

ӨОЖ 004.942

А.А.Айкеева<sup>1</sup>, Б.А.Жәутіков<sup>2</sup>, К.С.Роговая<sup>1</sup>, Ф.Б.Жәутіков<sup>1</sup>, П.А.Мухтарова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті;

<sup>2</sup>Х.Досмухамедов атындағы Атырау мемлекеттік университеті

(E-mail: ksusharogovaya@mail.ru)

### **Электромагниттік көтергіш қондырғысының «скип–бағыттаушы құрылғы» жүйесін зерттеу**

Мақала электромагниттік көтергіш қондырғы жүйесінің элементтерін модельдеуге арналған. Электромагниттік көтергіш қондырғының жұмыс істеу принциптері көрсетілген, сонымен бірге «скип–электромагнит» жүйесінің имитациялық 3-D модельдеуі жасалған. Тұрақты магниттер және электромагниттер скипте және бағыттаушы құрылғыларда орналасқан. Модельдеу элементтері әр кезеңде суреттермен бейнеленеді. 3-D модельдеу нәтижесінде жұмыста өзекшенің үш элементіне талдау жасалып, олардың салыстырма диаграммасы құрастырылған.

*Кілт сөздер:* электромагниттік көтергіш қондырғы, скип, 3-D модельдеу, ANSYS бағдарламасы, тарту күші.

Конструкцияларды есептеу мен жобалаудың компьютерлік жабдықтарының дамуы радиоэлектроника, машина жасау, автомобиль жасау, тау-кен өндіру және өндірістің т.б. әр түрлі салаларында кәдімгі құралы болған модельдерді жасау мүмкіндігін туғызды. Компьютерлік модельдердің қонымдылығы зерттелетін объект түпнұсқасының (немесе толық объектілер кластарының) қасиеттерін анықтайтын негізгі факторларын анықтауға, атап айтқанда, модельденетін физикалық жүйесінің оның параметрлері мен бастапқы жағдайлары өзгерісіне әсерін зерттеуге мүмкіндік береді [1].

Берілген жұмыста бірқатар бағдарламаларды зерттеу нәтижесінде версиясы 14.0 болатын ANSYS бағдарламасы таңдап алынды. Берілген бағдарлама CAD/CAM/CAE жүйелердің класына жататын заманауи аяқталған элементті бағдарламалық өнім болып табылады. Жүйенің модельденуі ANSYS Multiphysics бөлімінде жүргізіледі.

Қазіргі заманғы ақпараттық әдістер жүйелік талдауға негізделіп, жоғарыда аталған машиналарды модельдеудің негізіндегі эксплуатациялау және жасау технологиясының ерекшеліктерін, олардың электромагниттік өрістің сызықтық емес теориясының әдістері арқылы жүзеге асырылуын ескереді. Бұдан басқа әр түрлі бұйымдар мен конструкциялардың қазіргі заманғы теориялық есептеу мен жобалау әдістері соңғы элементтер әдісін белсенді түрде қолдануын қарастырады. Айтылып отырған соңғы элементтер әдісінің шоғырландырылған түрі ANSYS қолданбалы бағдарламалар пакеті болып табылады. Бұл көзқарас тұрғыдан ANSYS қолданбалы бағдарламалар пакеті теориялық та, аналитикалық та зерттеулер кезінде қолданылу мүмкін [2].

Жүйе элементтерін автоматтандыру мақсатында келесі мәселелерді шешу қажет:

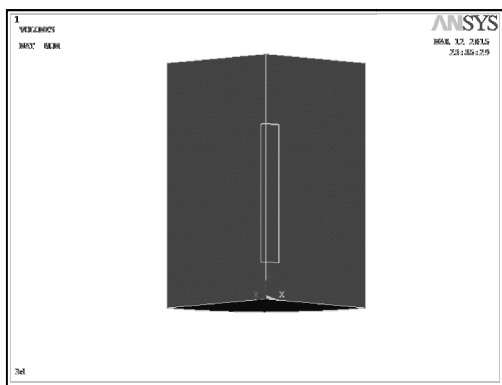
- құрылымдық-технологиялық факторларды ескере отырып, электромагниттік көтергіш қондырғысының электромагниттерін модельдеу мен есептеудің әдістерін жасау;
- электромагниттердің беріктігін, сенімділігі мен төзімділігін қамтамасыз ету үшін автоматтандырылған талдау жүйесін жасау;
- барлық қажет параметрлерді есептей отырып, элементтердің автоматты түрде ауысып қосылуына қол жеткізу.

Автоматтандырылған жүйелік талдаудың негізінде құрылымдық-технологиялық факторларды комплексті түрде ескеретін қондырғының электромагниттерінің модельдері жасалды.

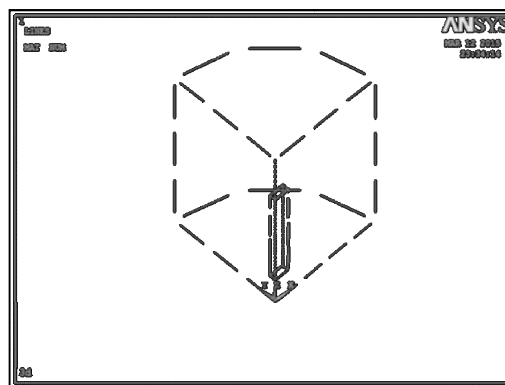
Модельдеудің алдында өзара әсерлесуші элементтерді таңдау сұрағы қойылды. Жоспар бойынша «скип» бетінде тұрақты магниттер немесе электромагниттер орналасып, ал электромагнитті көтергіш қондырғының бағыттаушы құрылғыларында берілген параметрлер бойынша автоматты ауысып қосылатын электромагниттер орналасу қажет. Бастапқыда соленоид немесе электромагнит біреуін таңдау қажет болды. Нәтижесінде әсерлесу элементі ретінде соленоидты қолданған кезде жүріп қозғалу жылдам және күрт болғандықтан, әсерлесу элементі ретінде электромагнит таңдап алынды.

Скип пен электромагнитті көтергіш қондырғысының бағыттаушы қондырғыларының электромагниттерінің негізгі элементтерінің әсерлесудің динамикалық процестерінің имитациялық модельдеудің мақсаты қымбат тәжірибелерді өткізбей-ақ есептеулер жүргізу арқылы жүйенің оңтайлы және тиімді параметрлерін анықтау болып табылады. Қазіргі заманғы компьютерлер мен қолданбалы бағдарламалар пакеттерінің мүмкіндіктері ортақ динамикалық «скип–электромагнит» жүйесінің органикалық өзара байланысқан буындарының көпфакторлы динамикалық күйлерін сипаттау үшін қажет жүйелік амалын жеткілікті толық жүзеге асыруға мүмкіндік береді [3].

Имитациялық модельдеу 3D-модельдеу форматында жүргізілді және 3D-модельдеудің ось бойынша симметриялығын ескере отырып, есептеу бірінші квадрант түрінде көрсетілген электромагниттердің көлденең қимасының төрттен бір бөлігі үшін жүргізілді. 1-суретте көрсетілген жұмыс жазықтығында ауа кеңістігімен қоршалған металл құрыш өзегі көрсетілген. Құрыш өзегі тұтас бір объект ретінде қарастырылады — өзектің берілген параметрлері бойынша тұрғызылған және өзек пен орам арасындағы ауа қабаты облысынан құрастырылған параллелепипед. Құрастыру кезінде екі параллелепипед (өзек пен ауа қабаты облысы) бір-бірімен қабаттасып, ортақ элементке біріктіріледі. Объектіні қоршайтын ауа қабаты құрыш өзегі мен ауа қабаты облысын қамтып цилиндрдің төрттен бір бөлігі түрінде көрсетілген. Ауа үшін магнит өтімділігінің параметрлері беріледі, ал өзек үшін магнит индукция  $B$  векторы мен магнит өрісінің  $H$  кернеулігінің параметрлері беріледі. Өзектің көлденең қимасының ауданын бөлу үшін SOLID 96 элементі [3] қолданылады. Берілген элемент тек қана 3D-модельдері үшін қолданылады. ANSYS бағдарламалық ортада жүргізілген модельдеудің кезеңдері 1-суретке сай жүргізілді.



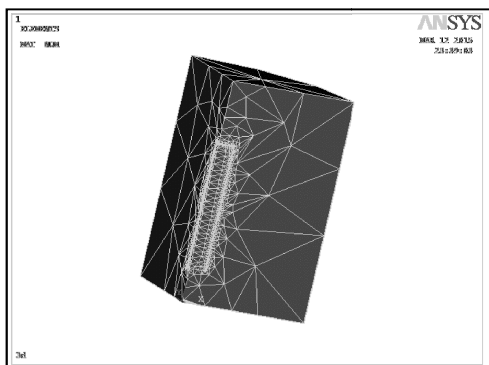
а) облыстарды құру



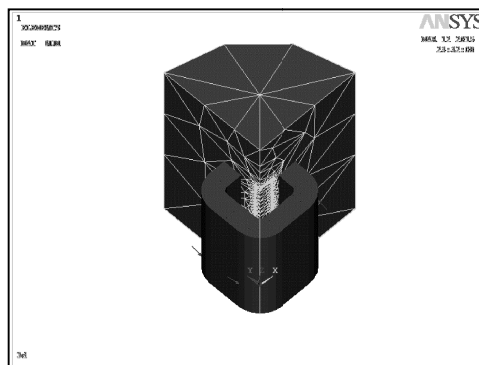
б) шекаралық сызықтарды орнату

1-сурет. Электромагниттің имитациялық 3-D модельдеудің кезеңдері

Электромагниттердің көлденең қимасының төрттен бір бөлігінің имитациясын жүзеге асыратын облыстарды құру үшін үш төбесінің координаталары бойынша параллелепипед бейнеленеді. Сыртқы ортаның (ауа) имитациясын көрсететін облыстар цилиндрдің сегменттері болып табылады. Келесі кезеңде модельдің облыстарын соңғы элементтерге бөлу жүргізіледі. Мұнда бөлу кезінде неғұрлым көп элементтер пайда болса, соғұрлым есептің шешу дәлдігі жоғары болады. Облыстардың соңғы элементтерге бөлінуі 2-суретте көрсетілген.



2-сурет. Бөлу облыстарын анықтау



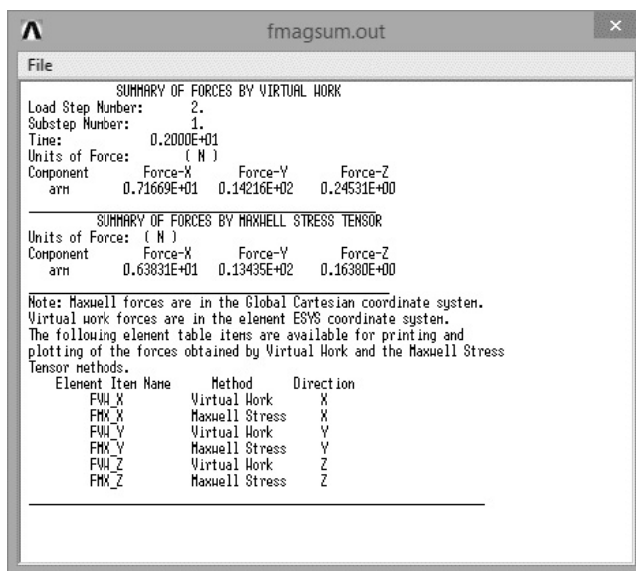
3-сурет. Электромагнит моделі

Электромагнитті модельдеудің келесі кезеңінде орамның параметрлері белгіленеді: орамдардың саны, ішкі радиус, сыртқы радиус, орамдағы ток күші, орамның қалыңдығы мен электромагниттің полюстерін анықтайтын токтың бағытын белгілеу. Берілген жағдайда ток күші сағат тілінің бағытымен бағытталса болса, онда төменгі жақта оңтүстік полюс, ал жоғары жақта солтүстік полюс орналасады. Нәтижесінде алынған және есептеп шешуге дайын болатын модель 3-суретте көрсетілген, яғни ораммен қоршалған құрыш өзегінің төрттен бір бөлігі бейнеленген. Модель элементін айқын елестету үшін орам толығымен көрсетілген.

Электромагнит туғызатын тарту күшін полюстердің беттеріне әсер ететін магнит өрісін талдау нәтижесінде алынған Максвелл теңдеуі бойынша есептеуге болады. Егер де жұмыс саңылауындағы өріс біртекті және полюстер қанықпаған болса, онда Максвелл теңдеу келесі түрде болады:

$$P = \frac{1}{2\mu_0} B_b^2 = \frac{1}{2} \frac{F_b^2}{\mu_0 S^2},$$

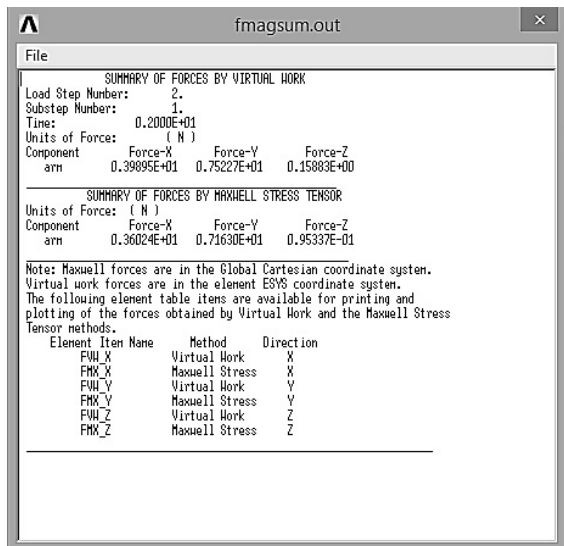
мұнда  $B_b$  (Тл) — индукция;  $F_b$  (Вб) — жұмыс саңылауындағы магнит ағыны;  $S$  ( $m^2$ ) — полюстің ауданы.



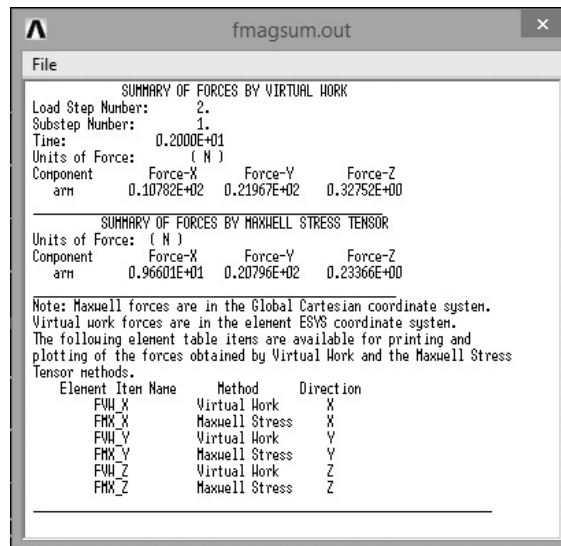
4-сурет. Модельді есептеу

Модельдің есептеуін ANSYS бағдарламасында жүргізген кезде электромагниттің тарту күші анықталып алынды (4-сур.). Электромагниттің тарту күшін электромагнитті көтергіш қондырғысының элементтерінің өзара күштік әсерлесуін талдау үшін анықтау қажет. Берілген модель қондырғының әр түрлі белгілі параметрлері үшін бірқатар виртуалды тәжірибелерді жүргізуге мүмкіндік береді. Бұл қондырғының физикалық моделіне жұмсалатын шығындарды үнемдеуге негіз бола алады.

Құрыш өзекті модельден басқа тәжірибелерде өзектің тағы да екі варианты қарастырылды: ферромагнитті материалдан жасалған өзек және темірден жасалған өзек. Есептеу магнит сипаттамаларының әр түрлі көрсеткіштері үшін жүргізілді. Нәтижесінде ферромагнитті өзегі бар электромагниттің тарту күшін есептеу 5 (а) суретте, ал темір өзегі бар электромагниттің тарту күшін есептеу 5 (б) суретте көрсетілген.



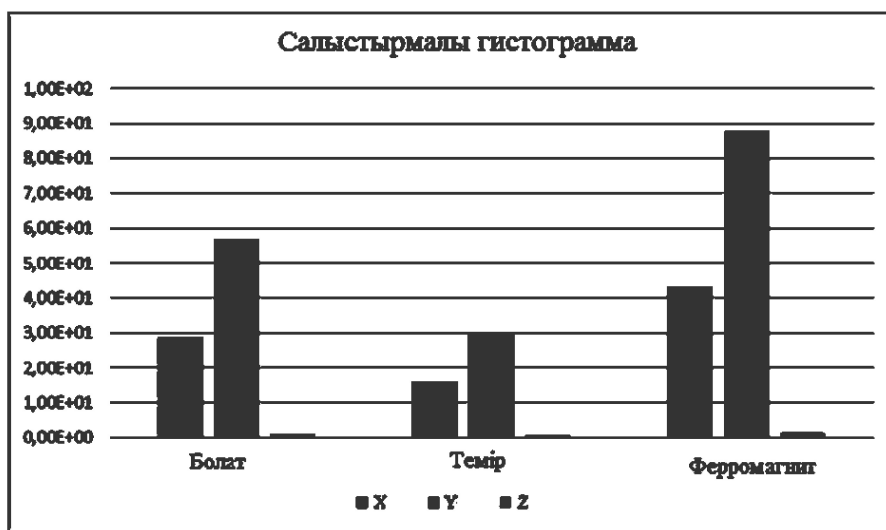
а)



б)

5-сурет. Темір (а) және ферромагнитті (б) өзектері бар модельді есептеу

Үш түрлі өзек үшін жүргізілген талдау мен есептеудің нәтижесінде 6-суретте келтірілген салыстырмалы гистограмма құрастырылды. Есептеу электромагниттің төрттен бір бөлігі үшін жүргізілгендіктен, тарту күші біздің жағдайда 4-ке көбейтіледі.



6-сурет. Салыстырмалы гистограмма

Электромагниттердің параметрлерін және ток күшін белгілі қадаммен өзгерте отырып, бірқатар тәжірибелер өткізіліп, электромагниттің тарту күшінің өзгерісі зерттелді. Берілген жұмыс скип электромагниттерінің электромагнитті көтергіш қондырғысының бағыттаушы қондырғыларының электромагниттерімен өзара әсерлесу моделін тұрғызудың бірінші кезеңі болып табылады.

Мақала ҚР БҒМ грантты қаржыландыру аумағында «Пайдалы қазбаларды өндіру технологиялары» басымдығы бойынша «Электромагнитті көтергіш қондырғысын жасау арқылы

тау кен массасын қазып алудың энергоүнемдеу технологиясын негіздеу және құрастыру» тақырыбы бойынша және «Энергетика және машина жасау» басымдығы бойынша «Энергоүнемдеу электромагнитті көтергіш қондырғысын комплексті қорғау мен автоматты басқару жүйесін жасау» тақырыбы бойынша орындалған жұмыстар нәтижелері негізінде жазылды.

#### Әдебиеттер тізімі

- 1 Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах / Под общ. ред. Д.Г. Красковского. — М.: КомпьютерПресс, 2002. — С. 7.
- 2 Андреева Е.Г., Шамец С.П. Расчет стационарных магнитных полей и характеристик электротехнических устройств с помощью программного пакета ANSYS: Учеб. пособие. — Омск: Изд-во ОмГТУ, 1992. — 92 с.
- 3 Справочная система ANSYS 6.1, ANSYS Inc. — 2002. — 43 с.

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

#### **Исследование системы «скип – направляющее устройство» электромагнитной подъемной установки**

Статья направлена на моделирование элементов системы электромагнитной подъемной установки. Представлено описание принципов работы электромагнитной подъемной установки. Кроме того, проведено имитационное 3-D моделирование элементов системы «скип–электромагнит», а именно расположенных на скипе и направляющих устройств постоянных магнитов и электромагнитов. Каждый этап сопровождается рисунками с представлением элементов моделирования. По результатам 3-D моделирования представлен анализ трех элементов сердечника с предоставлением сравнительной графической диаграммы.

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

#### **The research of the «skip – guiding device» system of electromagnetic lifting installation**

This work is aimed at modeling system elements of electromagnetic lifting installation. The paper presents the description of the principles of operation of the electromagnetic lifting installation. In addition, the simulation of 3-D modeling of system elements «skip–electromagnet», namely ones located on the skip and directing devices of constant magnets and electromagnets. Each stage of modeling is provided by figures with the image of modeling elements. According to the results of 3-D modeling this article presents the analysis of the three core elements providing comparative graphic diagram.

#### References

- 1 Bassov K.A. *ANSYS in examples and problems*, under the general edit. of D.G. Kraskovsky, Moscow: ComputerPress, 2002, p. 7.
- 2 Andreyeva E.G., Shamets S.P. *Calculation of stationary magnetic fields and characteristics of electrotechnic devices by means of the software package ANSYS*, Omsk: Publishing house OMGTU, 1992, 92 p.
- 3 Reference system ANSYS 6.1, ANSYS Inc., 2002, 43 p.