

УДК 621.318:622.788

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ПОЛЮСОВ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ШКИВОВ. Часть 1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
АППРОКСИМАЦИЙ ДАННЫХ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Загирняк М.В., д.т.н., проф.

Кременчугский государственный политехнический университет

имени Михаила Остроградского

39614, г. Кременчуг, ул. Первомайская, 20.

E-mail: mzagirn@polytech.poltava.ua

Бранспиз Ю.А., д.т.н., проф., Поляченко Е.Ю.

Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля

91034, г. Луганск, кв. Молодежный, 20-А.

E-mail: polyachenko@rambler.ru

Показано, що наявні апроксимаційні вирази для напруженості магнітного поля та її градієнта над серединою зазору між полюсами електромагнітного шківa дозволяють вирішити задачу визначення раціональних розмірів полюсної системи за критерієм максимуму питомої приведеної сили.

Ключеві слова: шків електромагнітний, напруженість, градієнт, система полюсна.

It is shown that the approximation expressions for magnetic field strength and its gradient above the middle of the electromagnetic pulley interpolar gap make it possible to solve the problem of determination of rational dimensions of the polar system according to the criterion of maximal specific resulted force.

Key words: electromagnetic pulley, magnetic-field strength, gradient, polar system

Введение. Распространенным типом электромагнитных устройств, которые нашли широкое применение в промышленности для магнитной сепарации, являются электромагнитные шкивы (рис. 1) [1, 2].

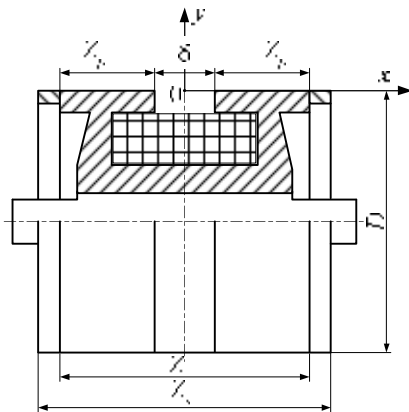


Рисунок 1 – Электромагнитный шкив

При их проектировании важно обеспечить рациональное использование активных материалов (меди обмотки и железа магнитопровода). Это может быть достигнуто применением методик расчета, позволяющих определять требуемые для создания необходимых извлекающих усилий размеры шківa.

В настоящее время для определения размеров электромагнитного шківa известна методика, дающая возможность для заданного усилия извлечения рассчитать такие значения этих размеров, которые обеспечат минимум потребляемой шківом электро-

энергии и (или) массы активных материалов [1, 2]. Если, однако, необходимо спроектировать шків на максимально возможное в установленных стандартах габаритах усилие извлечения, то указанная методика непосредственно не применима, поскольку в этом случае неизвестно значение самого усилия извлечения.

Последнее обуславливает необходимость совершенствования указанной методики с тем, чтобы создать в итоге методику определения оптимальных размеров полюсной системы шківa по критерию обеспечения максимального извлекающего усилия.

Соответствующее совершенствование связано с необходимостью проведения исследований, дополняющих результаты, полученные в [1, 2]. В частности, требует исследования возможность обеспечения такого соотношения размеров полюсной системы магнитного шківa (ширина Z полюсов и межполюсный зазор d , рис. 1), которая позволят создать максимальное усилие извлечения на заданном расстоянии от поверхности шківa над серединой межполюсного зазора. Этот параметр соответствует одному из возможных исходных данных, задаваемых на проектирование электромагнитных шківов. Он учитывает то, что над серединой межполюсного зазора толщина сепарируемого материала обычно максимальна [1, 2]. Именно установлению указанной возможности и посвящена данная работа.

Анализ предыдущих исследований. Известно, что извлекающее усилие магнитного сепаратора может быть охарактеризовано удельной силой извлечения – произведением напряженности H маг-

нитного поля на градиент $gradH$ напряженности поля, то есть $-H gradH$ [1, 2]. Известно также, что для электромагнитного шкива напряженность поля в его рабочем пространстве и градиент этой напряженности представляют собой некоторые функции, аргументами которых являются отношения (критерии геометрического подобия) [1]:

$$X_1 = \frac{D}{d}; \quad X_2 = \frac{Z}{d}; \quad X_8 = \frac{y}{Z},$$

где D - диаметр шкива; Z - ширина шкива по полюсам; d - межполюсный зазор; y - расстояние от поверхности полюсов над серединой межполюсного зазора до точки, в которой определяется напряженность магнитного поля или ее градиент (рис. 1).

Тогда, согласно [1, 2], величина $H gradH$ магнитного поля электромагнитного шкива над серединой зазора может быть выражена через критерий подобия $(H gradH)_{rel}$ и разность магнитных потенциалов U_0 между серединами полюсов как

$$H gradH = \frac{U_0^2}{Z^3} (H gradH)_{rel}. \quad (1)$$

При этом сам критерий подобия (относительная удельная сила извлечения) может быть представлен в виде [1]

$$(H gradH)_{rel} = (H_{rel})_1 \times \left[\frac{d(H_{\infty})_1}{dX_8} k_1 + (H_{\infty})_1 \frac{dk_1}{dX_8} \right], \quad (2)$$

где

$$\begin{aligned} (H_{rel})_1 &= (H_{\infty})_1 k_1; \\ (H_{\infty})_1 &= \frac{X_2}{K(1/X_2)} \left[(1+4X_2^2 X_8^2) (1+4X_8^2) \right]^{-1/2}; \\ k_1 &= \left\{ 1 - (0,06744X_2 + 2,22X_8 - 0,00442X_2^2 - \right. \\ &\quad \left. - 2,61X_8^2 - 0,115) \times \exp \left[-\frac{X_1}{X_2 X_8} (0,64X_8 + 0,0095X_2) \right] \right\}; \\ \frac{d(H_{\infty})_1}{dX_8} &= -\frac{4X_2 X_8 (8X_2^2 X_8^2 + X_2^2 + 1)}{K \left(\frac{1}{X_2} \right) \left[(1+4X_2 X_8) (1+4X_8^2) \right]^{3/2}}; \\ \frac{dk_1}{dX_8} &= -\left\{ \exp \left[-\frac{X_1}{X_2 X_8} (0,0095X_2 + 0,64X_8) \right] \right\} \times \\ &\quad \times \left[2,22 - 5,22X_8 + 0,095 \frac{X_1}{X_8^2} (2,22X_8 + 0,06744X_2) - \right. \\ &\quad \left. - 0,00442X_2^2 - 2,61X_8^2 - 0,115 \right]. \end{aligned}$$

Здесь $K(1/X_2)$ - эллиптический интеграл первого рода модуля $(1/X_2)$.

Цель работы. Определить такие размеры полюсной системы электромагнитных шкивов, которые позволяют создавать максимальное усилие извлечения (параметр $H gradH$), на заданном расстоянии над серединой межполюсного зазора.

Материал и результаты исследования. Задачу определения размеров полюсов магнитного шкива, обеспечивающих максимальное значение $H gradH$ для заданной глубины извлечения, можно решить согласно следующему алгоритму:

- для заданного стандартного значения диаметра шкива ($D = 630, 800$ или 1000 мм) принимается некоторое значение ширины полюса Z_p (равное или близкое ширине полюса соответствующего серийного шкива);

- задается значение глубины извлечения y , для которого предусматривается процедура изменения в заданных пределах с принятым шагом;

- задается значение межполюсного зазора d , для которого предусматривается процедура изменения в заданных пределах с заданным шагом;

- осуществляется расчет параметра $H gradH$, для которого предусматривается процедура выбора из всех расчетных значений максимального.

Если при этом учесть положения теории подобия и размерностей, то, очевидно, что для решения поставленной задачи расчет по указанному алгоритму достаточно проводить лишь для относительной удельной силы $(H gradH)_{rel}$.

Таким образом, предлагается решать поставленную задачу численно с организацией расчета параметра $(H gradH)_{rel}$ по формуле (2) циклически: наружный цикл по глубине y и внутренний цикл по зазору d .

На рис. 2 представлены в качестве примера зависимости $(H gradH)_{rel}$ от зазора d для электромагнитного шкива с $D = 1000$ мм и $Z_p = 400$ мм для трех значений глубины y извлечения, полученные расчетом по указанному алгоритму. Аналогичные зависимости имеют место и для других стандартных значений D . Эти зависимости подтверждают наличие максимума для значения $(H gradH)_{rel}$ при изменении зазора d , и тем самым показывают возможность численного определения по указанному алгоритму таких размеров полюсной системы электромагнитного шкива, которые обеспечат максимальное усилие извлечения шкива на заданной глубине извлечения.

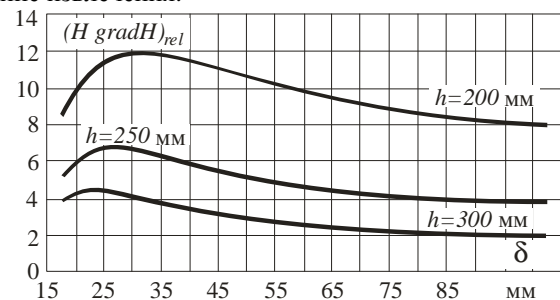


Рисунок 2 – Зависимости параметра $(H gradH)_{rel}$ от зазора d ($D = 1000$ мм, $Z_p = 400$ мм)

На рис. 3 приведены результаты расчетов для

трех стандартных диаметров $D = 630, 800$ и 1000 мм, осуществленные соответственно описанному выше алгоритму определения d_{opt} .

Анализ этих результатов показывает, что при увеличении глубины y извлечения значение d_{opt} уменьшается для всех шкивов.

В этой связи следует заметить, что на первый взгляд должно иметь место монотонное возрастание зависимости $d_{opt} = f(y)$, поскольку для создания максимального значения параметра $(H gradH)_{om}$ с увеличением глубины y извлечения межполюсный зазор d должен быть настолько большим, чтобы магнитный поток с полюсов достаточной интенсивности пронизывал пространство над шкивом на всю глубину извлечения. Такое несоответствие ожидаемого результата с полученным представляет собой предмет для дальнейших исследований.

В полученных результатах следует отметить возрастание значения d_{opt} с увеличением размера Z_p (рис. 3). Впрочем, этот результат не несет в себе никакого противоречия, поскольку нельзя из простых соображений указать заранее, как будет изменяться в рассматриваемом случае d_{opt} с изменением Z_p .

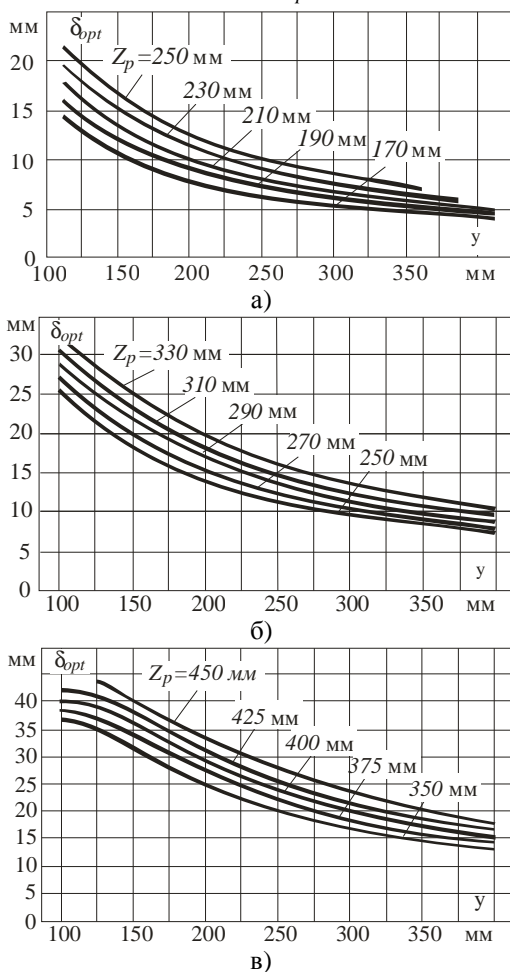


Рисунок 3 – Зависимости $d_{opt} = f(y)$ для шкивов с $D = 630$ мм (а), 800 мм (б) и 1000 мм (в)

Что же касается увеличения d_{opt} с увеличением D , то это увеличение соответствует зависимости между d_{opt} и D , которая может быть определена из следующих рассуждений: с увеличением диаметра шкива растет поток рассеяния, замыкающийся не через рабочее пространство над полюсом, увеличение которого возможно путем увеличения межполюсного зазора.

Непосредственный анализ результатов численного определения зазора d_{opt} для электромагнитного шкива диаметром $D = 630$ мм показал, что для этого шкива значение зазора d_{opt} для глубины y извлечения более 70 мм удовлетворяет следующему соотношению (с погрешностью менее 5%):

$$\delta_{opt}|_{y,Z_p} = \delta_{opt}|_{y=Z_p} \frac{Z_p}{y}, \quad (2)$$

где $d_{opt}|_{y,Z_p}$ – значение d_{opt} для некоторой глубины y извлечения при некотором значении размера полюса Z_p ; $d_{opt}|_{y=Z_p}$ – значение d_{opt} для глубины y извлечения равной размеру полюса Z_p , которое можно аппроксимировать формулой (размеры в мм)

$$d_{opt}|_{y=Z_p} = 0,012y + 6,6. \quad (3)$$

В целом, из анализа приведенных результатов можно заключить, что решение задачи определения рационального соотношения между размерами полюсов по критерию максимума удельной приведенной силы дает существенно меньшие значения межполюсного зазора, чем значения зазоров у серийных электромагнитных шкивов. Отметим также, что полученное решение отличается (в сторону занижения) от решения определения рационального соотношения размеров электромагнитного шкива по критерию минимума потребляемой энергии, приведенного в [1, 2].

Выводы.

1. Доказано, что известные аппроксимации для напряженности поля и ее градиента над серединой межполюсного зазора электромагнитного шкива позволяют решить задачу определения рационального соотношения размеров полюсов по критерию максимума удельной приведенной силы.

2. Требуется дальнейшего исследования установления причины расхождения полученных данных с известными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Загирняк М.В. Исследование, расчет и усовершенствование шкивных магнитных сепараторов. – К.: ИЗМН, 1996. – 488 с.
 2. Загирняк М.В., Бранспиз Ю.А. Шкивные магнитные сепараторы. – К.: Техника. – 2000. – 303 с.

Статья поступила 20.03.2007 г.
 Рекомендуются к печати д.т.н., проф.
 Чорним О.П.