таблиці 1. При цьому рівні варіювання факторів вибиралися з урахуванням даних технічної характеристики та реальної можливості зміни факторів на практиці.

Таблиця 1

Рівні факторів та інтервали варіювання для зерноочисної машини СВУ-5А

Рівні факторів	Нормована величина	X ₁ , т/год	X ₂ , дм	X ₃ , колив/хв.	X ₄ , град.	X ₅
Верхній рівень	+1	10,0	10,4	500,0	30,0	0,8
Основний рівень	0	6,5	9,9	430,0	27,0	0,75
Нижній рівень	-1	3,0	9,4	360,0	24,0	0,7
Шаг варіювання		±3,5	±0,5	±70,0	±3,0	±0,05

В результаті обробки матриць плану повного факторного експерименту було отримано рівняння регресії для розрахунку спожитої потужності зерноочисної машини СВУ-5А потокової лінії очищення зерна в залежності від режимних та конструктивних параметрів [17]

$$P_{\text{спож.}} = 0,9715 + 0,0377 \cdot Q - 0,0005 \cdot n - 0,0115 \cdot \gamma - 0,572 \cdot \eta_{\text{пер.}} \quad (1)$$

Як видно з рівняння (1), параметрами, які впливають на спожиту потужність електродвигуна зерноочисної машини СВУ-5А є продуктивність Q , кількість коливань решітного стану n , кут між напрямком коливань та площиною решета γ , коефіцієнт корисної дії передачі $\eta_{\text{пер.}}$.

Одержане рівняння дає можливість вирішувати задачі енергозбереження в технологічному процесі очищення посівного зерна і розробити норми електроспоживання технологічного процесу [18].

Питома витрата електроенергії визначається

$$W_{\text{пит.}} = \frac{P_{\text{спож.}}}{Q}, \quad (2)$$

де $P_{\text{спож.}}$ – потужність, спожита електродвигуном з мережі, кВт;

Q – продуктивність машини, т/год.

Як показали дослідження, питома витрата електроенергії при зміні числа коливань решітного стану в межах $n = 360-500$ коливань за хвилину (рис. 2) змінюється по-різному: при $n = 390-440$ коливань

питома витрата електроенергії зменшується при збільшенні продуктивності, а при $n > 460$ коливань відбувається зворотній процес: при збільшенні продуктивності питома витрата електроенергії збільшується. При $n = 460$ коливань питома витрата електроенергії не змінюється. Тому, $n = 460$ коливань є оптимальним числом коливань решітного стану з точки зору витрат електроенергії при дотриманні агротехнічних вимог до якості очищення зерна пшениці.

Що стосується кута між напрямком коливань і площиною решета $\gamma = 24-30^\circ$, то оптимальним кутом з точки зору витрат електроенергії є $\gamma = 28^\circ$ (рис/ 3).

Робочі органи зерноочисної машини приводяться в дію від електродвигуна трьома клиноремінними та однією ланцюговою передачами, розташованими з двох сторін. При $\eta_{\text{пер.}} = 0,7-0,77$ питома витрата електроенергії зменшується при збільшенні продуктивності, а при $\eta_{\text{пер.}} > 0,78$ відбувається зворотній процес: при збільшенні продуктивності питома витрата електроенергії зменшується. Тому, оптимальним ККД є $\eta_{\text{пер.}} = 0,78$ (рисунок 4).

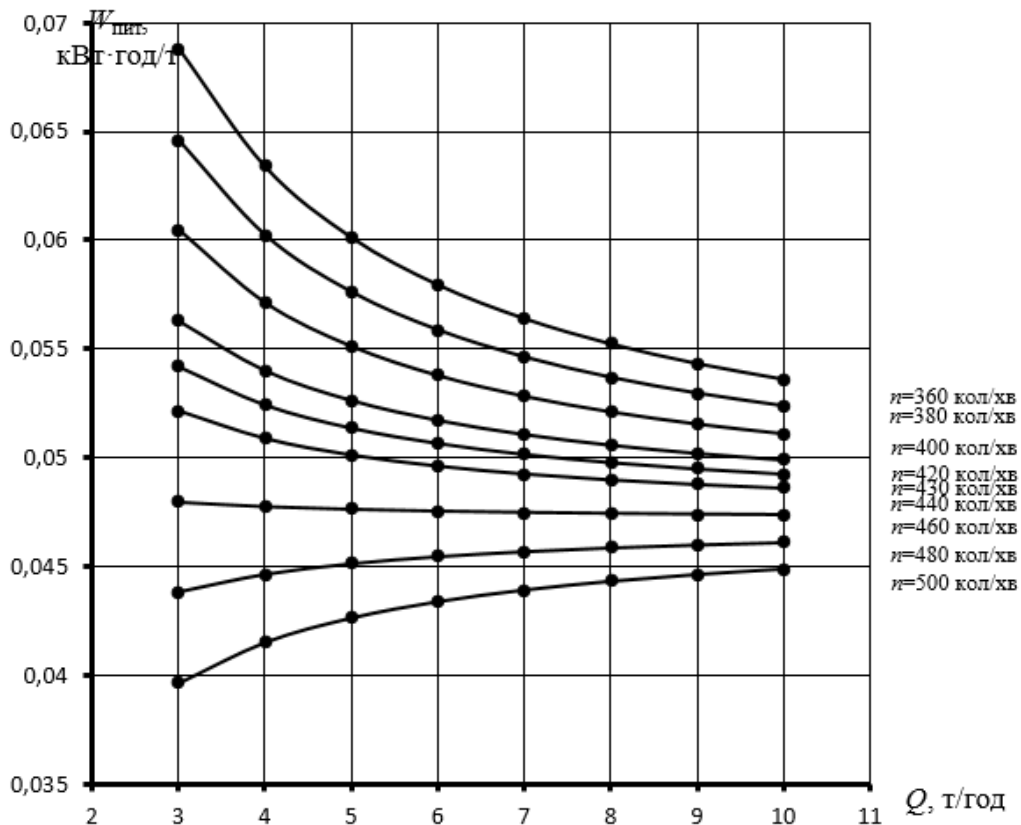
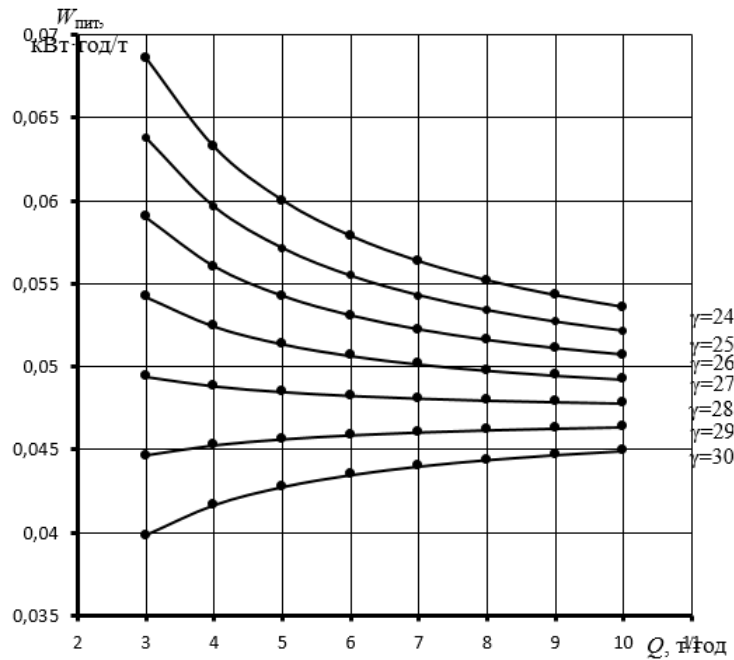
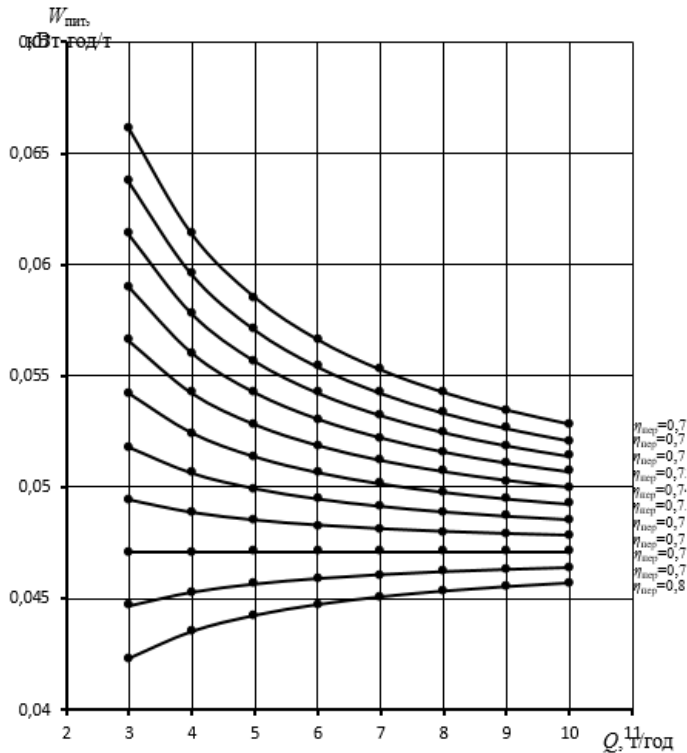


Рисунок 2. Залежність $W_{\text{пит.}} = f(Q)$ при $n = \text{var}$ для СВУ-5А

Рисунок 3. Залежність $W_{\text{пит.}} = f(Q)$ при $\gamma = \text{var}$ для СВУ-5АРисунок 4. Залежність $W_{\text{пит.}} = f(Q)$ при $\eta_{\text{пер.}} = \text{var}$ для СВУ-5А

Висновки. Аналіз впливу режимних та конструктивних параметрів робочих машин поточкових ліній зернопунктів на питому витрату електроенергії дозволив визначити оптимальні умови очищення посівного зерна з дотриманням агротехнічних вимог до якості очищення зерна та дати рекомендації по удосконаленню поточкових ліній та керуванню процесом очищення посівного зерна.



Для зерноочисної машини СВУ-5А оптимальні значення режимних та конструктивних параметрів з точки зору мінімальних витрат електроенергії при дотриманні агротехнічних вимог до якості очищення зерна пшениці є: число коливань решітного стану $n = 460$ коливань за хвилину, кут між напрямком коливань і площиною решета складає $\gamma = 28^\circ$, ККД передачі не повинен перевищувати $\eta_{\text{пер.}} = 0,78$.

Проведені дослідження мають практичне значення, так як є основою для розробки науково-обґрунтованих норм електроспоживання технологічного процесу очищення посівного зерна [19].

Список використаних джерел

1. Сорочинский В. Ф. Послеуборочная обработка и хранение зерна. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2003. № 1. С. 10-14.

2. Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. Тернопіль, 2001. 984 с.

3. Jiang S., Zhang L. Energy-Oriented Scheduling for Hybrid Flow Shop with Limited Buffers Through Efficient Multi-Objective Optimization. *IEEE ACCESS*. 2019. Vol. 7. P. 34477-34487. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2904848.

4. Study of energy saving analysis for different industries / A. Abdel-Hadi et al. *Journal of Energy Resources Technology, Transactions of the ASME*. 2021. Vol. 143, № 5. DOI: 10.1115 / 1.4048249.

5. Котов Б. І. Перспективи розвитку конструкцій зернонасіноочисної техніки. *Конструювання, виробництво та експлуатація с.-г. машин*. Кіровоград, 2001. Вип. 31. С. 110-112.

6. Котов Б. І., Степаненко М. Г., Пастушенко М. Г. Тенденції розвитку конструкцій машин та обладнання для очищення і сортування зерноматеріалів. *Конструювання, виробництво та експлуатація с.-г. машин*. Кіровоград, 2003. Вип. 33. С. 53-59.

7. ДСТУ 3768:2019. Пшениця. Технічні умови. [Чинний від 2019-06-10]. Київ, 2019. 19 с.

8. Головнов А. Н. Как правильно выбрать зерноочистительную машину. *Техника и оборудование для села*. 2003. № 6. С. 20-23.

9. Чуйко Г. В., Олейников В. Д. Повышение технического уровня зерноочистительной техники. *Техника и оборудование для села*. 2003. № 5. С. 8-10.

10. Gembicki J. Energy efficiency in the agricultural and food industry illustrated with the example of the feed production plant. *1st International Conference on the Sustainable Energy and Environment Development (Seed 2016)*. 2016. Vol. 10. № 00138. DOI: 10.1051/e3sconf/20161000138.



11. Начинов Д. С. Совершенствование линий для послеуборочной обработки зерна. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2005. № 1. С. 15-17.
12. Проблемы и перспективы использования агрегатов ЗАВ и комплексов КЗС / В. П. Дринча и др. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2002. № 3. С. 31-33.
13. Soldatenko L. S., Ostrovkyi I. A. Improvement of the collector output device of the disk separators. *Grain products and Mixed Fodder's*. 2019. Vol. 19, № 2. P. 48-50. DOI: 10.15673/gpmf.v19i2.1447.
14. Soldatenko L. S., Hornishnyi O. V. Clarification of the methods used for calculating power of sieve separators. *Grain products and Mixed Fodder's*. 2018. Vol. 18, № 4. P. 47-50. DOI: 10.15673/gpmf.v18i4.1197.
15. Kupchuk I. M., Solona, O. V., Derevenko I. A., Tverdokhlib I. V. Verification of the mathematical model of the energy consumption drive for vibrating disc crusher. *Inmateh-Agricultural Engineering*. 2018. Vol. 55, № 2. P. 113-120.
16. Postnikova M., Mikhailov E., Nesterchuk D., Rechina O. Energy Saving in the Technological Process of the Grain Grinding. *Modern Development Paths of Agricultural Production. Trends and Innovations*. Cham: Springer International Publishing. 2019. P. 395-403.
17. Назарьян Г. Н., Постникова М. В., Карпова А. П. Решение задач оптимизации объектов исследования методом планирования математического эксперимента. Мелитополь: Люкс, 2012. 68 с.
18. Постнікова М. В. Розробка науково-обґрунтованих норм енергоємності при обробці зерна на зернопунктах. *Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут"*. Сер. Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика. 2008. № 30. С. 511-512.
19. Дидур В. А., Масюткин Е. П., Постникова М. В., Масловский В. А. Научное обоснование удельных расходов электроэнергии при очистке зерна методом математического планирования эксперимента. *Праці інституту електродинаміки НАН України*. Київ, 2008. Вип. 19. С. 94-98.
Стаття надійшла до редакції 28.01.2021р.

M. Postnikova

Dmytro Motornyi Tauria state agrotechnological university

ENERGY EFFICIENCY RESEARCH SECOND CLEANING MACHINES OF SOWING GRAIN

Summary

Research of energy efficiency of machines of flow lines of cleaning of sowing grain is an important priority in modern conditions. Problems related to energy efficiency



continue to be relevant. One option for a partial solution to this problem is to study the nature of the relationship between the energy performance of the process equipment of grain cleaning lines. The SVU-5A machine is presented as a typical representative of machines of secondary cleaning of sowing grain. The modes of operation of the electric drive of the working machine and technological requirements for cleaning of sowing grain were analyzed in the work. The analysis of ways to reduce energy consumption during grain cleaning took into account the influence of mode and design parameters of the working machine on energy consumption. In this regard, there is a need for research to determine the rational mode and design parameters of the working machine and the choice of power of the drive motor and the optimal transmission efficiency.

For the first time, a multifactor mathematical experiment was used to determine the optimal conditions for grain cleaning, which allowed for a small number of experiments to conduct research and make recommendations for improving the working machine and control the technological process of grain cleaning. For the first time, as a result of processing the matrices of the plan, a regression equation was obtained to calculate the power consumption of the working machine depending on the mode and design parameters. The results of the research allowed to develop recommendations for the implementation of energy-saving modes of operation, which will save 8-10 % of electricity.

Key words: energy saving, rational use of electricity, energy saving, multifactor experiment, grain cleaning unit.

М.В. Постникова

**Таврический государственный агротехнологический университет
имени Дмитрия Моторного**

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МАШИН ВТОРИЧНОЙ ОЧИСТКИ ПОСЕВНОГО ЗЕРНА

Аннотация

Типичным представителем машин вторичной очистки посевного зерна является машина СВУ-5А. В работе были проанализированы режимы работы электропривода и технологические требования к очистке посевного зерна. Впервые для определения оптимальных условий очистки зерна был использован многофакторный математический эксперимент, что позволило при небольшом количестве опытов провести исследования и дать рекомендации по совершенствованию рабочей машины и управлению технологическим процессом очистки зерна. Впервые в результате обработки матриц плана было получено уравнение регрессии для расчета потребляемой мощности рабочей машины в зависимости от режимных и конструктивных параметров. Результаты проведенных исследований позволили разработать рекомендации по реализации энергосберегающих режимов работы, что позволит экономить 8-10 % электроэнергии.

Ключевые слова: энергосбережение, рациональное использование электроэнергии, экономия электроэнергии, многофакторный эксперимент, зерноочистительный агрегат.