Сведения об авторе

Снежко Андрей Владимирович – канд. техн. наук, доцент кафедры теоретической и прикладной механики Азово-Черноморской государственной агроинженерной академии (г. Зерноград). Тел.: 8-908-195-70-06. E-mail: avsnzk@rambler.ru.

Information about the author

Snezhko Andrei Vladimirovich – Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Theoretical and applied mechanics department, Azov-Black Sea State Agroengineering Academy (Zernograd). Phone: 8-908-195-70-06. E-mail: avsnzk@rambler.ru.

УДК 621.311:664.72

АНАЛИЗ МЕХАНИЧЕСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАШИН ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

© 2013 г. ***Ю.Н. Куценко, М.В. Постникова***

Проанализированы механические и производственные характеристики сельскохозяйственных машин поточных линий зерноочистительных агрегатов с целью анализа потерь активной мощности в системе «электродвигатель – рабочая машина».

Ключевые слова: механическая характеристика, потери активной мощности, полезная активная мощность, потребляемая мощность.

Analyzed the characteristics of mechanical and manufacturing of agricultural machinery production lines winnowing units in order to analyze the losses of active power in the «electric motor – working machine».

Key words: mechanical characteristics, active power losses are useful active power, power consumption.

Постановка проблемы. Одной из важных проблем современной теории сельскохозяйственных машин является проблема динамики электрифицированных агрегатов. Современные системы управления рабочими машинами поточных линий зернопунктов, которые построены по принципу обеспечения номинальной загрузки приводных электродвигателей, не выполняют задачи эффективного использования электроэнергии, что не обеспечивает обработку зерна с минимально возможными затратами электроэнергии [1].

Анализ последних исследований. Совместное рассмотрение характеристик электродвигателя и рабочей машины помогает решить такие важные для выбора привода вопросы, как достаточная мощность двигателя, минимальный удельный расход электроэнергии, возможность трогания с места, разгон до номинальной скорости в заданное время и так далее [2–7].

Формулировка целей статьи. Целью статьи является комплексный анализ потерь активной мощности в системе «электродвигатель – рабочая машина».

Основная часть. Рассматривая сельскохозяйственный электропривод как сочетание двигателя и рабочей машины следует указать, что при правильном проектировании необходим учёт не только свойств двигателя, но и характеристик рабочей машины.

В период пуска электроприводов машины включаются в работу вместе с двигателем и дают ему нагрузку, вызванную потерями на трение и другими факторами. Двигатель в этом случае в основном работает только на ускорение движущихся частей рабочей машины и своих собственных

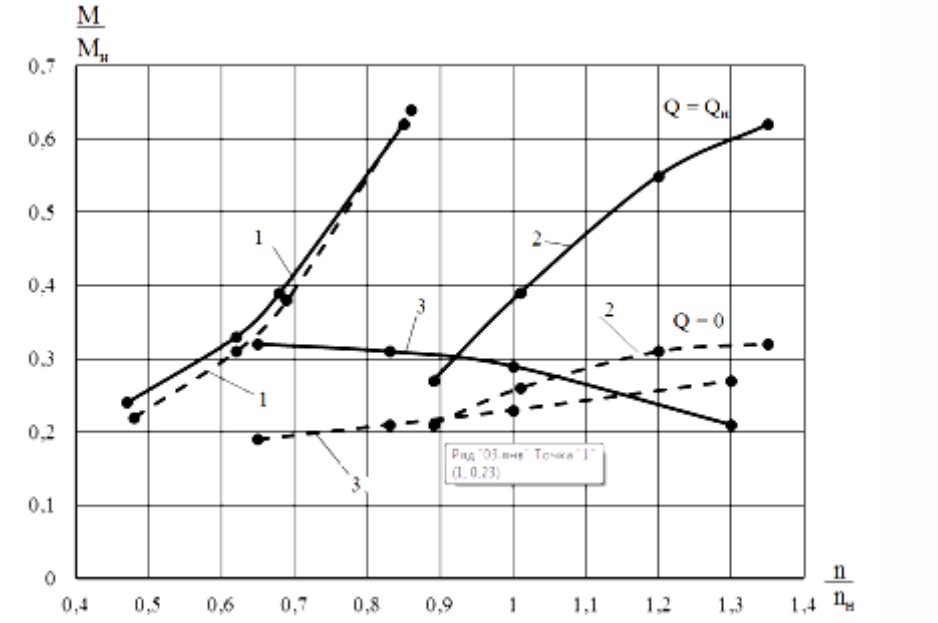
до номинальной скорости вращения. При пуске двигателя под нагрузкой одновременно с увеличением скорости вращения привода преодолевается и определённая нагрузка, создаваемая при обработке продукта. Одним из основных показателей работы системы двигатель – машина является момент сопротивления M_c.

Для зерноочистительной машины зависимость $M_c = f(t)$ имеет пульсирующий характер с определённой частотой и амплитудой колебаний. Частота колебаний момента сопротивления в установившемся режиме при номинальной скорости составляет 24…25 колебаний в секунду. Механическая характеристика $M_c = f(n)$ представлена на рисунке 1 [1]. Относительно небольшое увеличение частоты вращения приводит к значительной загрузке двигателя и соответственно к росту момента сопротивления.

Момент сопротивления триерного блока складывается из момента сопротивления без нагрузки M_{C1} и с зерном M_{C2}:

$$M_C = M_{C1} + M_{C2} + M_{C3} \qquad (1)$$

Кроме этих моментов есть ещё третья составляющая M_{C3}. Некоторая часть зерна не достигает максимального угла затаскивания (скольжения) зерна в движущемся триерном цилиндре и скатывается с поверхности цилиндра.



1 – зерноочистительная машина, 2 – триерный блок, 3 – нория загрузки [2]
Рисунок 1 – Механические характеристики машин зерноочистительного агрегата (пунктир – холостой ход, сплошная линия – под нагрузкой)

Составляющая M_{C3} создаёт пульсирующий момент сопротивления на валу электрического двигателя с различной амплитудой, но с одинаковой частотой, зависящей от угловой скорости барабана триера, так как в период скатывания $M_{C3} \rightarrow 0$. Затем зёрна, не уложившиеся в ячейки, снова начинают подъём [2]. Диаграмма нарастания момента сопротивления триерного блока имеет плавный пульсирующий характер. Частота пульсаций при номинальном скоростном режиме барабанов составляет 5 колебаний в секунду. Зависимость момента сопротивления от скорости $M_c = f(n)$ имеет форму кривой, подобной параболе (рисунок 1), и выражается эмпирической формулой [2]

$$M_C = an^2 + bn + c, \qquad (2)$$

где a, b, c – коэффициенты, которые определяются с помощью метода наименьших квадратов.

Механическая характеристика триерного блока выражается закономерностью, описывающей явление, протекающее в вентиляторе, то есть с изменением скорости вращения барабанов момент сопротив-

ления растёт, так как увеличивается маховой момент.

Нория загрузки – одна из машин, наиболее подверженных колебаниям нагрузки. Это объясняется видом обрабатываемой продукции, качественными показателями и так далее. Момент сопротивления нории имеет пульсирующий характер, объясняющийся условиями работы. Частота пульсаций нагрузочной диаграммы зависит от скорости движения ленты с ковшами. Отличительной особенностью механических характеристик нории является то, что при $Q = 0$ (холостой ход нории) они имеют вид, подобный параболе с возрастанием момента сопротивления при увеличении скорости ленты с ковшами.

Механическая характеристика нагруженной нории при $Q = const$. и изменяющейся частоте вращения (рис. 1) имеет убывающий характер и близка к параболе. Это объясняется тем, что с увеличением скорости ленты нории уменьшается полезная нагрузка зерном на 1 погонный метр вследствие уменьшения коэффициента заполнения ковшей [2].

Таким образом, имея указанные характеристики и производя их анализ, можно определить следующие показатели:

1 Потери энергии на холостое вращение машины.

2 Затраты энергии непосредственно на выполнение производственной операции.

3 Общую энергоёмкость операции, машины, процесса.

4 Степень совершенства машины, как отношение момента нагрузки и момента статических сопротивлений, возникающего вследствие наличия холостых потерь.

5 Определить оптимальную скорость вращения машины с точки зрения минимальной энергоёмкости операции и с учётом всех факторов, оказывающих влияние на энергоёмкость.

6 Правильно определить необходимый вращающий момент приводного двигателя, возможные нагрузки и так далее.

В поточных технологических линиях агропромышленного комплекса наблюдаются значительные потери активной мощности как в приводных электродвигателях, так и в рабочих машинах.

Вопросам потерь активной мощности в современных исследованиях уделяется большое внимание. Однако отдельно рассматриваются как электродвигатели, так и рабочие машины.

Как известно, в системе «электродвигатель – рабочая машина» кроме полезной активной мощности, расходуемой на выполнение требуемой работы по переработке продукции, наблюдаются потери активной мощности как в приводном электродвигателе, так и в рабочей машине. Были исследованы эти потери на примере зерноочистительной машины по методике [5].

Мощность, потребная для работы решётного стана с прямолинейными колебаниями от эксцентрикового привода, можно определить по формуле [3, с. 136]

$$P_C = \frac{G \cdot J_0^2}{460 \cdot n \cdot \eta_M}, \qquad (3)$$

где G – масса решётного стана, кг;

J_0 – оптимальное ускорение решета, м/с^2;

– число колебаний решётного стана, колебаний/мин.

– коэффициент полезного действия машины.

Решающее влияние на движение зерна по решету оказывает максимальное ускорение $\omega^2 \cdot e$ колебательного движения решета, определяющее скорости, режимы и характер движения зерна. При значительной толщине слоя зерна на решете приходится сообщать решету значительное ускорение для того, чтобы мелкие частицы могли проникнуть через слой и достигнуть отверстия решета, т.е. при разных загрузках решета следует применять различные максимальные ускорения $j = \omega^2 \cdot e$ [2]. Значение j, соответствующее наибольшей степени извлечения при данной загрузке решета, называется оптимальным j_0. Оно определяет оптимальный кинематический режим работы решета, который зависит от подачи на единицу ширины решета, угла наклона решета к горизонту, угла направления колебаний, а также от рода решета,

размера и формы его отверстий и вида зернового материала [3].

$$j_0 = 4{,}2 \cdot \sqrt{\frac{q_в}{\gamma}}, \quad (4)$$

где $q_в$ – производительность, отнесённая к единице ширины решета, кг/ч·дм;

γ – угол между направлением колебаний и плоскостью решета, град.

$$\gamma = \alpha + \beta,$$

где – угол наклона плоскости решета к горизонту, град.;

– угол направления колебаний решета по отношению к горизонту, град.

$$j_0^2 = 17{,}64 \cdot \frac{q_в}{\gamma}, \qquad j_0^2 = 17{,}64 \cdot \frac{Q_H \cdot 10^3}{B \cdot \gamma},$$

$$P_C = \frac{17{,}64 \cdot k_з \cdot Q \cdot G \cdot 10^3}{460 \cdot B \cdot \gamma \cdot n \cdot \eta_M} = \frac{38{,}348 \cdot k_з \cdot Q \cdot G}{B \cdot \gamma \cdot n \cdot \eta_M},$$

где $k_з$ – коэффициент загрузки зерноочистительной машины;

Q_H – номинальная производительность зерноочистительной машины, кг/с;

B – ширина решета, дм.

Полезная активная мощность, потребляемая зерноочистительной машиной,

$$P = \frac{38{,}348 \cdot k_з \cdot Q_H \cdot G}{B \cdot \gamma \cdot n}.$$

Работа двигателя, приводящего в движение решётный стан, расходуется на сообщение качающимся массам кинетической энергии $\frac{m \cdot v^2}{2}$. Эта работа затрачивается в первой половине каждого хода стана и теоретически должна возвращаться качающимися массами во второй половине хода.

Потери активной мощности в зерноочистительной машине

$$P = \frac{38{,}348 \cdot k_з \cdot Q_H \cdot G}{B \cdot \gamma \cdot n \cdot \eta_M} - \frac{38{,}348 \cdot k_з \cdot Q_H \cdot G}{B \cdot \gamma \cdot n}.$$

Таким образом, получена зависимость потерь активной мощности в зерноочистительной машине в функции производительности зерноочистительной машины, при заданных значениях веса решётного стана, ширины решета, угла между направлением колебаний и плоскостью решета, числа колебаний решётного стана и номинального коэффициента полезного действия передачи.

Были исследованы потери активной мощности в зерноочистительной машине типа ЗАВ-10.30000 с приводным электродвигателем типоразмера 4А80А4УПУ3 с номинальной мощностью 1,1 кВт. Расчётные данные занесены в таблицу 1.

Таблица 1 – Расчётные данные потерь активной мощности

Показатель	Значение величины											
$к_з$	0,1	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,25
$P_с$, Вт	226	278	304	331	383	435	487	539	591	644	696	826
P, Вт	52	104	130	157	209	261	313	365	417	470	522	652
P_0, Вт	174	174	174	174	174	174	174	174	174	174	174	174
$к_{зэд}$	0,21	0,25	0,28	0,30	0,35	0,40	0,44	0,49	0,54	0,59	0,63	0,75
$\Delta P_{эд}$, Вт	75	93	101	110	128	145	162	180	197	215	232	275
ΔP, Вт	249	267	275	284	302	319	336	354	371	389	406	449
$к_п$	1,1	0,96	0,91	0,86	0,79	0,73	0,69	0,66	0,63	0,6	0,58	0,54
Q, кг/с	0,28	0,56	0,69	0,83	1,11	1,39	1,67	1,94	2,22	2,5	2,78	3,47
$w_{уд}$, Дж/кг	898	480	397	341	271	230	202	182	167	155	146	129

На рисунках 2 и 3 приведены зависимости коэффициента потерь активной мощности в системе «электродвигатель – рабочая машина» в функции активной мощности, потребляемой зерноочистительной машиной, и удельных потерь энергии в системе в функции производительности зерноочистительной машины.

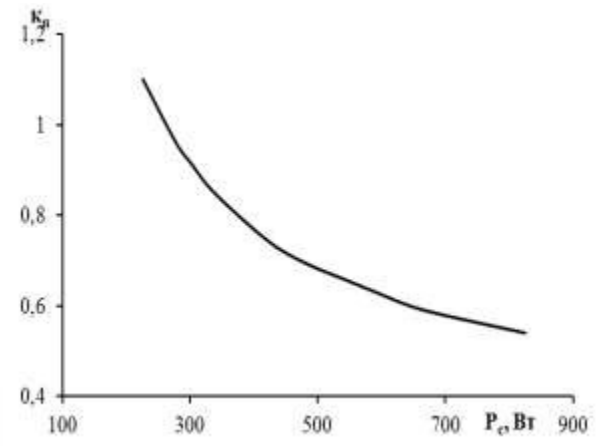


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента потерь активной мощности в функции активной мощности, потребляемой зерноочистительной машиной

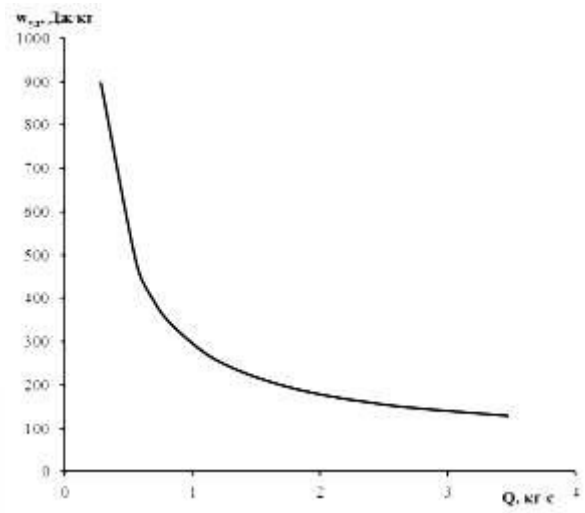


Рисунок 3 – Зависимость удельных потерь энергии в функции производительности зерноочистительной машины

Выводы

В качестве критерия оценки энергосберегающих режимов работы электромеханических систем при обработке зерна предложены удельные потери активной энергии на единицу продукции с учётом фактической загрузки оборудования, которые обеспечивают оптимизацию производительности рабочих машин с минимумом удельных потерь энергии. Как показывают результаты исследования, зависимость удельных потерь энергии в системе «электродвигатель – рабочая машина» в функции производительности носит убывающий характер. Как видно из рисунка 3 и таблицы 1, минимум удельных потерь активной энергии $W_{уд.мин}$ =129 Дж/кг достигается при Q = 3,47 кг/с. Это позволяет создать оптимизационные системы загрузки зерноочистительной машины.

Литература

1. Електропривод: Підручник / Ю.М. Лавріненко, О.С. Марченко, П.І. Савченко, О.Ю. Синявський, Д.Г. Войтюк, В.П. Лисенко; за ред. Ю.М. Лавріненка. – Київ: Ліра-К, 2009. – 504 с.

2. Громак, В.В. Анализ статических и динамических характеристик электропривода машин зерноочистительного агрегата / В.В. Громак, Н.А. Устименко // Сборник работ по механизации и электрификации

сельскохозяйственного производства / ВНИИМЭСХ. – Москва, 1969. – Вып. 11. – С. 186–197.

3. Машины для послеуборочной по- точной обработки семян. Теория и расчёт машин, технология и автоматизация про- цессов / под ред. З.Л. Тица. – Москва: Ма- шиностроение, 1967. – 448 с.

4. Карпова, А.П. Исследование влия- ния технических и технологических факто- ров на электропотребление при подработ- ке зерна на юге УССР: автореферат дис- сертации кандидата технических наук / А.П. Карпова. – Киев, 1981. – 21 с.

5. Постникова, М.В. Исследование потерь активной мощности в системе «электродвигатель – рабочая машина» / М.В. Постникова, Р.В. Телюта // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2011. – Вип. 11, Т. 4. – С. 130–134.

6. Степанчук, Г.В. Энергосберегаю- щий многоскоростной электропривод су- шильного барабана агрегата АВМ-0,65: ав- тореферат диссертации кандидата техниче- ских наук / Г.В. Степанчук. – Краснодар, 1995. – 26 с.

7. Постнікова, М.В. Енергозберігаючі режими роботи електромеханічних систем обробки зерна на зернопунктах: авторефе- рат диссертации кандидата технических наук / М.В. Постнікова. – Мелітополь, 2011. – 22 с.

Сведения об авторах

Куценко Юрий Николаевич – д-р техн. наук, доцент, зав. кафедрой автоматизированного электропривода Таврического государственного агротехнологического университета (г. Мелитополь, Украина). E-mail: kucenko2010@gmail.com, tdatu.kaf.aep@mail.ru.

Постникова Марина Викторовна – канд. техн. наук, ст. преподаватель кафедры автоматизированного электропривода Таврического государственного агротехнологического университета (г. Мелитополь, Украина). E-mail: tdatu.kaf.aep@mail.ru.

Information about the authors

Kutsenko Yuriy Nikolayevich – Doctor of Technical Science, associate professor, chief of Automated electric drive department, Tavria State Agrotechnological University (Melitopol, Ukraine). E-mail: kucenko2010@gmail.com, tdatu.kaf.aep@mail.ru.

Postnikova Marina Viktorovna – Candidate of Technical Sciences, senior lecturer of Automated electric drive department, Tavria State Agrotechnological University (Melitopol, Ukraine). E-mail: tdatu.kaf.aep@mail.ru.