

*к.т.н, доц. Заблодский Н.Н.,
аспирант Филатов М.А.,
аспирант Квасов В.А.,
аспирант Лунанов А.А.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИ ПОДОБНЫХ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Запропоновано методу оцінки коефіцієнта корисної дії для геометрично подібних поліфункціональних електромеханічних перетворювачів, в яких корисна потужність містить теплову і механічну компоненти вихідної потужності.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. На предприятиях горно-металлургического и агропромышленного комплексов Украины существует проблема замены энергоемких электротехнических комплексов, выполняющих технологические операции сушки, нагрева и плавления, транспортирования, дробления, сухого обогащения сырья и включают отдельные для этих операций единицы оборудования. Проблема энерго- и ресурсосбережения в этих отраслях может решаться по двум основным направлениям: а) снижение потребления топлива и газа или переход на электропитание оборудования для получения тепловой энергии; б) снижение количества единиц оборудования за счет внедрения полифункционального оборудования. Полифункциональные электромеханические преобразователи объединяют эти два направления и, что очень важно, предусматривают использование диссипативной составляющей энергии в технологических процессах [1, 2]. Поскольку полифункциональные электромеханические преобразователи (ПЭМП) представляют новый класс электромеханических систем, весьма актуальным является поиск решений круга научно-практических задач, формирующих методологию их создания.

Анализ исследований и публикаций. В отличие от традиционных электрических машин КПД ПЭМП определяется произведением электрического и теплового КПД, соответствующих двум составляющим выходной энергии. Процессы, происходящие в ПЭМП, подчиняются законом электромеханики, но появление новых признаков, связан-

ных с структурной, функциональной и тепловой интеграцией, новым подходом к использованию всего гармонического состава магнитного поля для формирования механических характеристик и необходимой доли полезной тепловой энергии, требует глубоких теоретических и экспериментальных исследований, по части из которых получены определенные результаты [3,4,5]. Вместе с тем, итоговая оценка преобразования энергии в ПЭМП требует новой идеологии как в оценке энергоэффективности различных модификаций, так и определенных методов определения КПД геометрически подобных ПЭМП.

Постановка задачи. Определение КПД и степени использования геометрически подобных ПЭМП.

Изложение материала и его результаты. Полезная мощность ПЭМП содержит две компоненты: механическая выходная мощность и тепловая выходная мощность. Для электрических машин традиционного исполнения и назначения оптимальная механическая нагрузка, при которой достигается максимальное значение КПД, определяется по выражению $\beta_{opt} = \sqrt{P_o/P_{м.н}}$, где P_o - потери холостого хода, $P_{м.н}$ - потери в меди при номинальной нагрузке.

Для ПЭМП определение β_{opt} теряет смысл, поскольку все виды потерь активной мощности относятся к полезной тепловой мощности, а максимум общего КПД ПЭМП определяется максимумом теплового КПД, т.е. условиями, когда теплоотдача в окружающую среду, не относящуюся к рабочей нагрузочно – охлаждающей среде (РНОС), минимальна.

Для ПЭМП погружного типа потери тепла могут быть сведены к минимуму путем использования штанг крепления ПЭМП из материала с низкой теплопроводностью. Для шнековых ПЭМП основной канал потерь тепла связан с удалением паровоздушной смеси, температура которой достигает 110°C. Однако применение теплообменников для рекуперации энергии пара путем его конденсации позволяет вернуть в систему до 70% этой энергии.

Сравнение массогабаритных характеристик комплекса оборудования действующих технологий сушки и ПЭМП позволяет сделать следующие выводы:

- совмещение исполнительного механизма, нагревателя и электропривода в ПЭМП обеспечивает снижение массы и габаритов комплекса почти вдвое;
- применение режима противовключения модулей ПЭМП исключает необходимость применения механического редуктора.

В геометрически подобных ПЭМП (при неизменном числе полюсов) также как и в электрических машинах традиционной конструкции

[6] мощность пропорциональна четвертой степени линейных размеров: $P/2p = K \cdot L^4$. При этих условиях вес ПЭМП G , стоимость материалов C_M пропорциональны объемам, т.е. кубу линейных размеров:

$$G = K_2 \cdot L^3 = K_3 \cdot \left(\frac{P}{2p}\right)^{3/4} \cdot 2p, \quad (1)$$

$$C_M = K_4 \cdot L^3 = K_5 \cdot \left(\frac{P}{2p}\right)^{3/4} \cdot 2p. \quad (2)$$

Тепловая мощность, передаваемая продукту, при этом пропорциональна лишь квадрату линейных размеров:

$$P_T = K_6 \cdot L^2 = K_7 \cdot \left(\frac{P}{2p}\right)^{1/2} \cdot 2p. \quad (3)$$

Вес и стоимость на единицу мощности обратно пропорциональны линейным размерам или мощности на полюс в степени 1/4 [6]:

$$\frac{G}{P} = \frac{K_3 \cdot (2p)^{1/4}}{P^{1/4}}; \quad \frac{C_M}{P} = \frac{K_5 \cdot (2p)^{1/4}}{P^{1/4}}. \quad (4)$$

Тепловая мощность на единицу мощности (на полюс) обратно пропорциональна квадрату линейных размеров или мощности на полюс в степени 1/2:

$$\frac{P_T}{P} = \frac{K_7 \cdot (2p)^{1/2}}{P^{1/2}}. \quad (5)$$

Общий КПД ПЭМП определяется по выражению: $\eta_o = \eta_{эл} \cdot \eta_T$, где $\eta_{эл}$ - электрический КПД; η_T - тепловой КПД.

Значение электрического КПД ПЭМП с воздушным охлаждением с ничтожной погрешностью можно оценить по формуле:

$$\eta_{эл} = \frac{P}{P + P_{вент}}, \quad (6)$$

где P – потребляемая активная мощность ПЭМП;

$P_{вент}$ – потребляемая активная мощность вентилятора.

Тепловой КПД можно определить по формуле:

$$\eta_T = \frac{\alpha \cdot S_{TO} \cdot \Delta T}{P_{M1} + P_{M2} + P_{ст} + P_{мех} + P_{доб}} = \frac{P_T}{P - P_{2мех}}, \quad (7)$$

где α – коэффициент теплообмена на поверхности теплосъема S_{TO} ; ΔT – разница температур внешней поверхности ротора и продукта;

P_{M1} , P_{M2} , $P_{ст}$, $P_{мех}$, $P_{доб}$ – мощности тепловыделений соответственно в обмотке статора, роторе, стали статора, подшипниковых узлах и от высших гармоник;

P_T – тепловая мощность, переданная перерабатываемому продукту;

$P_{2мех}$ – полезная механическая мощность ПЭМП.

Таким образом, КПД геометрически подобных ПЭМП при постоянстве удельных нагрузок $B_\delta \cdot A$ будет изменяться по закону:

$$\eta_o = \frac{P^{3/2} \cdot K_7 \cdot (2p)^{1/2}}{(P + P_{вент}) \cdot (P - P_{2мех})}. \quad (8)$$

Асинхронные машины удобно характеризовать так называемой добротностью (отношение развиваемого машиной вращающего момента M к приведенному вторичному току I_2') [7]. Указанная величина дает полное представление о возможной степени использования асинхронной машины по статору. ПЭМП с массивным ротором имеет большое преимущество перед асинхронной машиной традиционной конструкции при больших скольжениях вследствие более высокой добротности. Особенно это проявляется при скольжениях $S \geq 0,8$. Добротность ПЭМП по экспериментальным данным примерно в 2,3 раза выше добротности обычного асинхронного двигателя соответствующей мощности. Это позволяет при выборе удельных нагрузок для работы ПЭМП на низких частотах вращения величину линейной нагрузки брать на уровне тех значений, которые рекомендуются для обычных асинхронных двигателей для соответствующего числа полюсов $2p$. Например, выбор величины A ведем для частоты вращения $n = 750$ об/мин ($2p = 8$), т.е. примерно в 10 раз большем рекомендуемого значения A при данном объеме активной части и рабочей ($n = 75$ об/мин) скорости. При этом необходимо учитывать то обстоятельство, что шнековые ПЭМП фактически содержат две компоненты охлаждающей среды: внутренний съем тепла с активных частей за счет охлаждающего воздушного агента и внешний съем тепла с ротором с помощью РНОС. Это в целом позволяет приблизить удельные нагрузки к тем значениям, которые считают экономически целесообразными.

При росте мощности тепловыделений в «меди» P_{cu} , т.е. в статорной медной обмотке и ферромагнитном роторе, меняется соотношение $\varepsilon = P_{cu}/P_{Fe}$. В соответствии с экономически целесообразным распределением Видмара [6] соотношение стоимостей стали и меди также должно измениться $\gamma = C_{Fe}/C_{cu} > 1$.

Но для ПЭМП это означает увеличение габаритных размеров, т.е. увеличение характерного размера L и увеличение тепловой мощности, передаваемой продукту P_T . С этой точки зрения β_{opt} определяется уже из условий обеспечения устойчивой работы по механической характеристике и выходных характеристик материала, который перерабатывается.

Выводы.

1. Сравнение массогабаритных характеристик комплекса оборудования действующих технологий сушки и ПЭМП показывает, что совмещение исполнительного механизма, нагревателя и электропривода в ПЭМП обеспечивает снижение массы и габаритов комплекса почти вдвое, а применение режима противовключения модулей ПЭМП исключает необходимость применения механического редуктора.

2. Установлен закон изменения КПД геометрически подобных ПЭМП, в соответствии с которым КПД является степенной функцией потребляемой активной мощности и числа пар полюсов. При этом КПД более чувствителен к указанным аргументам в сравнении с традиционными электрическими машинами.

3. Добротность ПЭМП примерно в 2,3 раза выше добротности обычного асинхронного двигателя соответствующей мощности.

Предложена методика оценки коэффициента полезного действия для геометрически подобных полифункциональных электромеханических преобразователей, в которых полезная мощность содержит тепловую и механическую компоненты выходной мощности.

The method of estimation of output-input ratio is offered for geometrically similar polyfunctional electricomechanical transformers in which useful power contains thermal and mechanical components of launch power.

Библиографический список.

1. Пат. 5042 України, МКІ 7F26B17/18. Шнековий сушильний апарат/ М.М. Заблодський, В.М. Дорофєєв, В.Ф. Шинкаренко та інші.- №200112844; Заявлено 03.12.2001; Опубл. 17.01.2005, Бюл.№1. – 4с.

2. Пат. 39226 України, МКІ 7H05B6/10. Заглибний електронагрівач /М.М. Заблодський, В.І. Верімієнко, В.М. Бондарев – №98031637; Заявл. 31.03.1998; Опубл. 15.06.2001, Бюл. № 5. – 6с.

3. Васьковський Ю.Н., Заблодський Н.Н. Моделирование полей и характеристик электротепломеханических преобразователей технологического назначения // Технічна електродинаміка. Тем. вип. «Проблеми сучасної електротехніки», – К.: Ін-т електродинаміки НАН України, 2006. - ч.7.- С. 41-44.

4. Заблодський Н.Н., Плюгин В.Е. Проектирование электротепломеханических преобразователей для переработки сыпучих материалов // Технічна електродинаміка. Тем. вип. «Проблеми сучасної електротехніки», – К.: Ін-т електродинаміки НАН України, 2006. - ч.1.- С. 106-111.

5. Заблодський Н.Н. Модифицированный метод эквивалентных тепловых схем для анализа процессов в электротепломеханических преобразователях // Вісник Кременчуцького державного технічного ун-ту ім. М.Остроградського: - Кременчук, 2007. – Вип. 3/2007(44), ч.1 – С.121 – 124.

6. Постников И.М. Проектирование электрических машин. – К.: Гос. изд-во техн. литературы, 1960. – 908с.

7. Куцевалов В.И. Вопросы теории и расчета асинхронных машин с массивными роторами. – М. – Л.: Энергия, 1966. – 302с.

Рекомендовано к печати д.т.н., проф. Зеленовым А.Б.