

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 2 (2022)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/ZOCF4313>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.

к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD, доцент*

Ответственный секретарь

Приходько Е. В., *к.т.н., профессор*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*
Новожилов Т. А., *к.т.н., доцент (Россия)*
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*
Нефтисов А. В., *доктор PhD, доцент*
Шокубаева З. Ж. *технический редактор*

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университете

<https://doi.org/10.48081/KBAP4489>

***З. Қ. Абдикулова¹, Ф. Ә. Шукенова², Б. Р. Жалымбетов³**

^{1,2}Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Казакстан Республикасы, Түркістан қ.;

³Кентау көпсалалы колледж, Қазақстан Республикасы, Кентау қ.

ТРАНСФОРМАТОРЛАРДАҒЫ ДИНАМИКАЛЫҚ ЭЛЕКТР МАГНИТТІК ПРОЦЕСТЕРДІ МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ ЖИНАУ

Қазіргі заманғы трансформаторлар әртүрлі конструктивті элементтерден тұрады: магнит өзекшесінен, орамалардан, бактен. Трансформатордың активті бөлігін магнит өзекшесіне орнатылатын стержінмен жабдықталатын орама құрайды.

Трансформаторларды өндіріске шығару үшін ең алдымен оны жобалау керек. Бұл процедура өте күрделі және көп уақытты талап етеді. Мысалы, трансформатордың бос жүріс режимінде трансформация коэффициентін бағалау үшін алдын-ала берілген кіріс және шығыс кернеулерін туындататын бірінші және екінші орамдардың орам сандарын, ферромагниттік пластинкаларының ауданын және олардың гистерезистік қасиеттерін есептеуге тура келеді. Бұл есеп процедураларының нәтижесі өндіріске шығарылатын трансформатордың сапасына тікелей әсер етеді. Трансформатордың жұмыс режимдерін модельдеу маңызды техникалық міндет болып табылады, өйткені ол электр энергиясын тұтыну графигінің өзгеруіне байланысты электр станцияларын жүктеуді болжауға және жоспарлауға, электр жүйесіндегі тұрақты және өтпелі процестерді зерттеуге мүмкіндік береді. Мақалада трансформаторларды жинау алдында есеп процедурасының бейнелік мәліметтері қарастырылды және есептеудің реттілік алгоритмдері 3D кеңістігінде қарастырылып, ұсынылған алгоритмнің дәлдігі көрсетілді.

Жобаланған есептеу процедурасы алдын-ала есептелініп, содан соң 3D Max программалық комплекс арқылы бейнелі түрде түсіндірілді.

Кілтті сөздер: күшітік трансформаторлар, магнит өзекшесі, модельдеу, 3D Max программалық комплекс, трансформаторды жобалау.

Кіріспе

Электр станциялардың тарату құрылғысына, электр жабдыктарына сенімділік жұмысына байланысты жоғарғы талаптар қойылады. Электр қондырғылар қалыпты режимде, сондай-ақ одан ауып кету жағдайларында да сенімді жұмыс істеуі керек.

Сондықтан электрлік қондырғыларды және ток өткізгіш бөліктерін жобалағанда, олардың параметрлерін ескеріп, міндетті түрде оларды таңдау және тексеру талаптары орындалуы керек [1].

Электрлік қосылу станциясының бірнеше жоғары кернеуде беретін қуатының бас сұлбасын таңдауда екі жоғары кернеулер тораптарының арасында агрегаттарды оңтайлы тарату және олардың арасындағы байланыс құрылғысының әдісі негізгі сұрақтары болып табылады.

Байланыс үшін ереже бойынша трансформаторларды қолданады.

Трансформаторлардың негізгі параметрлері мыналар: номиналь қуаты, орамалардың номиналь кернеуі, номинальдық ток, қысқа тұйықталу кернеуі, орамаларды қосу түрі және сұлбасы [2].

Қуштік трансформатордың қуаты төмендегі формуламен анықталады:

$$S_{ном} = \sqrt{3} \cdot U_{номтр} \cdot I_{номтр}$$

Трансформатор ұзақ уақыт жұмыс істеу үшін мынадай талаптар орындалуы керек:

$$S_{жжк} = S_{номтр}; U_{торап} = U_{номтр}; \sigma_0 = \sigma_{0,ном}$$

мұндағы, $S_{жжк}$ - трансформатордың жүктемесі

$S_{номтр}$ - трансформатордың номиналь қуаты

$U_{торап}$ - трансформатор іске қосылатын электр торабының номиналь кернеуі

σ_0 - салқындатқыш ортаның нақты температурасы

$\sigma_{0,ном}$ - салқындатқыш ортаның есептелінген номиналь температурасы.

Өндірісте трансформаторларды пайдаланғанда жоғарыда көрсетілген талаптар көбінесе орындалмайды. Жүктемелер артық немесе аз болуы мүмкін. Сондықтан, трансформаторларды таңдағанда олардың рұқсат етілетін жүктемемен жұмыс істеуін ескеру керек.

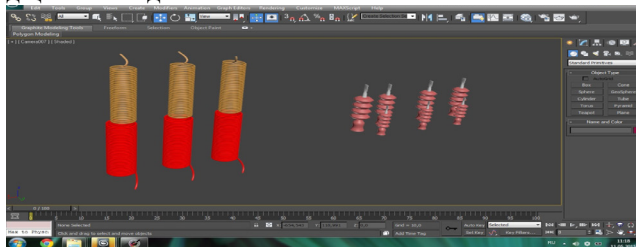
Материалдар және зерттеу әдістері

Трансформаторларды есептеу және жинау үшін 3D MAX программалық комплексті пайдаланамыз [3,4].

Программаның бірінші қадамы. Әр орамадан тұтынатын қуаттар суммасы ретінде қарастырылатын суммарлы қуатты $P_{сум}$ анықтау:

$$P_{\text{сум.}} = U_1 I_1 + U_2 I_2 + \dots + U_n I_n$$

мұндағы: $U_1 I_1$, $U_2 I_2$ және т.б. – екінші орамадағы тоқтар мен кернеулердің көбейтіндісі.



Сурет 1 – Күштік трансформатордың кіріс және шығыс сызықтық кернеулерін бактен оқшаулау мақсатында қолданылатын фарфорлы оқшауламалар мен ЖК және ТК орамаларының көрінісі

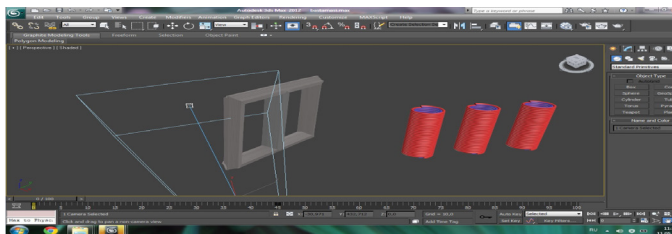
Программаның екінші қадамы. Трансформатордың габаритті қуатын анықтау [5,6]:

$$P_i = \frac{P_{\text{сум.}}}{\text{ПЭК}}$$

Трансформатордың ПЭК 1-ші кесте бойынша анықтаймыз:

Кесте 1 – Трансформаторлардың ПЭК-і

СУММАРЛЫ ҚУАТ, ВТ	10-20	20-40	40-100	100-300
ТРАНСФОРМАТОРДЫҢ ПЭК	0,8	0,85	0,88	0,92



Сурет 2 – Магнит өзекшесінің көрінісі

Программаның үшінші қадамы. Катушка өзекшесінің, жұмыс өзекшесінің қимасын анықтау:

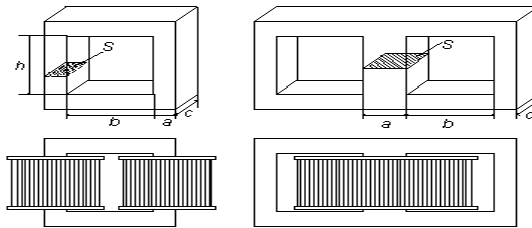
$$S = 1,2 \cdot \sqrt{P_i}$$

мұндағы, S - қимасы, см^2 , P_i – трансформатордың габаритті қуаты, Вт
Магнит өзекшесіне осы 3D Max программасында камера түсіп тұр. Сол камера арқылы оның 3D кеңістігіндегі көрінісін жақсартамыз [7].

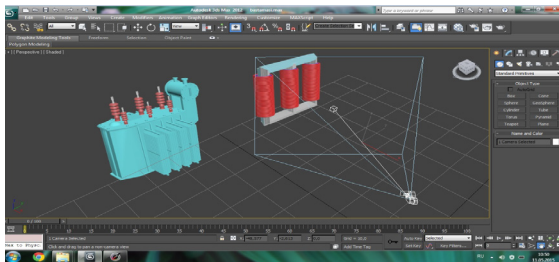
Программаның төртінші қадамы. Катушка өзекшесінің жұмыс өзекшесінің енін анықтау:

$$a = 0,8 \cdot \sqrt{S}$$

Программаның бесінші қадамы. Өзекше формасын таңдау. катушка өзекшесінің a (см) табылған ені бойынша өзекшелерді таңдау.



Сурет 3 – Трансформатордағы өзекшесі формасының көп тараған түрі мен орамалардың өзекшеде орналасуы



Сурет 4 – Магнит өзекшесінің стержініне ТК және ЖК орамаларының орналасу көрінісі

ТК стержінге жақын ал ЖК ТК - ден соң орнатылады.

Программаның алтыншы қадамы. Пакет қалыңдығын c , (см) анықтау [8]:

$$c = \frac{S}{a}$$

Программаның жетінші қадамы. Кернеудің 1 вольт мәніне сәйкес келетін орамдар санын n анықтау:

$$n = \frac{k}{S}$$

Коэффициент k жалпы 35÷60 аралығында болады. Ол болат өзекшесінің пластинасы құрамына тәуелді.

0,35 мм қалыңдықтағы болат үшін:

- жіңішке болаттан түзілген С – түріндегі формадағы өзекше $k=35$;
- бұрышы бойынша тесігі жоқ П – или Г– түріндегі пластиналардан жиналған О – түріндегі формадағы өзекшелер үшін $k=40$;
- тесігі жоқ Ш – түріндегі формадағы пластиналар үшін $k=45$;
- тесігі бар Ш – түріндегі формадағы пластиналар үшін $k=50$.

Коэффициент k өзгертуге болады, бірақ ескеру керек, k кішірейту ораманы жеңілдетеді, бірақ трансформатор жұмысын ауырлатады [9]. Жоғары қорытпа болаттан жасалған пластинаны қолдану арқылы осы коэффициентті азайтуға болады, ал төменгі қорытпа болаттан жасалған пластинаны қолдану арқылы осы коэффициентті арттыруға болады.

Программаның сегізінші қадамы. Бірінші ораманың орамдар санын анықтау W :

$$W = U \cdot n$$

Программаның тоғызыншы қадамы. Екінші ораманың орамдар санын анықтау.

Бұл үшін орамадағы кернеудің құлауын қарастыратын қосымша коэффициент m енгіземіз:

$$W = m \cdot U \cdot n$$

Коэффициент m орама арқылы өтетін тоқ күшіне тәуелді [10,11].

Кесте 2 – Коэффициент m тоқ күшіне тәуелділігі

ЕКІНШІ ОРАМАСЫНЫҢ ТОҚ КҮШІ, А	0,2-0,5	0,5-1,0	1,0-2,0	2,0-4,0
КОЭФФИЦИЕНТ М	1,02	1,03	1,04	1,06

Программаның оныншы қадамы. Екінші ораманың өткізгіштерінің диаметрін d анықтау:

$$d = p \cdot \sqrt{I}$$

мұндағы: d – мыс өткізгішінің диаметрі, мм;

I – орамадағы тоқ күші, А;

p – өткізгіштің маркасына байланысты болатын қызу шамасы деңгейін есептейтін коэффициент.

Өткізгіштер маркасына тәуелді p коэффициентін анықтау.

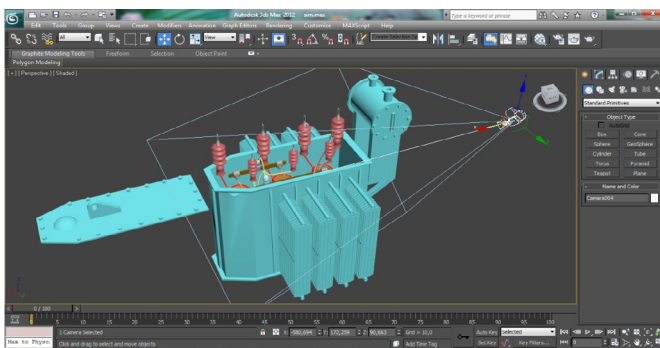
Кесте 3.

ӨТКІЗГІШ МАРКАСЫ	ПЭЛ	ПЭВ-1	ПЭВ-2	ПЭТ
Р	0,8	0,72	0,69	0,65

Программаның он бірінші қадамы. Бірінші орамадағы ток күшін І анықтау:

$$I = \frac{P_1}{U}$$

– екінші ораманың өткізгіштерінің диаметрін анықтағаннан кейін мыс бойынша стандартты үлкен мәніне жақын өткізгіштер диаметрлері , ал оқшауламада өткізгіштер диаметрі 4 кестедегі мыс өткізгіштері диаметрінен 10 % жоғары.



Сурет 5 – Күштік трансформаторының толық жиналғандағы бейнесі

Кесте 4 – Екінші орама өткізгіштері үшін келтірілген орамдардың сипаттамасы

ОРАМА	ОРАМДАР САНЫ, W	МЫС БОЙЫНША ӨТКІЗГІШТЕРДІҢ ДИАМЕТРІ D , ММ	ОҚШАУЛАМАСЫ БОЙЫНША ӨТКІЗГІШТІҢ ДИАМЕТРІ, ММ
І (БІРІНШІ)	1680	0,24	0,25
1	50	0,9	0,99
2	94	0,41	0,45
3	917	0,18	0,2

Нәтижелер және талқылау

Трансформатор моделінде электр және магнит тізбектері бар. Электр тізбегінде трансформатордың электр процестері көрсетіледі: орамалардағы негізгі шығындар, магнит өткізгіштің болат пластиналарында және орамаларындағы құйынды токтардан болатын шығындар, гистерезис

шығындары, трансформатордың электр өткізгіш бөліктеріндегі шығындар, сондай-ақ орамаларды түрлендіргіштің басқа элементтерімен қосу әдісі [12]. Трансформатордың электр тізбегінде кез-келген электр тармақтар болуы мүмкін: индуктивтілік, кедергі, сыйымдылық, қоректену көздері мен кілттер. Магниттік тізбек магнит ағындарының таралуын, трансформатор орамаларының магнит ағындарымен байланысын көрсетеді. Магниттік тізбек, магнит тізбек элементтерінің кедергісін, трансформатор орамаларының магнит ағындарымен байланысын көрсететін тармақтардан тұрады. Трансформатор моделін жасауда түрлендіргіштегі электромагниттік процестерге гистерезистің әсерін, магнит тізбегінің сипаттамаларын ескеру керек.

Қорытынды

Трансформатор – бұл күрделі электромагниттік құрылғы, оның номиналды мәні мен сипаттамалары оның бөлшектерінің геометриялық өлшемдері мен конструкциясына, жүктемелерге – орамалардағы ток тығыздығына, магниттік жүйедегі индукцияға, салқындату жүйесіне және басқаларға байланысты. Жобаланған трансформатор техникалық талаптарға сай болуы керек, сонымен қатар арзан болуы керек. Сондықтан, алдымен трансформатордың магнит өзегінің диаметрін және орамалардың биіктігін анықтау үшін алдын-ала есептеуді жүргізу керек, содан кейін трансформатордың барлық элементтерін және оның сипаттамаларын есептеуге көшкен дұрыс.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Хожин, Г.** Электр станциялары мен қосалқы станциялар : Оқулық. –Алматы : ҚР ЖОО қауымдастығы, 2014.

2 **Сибкин, Ю. Д.** Электрические подстанции: Учебное пособие. – М. : ИП РадиоСофт, 2013. – 416 с.

3 **Рустамов, Н. Т., Кибишов, А. Т.** Күштік трансформаторларды есептеу процедурасын алгоритмдеу. – Түркістан : Туран, 2017.

4 **Рустамов, Н. Т. Меирбекова, О. Д., Кибишов, А. Т.** Электр машиналары пәнінен есептер шығарып үйренейік. – Түркістан : Туран, 2019.

5 **Меирбекова, О. Д.** Электр жабдықтары. – Түркістан, 2018. – 96 б.

6 **Герасименко, А. А., Федин, В. Т.** Система передачи энергии. –2015.

7 **Бондаренко, С. В., Бондаренко, М. Ю.** Программирование на языке Delphi в MVS. 2012.

8 **Кужиков, С. Л., Гончаров, С. В.** Практическое пособие по электрическим сетям и электрооборудованию. – 2012.

9 **Набиев, Ф. М.** Электрические машины: Учебник, 2012. – 290 с.

10 **Transformers – The Basics.** Martin Grech, Geoff Severt. – 2009.

11 **Miller, Wilhelm C., Robbins, Allan H.** 2013. Circuit analysis : theory and practice (5th ed.). – Clifton Park, NY : Cengage Learning, P. 990. – ISBN 978-1-1332-8100-9. Retrieved, 25 September 2014.

12 **M. R.; Ula, S.; Webb, W. E.** §2.5.5 «Transformers» & §10.1.3 «The Ideal Transformer». In Whitaker, Jerry C. The Electronics Handbook (2nd ed.). – Taylor & Francis, 2005. P. 172.

REFERENCES

1 **Hojin, G.** Elektr stansiyalary men qosalqy stansiyalar : Oqýlyq [Electric stations and substations: Texbook]. – Almaty: QR JOO qaýymdastygy, 2014.

2 **Sibikin, Iu. D.** Elektricheskie podstantsii Uchebnoe posobie Texbook [Electrical substations]. – Moscow : ÍP RadioSoft, 2013. – 416 p.

3 **Rustamov, N. T., Kibishov, A. T.** Kúshtik transformatorlardy esepteý prosedurasyn algoritmdeý [Algorithmization calculation procedures of power transformer]. – Túrkiстан : Turan, 2017.

4 **Rustamov, N. T., Meirbekova, O. D., Kibishov, A. T.** Elektr mashinalary paninen esepter shygaryp úreneik [Let's learn how to solve problems in the discipline of electric machines]. – Túrkiстан : Turan, 2019.

5 **Meirbekova, O. D.** Elektr jabdyktary [Electrical equipment]. – Túrkiстан, 2018. – 96 p.

6 **Gerasimenko, A. A., Fedin, B. T.** Sistema peredachi energii [System of power transmission]. – 2015.

7 **Bondarenko, S. B., Bondarenko, M. Iu.** Programmirovaniye na yazyke Delphi v MVS. [Programming in Delphi in MVS]. – 2012.

8 **Kujekov, S. L., Goncharov, S. V.** Prakticheskoe posobie po elektricheskim setyam i elektrooborudovaniyu [Practical guide to electrical networks and electrical equipment]. 2012.

9 **Nabiev, F. M.** Elektricheskie mashiny. Uchebnik – [Electric machines: Texbook]. – 2012. – 290 p.

10 Transformers – The Basics. Martin Grech, Geoff Severt. – 2009.

11 **Miller, Wilhelm C., Robbins, Allan, H.** Circuit analysis : theory and practice (5th ed.). Clifton Park, NY: Cengage Learning, (2013). P. 990 – ISBN 978-1-2013. P. 1332-8100-9. Retrieved, 25 September 2014.

12 **M. R. Ula, S., Webb, W. E.** «§2.5.5 «Transformers» & §10.1.3 «The Ideal Transformer»». In Whitaker, Jerry C. The Electronics Handbook (2nd ed.). Taylor & Francis. (2005). P. 172.

Материал баспаға 13.06.22 түсті.

*З. К. Абдикулова¹, Г. А. Шукенова², Б. Р. Жалымбетов²

^{1,2}Международный казахско-турецкий университет

имени Ходжи Ахмеда Ясави, Республика Казахстан, г. Туркестан;

³Кентауский многопрофильный колледж, Республика Казахстан, г. Кентау.

Материал поступил в редакцию 13.06.22.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В ТРАНСФОРМАТОРАХ И ИХ СБОРКА

Современные трансформаторы состоят из различных конструктивных элементов: магнитного сердечника, обмоток, бака. Активная часть трансформатора состоит из магнитопровода и обмоток. Магнитопровод представляет собой конструкцию, состоящую из трех и более вертикальных стержней, связанных верхним и нижним ярами.

Для запуска трансформаторов в производство, прежде всего, необходимо его спроектировать. Эта процедура достаточно сложная и трудоемкая. Например, для определения коэффициента трансформации в режиме холостого хода трансформатора необходимо рассчитать число витков первичной и вторичной обмоток, вызывающие входные и выходные напряжения, площадь ферромагнитных пластин и их гистерезисные свойства. Результат этих расчетных процедур напрямую влияет на качество трансформатора, запускаемого в производство.

Моделирование режимов работы трансформатора является важной технической задачей, так как позволяет прогнозировать и планировать загрузку электростанций в зависимости от изменения графика потребления электроэнергии, исследовать установившиеся и переходные процессы в энергосистеме.

В статье рассмотрены визуальные данные сложных расчетных процедур для конструкционной сборки силовых трансформаторов и порядковые алгоритмы расчета в пространстве 3D доказывая точность расчетов.

Проектируемая расчетная процедура сначала рассчитана, после чего она представлена в вербальном виде с использованием программного комплекса 3D Max.

Ключевые слова: силовой трансформатор, магнитный сердечник, моделирование, 3D Max программный комплекс, проектирование трансформатора.

*Z. K. Abdikulova¹, G. A. Shukenova², B. R. Zhalymbetov³

^{1,2}Khoja Ahmet Yasawi International Kazakh – Turkish university,
Republic of Kazakhstan, Turkestan;

³Kentau Multi-Disciplinary College, Republic of Kazakhstan, Kentau

Material received on 13.06.22.

MODELING OF DYNAMIC ELECTROMAGNETIC PROCESSES IN TRANSFORMERS AND THEIR ASSEMBLY

Modern transformers consist of various structural elements: magnetic core, windings, tank. The active part of the transformer consists of a magnetic circuit and windings. A magnetic circuit is a structure consisting of three or more vertical rods connected by an upper and lower yoke.

To launch transformers into production, first of all, it is necessary to design it. This procedure is quite complicated and time-consuming. For example, to determine the transformation coefficient in the idle mode of a transformer, it is necessary to calculate the number of turns of the primary and secondary windings, causing input and output voltages, the area of ferromagnetic plates and their hysteresis properties. The result of these calculation procedures directly affects the quality of the transformer being put into production.

Simulation of transformer operation modes is an important technical task, as it allows you to predict and plan the loading of power plants depending on changes in the schedule of electricity consumption, to investigate steady-state and transient processes in the power system.

In the work there are shown verbal accesses of complexity calculation procedures for power transformers construction, then an algorithmic method was taken related to the procedures. The algorithmic method was demonstrated in 3D space, which proved accuracy of calculations.

Calculated procedure at the beginning of the work was calculated, then presented through verbal view.

Keywords: power transformer, magnetic core, modeling, 3D Max software package, transformer design.

Теруге 13.06.2022 ж. жіберілді. Басуға 30.06.2022 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

16,6 Мб RAM

Шартты баспа табағы 23.88. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3958

Сдано в набор 13.06.2022 г. Подписано в печать 30.06.2022 г.

Электронное издание

16,6 Мб RAM

Усл. печ. л. 23.71. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 3958

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz