

УДК 621. 313: 621. 318. 122

ХАРАКТЕР ТЕЧЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОВОДЯЩЕЙ ЖИДКОСТИ В ЗАЗОРЕ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Н. Н. Заблодский, В. Ю. Грицюк

Донбасский государственный технический университет
просп. Ленина, 16, г. Алчевск, 94204, Украина. E-mail: info@dgmi.edu.ua

Определен характер течения проводящей жидкости в тонком немагнитном зазоре полифункционального электромеханического преобразователя при воздействии вращающегося магнитного поля. Установлена зависимость профиля скоростей течений, градиента скорости у стенки неподвижного цилиндра с учетом неравномерно распределенных объемных сил. Движение потока рабочей жидкости в зазоре рассматривалось на классической модели течения между соосными цилиндрами.

Ключевые слова: немагнитный зазор, проводящая жидкость, вращающееся магнитное поле.

ХАРАКТЕР ПРОТІКАННЯ РОБОЧОЇ ПРОВІДНОЇ РІДИНИ У ЗАЗОРІ ПОЛІФУНКЦІОНАЛЬНОГО ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

М. М. Заблодський, В. Ю. Грицюк

Донбаський державний технічний університет
просп. Леніна, 16, м. Алчевськ, 94204, Україна. E-mail: info@dgmi.edu.ua

Визначено характер протікання провідної рідини в тонкому немагнітному зазорі поліфункціонального електромеханічного перетворювача під впливом обертового магнітного поля. Встановлено залежність зміни профілю швидкостей течій, градієнта швидкості біля стінки нерухомого циліндра з урахуванням нерівномірно розподілених об'ємних сил. Рух потоку робочої рідини в зазорі розглядалося на класичній моделі течії між співвісними циліндрами.

Ключові слова: немагнітний зазор, провідна рідина, обертове магнітне поле.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. На сегодняшний день водоугольное топливо (ВУТ) является альтернативным для традиционных видов топлива – угля, мазута, газа и предназначено для их замены. Сущность традиционного приготовления ВУТ заключается в тонкодисперсном измельчении угля, перемешивании его с водой и различными химическими добавками, которые добавляются для повышения текучести полученной суспензии, предотвращения расслоения и придания ей стабильности.

Одним из способов, позволяющим обеспечить измельчение, перемешивание, а также химические эффекты присоединения, замещения, соединения и разрыва молекул, является использование кавитации.

На рис. 1 показана конструкция полифункционального электромеханического преобразователя (ПЭМП) кавитационного типа для приготовления и обработки водоугольных суспензий. В представленном аппарате используется конструкция полого перфорированного ротора, который одновременно выполняет функции ротора асинхронного двигателя, насоса, нагревателя и кавитационной камеры [1], при этом ротор охлаждается рабочей жидкостью, которая за цикл прохождения через аппарат 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. Все это приводит к значительной интенсификации процесса генерации тепла и повышению коэффициента полезного действия аппарата.

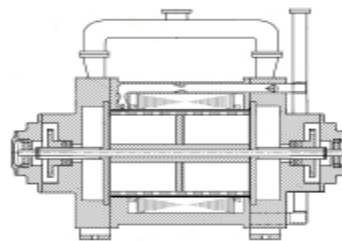


Рисунок 1 – Конструкция ПЭМП кавитационного типа

При подключении трехфазной обмотки ПЭМП к питающей сети образуется вращающееся магнитное поле, под действием которого в массивном роторе протекают вихревые токи, создается асинхронный момент и ротор вращается. При этом вместе с ротором в магнитном поле движется поток ВУТ, в котором индуцируются ЭДС и токи. Взаимодействие токов рабочей жидкости с вращающимся магнитным полем приводит к появлению в потоке пондеромоторных сил. Последние, будучи направлены тангенциально и распределены в объеме жидкости, оказывают влияние на характер течения рабочей жидкости в зазоре ПЭМП.

Известные уравнения магнитной гидродинамики [2, 3] позволяют определить распределение плотности электрического тока и скоростей в потоке проводящей жидкости, протекающей в однородном магнитном поле, неизменном во времени и пространстве, между двумя соосными цилиндрами. В работе [4] представлено движение проводящей жидкости в полой цилиндрической полости, на которую воздействует вращающееся магнитное поле. Однако вопрос течения проводящей жидкости в тонком кольцевом зазоре при вращении внутреннего цилиндра и воздействии на жидкость вращающегося магнитного поля еще не рассматривался.

Целью данной работы является оценка влияния вращающегося магнитного поля на проводящую жидкость и определение характера течения в тонком немагнитном зазоре ПЭМП.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Движение потока рабочей жидкости в зазоре ПЭМП представляет собой классическую модель течения между двумя соосными цилиндрами. При этом проводящая жидкость течет по кольцевому зазору вследствие вращения внутреннего цилиндра относительно внешнего, неподвижного. Магнитное поле направлено перпендикулярно цилиндрическим стенкам и вращается с синхронной скоростью n_1 согласно с ротором. Будем полагать, что длина окружности цилиндров значительно больше зазора между ними, а вращающееся магнитное поле мысленно развернем на плоскость и представим бегущим. Тогда схема такого течения может быть представлена рис. 2. Стенка при $y = 0$ имеет постоянную линейную скорость v , а при $y = \delta$ – неподвижна. Тогда линейная скорость частиц жидкости, прилегающих к поверхности внутреннего вращающегося цилиндра, равна:

$$v = 2\pi n_2 r, \quad (1)$$

где n_2 – скорость вращения внутреннего цилиндра; r – внешний радиус вращающегося цилиндра.

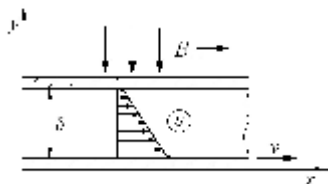


Рисунок 2 – Течение рабочей жидкости в зазоре ПЭМП

Так как внешний цилиндр неподвижен, то градиент скорости жидкости в зазоре определяется как

$$|\text{grad}v| = \frac{dv}{dy} = \frac{2\pi n_2 r}{R - r}, \quad (2)$$

где y – координата вдоль радиальной оси по сечению зазора; R – внутренний радиус наружного цилиндра.

Локальная скорость y -го слоя жидкости в зазоре при простом течении Куэтта определяется [5]:

$$v_y = \frac{d - y}{d} v, \quad (3)$$

где δ – величина зазора между цилиндрами.

Мысленно выделим в слое проводящей жидкости элементарный проводник сечением S , на который воздействует бегущее магнитное поле. Пусть этот проводник перпендикулярен силовым линиям магнитного поля B , а также направлению движения жидкости v и имеет длину l в направлении, перпендикулярном плоскости (рис. 2). Тогда индуцируемая в элементарном проводнике ЭДС

$$E = Blv_1, \quad (4)$$

где B – индукция бегущего магнитного поля; $v_1 = 2\pi r_1 n_1 / 60$ – скорость бегущего магнитного поля; r_1 – радиус расточки статора.

Скольжение y -го слоя жидкости определяется:

$$s_y = \frac{n_1 - n_y}{n_1}, \quad (5)$$

где $n_y = v_y / 2\pi r_y$ – скорость вращения y -го слоя.

Неравномерность в распределении локальных скоростей течения приводит к неравномерному распределению в потоке индуцируемых ЭДС и токов.

ЭДС вращения y -го слоя проводящей жидкости

$$E_S = E s_y. \quad (6)$$

Электродвижущая сила E создает в элементарном проводнике электрический ток

$$I = E_S \frac{S\sigma}{l}, \quad (7)$$

где σ – проводимость жидкости.

Степень взаимодействия проводящей жидкости с магнитным полем характеризует магнитное число Рейнольдса. Для тонкого кольцевого слоя проводящей жидкости, находящейся между внешним цилиндрическим индуктором вращающегося поля и внутренним ферромагнитным сердечником, оно определяется согласно [6]:

$$\text{Re}_m = \mu_a v_1 s s d r_2 k_R, \quad (8)$$

где μ_a – абсолютная магнитная проницаемость; s – средняя величина скольжения вдоль радиальной оси по сечению зазора; r_2 – средняя величина радиуса цилиндрического слоя проводящей жидкости; k_R – коэффициент, зависящий от радиусов индуктора, ферромагнитного ротора и полюсного шага обмотки.

Магнитное поле в немагнитном зазоре между статором и полым перфорированным ротором ПЭМП распределяется неравномерно. Силовые линии магнитного потока раздвигаются за счет пазов статора и отверстий ротора. В результате та составляющая индукции магнитного поля, которая перпендикулярна слою проводящей жидкости и создает тангенциальные электромагнитные усилия, уменьшается. Снижение индуцированной в жидкости ЭДС, вследствие уменьшения нормальной составляющей индукции магнитного поля, учтем введением эквивалентной проводимости жидкого слоя:

$$s' = \frac{s}{k_d}, \quad (9)$$

где k_d – коэффициент Картера, учитывающий зубчатое строение статора и наличие сквозных отверстий в полом роторе [7].

Токи жидкости при взаимодействии с бегущим магнитным полем вызывают появление объемной электромагнитной силы, распределенной в соответствии с величиной скольжения для каждого слоя и приводящей к изменению характера течения жидкости:

$$F = [jB], \quad (10)$$

где $j = I/S$ – плотность тока.

Неравномерно распределенные объемные силы не суммируются, как в твердом стержне ротора обычного асинхронного двигателя, а приводят к взаимному перемещению слоев жидкости. В результате градиент скорости у стенки неподвижного цилиндра увеличивается, а профиль скоростей течения уплощается. Это, в свою очередь, приводит к росту потерь на трение и увеличению теплообмена.

ВЫВОДЫ. Определен характер течения проводящей жидкости в тонком немагнитном зазоре ПЭМП при вращении ротора и воздействии на жидкость вращающегося магнитного поля. Установлено, что градиент скорости у стенки неподвижного цилиндра увеличивается, а профиль скоростей течения уплощается,

что, в свою очередь, приводит к росту потерь на трение и увеличению теплообмена.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 43346 Україна, МПК (2009) F24J 3/00. Резонансний насос-теплогенератор / М.М. Заблодський, В.Ф. Шинкаренко, М.А. Філатов та інш.; заявник і патентовласник Донбас. держ. техн. ун-т. – № U 2009 03007, заявл. 30.03.2009; опубл. 10.08.2009, Бюл. № 15. – 3 с.
 2. Каулинг Т.Д. Магнитная гидродинамика. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1959. – 132 с.
 3. Основы технической магнитной газодинамики / Дж. Саттон, А. Шерман. – М.: Мир, 1968. – 492 с.

4. Магнитная гидродинамика в металлургии / И.Л. Повх, А.Б. Капуста, Б.В. Чекин. – М.: Металлургия, 1974. – 240 с.
 5. Теоретическая физика: учеб. пособ. для вузов. – Т. VI. Гидродинамика. / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Физматлит, 2001. – 736 с.
 6. Верте Л.А. Магнитная гидродинамика в металлургии. – М.: Металлургия, 1975. – 288 с.
 7. Определение коэффициента воздушного зазора для полого ротора сквозной структуры в полифункциональных электромеханических преобразователях / Н.Н. Заблодский, В.Ю. Грицук, Н.В. Лукьянов // Сб. научных трудов ДонГТУ. – 2010. – Вып. 31. – С. 187–192.

CHARACTER OF THE FLOW WORKING CONDUCTING FLUID IN THE GAP POLYFUNCTIONAL ELECTROMECHANICAL TRANSDUCER

N. Zablodskiy, V. Gritsyuk

Donbass State Technical University

prosp. Lenina, 16, Alchevsk, 94204, Ukraine. E-mail: info@dgmi.edu.ua

Determined of the flow conducting liquid in a thin non-magnetic gap polyfunctional electromechanical transducer under the influence of rotating magnetic field. The dependence of change in the rate profile, rate gradient at the wall of a stationary cylinder with uniformly distributed body forces. Movement of fluid flow in the gap was seen in the classical model of the flow between coaxial cylinders.

Key words: nonmagnetic gap, conducting fluid, the rotating magnetic field.

REFERENCES

1. Pat. 43346 Ukraine, МПК (2009) F24J 3/00. *Resonance pump-heat generator* / М.М. Zablodsky, V.F. Shynkarenko, M.A. Filatov and others; applications and patent nickname Donbass State Technical University. – № U 2009 03007, stated 30/03/2009, publ. 10.08.2009, Bull. № 15. – 3 p. [in Russian]
 2. Cowling T.D. *Magnetohydrodynamics*. – М.: Publishing House of Foreign Literature, 1959. – 132 p. [in Russian]
 3. *Technical Fundamentals of magnetohydrodynamics* / J. Sutton, A. Sherman. – М.: Mir, 1968. – 492 p. [in Russian]
 4. *Magnetohydrodynamics in Metallurgy* / I.L. Povh, A.B. Kapusta, B.V. Chekin. – М.: Metallurgiya, 1974. – 240 p. [in Russian]

5. *Theoretical physics: studies. benefits.* [for higher education. Vol. VI. Hydrodynamics.] / L.D. Landau, E.M. Lifshitz. – М.: Fizmatlit, 2001. – 736 p. [in Russian]
 6. Verte L.A. *Magnetohydrodynamics in the metallurgy*. – М.: Metallurgiya, 1975. – 288 p. [in Russian]
 7. Determination of the air gap of the hollow rotor through structure in a polyfunctional electromechanical transformation in accelerators / N.N. Zablodsky, V.U. Gritsyuk, N.V. Lukyanov / *Collection of scientific works DonSTU*. – 2010. – Iss. 31. – PP. 187–192 [in Russian]

Стаття надійшла 10.02.2012.

Рекомендовано до друку
 д.т.н., проф. Бранспизом Ю.А.