



DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-37

УДК [631.371:621.3.002.5]:631.24

М. В. Постнікова, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-2025-6199

О. В. Ковальов, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-5822-5494

В. О. Петров, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-6399-9064

*Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного*

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

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ РОБОЧИХ МАШИН ЗЕРНОПУНКТІВ

Анотація. У статті проведено дослідження завантаження енергетичного обладнання потокових ліній і окремих машин зернопунктів з ціллю забезпечення максимального використання робочих машин і скорочення їх холостих ходів, що дозволить економити 8-10 % електроенергії.

На практиці електродвигуни іноді не мають повного завантаження. Це відбувається при неправильних розрахунках електропривода і недовантаження робочої машини. В обох випадках збільшуються питомі витрати електроенергії на одиницю корисної роботи. Дослідження ступеня завантаження енергетичного обладнання показали, що коефіцієнт завантаження енергетичного обладнання змінюється в широких межах: для стрічкового транспортера ЛТ-10 – 0,4...1,5, для очищувача вороху ОВП-20 – 0,7...1,2, для зерновантажувачів ЗП-40, ЗПС-60 – 0,7...1,0.

Проведенні дослідження мають практичне значення, так як є основою для розробки науково-обґрунтованих норм електроспоживання технологічного процесу очищення зерна.

Ключові слова: зернопункт, завантаження робочих машин, електропривод, питомі витрати електроенергії, економія електроенергії.

Постановка проблеми. Для нормального функціонування системи електропривода і автоматизації потокових ліній і окремих машин важливо забезпечити максимальне використання робочих машин і скорочення їх холостих ходів [1].

Робота асинхронних двигунів в режимі холостого ходу недоцільна внаслідок непродуктивних витрат електроенергії в самому двигуні і збільшення втрат в мережі живлення.



В умовах експлуатації скорочення тривалості режиму холостого ходу асинхронних двигунів являється одним з шляхів економії електроенергії [2].

Тому питання підвищення повного завантаження електродвигунів для економії електроенергії є актуальними.

Аналіз останніх досліджень. В більшості раніше проведених дослідженнях головну увагу приділено технологічним питанням дороблювання зерна, а також режимам роботи машин.

Питання енергоємності процесів дороблювання зерна і зв'язок її з технологічними факторами в раніше проведених дослідженнях не розглядалися взагалі або носили другорядний характер.

Причому, в ряді випадків не враховувалася випадкова природа електричних навантажень, внаслідок цього характер взаємозв'язку між електроенергетичними показниками зернопунктів залишався не вивченим. Систематичне недовантаження електродвигунів на зернопунктах різко знижує важливі техніко-економічні показники.

Це недовантаження пояснюється тим, що в деяких машинах використовують потужні двигуни, які не відповідають робочій машині. Як вважають Soldatenko L. S., Hornishnyi O. V. [3] розрахунок потужності електродвигуна необхідно розглядати окремо з урахуванням закону руху робочих органів і їх двигуна.

Як вважає A. Abdel-Nadi [4] необхідно мати для цього максимум інформації про режими роботи електрообладнання. При цьому Jiang Sheng-Long [5] рекомендує застосовувати ефективну багатоцільову оптимізацію. Для більш досконалого очищення зерна Котов Б. І. [6, 7] і Soldatenko L. S., Ostrovkyi I. A. [8] пропонують застосовувати удосконалені конструкції зернонасінеочисної техніки, які мають високі техніко-економічні показники.

Для енергозбереження та покращення техніко-економічних показників потокових ліній і окремих машин Kurchuk I. M., Solona O. V., Derevenko I. A., Tverdokhlib I. V. [9] рекомендують розробити математичну модель електроспоживання електроприводами. A Postnikova M., Mikhailov E., Nesterchuk D., Rechina O. [10] вважають, що необхідно додатково провести оптимізацію режимів роботи електрообладнання.

Крім вирішення цих питань, необхідно, вважає Gembicki J. [11], не забувати про актуальне завдання сьогодення – питання екології – викидів пилу при очищенні зерна.

Вивченням взаємозв'язку між енергетичними характеристиками технологічного обладнання при очищенні зерна займалися вчені в системі хлібоприймальних підприємств: В. І. Калінцев, М. М. Преображенський, Д. Г. Сегеда, П. П. Ястребов, а в сільському господарстві, для агрегатів, які випускає «Вороніжсільмаш»: В. В.



Громак, Н. А. Устименко, А. А. Гончаров, Г. І. Коршунова, О. П. Карпова, І. В. Киселиця [12]. Аналіз показав, що з енергетичних факторів, які найбільше впливають на електроспоживання, є коефіцієнт завантаження електродвигунів [13].

Формулювання цілей статті. Мета дослідження – проаналізувати завантаження робочих машин зернопунктів з ціллю забезпечення їх максимального використання і скорочення холостих ходів.

Основна частина. Більша частина спожитої електричної енергії витрачається на робочий процес технологічного обладнання, а решта витрачається на втрати в електродвигунах. Ефективність перетворення і використання електричної енергії визначається співвідношенням цих потужностей і залежить від коефіцієнта завантаження двигуна [14, 15].

Встановлено, що максимальна ефективність перетворення при мінімальних втратах в двигуні в усталеному режимі відповідає режимам роботи, при яких постійні втрати дорівнюють змінним [16].

Зниження загальних витрат енергії, поліпшення експлуатаційних показників робочих машин можливе за рахунок зниження витрат холостого ходу, зменшення загальних витрат енергії, а також за рахунок подальшого удосконалення конструкцій машин.

Збільшення середнього завантаження робочих машин знижує питомі витрати електроенергії. На рисунку 1 видно, що при зменшенні завантаження знижується ККД електродвигуна і особливо – робочої машини [17].

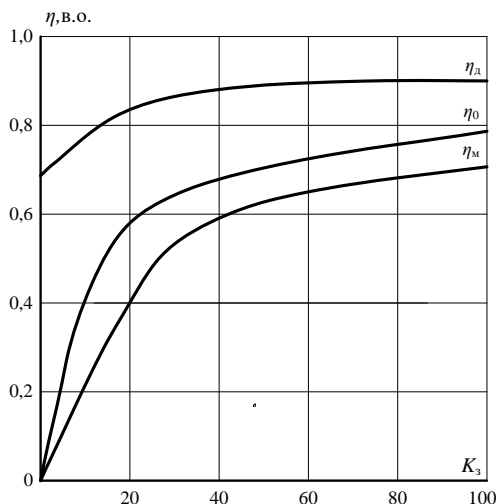


Рисунок 1. Залежність ККД робочої машини

η_m , двигуна η_d і всього привода η_0 від коефіцієнта завантаження K_z

Оскільки залежність ККД асинхронного електродвигуна від завантаження має екстремальний характер, який дозволяє варіювати завантаження в деяких межах, які не знижують ефективність перетворення електричної енергії, виникає задача визначення таких режимів роботи технологічного обладнання, при яких ефективність використання електроенергії буде найбільшою.

Для визначення економії електроенергії при збільшенні завантаження робочих машин необхідно визначити питомі витрати електроенергії.



Відносні питомі витрати електроенергії, віднесені до корисної роботи машини, визначають за формулою [17]

$$W = \frac{1}{\eta_m \cdot K_3} \cdot \left[K_3 + \frac{\alpha \cdot (1 - \eta_{MH})}{K_T} \right],$$

де η_m – ККД робочої машини;

K_3 – коефіцієнт завантаження машини, $K_3 = \frac{P_m}{P_{MH}}$;

P_m – потужність, яку споживає робочий орган машини, кВт;

P_{MH} – номінальна потужність робочої машини, кВт;

α – коефіцієнт, який залежить від типу і конструкції робочої машини, $\alpha = 0,7 - 0,9$;

η_{MH} – ККД робочої машини при повному завантаженні;

K_T – коефіцієнт використання робочої машини, $K_T = \frac{t_m}{t_m + t_{x.x.}}$;

t_m – час корисної роботи машини, год;

$t_{x.x.}$ – час роботи на холостому ходу, год.

При відсутності холостого ходу ($K_T = 1$) питомі витрати електроенергії

$$W' = \frac{K_3 + \alpha \cdot (1 - \eta_{MH})}{\eta_m \cdot K_3}.$$

При максимальному використанні робочої машини, тобто при відсутності холостого ходу і повному завантаженні машини ($K_3 = 1$), питомі витрати електроенергії будуть мінімальними

$$W'' = \frac{1 + \alpha \cdot (1 - \eta_{MH})}{\eta_{MH}}.$$

Відношення $\beta = W' / W''$ визначає коефіцієнт підвищення питомих витрат електроенергії в залежності від завантаження і тривалості роботи в режимі холостого ходу

$$\beta = \frac{K_3 \cdot K_T + \alpha \cdot (1 - \eta_{MH})}{[1 + \alpha \cdot (1 - \eta_{MH}) \cdot K_3 \cdot K_T]}.$$

Сумісний розгляд характеристик електродвигуна і робочої машини допомагає вирішити такі важливі для вибору привода питання,



як достатня потужність двигуна, можливість зрушення з місця, розгін до номінальної швидкості в заданий час.

Маючи характеристики електродвигуна і робочої машини можна визначити наступні показники:

1. Втрати енергії на холосте обертання машини.
2. Витрати енергії на виконання виробничої операції.
3. Загальну енергоємність операції, машини, процесу.
4. Ступінь досконалості машини, як відношення моментів завантаження і моментів статистичних опорів, які виникають внаслідок наявності холостих втрат.

5. Визначити оптимальну швидкість обертання машини з точки зору мінімальної енергоємності операції з урахуванням всіх факторів, які впливають на енергоємність.

6. Правильно визначити необхідний обертовий момент приводного двигуна, можливі завантаження.

Питанням втрат активної потужності в сучасних дослідженнях приділяються велика увага. Однак, окремо розглядаються як електродвигуни, так і робочі машини, Необхідно комплексно розглядати систему «електродвигун - робоча машина» [18, 19].

Як було досліджено, коефіцієнт завантаження працюючого електродвигуна

$$K_{зед} = \frac{\omega \cdot [M_0 + (M_n \cdot K_3 - M_0)]}{P_{2н}},$$

де ω – кутова швидкість робочої машини, рад/с;

M_0 – момент зрушення робочої машини, Н·м;

M_n – номінальний момент електродвигуна, Н·м;

K_3 – коефіцієнт завантаження робочої машини;

$P_{2н}$ – номінальна активна потужність електродвигуна, Вт.

Величина $(M_n \cdot K_3 - M_0) \cdot \omega$ представляє собою корисну активну потужність, а величина $M_0 \cdot \omega$ представляє собою активну потужність, яка витрачається на тертя.

Таким чином, вимірюючи кутову швидкість електродвигуна можна визначити, з одного боку – втрати активної потужності в робочій машині, а з другого – корисну активну потужність, яка споживається робочою машиною. За цими даними можна розрахувати коефіцієнт завантаження електродвигуна і втрати активної потужності в електродвигуні.

Дослідження ступеня завантаження енергетичного обладнання показали, що коефіцієнт завантаження енергетичного обладнання



змінюється в широких межах: для стрічкового транспортера ЛТ-10 – 0,4...1,5 (рис. 2), для зерноавантажувачів ЗПС-60 (рис. 3), ЗП-40 (рис. 4) – 0,7...1,0, для очищувача вороху ОВП-20 – 0,7...1,2 (рис. 5).

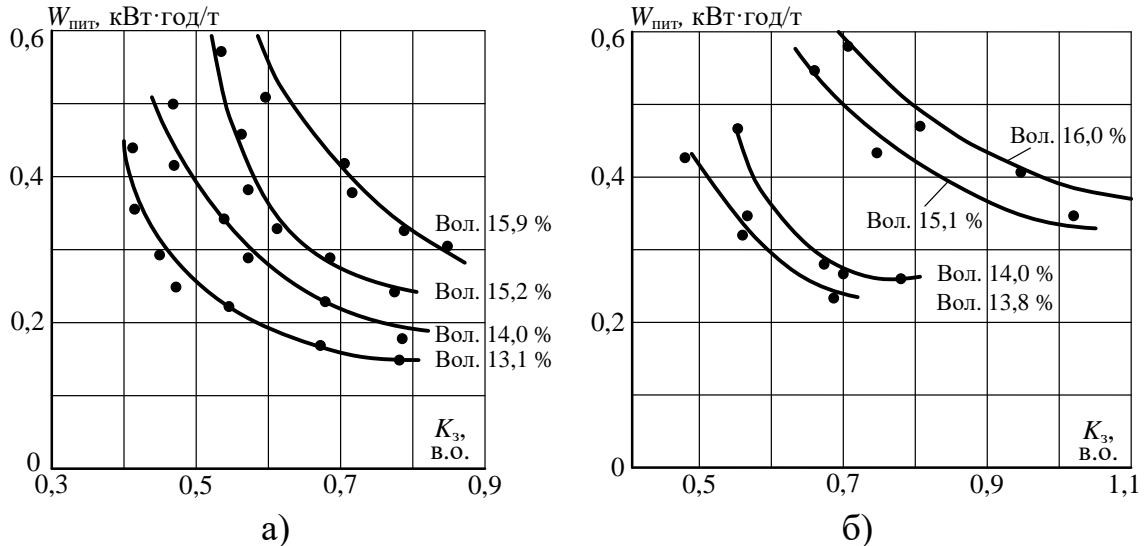


Рисунок 2. Залежність питомої витрати електроенергії $W_{\text{пит}}$ від коефіцієнта завантаження електродвигуна $K_з$ при транспортуванні транспортером ЛТ-10: а) пшениці, б) ячменя

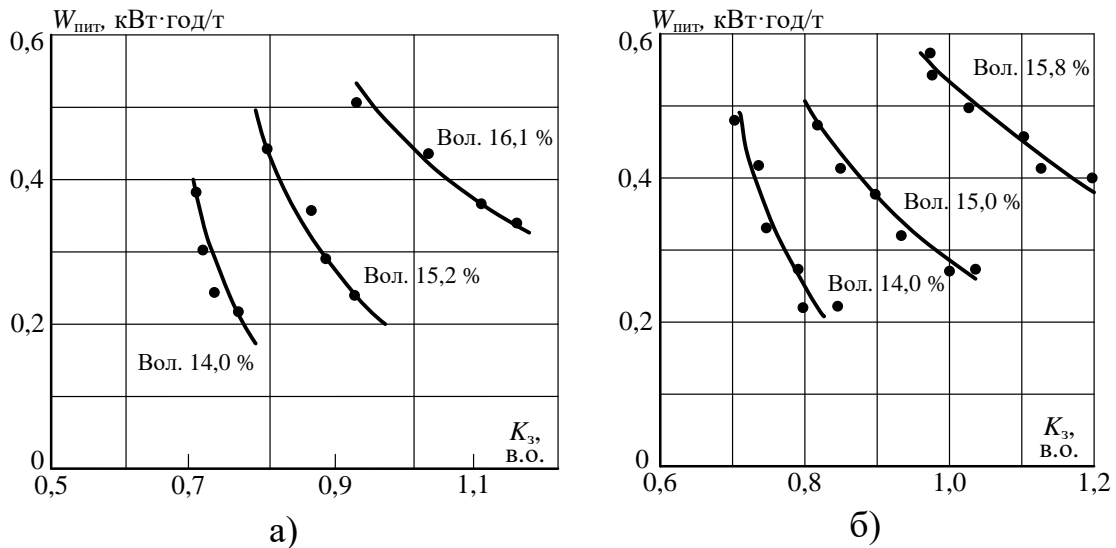


Рисунок 3. Залежність питомої витрати електроенергії $W_{\text{пит}}$ від коефіцієнта завантаження електродвигуна $K_з$ при транспортуванні зерноавантажувачем ЗПС-60: а) пшениці, б) ячменя

При дослідженні було встановлено, що при переміщенні зерна стрічковим транспортером питомі витрати електроенергії будуть при роботі з легковісним зерном (ячмінь, рис) більші, ніж з ваговитим зерном (пшениця).

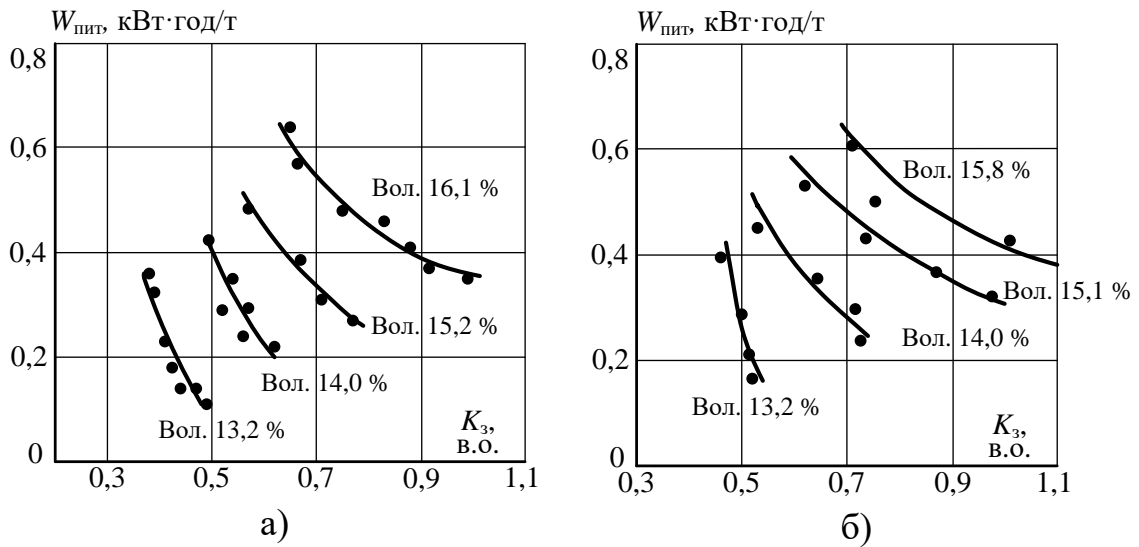


Рисунок 4. Залежність питомої витрати електроенергії $W_{\text{пит}}$ від коефіцієнта завантаження електродвигуна $K_з$ при транспортуванні зернонавантажувачем ЗП-40: а) пшениці, б) ячменя

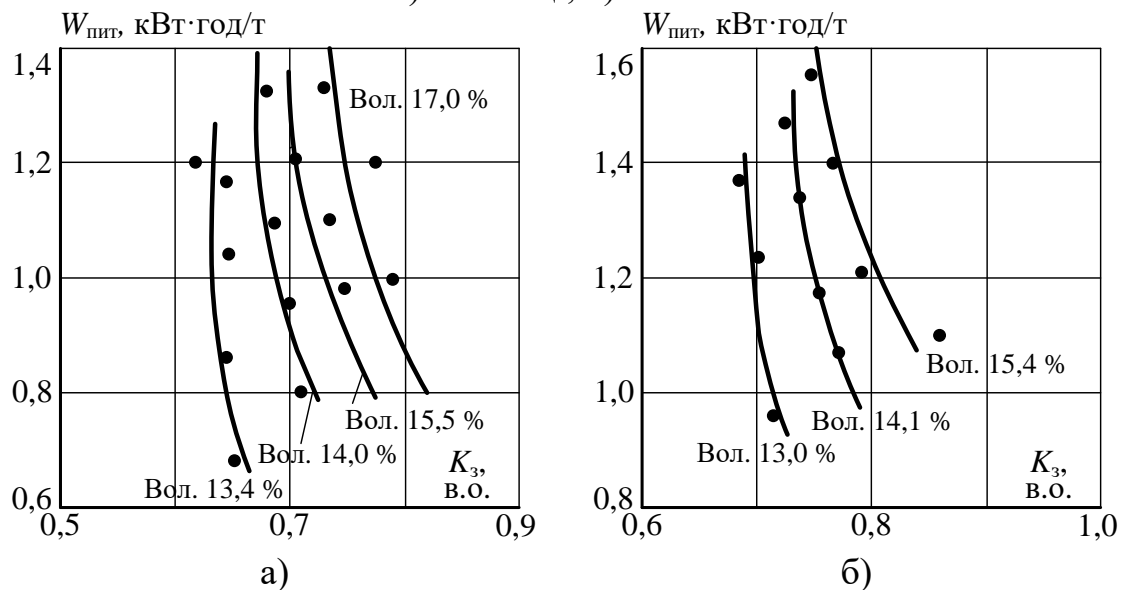


Рисунок 5. Залежність питомої витрати електроенергії $W_{\text{пит}}$ від коефіцієнта завантаження електродвигуна $K_з$ при очищенні на ОВП-20: а) пшениці, б) ячменя

Пояснюється це тим, що при транспортуванні більш важчого зерна коефіцієнт завантаження механізмів підвищується, а питомі витрати електроенергії знижуються.

Висновки. На основі експериментальних досліджень встановлено, що з фізико-механічних факторів найбільший вплив на електроспоживання надають вид культури і вологість зерна, а з енергетичних факторів – коефіцієнт завантаження електродвигунів.



Електродвигуни, які завантажені лише на 45 % номінальної потужності, доцільно замінити. При завантаженні більше 75 % номінальної потужності електродвигуни не замінюють. В межах 45...75 % номінальної потужності заміну проводять при підтвердженні розрахунком економічної доцільності такої операції.

Проведені дослідження мають практичне значення, так як є основою для розробки науково-обґрунтованих норм електроспоживання технологічного процесу очищення зерна [12].

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. Soldatenko L. S., Hornishnyi O. V. Clarification of the methods used for calculating power of sieve separators. *Зернові продукти і комбікорми = Grain products and Mixed Fodder's*. 2018. Vol. 18, № 1.4. P. 47-50.
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. Jiang Sheng-Long, Zhang Long. 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.
6. Котов Б. І. Перспективи розвитку конструкцій зернонасінеочисної техніки. *Конструювання, виробництво та експлуатація с.-г. машин*. Кіровоград, 2001. Вип. 31. С. 110-112.
7. 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.
8. Soldatenko L. S., Ostrovkyi I. A. Improvement of the collector output device of the disk separators. *Зернові продукти і комбікорми = Grain Products and Mixed Fodder's*. 2019. Vol. 19, № 1.2. P. 48-50.
9. 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. 111-118.
10. 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. DOI: 10.1007/978-3-030-14918-5_41.

11. 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.

12. 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*. Харків, 2008. № 30. С. 511-512.

13. Назарьян Г. Н., Постникова М. В., Карпова А. П. Решение задач оптимизации объектов исследования методом планирования математического эксперимента. Мелитополь: Люкс, 2012. 68 с.

14. Головнов А. Н. Как правильно выбрать зерноочистительную машину. *Техника и оборудование для села*. 2003. Июль. С. 20-23.

15. Чуйко Г. В., Олейников В. Д. Повышение технического уровня зерноочистительной техники. *Техника и оборудование для села*. 2003. Май. С. 8-10.

16. Дидур В. А., Масюткин Е. П., 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.

17. Климова Г. Н. Электроэнергетические системы и сети. *Энергосбережение: учебное пособие для прикладного бакалавриата*. Москва: Юрайт, 2019. 179 с. URL: <https://urait.ru/bcode/433943> (дата звернення: 01.10.2021).

18. Начинов Д. С. Совершенствование линий для послеуборочной обработки зерна. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2005. № 1. С. 15-17.

19. Дринча В. П., Стягов В. С., Шахсаидов Б. И., Ратенков С. В. Проблемы и перспективы использования агрегатов ЗАВ и комплексов КЗС. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2002. № 3. С. 31-33.

Стаття надійшла до редакції 22.11.2021 р.

M. Postnikova, O. Kovalov, V. Petrov
Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University

RESEARCH OF LOADING OF POWER EQUIPMENT WORKING MACHINES GRAINS

Summary

One of the most urgent tasks of the XXI century is energy conservation, and the key point in this area is to control the efficiency of energy use. Based on experimental studies,



it was found that their physical and mechanical factors have the greatest influence on energy consumption by the type of crop and grain moisture, and from the energy factors - the load factor of the electric motors.

Research has been carried out on the loading of power equipment of production lines and individual machines of grain cleaning stations in order to ensure maximum use of working machines and reduce their idle runs, which will save 8-10 % of electricity. The operation of asynchronous motors in idle mode is impractical due to high consumption of electrical energy in the motor itself and an increase in losses in electrical networks. To determine the savings in electrical energy when loading working machines, the specific consumption of electrical energy was determined. In practice, motors are sometimes not fully loaded.

This happens with incorrect calculations of the electric drive and under loading of the working machine. In both cases, the specific consumption of electricity per unit of useful work increases. The study of the degree of utilization of power equipment showed that the load factor of power equipment varies within wide limits: for the belt conveyor LT-10 – 0,4...1,5 for the heap cleaner ОВП-20 – 0,7...1,2, for grain loaders ZP-40, VPP-60 – 0,7...1,0. The research carried out is of practical importance, as it is the basis for the development of scientifically grounded norms of power consumption of the technological process of grain cleaning.

Key words: grain cleaning station, loading of working machines, electric drive, specific consumption of electrical energy, energy saving.

М. В. Постникова, А. В. Ковалёв, В. А. Петров

**Таврический государственный агротехнологический университет
имени Дмитрия Моторного**

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРУЗКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ РАБОЧИХ МАШИН ЗЕРНОПУНКТОВ

Аннотация

Проведены исследования загрузки энергетического оборудования поточных линий и отдельных машин зернопунктов с целью обеспечения максимального использования рабочих машин и сокращения их холостых ходов, что позволит экономить 8-10 % электроэнергии. На практике электродвигатели иногда не имеют полной загрузки. Это происходит при неправильных расчетах электропривода и недогрузки рабочей машины. В обоих случаях увеличиваются удельные расходы электроэнергии на единицу полезной работы.

Исследование степени загрузки энергетического оборудования показали, что коэффициент загрузки энергетического оборудования меняется в широких пределах: для ленточного транспортера ЛТ-10 – 0,4...1,5 для очистителя вороха ОВП-20 – 0,7...1,2, для зернопогрузчиков ЗП-40, ВПП-60 – 0,7...1,0.

Проведенные исследования имеют практическое значение, так как является основой для разработки научно-обоснованных норм электропотребления технологического процесса очистки зерна.

Ключевые слова: зернопункт, загрузка рабочих машин, электропривод, удельные расходы электроэнергии, экономия электроэнергии.