

ИСТОЧНИКИ ПОЛЕЗНОЙ ТЕПЛОЙ МОЩНОСТИ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА НА БАЗЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОЛЫМ ПЕРФОРИРОВАННЫМ РОТОРОМ

Н. Н. ЗАБЛОДСКИЙ, доктор технических наук, профессор
*Национальный университет биоресурсов
и природопользования Украины*

E-mail: zablodskiynn@gmail.com

В. Ю. ГРИЦЮК, кандидат технических наук, доцент
Донбасский государственный технический университет

E-mail: grits.86@mail.ru

Аннотация. *Рассмотрены основные и дополнительные источники полезной тепловой мощности теплогенератора на базе асинхронного двигателя с полым перфорированным ротором, за счет которых достигается существенное повышение коэффициента полезного действия по сравнению с теплогенератором классической конструкции.*

Ключевые слова: *перфорированный ротор, диссипативная составляющая энергии, активное сопротивление, вихревые токи*

Актуальность. Полифункциональные электромеханические преобразователи относятся к новому классу электромеханических устройств [1] и представляют собой совмещенную техническую систему с полифункциональными свойствами, объединяющую в себе электромеханическую, механическую, тепловую и гидравлическую системы.

Анализ последних исследований и публикаций. На рис. 1. представлена одна из модификаций полифункциональных преобразователей – теплогенератор на базе асинхронного двигателя (АД), в котором используется полый перфорированный ротор (ППР), одновременно выполняющий функции ротора, исполнительного механизма, нагревателя и кавитационной камеры. При этом ротор охлаждается рабочей жидкостью, которая за цикл прохождения через теплогенератор подогревается за счет кавитационных процессов, основных электрических и магнитных потерь в роторе и статоре, а также внутреннего трения жидкости при гидродинамических перемещениях в воздушном зазоре, в результате чего достигается интенсификация процесса генерации тепла и повышение коэффициента полезного действия теплогенератора.

При подключении обмотки статора к трехфазной сети, образуется вращающееся магнитное поле, под действием которого в массивном роторе протекают вихревые токи, создается асинхронный момент и ротор вращается. При этом из-за поверхностного эффекта максимумы токов и температуры возникают на внешней поверхности ферромагнитного

цилиндра. Жидкость, которая перемещается в зазоре АД с ППР, активно взаимодействует с токопроводящим слоем ротора, поэтому тепловая мощность его потерь полностью расходуется на нагрев рабочей жидкости.

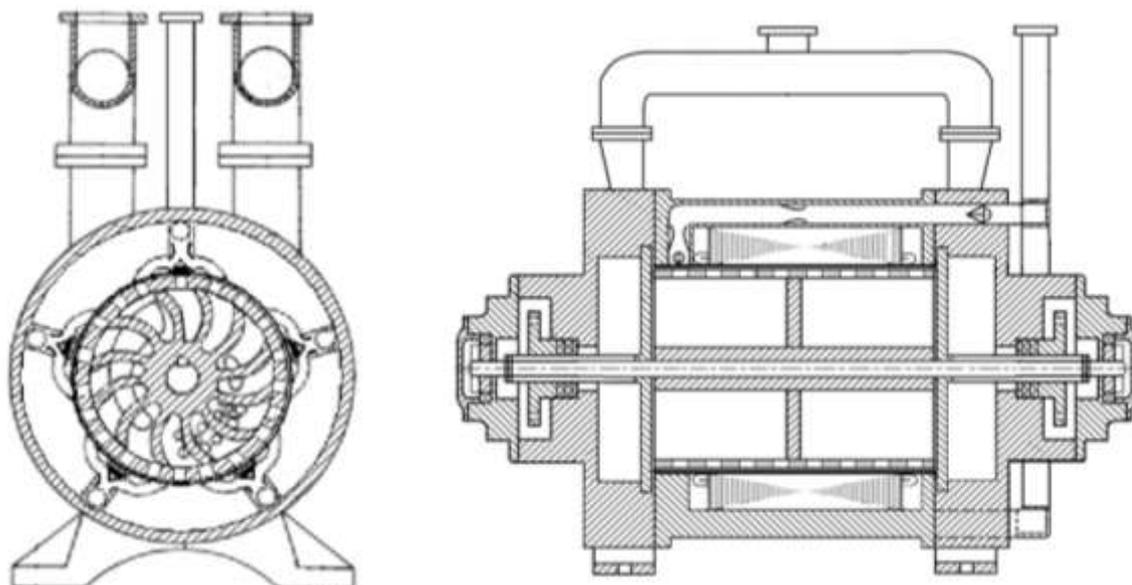


Рис. 1. Конструкция теплогенератора на базе асинхронного двигателя с полым перфорированным ротором

Цель исследования – определение основных и дополнительных источников полезной тепловой мощности теплогенератора на базе асинхронного двигателя с полым перфорированным ротором.

Материалы и методы исследования. Исследования проводились с использованием теоретических и экспериментальных методов, в частности, теории электромагнитного поля, теории обобщенного электромеханического преобразователя энергии, численных методов решения дифференциальных уравнений. При анализе электромагнитного поля и расчетах активного волнового сопротивления асинхронного двигателя с полым перфорированным ротором, использовался конечно-элементный метод решения нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных в трехмерной постановке.

Результаты исследований и их обсуждение. Мощность, диссипируемая в жидкости за счет внутреннего трения при гидродинамических перемещениях в зазоре между перфорированным ротором и гладкой поверхностью немагнитной гильзы [2]:

$$N = \mu(Dl - \frac{d^2z}{4})\pi \int_0^{\delta} \left(\frac{\partial V_{\omega R}}{\partial y} \right)^2 dy, \quad (1)$$

где μ – коэффициент динамической вязкости;

D – внешний диаметр полого ротора;

l – длина стакана ротора;

d – диаметр отверстий ротора;

z – число отверстий ротора;

$V_{\omega R}$ – скорость потока жидкости в зазоре при вращении ротора;
 y – координата вдоль радиальной оси по сечению зазора.
 Электрическая мощность ротора, диссипирующая в тепло:

$$P_2 = m_1 \cdot I_2'^2 \cdot r_2' , \quad (2)$$

где m_1 – число фаз статора;

I_2' – приведенный ток ротора;

r_2' – активное сопротивление перфорированного ротора.

Потери в массивном роторе в комплексе представляют и потери в «меди» и потери в стали. Потери активной мощности в статоре, механических узлах и добавочные потери диссипируются в тепло и, в конечном счете, также участвуют в формировании греющей мощности теплогенератора.

Конечные размеры активной части АД с ППР в аксиальном направлении обуславливают неравномерность распределения плотности вихревых токов и увеличение активного сопротивления ротора. Определение активного волнового сопротивления ППР с учетом конечной длины и особенностей геометрии представляет собой сложную задачу, решение которой возможно при помощи численных методов в трехмерной постановке.

Активное волновое сопротивление различных конструктивных вариантов ферромагнитных роторов может определяться путем проведения дополнительных постпроцессорных расчетов трехмерной конечно-элементной модели, позволяющей анализировать полученные результаты по интересующим интегральным величинам.

Пример реализации постпроцессорного расчета активного волнового сопротивления ППР при частоте 10 Гц ($s = 0,2$) показан на рис. 2. Значения сопротивления для различных значений скольжения получены по результатам решения уравнений квазистационарного электромагнитного поля, исходя из величины мощности резистивных потерь Q_r и квадрата полного тока ротора I_Σ

$$r_e = \frac{Q_r}{I_\Sigma^2} = \frac{\int_V \left(\frac{J_\Sigma^2}{\gamma} \right) dV}{\left(\int_V J_\Sigma dV / l_a \right)^2} , \quad (3)$$

где J_Σ – полная плотность вихревых токов ротора;

l_a – активная длина ротора.

Результаты расчета зависимости $r_e = f(s)$ для сплошного ротора показали хорошее согласование с ранее установленными зависимостями [3, 4]. Полагаясь на анализ полученных зависимостей [5], для расчета активного волнового сопротивления ППР может быть рекомендовано следующее выражение:

$$r_{en} = r_{e2} \cdot (1 - k_{перф})^{-1} , \quad (4)$$

где $r_{\text{вз}}$ – активное волновое сопротивление полого гладкого ротора;
 $k_{\text{перф}}$ – коэффициент перфорации ротора.

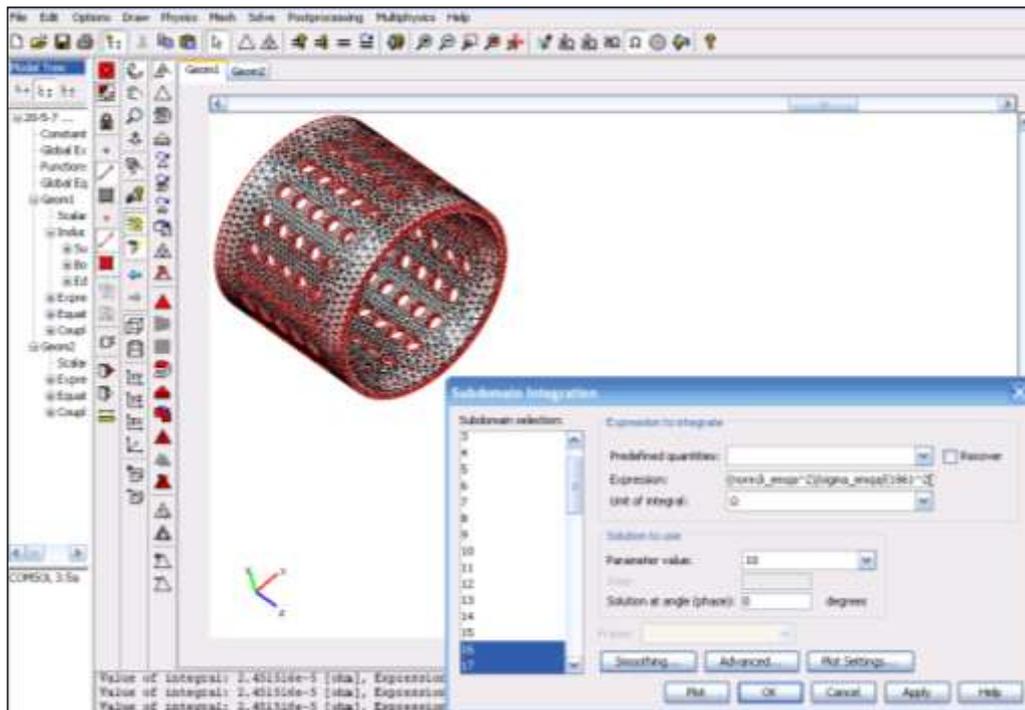


Рис. 2. Определение активного волнового сопротивления ППР с использованием трехмерной конечно-элементной модели

Активное сопротивление полого ферромагнитного (гладкого) ротора с хорошей точностью определяется по выражению, приведенному в [6]. Формула (4) дает удовлетворительные результаты (расхождение с полученными зависимостями до 4 %) для различных типов схем перфорации с равномерным расположением отверстий в диапазоне изменения $k_{\text{перф}} = 0,02 \dots 0,4$.

Непосредственное влияние типа схемы перфорации ротора на активное сопротивление ротора проявляется при явно неравномерном расположении отверстий и затрудняет использование формулы (4).

Общие потери мощности, обусловленные тепловыделениями в активных частях АД с ППР:

$$P_{\Sigma} = P_{M1} + P_{C1} + P_2 + P_{\text{мех}} + P_{\text{доб}}, \quad (5)$$

где $P_{M1} = m_1 \cdot I_1^2 \cdot r_1$ – потери в меди обмотки статора;

$P_{C1} = m_1 \cdot E_1 \cdot I_0 \cdot \cos \varphi_0$ – потери в стали статора;

$P_{\text{мех}}$ – механические потери на трение в подшипниках;

$P_{\text{доб}}$ – добавочные потери.

Диссипативная составляющая энергии, формирующая полезную тепловую мощность, определяется как сумма тепловых потерь в активных частях и механических узлах АД с ППР, а также потерь мощности за счет сил вязкого трения жидкости в воздушном зазоре.

На рис. 3. представлена диаграмма баланса греющей мощности теплогенератора на базе АД с ППР.

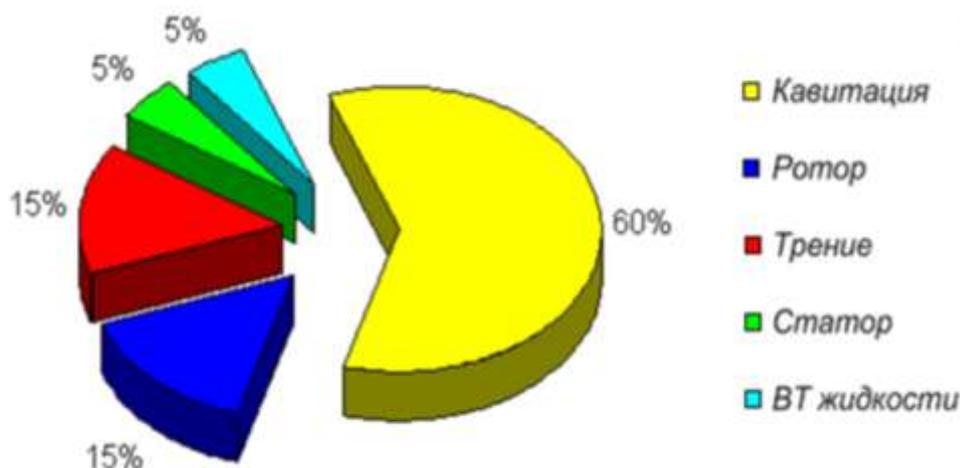


Рис. 3. Баланс греющей мощности теплогенератора на базе асинхронного двигателя с полым перфорированным ротором

Из диаграммы видно, что по сравнению с теплогенератором классической конструкции, в АД с ППР добавляется еще несколько источников греющей мощности, такие как основные электрические потери в роторе и статоре, 15% и 5% соответственно, а также потери от вихревых токов, протекающих в жидкости.

Выводы и перспективы. Рассмотрены основные и дополнительные источники полезной тепловой мощности теплогенератора на базе АД с ППР, за счет которых достигается существенное повышение коэффициента полезного действия по сравнению с теплогенератором классической конструкции. Диссипативная составляющая энергии, формирующая полезную тепловую мощность, определяется как сумма тепловых потерь в активных частях и механических узлах АД с ППР, а также потерь мощности за счет сил вязкого трения жидкости в воздушном зазоре.

Список использованных источников

1. Заблодский, Н. Н. Полифункциональные электромеханические преобразователи технологического назначения / Н. Н. Заблодский // Монография. – Алчевск: ДонГТУ, 2008. – 295 с.
2. Заблодский, Н. Н. Расчет диссипативной составляющей энергии полифункциональных электромеханических преобразователей / Н. Н. Заблодский, В. Ю. Грицюк // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. 2011 – № 33. – С. 132–142.
3. Постников, И. М. Обобщенная теория и переходные процессы в электрических машинах / И. М. Постников – М.: Высшая школа, 1975. – 319 с.
4. Куцевалов, В. И. Вопросы теории и расчета асинхронных машин с массивными роторами / В. И. Куцевалов – М. – Л.: Энергия, 1966. – 302 с.
5. Заблодский, Н. Н., Особенности распределения вихревых токов в полом перфорированном роторе полифункционального электромеханического преобразователя / Н. Н. Заблодский, В. Ю. Грицюк, И. Н. Кулдыркаев // Электротехника и электромеханика. 2013 – № 1. – С. 30–34.

6. Лопухина Е. М. Асинхронные микромашины с полым ротором / Е. М. Лопухина, Г. С. Сомихина. – М. : Энергия. – 1967. – 488 с.

References

1. Zablodskiy, N. N. (2008). Polifunktsional'nye elektromekhanicheskie preobrazovateli tekhnologicheskogo naznacheniya [Polyfunctional electromechanical transducers of technological designation]. DonHTU, 295.

2. Zablodskyy, N. N., Hrytsyuk, V. Yu. (2011). Raschet dissipativnoy sostavlyayushchey enerhiy polifunktsional'nykh elektromekhanicheskikh preobrazovateley [Calculation of the dissipative component of energy of polyfunctional electromechanical converters]. Collection of scientific works of Donbass State Technical University, 33, 132–142.

3. Postnykov, Y. M. (1975). Obobshchennaya teoriya i perekhodnye protsessy v elektricheskikh mashinakh [Generalized theory and transients in electrical machines]. Vysshaya shkola, 319.

4. Kutsevalov, V. Y. (1966). Voprosy teorii i rascheta asinkhronnykh mashin s massivnymi rotorami [Questions of the theory and calculation of asynchronous machines with massive rotors]. Enerhiya, 302.

5. Zablodskyy, N. N., Hrytsyuk, V. Yu., Kuldyrkaev, Y. N. (2013). Osobennosti raspredeleniya vikhrevykh tokov v polom perforirovannom rotore polifunktsional'nogo elektromekhanicheskogo preobrazovatelya [Features of the distribution of eddy currents in the hollow perforated rotor of a polyfunctional electromechanical converter]. Electrical engineering and electromechanics, 1, 30–34.

6. Lopukhina, E. M., Somikhina, H. S. (1967). Asinkhronnye mikromashiny s polym rotorom [Asynchronous micromachines with hollow rotor]. Moscow, Russia: Energy, 488.

ДЖЕРЕЛА КОРИСНОЇ ТЕПЛОВОЇ ПОТУЖНОСТІ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА НА БАЗІ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З ПОРОЖНИСТИМ ПЕРФОРОВАНИМ РОТОРОМ

М. М. Заблюдський, В. Ю. Грицюк

Анотація. Розглянуто основні та додаткові джерела корисної теплової потужності теплогенератора на базі асинхронного двигуна з порожнистим перфорованим ротором, за рахунок яких досягається суттєве підвищення коефіцієнта корисної дії в порівнянні з теплогенератором класичної конструкції.

Ключові слова: перфорований ротор, дисипативна складова енергії, активний опір, вихрові струми

SOURCES OF USEFUL THERMAL POWER OF HEAT GENERATOR BASED ON ASYNCHRONOUS MOTOR WITH HOLLOW PERFORATED ROTOR

N. Zablodskiy, V. Gritsyuk

Annotation. *The main and additional sources of useful thermal power of a heat generator based on an asynchronous motor with a hollow perforated rotor are considered, due to which a significant increase in the efficiency is achieved in comparison with a heat generator of a classical design.*

Keywords: *perforated rotor, dissipative energy component, active resistance, eddy currents*

УДК 631.363

ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНІ СИСТЕМИ ГЕНЕРАЦІЇ ТЕПЛОВОЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В БІОРЕСУРСНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

В. С. ФЕДОРЕЙКО, доктор технічних наук, професор

І. С. ІСКЕРСЬКИЙ, кандидат технічних наук, доцент

Тернопільський національний педагогічний

університет імені Володимира Гнатюка

E-mail: kaf_mki@tnpu.edu.ua

Анотація. *Запропоновано технічно-економічне обґрунтування науково-технічних проектів диверсифікації джерел живлення шляхом використання біотеплогенераторів-утилізаторів для децентралізованого виробництва теплової та електричної енергії в технологіях агропромислового комплексу.*

Проаналізовано стан енергетичної галузі України в контексті світових тенденцій розвитку традиційних і альтернативних джерел енергії. Визначено, як пріоритет, використання для нашої держави відновлювальних систем генерації теплової та електричної енергії. На даному етапі розвитку вітчизняної енергетики це використання біоресурсних, побутових, промислових та медичних відходів. Розроблені біотеплогенератори потокової дії потужністю до 4,0 МВт та генератори-утилізатори відходів потужністю 1,0 МВт дозволяють створити децентралізовану систему генерації на базі теплоелектроцентралі компенсаційного типу з генерацією електричної та теплової енергії для технологічних процесів. Вказані зусилля дозволяють здійснити повноцінну диверсифікацію джерел енергії, використовуючи в якості палива різноманітні відходи місцевого походження. Самодостатня логістика доставки палива до місця роботи системи дозволяє значно здешевити генерацію теплової та електричної енергії. Представлена розробка пропонується для елеватора потужністю 60 тис. тон з використанням сушарок типу ДСП–50 та Sukur.

Ключові слова: *диверсифікація, генератор-утилізатор, біопаливо, важколіквідні відходи, децентралізація, електрична та*