

А.А. Айкеева¹, К.С.Роговая¹, А.Р. Танскожанова¹,
А.Е. Аюбекова¹, П.А. Мухтарова¹, А.Е. Оспанов²

¹Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті, Қазақстан;

²Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті, Қазақстан
(E-mail: aikееva@mail.ru)

ANSYS Maxwell бағдарламалық ортада скип қозғалысының имитациялық моделін жасау

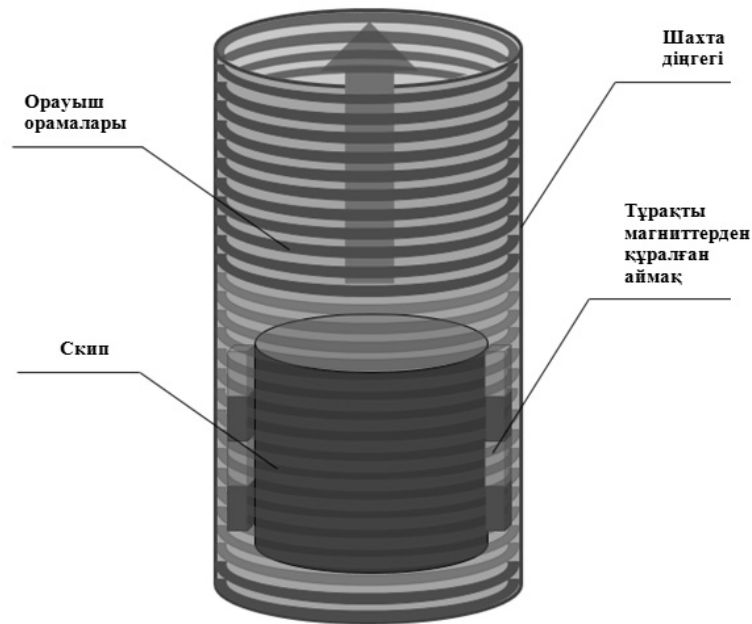
Мақала электрмагнитті көтергіш қондырғы элементтерінің имитациялық үлгісін жасауға бағытталған. «Скип–тұрақты магнит–орауыш» электрмагнитті көтергіш қондырғы элементтерінің жұмыс істеу принципі ұсынылған. Модельдеу ANSYS Maxwell бағдарламасы арқылы жүргізілді. Модельдеудің мақсаты қондырғы элементтерінің негізгі магниттік параметрлерін анықтау болды: Лоренц күшін, магнит өрісінің кернеулігін және магнит индукциясын. Есептелген параметрлер бойынша графиктік диаграммалар және бірнеше айнымалылары бар тендеулер түрінде инженерлік функциялар тұрғызылды.

Кілт сөздер: электрмагнитті көтергіш қондырғы, магниттік левитация, ANSYS Maxwell бағдарламасы, Лоренц, магнит өрісінің кернеулігі, магнитті индукция.

Электромагнит көтергіш қондырғысының негізгі элементтерінің өзара әсерлесудің динамикалық процестерін имитациялық модельдеудің мақсаты көп қаражатты талап ететін эксперименттерді жүргізбей-ақ жүйенің оңтайлы және тиімді параметрлерін есептік жолмен анықтау болып табылады. Қазіргі заманғы компьютерлер мен қолданбалы бағдарламалардың мүмкіндіктері «скип–тұрақты магнит–орауыш» біртұтас динамикалық жүйенің органикалық өзара байланысқан көп факторлы динамикалық күйлерін сипаттау үшін жүйелік түрде қарастыруын толықтай жүзеге асыруға мүмкіндік береді [1, 2].

Зерттеулер барысында скиптің шахта оқпанында қозғалысының үлгісі жасалды. Берілген модель магниттік левитация эффектісіне негізделді. Бұл әдістің мағынасы — скиптің жоғары немесе төменгі жағында тұрақты магниттер орналастырылып, шахта оқпанының бойымен орауыш орамдарын орналастыруды ұсыну. Бұл жағдайда, 1-суретте көрсетілгендей, тұрақты магниттері бар скип шахта оқпанында орауыштан өтіп қозғалады. Тұрақты магниттер катушкадан өткен кезде скип жылдамдығын ұлғайтып, оны жоғары қарай қозғалтатын магнит өрісі пайда болады.

Зерттеулер барысында алынған мәліметтер натурлық эксперименттермен дәлелденді. Жұмыс барысында ANSYS Maxwell бағдарламасында имитациялық модель зерттелді. Мұнда скип шахта оқпанындағы орауыш пен скип бойында орналасқан тұрақты магниттің магнит өрістерінің өзара әсерлесу күштерімен қозғалысқа келтірілді.



1-сурет. Шахта оқпанындағы скип қозғалысының моделі

Жүйенің артықшылығы берілген әдістің потенциалдық тұрғыда жаңа болуында. Тұрақты магниттердің белсенділігі үшін энергия қажет емес. Зерттеушілер тұрақты магниттер левитация жеткілікті күшке ие болмайды деп есептейді. Бірақ бұл мәселені магниттерді массивке орналастыру арқылы шешуге болады. Мұнда магниттер массив пен орауыш арасында пайда болатын магнит өрісі өте төменгі жылдамдықтағы (шамамен 5 км/сағ) левитацияны ұстап тұратындай етіп орналастырылу керек. Алайда тұрақты магниттерден құралған мұндай массивтердің қымбат болуы оның кемшілігі болып табылады [3, 4].

Берілген зерттеудің моделін жасау барысында материалдардың қасиеттері ANSYS Maxwell кітапхана деректерінен алынды. Тұрақты магниттің материалы ретінде NdFeB (неодим-темір-бор) элементі таңдап алынды. Бұл жерде сирек кездесетін магниттер класына кіретін элемент $Nd_2Fe_{14}B$ 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. Орауыш орамдарының материалы ретінде мыс және қосымша скип пен орауыштың өлшемдері таңдап алынды [5–7].

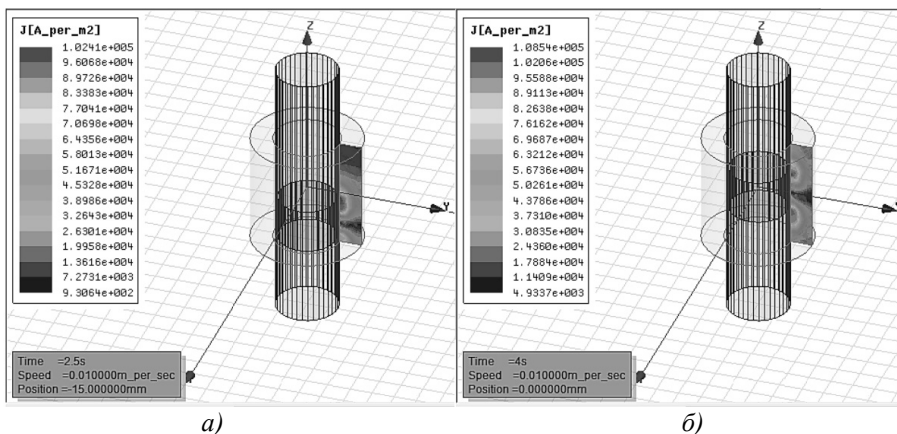
Эксперимент өлшемдері төмендегі модельде жүргізілді. Имитациялық модельді жасау үшін бастапқы мәліметтер кестеде көрсетілген.

К е с т е

Имитациялық модельді жасау үшін бастапқы мәліметтер

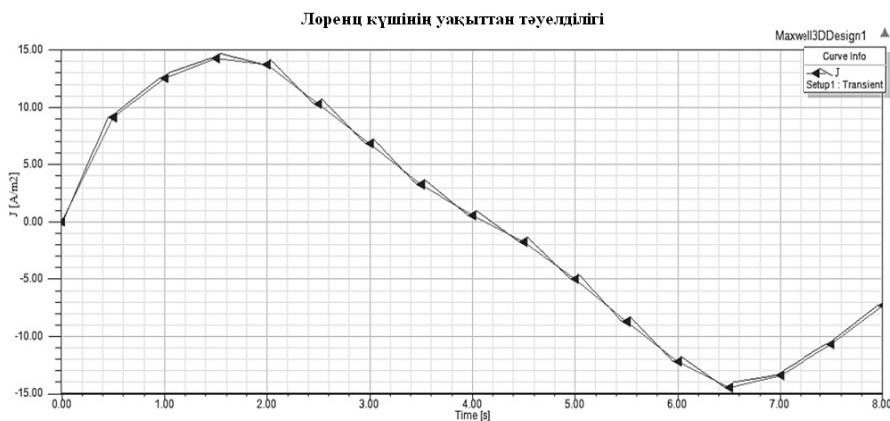
Модельдің түрі	Элемент	x, см	y, см	z, см	d_x , см	d_y , см	d_z , см	$t_{\text{коэф.}}$ с
Имитациялық модель	Скип	0	0	-1	0	1,4	1	8
	Орауыш	0	1,5	-2,5	0	2,5	2,5	0

Зерттеу барысында анықталатын негізгі параметрлер ретінде магнит индукция (B) векторының көрсеткіштері, магнит өрісінің (H) кернеулігі мен Лоренц (J) күші есептелді. Бірінші сипаттамалар магнит өрісінің негізгі параметрлерін анықтайды. Лоренц күші орауыштың шахта оқпанында орналасуына сай z осі бойынша бағытталған. J параметрін анықтаудың есептеу мысалы 2, 3-суреттерде келтірілген.



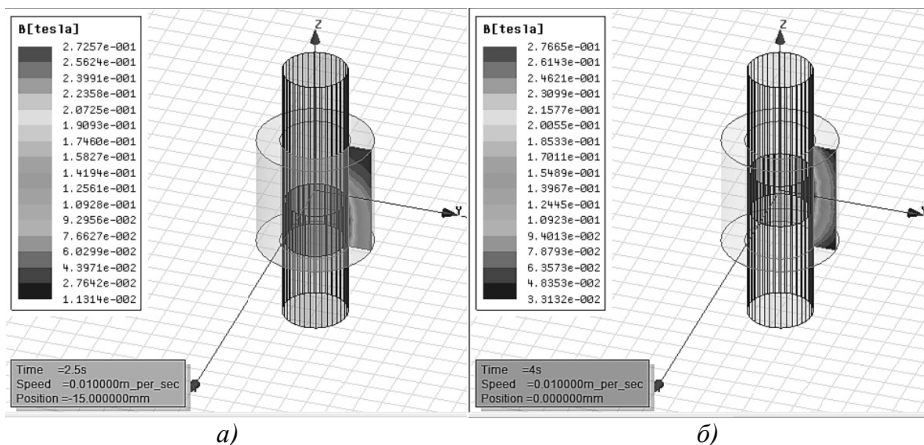
а) скип қозғалысының 2,5 сек.; б) скип қозғалысының 4 сек.

2-сурет. Модель үшін Лоренц күшін есептеу нәтижелері



3-сурет. Лоренц (J) күшінің өзгерісінің уақыттан тәуелділігі

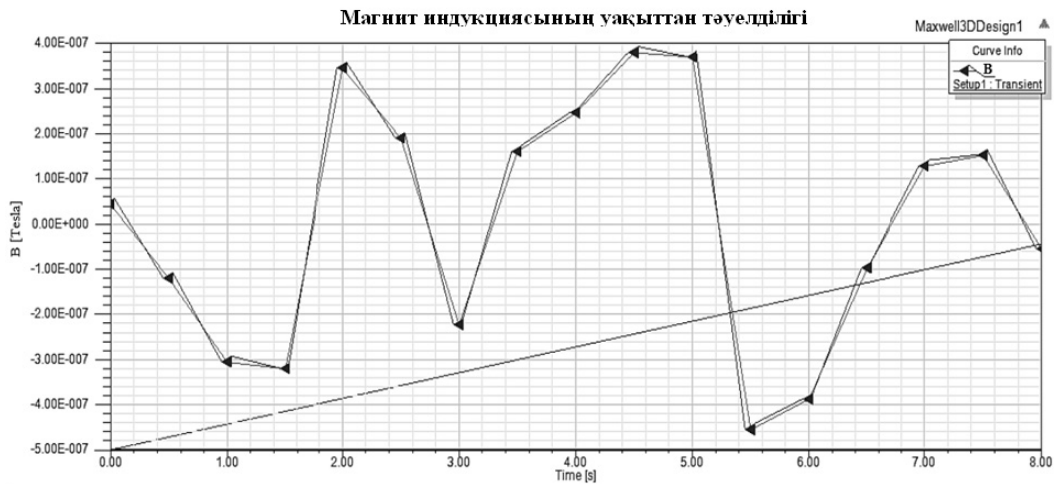
Төмендегі 4-суретте модель үшін магнит өрісі индукциясының сипаттамасы анықталатын есептеу кезеңі көрсетілген. Өзара әсерлесудің толық бейнесін алу үшін скип қозғалыстың 2,5 сек. орналасу моменті мен скиптің шахта оқпанының орта тұсында, яғни қозғалыстың 4 сек., орналасу моменті келтірілген. Сол жақтағы түрлі-түсті диаграммада өзара әсерлесу кезіндегі сипаттаманың ең минимал мәнінен (әлсіз түспен көрсетілген) ең максимал мәніне (қою түспен белгіленген) дейінгі шамалар келтірілген.



а) скип қозғалысының 2,5 сек.; б) скип қозғалысының 4 сек.

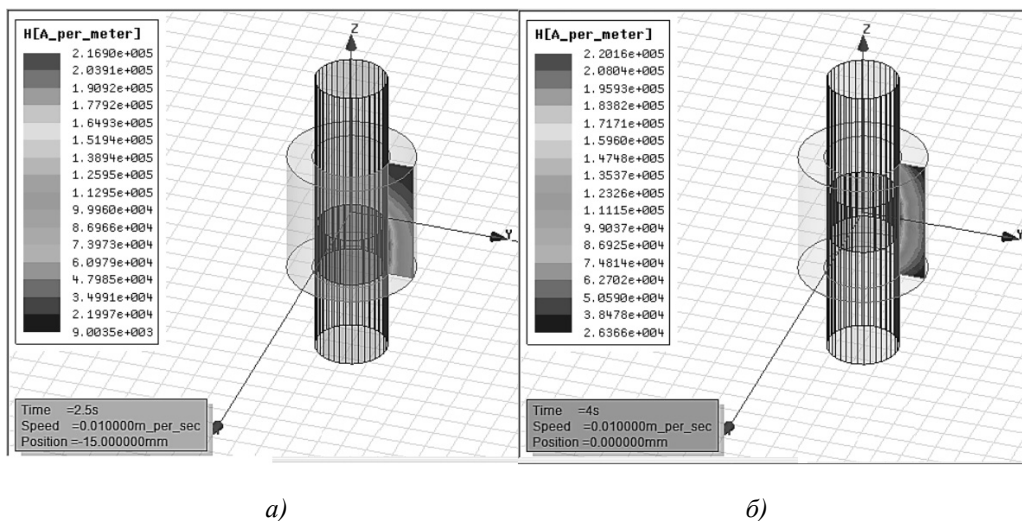
4-сурет. Модель үшін B магнит индукциясын есептеу нәтижелері

Эксперимент нәтижелері ANSYS Maxwell бағдарламасында магнит өрісінің индукция сипаттамаларының максимал мәндерінің уақыттан тәуелділік графигі тұрғызылды (5-сур.). Графигтің есеп берудің нақтылығы үшін уақыт интервалы 0,5 сек. құрады. Графигтегі магнит өрісінің индукциясының әр шамасы тұрақты магниттерден тұратын массив пен катушканың магнит өрісінің қосынды нәтижесі болып табылады. Бұл графиктегі магнит өрісінің индукция мәндерінің өзгерісін түсіндіреді.



5-сурет. Магнит B индукцияның уақыттан тәуелділігі

Осы жағдайға ұқсас жағдай магнит өрісінің кернеулігін параметрлерін есептеу барысында байқалады. Төменде 6-суретте модель үшін H параметрі анықталатын есептеу кезеңі келтірілген. 6-суреттегі модель 4 сек. кезеңінде көрсетілген. Сол жақтағы түрлі-түсті диаграммада магнит өрісінің кернеулігі сипаттамасының шамасы ең минимал мәндерінен ең жоғары мәніне дейін бейнеленген.



а) скип қозғалысының 2,5 сек.; б) скип қозғалысының 4 сек.

6-сурет. Модельдің магнит өрісінің кернеулігін есептеу нәтижелері

Жүргізілген эксперименттің нәтижелері бойынша ANSYS Maxwell бағдарламасында магнит өрісі кернеулігінің максимал сипаттамаларының уақыттан тәуелділігінің графигі тұрғызылды (7-сур.). Эксперименттің уақыт интервалы 0,5 сек. құрайды. Графигте көрсетілген магнит өрісі кернеулігінің әр шамасы тұрақты массив пен орауыштың магнит өрісінің қосындысы болып келеді. Уақыттың әрбір жеке мезетінде берілген шамалардың сомасы әр түрлі болды. Бұл графиктегі магнит өрісінің кернеулігінің мәндерінің өзгерісін түсіндіреді.



7-сурет. Магнит өрісі H кернеулігінің уақыттан тәуелділік графигі

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

Электромагнит өрісі параметрлерінің электромагниттер параметрлерінің өзгерісінің сызықты емес тәуелділіктері және арнаулы функциялары алынды. Лоренц күшінің, магнит индукциясының және магнит өрісі кернеулігінің уақыттан тәуелділіктері анықталды. ANSYS Maxwell бағдарламалық ортада графиктер тұрғызылып, имитациялық модель жасалды.

Мақала «Пайдалы қазбаларды өңдеу технологиялары» басым бағыты бойынша ҚР БҒМ гранттық қаржыландыру ауқымындағы № 2684/ГФЗ «Электромагниттік 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 «Энергия үнемдеу көтергіш қондырғысының комплекстік қорғау және автоматты басқару жүйесін жасау» тақырыбы бойынша орындалған зерттеулер нәтижелері негізінде жазылды.

Әдебиеттер тізімі

- 1 Айкеева А.А. Имитационное моделирование динамики уплотняющих устройств в шахтных пневмоподъемных установках: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. «Стратегические вопросы мировой науки – 2008» // Наука и исследования. — 2008. — Вып. 9. — С. 30–34.
- 2 Казаков Ю.Б., Щелькалов Ю.Я. Исследование магнитного поля в воздушном зазоре стартера СТ 230Б: тез. докл. науч.-техн. конф. — Иваново: Иванов. энерг. ин-т, 2008. — С. 129.
- 3 Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров: справ. пособие. — М.: Машиностроение-1, 2004. — 512 с.
- 4 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. — 2015. — № 2 (37). — С. 71–74.
- 5 Aikeyeva A.A., Zhautikov B.A., Rogovaya X.S., Zhautikov F.B., Mukhtarova P.A. 3-D modeling of elements of skip-electromagnet system // Eurasian Physical Technical Journal. — 2015. — Vol. 12. — No. 2 (24). — P. 28–32.
- 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. Сер. Физика. — 2015. — № 3 (79). — С. 90–95.
- 7 Aikeyeva 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, К.С. Роговая, А.Р. Танскожанова,
А.Е. Аюбекова, П.А. Мухтарова, А.Е. Оспанов

Разработка имитационной модели в программной среде ANSYS Maxwell

Статья направлена на разработку имитационной модели элементов системы электромагнитной подъемной установки. В работе представлен и описан принцип работы элементов электромагнитной подъемной установки «скип–магнитный массив–катушка». Моделирование проводилось в программе ANSYS Maxwell. Задачей моделирования является определение основных магнитных параметров элементов установки: силы Лоренца, напряженности магнитного поля и магнитной индукции. По рассчитанным параметрам построены графические диаграммы и составлены целевые функции в виде уравнений с несколькими параметрами.

Ключевые слова: электромагнитная подъемная установка, магнитная левитация, программа ANSYS Maxwell, сила Лоренца, напряженность магнитного поля, магнитная индукция.

A.A. Aikeyeva, X.S. Rogovaya, A.R. Tanskozhanova,
A.E. Ayubekova, P.A. Mukhtarova, A.E. Ospanov

Development of imitating model of skip motion in the program environment ANSYS Maxwell

This work is directed on development of imitating model of electromagnetic lifting installation system elements. In the work the principle of work of electromagnetic lifting installation elements of the «skip–constant magnet–coil» is presented and described. Model operation was carried out in the ANSYS Maxwell program. The task of model operation is determination of the key magnetic parameters of installation elements: the Lorentz forces, magnetic intensity and magnetic induction. According to calculated parameters graphic charts are made and engineering functions in the form of the equations with several variables are constructed.

Keywords: electromagnetic lifting installation, magnetic levitation, ANSYS Maxwell program, Lorentz force, magnetic intensity, magnetic induction.

References

- 1 Aikeyeva A.A. *Simulation modeling of the dynamics of the sealing device in mine pneumatic lighting installations*: proceedings of the IV International scientific-practical conference «Strategic questions of world science – 2008», Nauka i studia, 2008, 9, p. 30–34.
- 2 Kazakov Yu.B., Shchelykalov Yu.Ya. *The study of the magnetic field in the air gap ST230B starter*: Abstracts of scientific and technical conference, Ivanovo: Energ. Inst. Ivanovo, 2008, p. 129.
- 3 Chigarev A.V., Kravchuk A.S., Smalyuk A.F. *ANSYS to engineers*: right. manual, Moscow: Mashinostroenie-1, 2004, 512 p.

4 Aikeyeva A.A., Zhautikov B.A., Rogovaya K.S., Zhautikov F.B., Mukhtarova P.A. *Automatics and Informatics*, 2015, 2 (37), p. 71–74.

5 Aikeyeva A.A., Zhautikov B.A., Rogovaya X.S., Zhautikov F.B., Mukhtarova P.A. *Eurasian Physical Technical Journal*, 2015, 12, 2 (24), p. 28–32.

6 Aikeyeva A.A., Zhautikov B.A., Zhanasbaeva A.S., Mukhtarova P.A. *Bull. of the Karaganda State University, Ser. Physics*, 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.