

В.Ф. БОЛЮХ, д-р техн. наук., проф., НТУ "ХПИ"

ОМАР БЕНАЙССА, канд. техн. наук, доцент университета МВВ,
Бумердес, Алжир

С.В. ОЛЕКСЕНКО, аспирант, НТУ "ХПИ"

МЕТОДИКА ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ ИНДУКЦИОННО-ДИНАМИЧЕСКОГО ДВИГАТЕЛЯ С ФЕРРОМАГНИТНЫМ СЕРДЕЧНИКОМ

Предложен метод выбора параметров индукционно-динамического двигателя с ферромагнитным сердечником, основанный на введении комплексного критерия эффективности, при котором учитываются электродинамические показатели, массогабаритные параметры и магнитные поля рассеяния. Для заданных критериев установлено ряд наиболее эффективных конфигураций параметров индукционно-динамического двигателя и определен наиболее универсальный из них.

Ключевые слова: индукционно-динамический двигатель с ферромагнитным сердечником, комплексный критерий эффективности, электродинамические показатели.

Вступление. Индукционно-динамические двигатели (ИДД) с возбуждением от емкостного накопителя энергии (ЕНЭ) широко используются в промышленных и научно-технических системах, где необходимы значительные ударные механические нагрузки при относительно незначительных перемещениях исполнительного элемента. Возбуждаемый посредством электронной системы от ЕНЭ индуктор в массивном электропроводящем якоре индуцирует ток, обуславливающий возникновение электродинамических усилий (ЭДУ), передаваемых от подвижного якоря на исполнительный элемент. Применение ферромагнитного сердечника (ФС) позволяет увеличить силовые показатели и уменьшить поля рассеяния ИДД, однако при этом ухудшаются массогабаритные показатели устройства, и может увеличиваться продолжительность электромагнитных процессов. Поскольку эффективность известных ИДД относительно низка, то возникает задача выбора параметров индуктора, якоря и ФС, при котором учитываются различные аспекты функционирования и рабочие показатели ИДД.

Анализ литературы. ИДД используются во многих отраслях промышленности, науки и техники для механической обработки по-

верхностей, деформации объектов, проведения вибрационных и ударных испытаний, ускорения объектов и т.д. [1-4]. Традиционные ИДД в основном функционируют без ФС, что обусловлено ограничениями по массо-габаритным показателям и импульсным характером электромагнитных процессов. Известны различные подходы, направленные на повышение удельных силовых показателей ИДУ, например, использование криогенного охлаждения, применение якоря специальной конфигурации, использование многосекционного индуктора с последовательной коммутацией секций, применение подвижного индуктора, взаимодействующего с двумя охватывающими якорями и др., которые требуют существенного усложнения конструкции и условий работы [5, 6]. При этом вопрос выбора параметров ИДД с ФС, при котором комплексно учитываются массогабаритные, энергетические, электромеханические, тепловые, магнитные поля рассеяния, практически не исследован.

Целью работы является разработка методики выбора параметров ИДД с ферромагнитным сердечником, основанной на введении комплексного критерия эффективности и оптимизационном подходе, при котором учитываются электромеханические и энергетические показатели, массогабаритные параметры и магнитные поля рассеяния.

Математическая модель ИДД.

Для расчета ИДД с ФС, в подвижном якоре которого индуцируется распределенный по объему ток, используется уравнение:

$$\sigma \cdot \left(\frac{\partial \bar{A}}{\partial t} - \bar{v} \times \{ \nabla \times \bar{A} \} \right) + \frac{1}{\mu_0} \cdot \nabla \times \left(\frac{1}{\mu_r} \cdot \nabla \times \bar{A} \right) = 0 ; \quad (1)$$

где σ – электрическая проводимость якоря; \bar{A} – векторный магнитный потенциал; \bar{v} – скорость движения якоря; μ_0 – магнитная постоянная; μ_r – относительная магнитная проницаемость.

В многovitковом индукторе плотность тока определяется сторонними источниками:

$$\frac{1}{\mu_0} \cdot \nabla \times (\nabla \times \bar{A}) = \frac{i \cdot w}{S} ; \quad (2)$$

где i – ток в индукторе; w – число витков индуктора; S – сечение витка индуктора.

Электродинамические силы f , действующие на якорь, находятся с использованием тензора натяжения Максвелла:

$$\bar{f} = \frac{1}{2} \cdot \int_S (\bar{H} \cdot \{\bar{B} \cdot \bar{n}\} + \bar{B} \cdot \{\bar{H} \cdot \bar{n}\} + \bar{n} \cdot \{\bar{B} \cdot \bar{H}\}) \cdot dS ; \quad (3)$$

где \bar{n} – вектор внешней нормали к поверхности интегрирования dS .

Плотность тока сторонних источников, может быть определена с использованием уравнения электрической цепи для многovitкового индуктора:

$$u + e = (R_e + R_k) \cdot i + L_e \cdot \frac{di}{dt} ; \quad (4)$$

где u – напряжение источника; e – противоЭДС; R_e – активное сопротивление внешней цепи; R – активное сопротивление катушки; i – ток катушки; L_e – индуктивность внешней цепи.

Источник напряжения – предварительно заряженный ЕНЭ:

$$u = U_0 - \frac{1}{C} \cdot \int_t i \cdot dt ; \quad (5)$$

где U_0 – начальное напряжение ЕНЭ; C – емкость ЕНЭ.

Значения противоЭДС в соответствии с законом Фарадея:

$$e = -w \cdot \frac{d\Phi_\Psi}{dt} ; \quad (6)$$

где w – число витков катушки; Φ_Ψ – потокосцепление индуктора:

$$\Phi_\Psi = \frac{1}{w} \cdot \int \Phi \cdot dw = \left| dw = \frac{w}{S} \cdot dS \right| = \frac{1}{S} \cdot \int \Phi \cdot dS ; \quad (7)$$

где Φ – магнитный поток, охваченный витками индуктора; S – площадь поперечного сечения индуктора.

Согласно теореме Стокса:

$$\Phi = \int \bar{B} \cdot d\bar{S} = \int (\text{rot} \bar{A})_{xyz} \cdot d\bar{S} = \int \bar{A} \cdot d\bar{l} ; \quad (8)$$

где $d\bar{S}$ – площадь, пронизываемая магнитным потоком; $d\bar{l}$ – направление обхода контура циркуляции вектора \bar{A} .

Следовательно, (6) можно представить следующим образом:

$$e = -\frac{w}{S} \iiint_V \frac{d(\bar{A})_j}{dt} \cdot dV ; \quad (9)$$

где $(\bar{A})_j$ – проекция векторного магнитного потенциала на направление обхода контура; V – объем индуктора.

Окончательно расчетное уравнение для электрической цепи представляется в виде:

$$U = (R_e + R_k) \cdot i + L_e \cdot \frac{di}{dt} - \frac{w}{S} \iiint_V \frac{d(\bar{A})_j}{dt} \cdot dV. \quad (10)$$

Механические процессы ИДД можно описать системой уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d(m(z) \cdot \gamma)}{dt} = f(z) - P(z); \\ \frac{d(z)}{dt} = v; \\ z(0) = 0_{xyz}, v(0) = 0; \end{array} \right. \quad (11)$$

где z – перемещение якоря; v – скорость якоря; $m(z)$ – масса движущихся частей, приведенная к якорю; $f(z)$ – электродинамическая сила; $P(z)$ – противодействующая сила, приведенная к якорю.

Уравнение (11) представляет собой уравнение одномерного движения с переменной массой. Для удобства расчетов оно может быть переписано в виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dm(z)}{dz} \cdot v^2 + m(z) \cdot \frac{d(v)}{dt} = Q(z) - P(z); \\ \frac{d(z)}{dt} = v; \\ z(0) = 0_{xyz}, v(0) = 0; \end{array} \right. \quad (12)$$

Полученные уравнения (1)-(12) представляют собой систему уравнений, которые описывают рабочие процессы ИДД. Получить решение данной системы уравнений достаточно сложно, так как возникают проблемы с точностью, сходимостью и устойчивостью системы. Решение может быть получено с использованием метода конечных элементов для интегрирования по пространственным переменным и усовершенствованного метода Гира по времени. При интегрировании системы необходимо избегать скачкообразного изменения параметров. Для этого необходима аппроксимация перехода непрерывной гладкой (вплоть до второй производной) функцией, при использовании которой скачок функции "размывается" на определенном пространственном либо временном интервале.

Поскольку метод конечных элементов плохо адаптирован для решения нестационарных задач с пространственным изменением эле-

ментов, то для расчета используется "деформируемая" сетка. В этом случае подвижные элементы представляются расположенными в некотором эластичном пространстве, покрытом сеткой. При изменении положения элемента, сетка, принадлежащая области остается неизменной, а координаты сетки, принадлежащие границам подвижных элементов, претерпевают деформацию в соответствии с заданным законом движения, определяемого уравнением (12) (рис. 1). Поскольку размер и форма ячеек сетки существенно влияют на точность расчетов, то при движении области на каждом временном шаге проверяется "качество" перестраиваемой сетки.

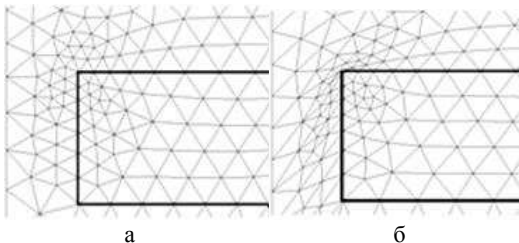


Рис. 1 – Расчетные сетки: а – исходная сетка; б – деформированная сетка.

Исследуемые модели ИДД.

Рассмотрим базовый вариант ИДД без ФС со следующими параметрами: внешний диаметр индуктора $D_{ex1}=100$ мм, внутренний диаметр индуктора $D_{in1}=10$ мм, высота индуктора $H_1=10$ мм, внешний диаметр якоря $D_{ex2}=100$ мм, внутренний диаметр якоря $D_{in2}=8$ мм, высота якоря $H_2=3$ мм, аксиальное расстояние между индуктором и якорем $\delta=1$ мм, количество витков индуктора $N_1=23$, сечение шины индуктора $a \times b=1,8 \times 4,8$ мм², емкость ЕНЭ $C=2850$ мкФ, зарядное напряжение ЕНЭ $U_0=400$ В. Электронная система возбуждения формирует апериодический импульс тока в индукторе. На рис. 2 представлены плотности тока в индукторе j_1 , усредненная плотность тока в якоря j_2 , величина f_z и импульс F_z электродинамических усилий (ЭДУ) данного двигателя.

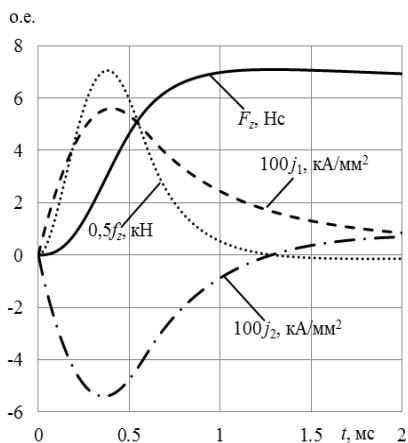


Рис. 2 – Плотности тока и параметры ЭДУ базового ИДД.

На рис. 3 показан общий вид базового ИДД с распределением магнитной индукции в момент максимума ЭДУ.

При наличии ферромагнитного сердечника (ФС) происходит

существенное перераспределение магнитных полей и их увеличение в активной зоне ИДД. На рис. 4 показано общий вид и поперечное сечение с распределением магнитного поля в момент максимума ЭДУ рассматриваемого ИДД с указанием геометрических параметров ФС 3 представляемого состоящим из дискового основания из дискового основания 3а, охватывающего индуктор 1 снизу, наружной обечайки 3б и внутреннего цилиндра 3с. Якорь 2 взаимодействует с немагнитными диском и бойком 4, выполненными из нержавеющей стали.

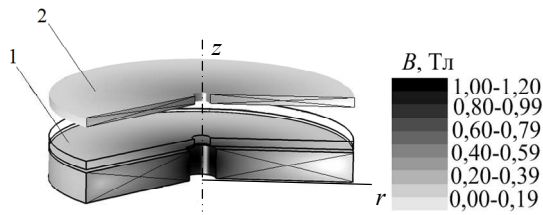


Рис. 3 – Общий вид базового ИДД с распределением магнитной индукции в момент максимума ЭДУ.

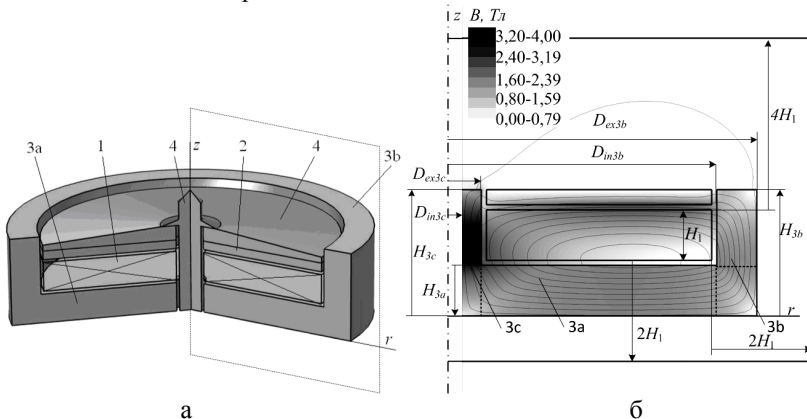


Рис. 4 – ИДД: а – Общий вид с ФС, б – сечение ИДД с распределением магнитных полей в момент максимума ЭДУ.

ФС, представляемый совокупностью i -ых цилиндрических участков, где $i=\{a, b, c\}$, описывается внешним диаметром D_{ex3i} , внутренним диаметром D_{in3i} и высотой H_{3i} каждого участка. Расстояние между смежно расположенными сторонами индуктора и ФС заполнено изоляцией толщиной $\delta = 1$ мм. Рассматриваемый ФС – шихтованный, выполненный из стали марки Ст.10 (AISI 1010, UNS G10100), идеализи-

ровано принято что в ФС отсутствуют вихревые токи. Геометрические параметры ФС базового варианта ИДД следующие: $H_{3a} = 10$ мм, $D_{ex3b} = 10$ мм, $H_{3b} = 15$ мм. На расстоянии $2H_1$ от нижней и внешней, $4H_1$ от верхней стенок индуктора жирной линией очерчена область, на которой определяется усредненное значение полей рассеяния ИДД (рис. 4,б).

В общем случае геометрию ИДД с ФС можно описать геометрическими параметрами

$$Q \in (D_{ex1}, D_{in1}, H_1, D_{ex2}, D_{in2}, \zeta, a \times b, H_{3a}, D_{ex3b}, H_{3b}),$$

где параметр ζ характеризует форму якоря.

В базовом варианте $\zeta =$ диск.

Рассмотрим ИДД, геометрические параметры которых (указаны в мм) равны базовым, за исключением:

$$Q_1 \in (H_{3a} = 0, D_{ex3b} = 0, H_{3b} = 0);$$

$$Q_2 \dots Q_{10} \in (H_{3a} = 15; 10; 8; 6; 4; 2; 1; 0,5; 0);$$

$$Q_{11} \dots Q_{18} \in (D_{ex3b} = 15; 10; 8; 6; 4; 2; 1; 0);$$

$$Q_{19} \dots Q_{27} \in (H_{3b} = 0; 6; 11; 15; 20; 25; 35; 45; 55);$$

$$Q_{28} \dots Q_{34} \in (D_{ex2} = 80; 100; 105; 109; 114; 118; 125);$$

$$Q_{35} \dots Q_{39} \in (H_2 = 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0);$$

$$Q_{40} \dots Q_{46} \in (a \times b = 6; 7,5; 8,64; 10; 12; 13; 14);$$

$$Q_{47} \dots Q_{52} \in (\zeta = a; б; в; г; д; е), \text{ рис. 5.}$$

Для каждого варианта ИДД рассчитаны электродинамические, электромагнитные, скоростные, температурные показатели, массо-габаритные параметры и магнитные поля рассеяния. В табл. 1 для вариантов с крайними значениями геометрических параметров представлены: f_{zm} – максимальное значение ЭДУ; F_z – значение импульса ЭДУ за время t_{imp} ; t_{imp} – время действия на якорь ИДД положительного импульса ЭДУ; j_{1m} , j_{2m} – максимальное значение плотности тока в ин-

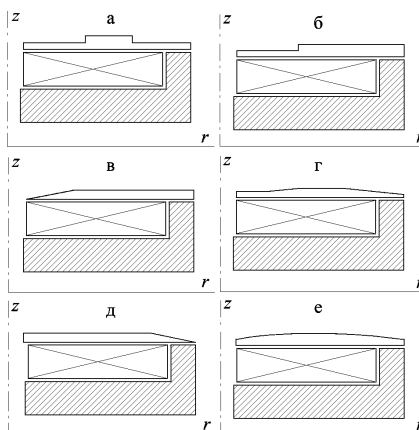


Рис. 5 – Конфигурация якоря.

дукторе и якоре соответственно; V_{max} – максимальная скорость якоря; Δz – перемещение якоря за время t_{imp} ; B_1 – усредненное значение полей рассеяния с верхней и боковой стороны ИДД (не экранированных ФС); B_2 – усредненное значение полей рассеяния с нижней стороны ИДД (экранированных ФС); m – полная масса ИДД; $G_H = \max\{H_{3b}, H_{3c}, (H_1 + \delta + H_2)\}$ – максимальные аксиальные габариты ИДД; $G_D = \max\{D_{ex1}, D_{ex2}, D_{ex3b}\}$ – максимальные радиальные габариты ИДД; θ_1 – среднее превышение температуры индуктора за один рабочий цикл; W_{kin} – кинетическая энергия, развиваемая ИДД за время t_{imp} .

Таблица 1 – Параметры ИДД

№	f_{zm} , кГц	F_z , Гц	t_{imp} , мс	j_{1m} , А/мм ²	j_{2m} , А/мм ²	Δz , мм	V_{max} , м/с	B_1 , мТл	B_2 , мТл	m , кг	G_H , мм	G_D , мм	θ_1 , °С	W_{kin} , Дж
1	13,96	6.53	1.24	267	535	16.3	9.93	222.52	33.36	1,16	25	50	0.459	23.67
2	15,07	8.02	1.39	260	519	18.7	12.63	7.22	6.76	2,93	30	61	0.485	38.28
10	14,44	6.76	1.26	262	524	15.6	10.65	215.35	20.30	1,57	15	61	0.435	27.22
11	15,18	7.99	1.37	261	523	19.1	12.61	30.59	42.58	2,86	25	66	0.485	38.16
18	14,55	7.47	1.33	269	539	18.1	11.33	80.54	22.47	1,79	25	50	0.504	30.81
19	14,57	7.56	1.35	269	538	18.3	11.46	59.64	27.42	1,79	25	61	0.507	31.52
27	15,23	8.12	1.41	263	526	19.2	12.59	16.17	1.70	2,97	65	61	0.498	38.04
28	10,20	5.80	1.39	272	570	15.2	11.47	38.70	4.66	2,08	35	61	0.500	31.57
34	16,13	8.59	1.56	283	425	14.6	12.17	15.91	3.04	2,23	25	66	0.451	35.55
35	14,34	7.23	1.33	278	631	15.6	12.45	16.52	6.64	2,10	24	61	0.671	37.20
39	16,74	9.66	1.81	256	357	13.3	10.83	15.73	1.58	2,28	26	61	0.427	28.15
40	11,77	8.38	1.77	235	384	14.0	12.73	3.55	2.26	2,19	25	61	0.564	38.89
46	11,77	8.38	1.76	235	384	14.0	12.74	3.54	2.26	2,19	25	61	0.516	38.95
47	16,01	8.68	1.59	264	441	15.0	12.56	15.20	3.15	2,20	25	61	0.463	37.86
52	16,03	8.89	1.53	263	524	15.8	14.76	16.20	3.25	2,15	25	61	0.451	52.29

Все параметры для каждой комбинации геометрических параметров элементов приводятся к относительному показателю, учитывающему максимальное и минимальное значения, которые приведены в табл. 2:

$$K_i^* = \frac{K_i - K_{i-\min}}{K_{i-\max} - K_{i-\min}} \cdot 100\%; \quad (13)$$

$$K_{i-\max} = \max\{K_1, K_2, K_3, \dots, K_{52}\};$$

$$K_{i-\min} = \min\{K_1, K_2, K_3, \dots, K_{52}\}.$$

Таблица 2 – Максимальное и минимальное значения параметров

f_{zm} , кН	F_z , Нс	t_{imp} , мс	j_{1m} , А/мм ²	j_{2m} , А/мм ²	Δz , мм	V_{max} , м/с	B_1 , МТл	B_2 , МТл	m , кг	G_H , мм	G_D , мм	θ_1 , °С	W_{kin} , Дж
10,20	5.80	1.24	296.2	357.0	13.35	9.93	3,54	1,58	1,16	15	50	0.427	23.67
19,75	9.66	1.81	234.8	630.7	19.20	19.56	222,52	42,58	2,97	65	66	0.671	52.29

Критерии эффективности ИДД.

Для анализа показателей работы ИДД введем комплексный критерий эффективности:

$$\eta_i^* = \sum_{i=1}^{14} K^* \cdot i \cdot \beta_i, \quad (14)$$

где K_i – i -ый относительный показатель эффективности соответствующего варианта ИДД (№ 1-52); β_i – весовые коэффициенты соответствующих показателей эффективности ИДД, удовлетворяющие соотношению:

$$\sum_{i=1}^{14} \beta_i = 1. \quad (15)$$

Для заданных весовых коэффициентов β_i соответствующих показателей (табл. 3) рассчитаны значения комплексного критерия эффективности (в %), которые представлены на рис. 6 для всех комбинаций ИДД (№ 1-52).

Таблица 3 – Значения показателей в зависимости от β_i

f_{zm} , кН	F_z , Нс	t_{imp} , с	j_{1m} , А/мм ²	j_{2m} , А/мм ²	Δz , мм	V_{max} , м/с ²	B_1 , МТл	B_2 , МТл	m , кг	G_H , мм	G_D , мм	θ_1 , °С	W_{kin} , Дж
β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	β_7	β_8	β_9	β_{10}	β_{11}	β_{12}	β_{13}	β_{14}
0,05	0,05	0,01	0,02	0,01	0,17	0,20	0,14	0,14	0,02	0,05	0,05	0,05	0,04

Как следует из рис. 6, наиболее эффективными вариантами ИДД являются № 33, 52, для которых исследована их "универсальность" путем создания при помощи генератора случайных чисел N комбинаций весовые коэффициентов β соответствующих относительных показателей эффективности. Для полученных массивов значений комплексных критериев эффективности η^* было определено усредненное значение, которое выступает универсальным критерием эффективности ИДД. Данное значение на рис. 7 отмечено жирной горизонтальной линией.

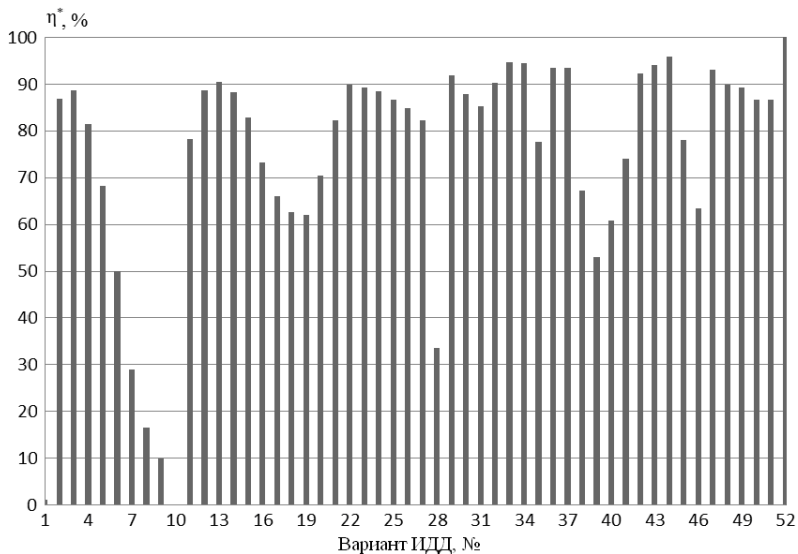


Рис. 6 – Значения комплексного критерия эффективности для ИДД.

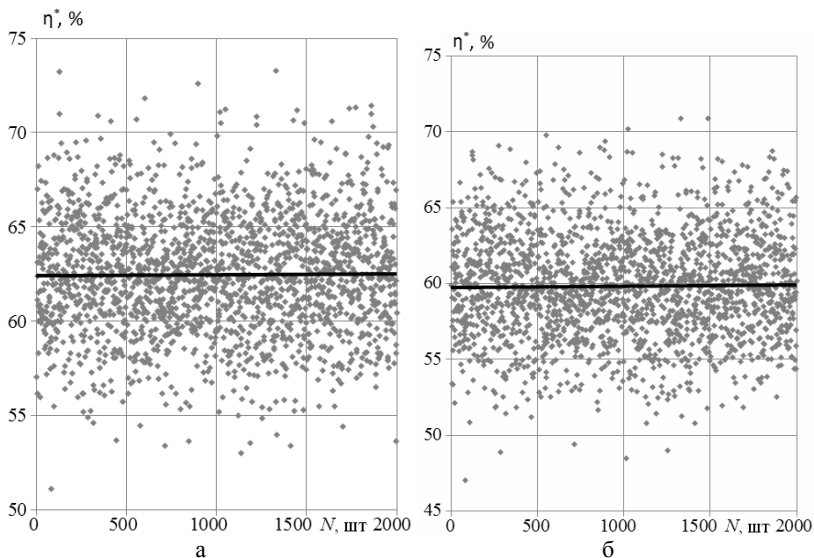


Рис. 7 – Значения комплексных критериев эффективности η^* для N комбинаций весовые коэффициентов β для ИДД: а – ИДД №33; б – ИДД №52.

Таким образом, усредненное значение комплексного критерия эффективности для ИДД № 33 равно 62,7 %, а для ИДД № 52 – 60 %. На рис. 8 представлены распределения магнитных полей в момент максимума ЭДУ для данных вариантов ИДД.

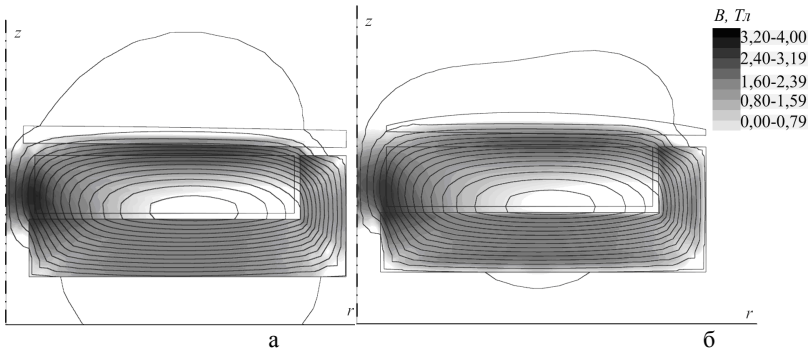


Рис.8 – Распределение магнитных полей в момент максимума ЭДУ для ИДД: а – № 33, б – № 52.

На рис. 9 показаны плотности тока и параметры ЭДУ для наиболее эффективного ИДД № 33. По сравнению с базовым вариантом (рис. 2) происходит увеличение времени действия на якорь ИДД положительного импульса ЭДУ t_{imp} , за счет чего на 35 % возрастает импульс ЭДУ.

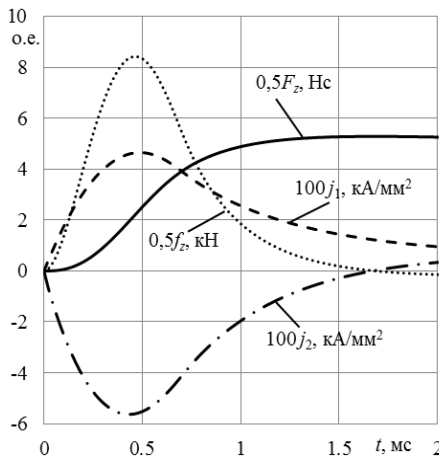


Рис. 9 – Плотности тока и параметры ЭДУ для ИДД № 33.

Выводы. Предложен метод выбора комбинации геометрических параметров элементов ИДД, основанный на введении комплексного критерия эффективности и оптимизационном подходе, при котором учитываются электродинамические, электромагнитные, скоростные, температурные показатели, массогабаритные параметры и магнитные поля рассеяния. Установлены варианты оптимальных комбинаций геометрических параметров элементов ИДД для заданных весовых коэффициентов и выделена среди них наиболее "универсальная" комбинация.

Список литературы: 1. *Болюх В.Ф., Олексенко С.В., Шукин И.С.* Влияние параметров ферромагнитного сердечника на эффективность индукционно-динамического двигателя // *Электротехника і електромеханіка*. – 2012. – № 6. – С. 20-27. 2. *Болюх В.Ф., Олексенко С.В.* Влияние конфигурации якоря на эффективность линейного электромеханического преобразователя // *Вісник НТУ "ХПІ"*. Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2012. – № 49. – С. 18-26. 3. *Болюх В.Ф., Олексенко С.В.* Синтез параметров индукционно-динамического двигателя // *Вісник НТУ "ХПІ"*. Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2013. – № 15. – С. 93-104. 4. *Мазуренко М.И., Петухов В.А., Поведайло В.А.* и др. Электродинамический импульсный клапан для получения молекулярных пучков // *Приборы и техника эксперимента*. – 2002. – № 2. – С. 152-155. 5. *Кузнецов П.В., Толмачев Н.С., Хартонов В.Д.* и др. Индукционно-динамическая система очистки сушильного оборудования // *Молочная промышленность*. – 1989. – № 1. – С. 25-26. 6. *Анисимов Г.И.* Импульсные способы зачистки остатков смерзшихся грузов // *Промышленный транспорт*. – 1988. – № 2. – С. 22-25. 7. *Walls W.A., Weldon W.F., Pratap S.P.* et al. Application of electromagnetic guns to future naval platforms // *IEEE Transactions on Magnetics*. – 1999. – Vol. 35, № 1. – P. 262-267.

Надійшла до редколегії 25.09.2013

УДК 621.313:536.2.24:539.2

Методика выбора параметров индукционно-динамического двигателя с ферромагнитным сердечником / Болюх В.Ф., Омар Бенансса, Олексенко С.В. // *Вісник НТУ "ХПІ"*. Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПІ", 2013. – № 51 (1024). – С. 3-15. *Бібліогр.: 7 назв.*

Запропоновано метод вибору параметрів індукційно-динамічного двигуна з феромагнітним сердечником, заснований на введенні комплексного критерію ефективності, при якому враховуються електродинамічні показники, масогабаритні параметри і магнітні поля розсіювання. Для заданих критеріїв встановлено ряд ефективних конфігурацій параметрів індукційно-динамічного двигуна і вибрано найбільш універсальний.

Ключові слова: індукційно-динамічний двигун з ферромагнітних сердечником, комплексний критерій ефективності, електродинамічні показники.

We propose a method for selecting the parameters of the dynamic induction-motor with a ferromagnetic core, based on the introduction of integrated criterion of efficiency, which takes into account the electrodynamic parameters, weight and size parameters and stray magnetic fields. For a given set of criteria a number of effective configuration parameters of induction-dynamic engine have determined and the most versatile of them is chosen.

Keywords: induction-dynamic engine with a ferromagnetic core, a comprehensive measure of effectiveness, the electrodynamic parameters.



Блох Владимир Федорович, профессор, доктор технических наук. Защитил диплом инженера по специальности "Криогенная техника" в 1979 г., диссертации кандидата и доктора технических наук в Харьковском политехническом институте по специальности электрические машины и аппараты, соответственно в 1987 и 2003 гг. Профессор кафедры "Общая электротехника" Национального технического университета "Харьковский политехнический институт" с 2004 г. Научные интересы связаны с проблемами линейных электромеханических преобразователей импульсного действия, криогенных и сверхпроводящих электромеханических устройств.



Омар Бенаиса, к.т.н., доцент факультета научной инженерии университета МВВ, Бумердес, Алжир. Защитил диплом инженера по специальности электрические машины и аппараты Запорожского машиностроительного института в 1980 г. Диссертацию по специальности электрические машины и аппараты защитил в 1984 г. В Харьковском политехническом институте. Научные интересы связаны с электрическими машинами.



Олексенко Сергей Владимирович. Защитил диплом магистра в Национальном техническом университете "Харьковский политехнический институт" в 2011 г. Аспирант кафедры общей электротехники НТУ "ХПИ". Научные интересы связаны с проблемами линейных электромеханических преобразователей импульсного действия.