

ӘОЖ 004.942

А.А. Айкеева¹, Б.А. Жаутиков², К.С. Роговая¹, Ф.Б. Жаутиков³, П.А. Мухтарова¹

¹Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті;

²Х. Досмухамедов атындағы Атырау мемлекеттік университеті;

³Қарағанды мемлекеттік индустриалды университеті
(E-mail: aikeeva@mail.ru)

Электрмагниттік көтергіш қондырғы элементтерінің негізгі сипаттамаларының динамикалық талдауы

Мақала электрмагниттік көтергіш қондырғының «скип–тұрақты магнит–орауыш» жүйе элементтерінің имитациялық моделін құрастыруға бағытталған. Авторлар электрмагниттік көтергіш қондырғысы элементтерінің жұмыс істеу принципін ұсынып сипаттаған. Модельдеу үшін ANSYS Maxwell программасы қолданылды. Модельдеу тапсырмалары: қондырғы элементтерінің негізгі магниттік сипаттамаларын анықтау (Лоренц күші, магнит өрісінің кернеулігі мен магнит индукциясы). Нәтижесінде есептелінген параметрлер бойынша жалпы графикалық диаграммалары тұрғызылған бес эксперимент келтірілген, онда бірнеше айнымалылары бар инженерлік теңдеулер құрастырылды. Алынған теңдеулер жұмыста есептелінетін магнит өрісінің сипаттамаларын анықтауға мүмкіндік берді.

Кілт сөздер: электрмагниттік көтергіш қондырғы, скип–тұрақты магнит–орауыш, ANSYS Maxwell, магнит өрісінің индукциясы, Лоренц күші, магнит өрісінің кернеулігі.

№ 27177 «Электрмагниттік көтергіш қондырғы (варианттар)» [1] инновациялық патентімен қорғалған электрмагнит көтергіш қондырғысының элементтерінің өзара әсерлесу процестерін имитациялық модельдеу процесінің мақсаты жүйенің оңтайлы және рационалды параметрлерін көп қаражатты талап ететін эксперименттерді жүргізбей, есептік жолмен анықтау болып табылады. Компьютерлер мен қолданбалы бағдарламалардың қазіргі заманғы мүмкіндіктері «скип–тұрақты магнит–орауыш» біртұтас динамикалық жүйенің органикалық өзара байланысқан көпфакторлы динамикалық күйлерін сипаттау үшін жүйелік түрде қарастыруын толықтай жүзеге асыруға мүмкіндік береді [2, 3].

Зерттеулер барысында шахта оқпанында скип қозғалысының моделі жасалды. Берілген модель магниттік левитация эффектісіне негізделген. Бұл әдістің мән-мағынасы келесіде: скипте немесе скиптің төменгі жағында тұрақты магниттер орналастырылады да, шахта оқпанының бойымен орауыш орамдарын орналастыру ұсынылады. Бұл жағдайда тұрақты магниттері бар скип оқпан бойымен орауыштан өтіп қозғалады. Тұрақты магниттер орауыш арқылы өткен кезде скип жылдамдығын ұлғайтып, оны жоғары қарай қозғалтатын магнит өрісі пайда болады [4, 5].

Берілген зерттеудің моделін жасау кезінде материалдардың қасиеттері ANSYS Maxwell кітапхана деректерінен алынды. Тұрақты магниттің материалы ретінде NdFeB (неодим-темір-бор) элементі таңдап алынды. Бұл жерде сирек кездесетін магниттер класынан кіретін элемент Nd₂Fe₁₄B интерметаллидінен престоу немесе құю арқылы жасалады. Берілген класс магниттерінің ерекшелігі олардың магниттік қасиеттерінің жоғары (B, H және (B-H)_{max}) және бағасының арзан болуында. Коррозияға тұрақтылығының төмен болуына байланысты магниттің беті мыс, никель немесе мырышпен жалатылады. Біздің жағдайда магниттер никельмен жалатылған деп қарастырамыз. Орауыш орамдарының материалы ретінде мыс таңдап алынды [6, 7].

Скип пен орауыштың геометриялық параметрлері әр түрлі болатын 5 модель зерттелді. Бастапқы эксперимент төмен өлшемді модель үшін жүргізілді. Имитациялық модельдерді жасау үшін бастапқы мәліметтер 1-кестеде, ал модельдердің геометриялық параметрлері 2-кестеде көрсетілген.

1 - кесте

Имитациялық модельдерді жасау үшін бастапқы мәліметтер

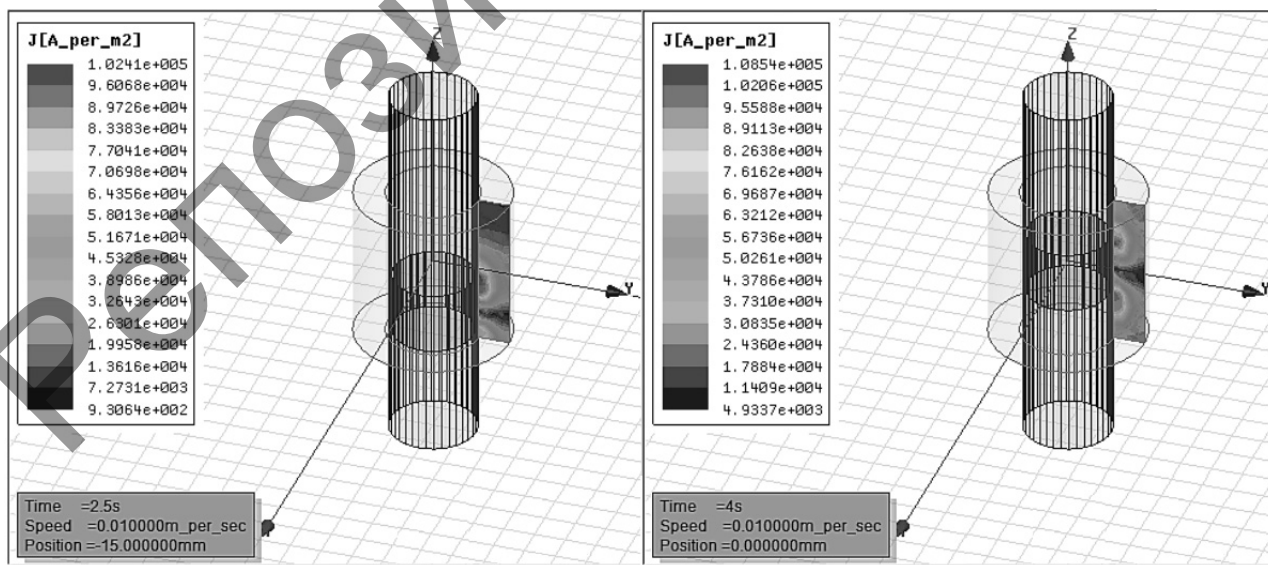
Модель түрі	Элемент	x, см	y, см	z, см	dx, см	dy, см	dz, см	$t_{козг.}, c$
Бастапқы модель	Скип	0	0	-1	0	1,4	1	8
	Орауыш	0	1,5	-2,5	0	2,5	2,5	0
1	Скип	0	0	-1	0	1	1	8
	Орауыш	0	1,1	-2,5	0	2,1	2,5	0
2	Скип	0	0	-1	0	0,6	1	8
	Орауыш	0	0,7	-2,5	0	1,7	2,5	0
3	Скип	0	0	-1	0	1,8	1	8
	Орауыш	0	1,9	-2,5	0	2,9	2,5	0
4	Скип	0	0	-1	0	2,2	1	8
	Орауыш	0	2,3	-2,5	0	3,3	2,5	0

2 - кесте

Имитациялық модельдердің геометриялық параметрлері

Модель түрі	Скип радиусы, см	Скип биіктігі, см	Орауыштың ішкі радиусы, см	Орауыштың сыртқы радиусы, см	Орауыштың биіктігі, см
Бастапқы модель	1,4	2	1,5	2,5	5
1	1	2	1,1	2,1	5
2	0,6	2	0,7	1,7	5
3	1,8	2	1,9	2,9	5
4	2,2	2	2,3	3,3	5

Зерттеу барысында анықталатын негізгі параметрлер магнит индукция B векторының, магнит өрісінің H кернеулігі мен Лоренц J күшінің көрсеткіштері болды. Бірінші сипаттамалар магнит өрісінің негізгі параметрлерін көрсетеді. Лоренц күші орауыштың шахта оқпанында орналасуына сай z осі бойымен бағытталған. J параметрін анықтау бойынша есептеу мысалы 1-суретте көрсетілген.

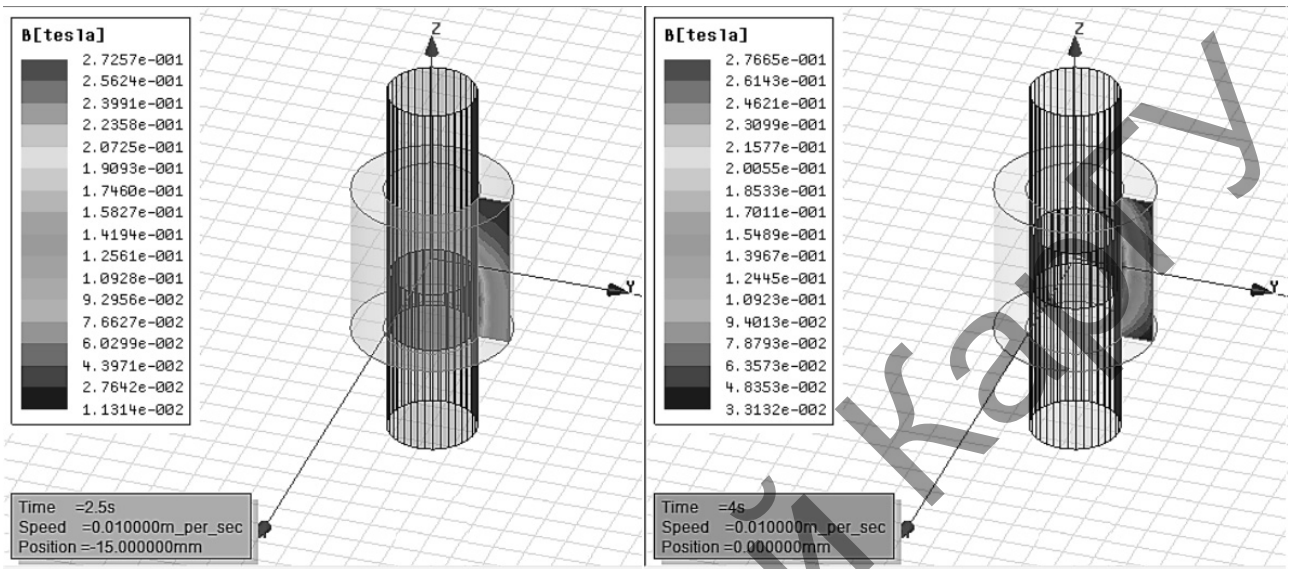


а) скип қозғалысының 2,5 с

б) скип қозғалысының 4 с

1-сурет. Бастапқы модельдің Лоренц күшін есептеу нәтижелері

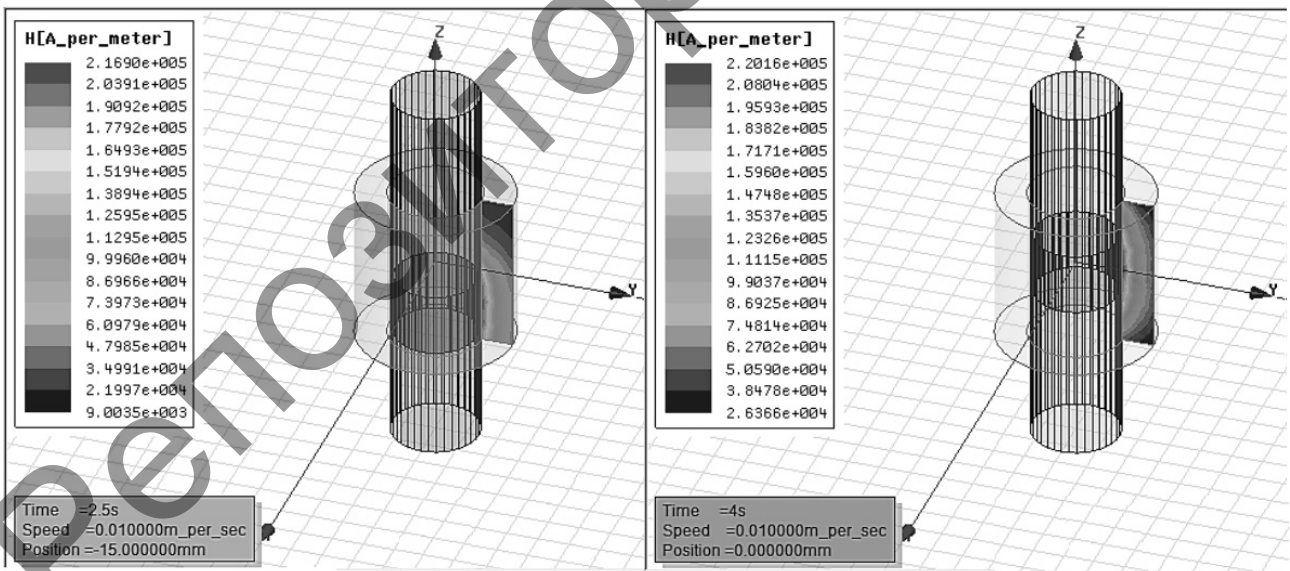
Төменде 2- және 3-суреттерде магнит өрісінің индукциясы мен кернеулігінің сипаттамалары анықталатын модель шешімінің кезеңдері келтірілген. Өзара әсерлесу бейнесі толық болу үшін скиптің қозғалыс уақытының 2,5 с мен шахта оқпанының орта тұсында, яғни, қозғалыстың 4 с орналасу моменті көрсетілген. Сол жақта орналасқан түрлі-түсті диаграммада өзара әсерлесу кезіндегі сипаттаманың минимал шамасынан максимал шамасына дейін мәндері көрсетілген. Сипаттаманың ең минимал мәні сұр түспен, ал максимал мәні қара түспен берілген.



а) скип қозғалысының 2,5 с

б) скип қозғалысының 4 с

2-сурет. Бастапқы модельдің B магнит индукциясын есептеу нәтижелері



а) скип қозғалысының 2,5 с

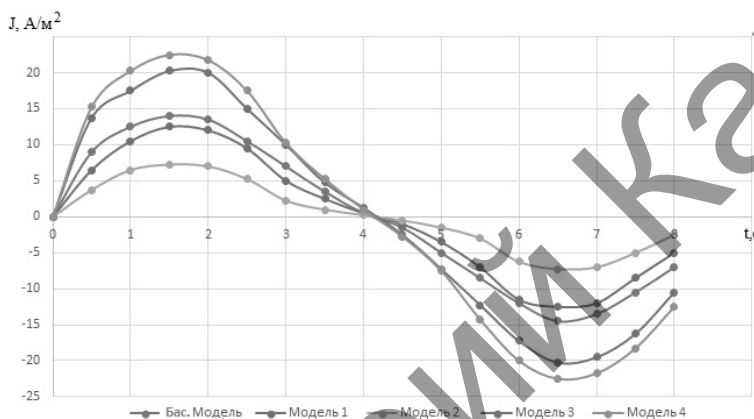
б) скип қозғалысының 4 с

3-сурет. Бастапқы модельдің магнит өрісінің кернеулігін есептеу нәтижелері

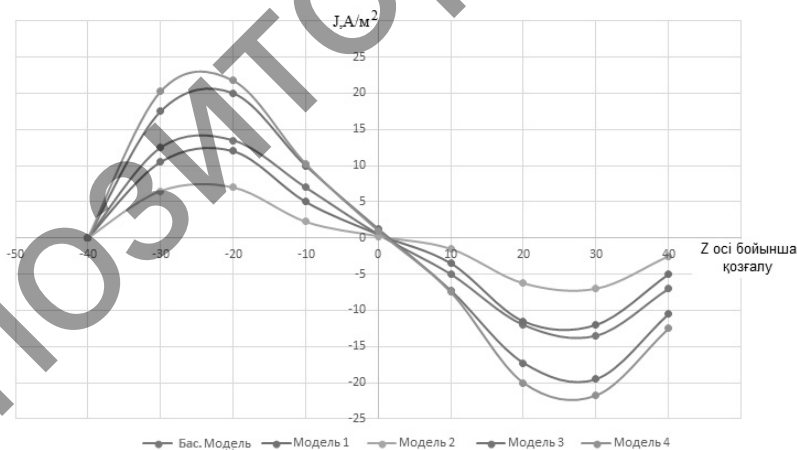
Бастапқы кезеңде модельдің әр секундында скип бойындағы тұрақты магниттерден тұратын массивтің шахта оқпанындағы орауышпен өзара әсерлесуі көрсетілген. Скиптің модельде орналасу жағдайына байланысты өзара әсерлесу бейнесі өзгереді. Жоғарыда сипатталған әдістеме бойынша геометриялық параметрлері әр түрлі 5 модель зерттелді. Табылған шешім нәтижелері бойынша әр

модель үшін B , H және J қисықтарының жиынтықтары тұрғызылды. Бұл қисықтарды тұрғызу мәліметтері өткізілетін зерттеудің әр секундындағы максимал параметрлерінен таңдап алынды.

4-суретте Лоренц күшінің параметрлерінің барлық бес экспериментал модельдерінің уақытынан тәуелділігінің жиынтықтары келтірілген. Графиктен көріп тұрғандай, Лоренц күшінің ең жоғары және ең төмен мәндері 4-модель үшін байқалады. Берілген модельді шешу барысында таңдап алынған геометриялық параметрлер ең жоғары көрсеткіштерге ие болды. Лоренц күші параметрлерінің ең төмен максимал мен минимал мәндері 2-модель үшін байқалды. Берілген модель үшін есептеу барысында ең төмен геометриялық параметрлер берілді. Сонымен, геометриялық параметрлердің тәуелділігі Лоренц күшінің нәтижелік мәндеріне тура пропорционал. Геометриялық шамалардың мәндері неғұрлым көп болса, соғұрлым Лоренц күшінің максимал мен минимал мәндері жоғары болады. Тура осындай жағдай 5-суретте байқалады. Онда Лоренц күшінің параметрлерінің скиптің осі бойымен орын ауыстыруынан тәуелділігі келтірілген. Скиптің геометриялық параметрлері неғұрлым жоғары болса, соғұрлым Лоренц күшінің мәндері де үлкен болады.



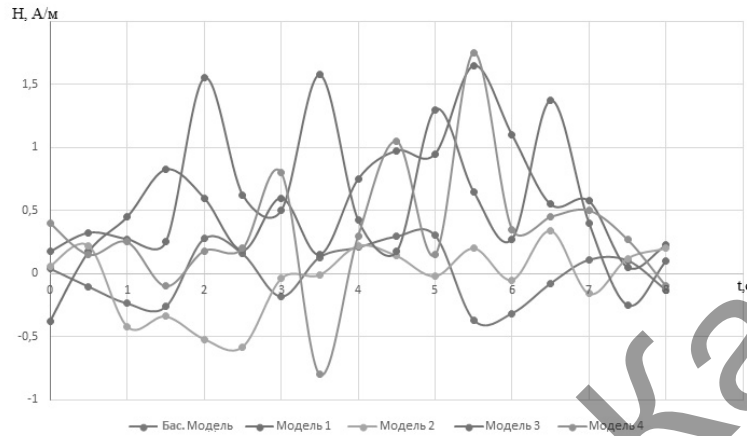
4-сурет. Лоренц күшінің уақыттан тәуелділіктер жиынтығы



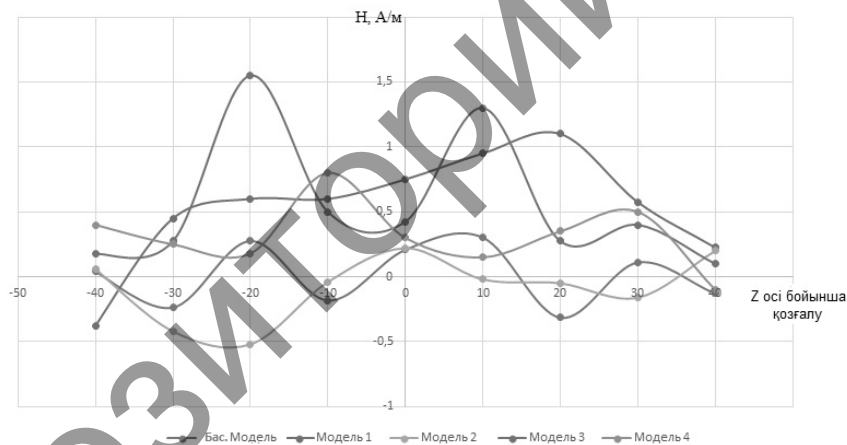
5-сурет. Лоренц күшінің Z осі бойымен орын ауыстырудан тәуелділіктер жиынтығы

6-суретте магнит өрісінің кернеулігінің параметрлерінің барлық бес эксперименталдық модельдердің уақытынан тәуелділіктерінің жиынтығы көрсетілген. Графиктен көріп отырғанымыздай, магнит өрісінің кернеулігі параметрлерінің ең кіші максимал мен минимал мәндері 2-модельде байқалды. Берілген модель үшін есептеу барысында геометриялық параметрлерінің ең төменгі мәндері берілді. Сонымен, геометриялық параметрлерінің тәуелділігі магнит өрісінің кернеулігінің нәтижелік мәндеріне тура пропорционал. Геометриялық шамалардың мәндері неғұрлым жоғары болса, соғұрлым H параметрінің максимал мен минимал мәндері жоғары болады. 7-суретте бірқалыпты жағдай байқалады. Берілген жағдайда Z осі бойынша орын ауыстыру позицияларына секунданың толық үлестері сәйкес келіп, шамалардың күрт артуы секунданың жарты үлесінде

орынды болғандықтан, мұнда 4-модель үшін шыңдар байқалмайды. Сондықтан берілген жағдайда тәуелділік кері пропорционал болады. Скиптің геометриялық параметрлері не артып, не кемісе, соғұрлым графиктегі магнит өрісінің кернеулігінің максимал мен минимал мәндерінің ауытқулары бірқалыпты көрсетіледі. Яғни берілген параметрлер, баска модельдермен салыстырғанда, геометриялық мәндерінің шамаларының артық болуы бойынша, сәйкесінше екінші және төртінші болатын 1- мен 3-модельдер үшін жоғары болады.

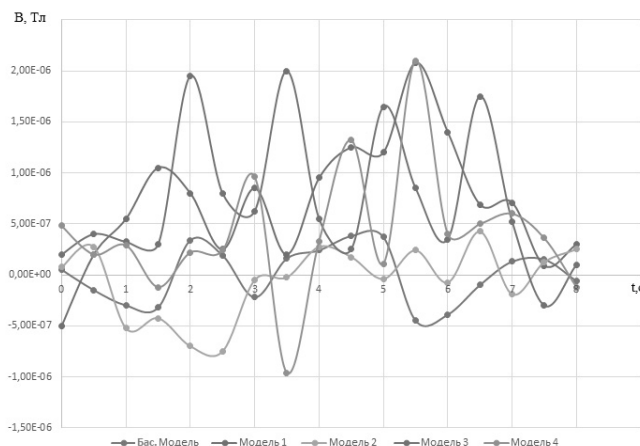


6-сурет. Магнит өрісі кернеулігінің уақыттан тәуелділіктерінің жиынтығы

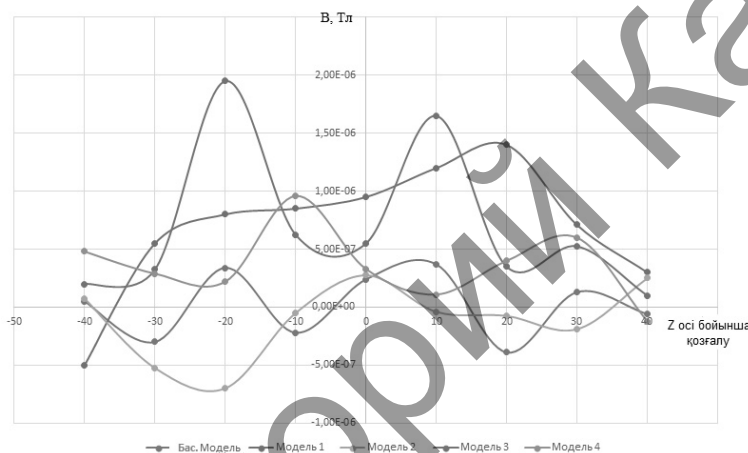


7-сурет. Магнит өрісі кернеулігінің Z осі бойынша орын ауыстыруынан тәуелділіктерінің жиынтығы

8-суретте магнит өрісінің индукция параметрлерінің барлық бес эксперименталдық модельдердің уақытынан тәуелділіктерінің жиынтығы көрсетілген. Графиктен көріп отырғандай, магнит индукциясының ең жоғары және ең төмен мәндері 4-модель үшін байқалады. Магнит өрісі индукциясының параметрлерінің мәндерінің ең төмен максимал және ең төмен минимал мәндер 2-модель үшін байқалады. Сонымен, геометриялық параметрлердің тәуелділігі магнит B индукциясының нәтижелеріне тура пропорционал. Геометриялық шамалардың мәндері неғұрлым жоғары болса, соғұрлым B параметрінің максимал мен минимал мәндері жоғары болады. 9-суретте бұдан бірқалыпты болатын жағдай байқалады. Мұнда 4-модельде шыңдар байқалмайды. Себебі шамалардың ауытқулары секунданың жарты үлесінде орынды болып, берілген жағдайда Z осі бойынша орын ауыстыру позицияларына секунданың толық үлестері сәйкес келді. Сондықтан берілген жағдайда тәуелділік кері пропорционал болады. Скиптің геометриялық параметрлері неғұрлым жоғары немесе неғұрлым төмен болса, соғұрлым графикте магнит өрісі индукция мәндерінің максимал мен минимал мәндерінің ауытқулары бірқалыптырақ көрсетіледі. Яғни берілген параметрлер, баска модельдермен салыстырғанда, геометриялық мәндерінің шамаларының артық болуы бойынша, сәйкесінше екінші және төртінші болатын 1- мен 3-модельдер үшін жоғары болады.



8-сурет. Магнит өрісі индукциясының уақыттан тәуелділіктерінің жиынтығы



9-сурет. Магнит өрісі индукциясының Z осі бойынша орын ауыстыруынан тәуелділіктерінің жиынтығы

Бірнеше айнымалылардан функционалды тәуелділіктерді анықтау ANETR бағдарламасы көмегімен бастапқы эксперимент параметрлері негізінде Лоренц күші, магнит өрісінің магнит индукциясы мен кернеулігінің сызықты емес тәуелділіктері алынды:

$$J(R_c, h_c, R_{\text{кат\ сырт}}, R_{\text{кат\ ішкі}}, h_{\text{кат}}, t) = (6,62221E-02 \times R_c^2 - 1,17237E+00 \times R_c + 5,85667E+00) \times (-6,24003E-03 \times h_c^2 + 1,86122E-02 \times h_c + 2,69197E+00) \times (2,73563E+00 - 3,85961E-02 \times R_{\text{кат\ сырт}}) \times (2,78227E+00 - 5,70922E-02 \times R_{\text{кат\ ішкі}}) \times (-7,99830E-02 \times h_{\text{кат}}^2 + 2,49417E-01 \times h_{\text{кат}} + 2,95974E+00) \times (-2,48646E-02 \times t^2 - 3,20559E-01 \times t + 4,01304E+00) / 1,223708E+02;$$

$$H(R_c, h_c, R_{\text{кат\ сырт}}, R_{\text{кат\ ішкі}}, h_{\text{кат}}, t) = (-8,83693E-03 \times R_c^2 + 2,40522E+01 \times R_c + 1,05605E+01) \times (1,84315E+01 - 5,95177E-02 \times h_c) \times (1,83474E+01 - 6,14728E-02 \times R_{\text{кат\ сырт}}) \times (1,79308E+01 - 5,74880E-02 \times R_{\text{кат\ ішкі}}) \times (1,81042E+01 - 4,11898E-02 \times h_{\text{кат}}) \times (1,88361E+01 - 1,00375E-01 \times t) / 1,466868E+06;$$

$$B(R_c, h_c, R_{\text{кат\ сырт}}, R_{\text{кат\ ішкі}}, h_{\text{кат}}, t) = (-1,02949E-02 \times R_c^2 + 2,35418E-01 \times R_c + 4,07206E+00) \times (4,45300E+00 - 1,59320E-03 \times h_c) \times (4,81287E+00 - 7,89474E-02 \times R_{\text{кат\ сырт}}) \times (4,63128E+00 - 4,13494E-02 \times R_{\text{кат\ ішкі}}) \times (h_{\text{кат}} / (6,79117E-02 + 2,45307E-01 \times h_{\text{кат}})) \times (2,50443E-02 \times t^2 - 5,63115E-01 \times t + 5,76167E+00) / 1,734153E+03;$$

мұнда J — Лоренц күші; H — магнит өрісінің кернеулігі; B — магниттік индукция; R_c — скип радиусы; h_c — скип биіктігі; $R_{\text{кат\ сырт}}$ — орауыштың сыртқы радиусы; $R_{\text{кат\ ішкі}}$ — орауыштың ішкі радиусы; $h_{\text{кат}}$ — орауыштың биіктігі; t — скиптің қозғалыс уақыты.

Қорытынды

Жасалған зерттеулер негізінде келесі нәтижелер алынды:

1. Скиптің әр түрлі геометриялық параметрлері мен шахта діңгегіндегі ораманың «скип – тұрақты магнит – орауыш» моделі үшін есептеулер жүргізілді.
2. Модельдеу нәтижесі бойынша әр модель параметрлерінен бес тәжірибелік модельдердің динамикалық сипаттамаларының салыстырмалық талдауы жасалды. Ол әр зерттелетін модельдің (шахта діңгегінде орналасқан скип және орама (орауыш)) тікелей оның геометриялық параметрлеріне үш негізгі анықталатын сипаттаманың (Лоренц, магнит өрісінің индукциясы және магнит өрісінің кернеулігі күштері) тәуелділігін көрсетті.
3. Уақыттан және скиптің тік Z осі бойынша қозғалуынан барлық тәжірибелік модельдердің Лоренц, магнит өрісінің индукциясы мен магнит өрісінің кернеулігінен тәуелділік жиынтықтары құрастырылды.

Берілген мақала «Пайдалы қазбаларды өңдеу технологиялары» басым бағыты бойынша ҚР БҒМ гранттық қаржыландыру ауқымындағы № 2684/ГФЗ «Электрмагниттік көтергіш қондырғысын жасау арқылы тау массасын алудың энергия үнемдеу технологиясын негіздеу мен жасау» тақырыбы бойынша, сонымен қатар «Энергетика мен машина жасау» басым бағыты бойынша № 0686/ГФ4 «Энергоүнемдеу көтергіш қондырғысының комплекстік қорғау және автоматты басқару жүйесін жасау» тақырыбы бойынша орындалған зерттеулер нәтижелері негізінде жазылды.

Әдебиеттер тізімі

1. Электрмагниттік көтергіш қондырғы (варианттар): Өнертабысқа инновациялық патент № 27177 ҚР ЭМ / Жаутиков Б.А., Айкеева А.А., Жаутиков Ф.Б., Мухтарова П.А.
2. Айкеева А.А. Имитационное моделирование динамики уплотняющих устройств в шахтных пневмоподъемных установках // Strategiczne pytania światowej nauki – 2008: Materiały iv międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji. — Przemśl: Wydawca Nauka I studia, 2008. — Т. 9. — С. 30–34.
3. Казаков Ю.Б., Щелькалов Ю.Я. Исследование магнитного поля в воздушном зазоре стартера СТ230Б: Тезисы докл. науч.-техн. конф. — Иваново: Иванов. энергетич. ин-т, 2008. — С. 129.
4. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров: справ. пособие. — М.: Машиностроение-1, 2004. — 512 с.
5. Айкеева А.А., Жаутиков Б.А., Роговая К.С., Жаутиков Ф.Б., Мухтарова П.А. Применение компьютерного моделирования для выбора параметров электромагнита // Автоматика и информатика. — Караганда: Изд. КарГТУ, 2015. — № 2(37). — С. 71–74.
6. Айкеева А.А., Жаутиков Б.А., Жанасбаева А.С., Мухтарова П.А. Исследование нагрузок на скип шахтной и карьерной электромагнитной подъемной установки // Вестн. Караганд. ун-та. — 2015. — № 3(79). — С. 90–95.
7. Aikeeva A.A., Zhautikov B.A., Zhautikov F.B., Mukhtarova P.A. The research loads on the skip of mine and quarry electromagnetic lifting installation // Eurasian Physical Technical Journal. — 2015. — No. 1(23). — P. 59–64.

А.А. Айкеева, Б.А. Жаутиков, К.С. Роговая, Ф.Б. Жаутиков, П.А. Мухтарова

Динамический анализ основных характеристик элементов электромагнитной подъемной установки

Данная работа направлена на построение имитационной модели элементов системы «скип-постоянный магнит-катушка» электромагнитной подъемной установки. Представлен и описан принцип работы элементов электромагнитной подъемной установки. Для моделирования использована программа ANSYS Maxwell. Выделена задача моделирования: определение основных магнитных характеристик элементов установки (силы Лоренца, напряженности магнитного поля и магнитной индукции). Описаны пять экспериментов, по рассчитанным параметрам которых построены общие графические диаграммы. По результатам экспериментов составлены инженерные уравнения с несколькими переменными. Полученные уравнения позволяют определить рассчитываемые в работе характеристики магнитного поля.

A.A. Aikeyeva, B.A. Zhautikov, X.S. Rogovaya, F.B. Zhautikov, P.A. Mukhtarova

The dynamic analysis of the main characteristics of electromagnetic lifting installation elements

This work concerns creation of imitating model of elements of the system «skip- constant magnet-coil» of electromagnetic lifting installation. In the work the principle of work of electromagnetic lifting installation elements is presented and described. For model operation the ANSYS Maxwell program was used. The problem of model operation is definition of the main magnetic characteristics of installation elements (Lorentz force, magnetic intensity and magnetic induction). The work describes five experiments which calculated parameters are used for construction the common graphic charts. By results of experiments engineering equations with several variables are worked-out. The received equations allow to define the characteristics of magnetic field counted in the work.

References

- 1 Zhautikov B.A., Aikeyeva A.A., Zhautikov F.B., Mukhtarova P.A. *Electromagnetic lifting unit (options)*, The innovative patent number 27177 MJ RK.
- 2 Aikeyeva A.A. *Strategic questions of world science – 2008*, Materials of intern. sci.-pract. conf., Przemsl: Wydawca Nauka I studia, 2008, 9, p. 30–34.
- 3 Kazakov Yu.B., Shchelykalov Yu.Ya. *Abstracts of sci.-techn. conf.*, Ivanovo: Ivanovo energy Inst., 2008, p. 129.
- 4 Chigarev A.V., Kravchuk A.S., Smalyuk A.F. *ANSYS to engineers: Reference manual*, Moscow: Mashinostroenie-1, 2004, 512 p.
- 5 Aikeyeva A.A., Zhautikov B.A., Rogovaya X.S., Zhautikov F.B., Mukhtarova P.A. *Automatics and Informatics*, Karaganda: KSTU Publ., 2015, 2(37), p. 71–74.
- 6 Aikeyeva A.A., Zhautikov B.A., Zhanasbaeva A.S., Mukhtarova P.A. *Bull. of the Karaganda State University*, 2015, 3(79), p. 90–95.
- 7 Aikeyeva A.A., Zhautikov B.A., Zhautikov F.B., Mukhtarova P.A. *Eurasian Physical Technical Journal*, 2015, 1(23), p. 59–64.