

ҚР ҒЖБМ ҒК «Математика және математикалық моделдеу институты» РМК



ЖОБАНЫҢ АТАУЫ

ЖОБА ЖЕТЕКШІСІ

**ЖОБАНЫҢ ОРЫНДАЛУ
ЖЫЛДАРЫ**

**ҚАРЖЫЛАНДЫРУ
СОМАСЫ**

Электр құрылғыларындағы коммутациялық процестерді модельдеу кезінде туындайтын еркін шекарасы бар жылу өткізгіштік мәселелері

ф-м. ғ.д., профессор, ҚР ҰҒА
акад. Харин Станислав Николаевич

2023-2025 (35 ай)

92,127 млн. теңге:

2023 – 25,77 млн. теңге, 2024 – 32,37 млн. теңге, 2025 – 33,98 млн. теңге

ЖОБАНЫҢ РЕФЕРАТЫ (АБСТРАКТ)

Зерттеудің, әзірлемелердің немесе жобалаудың объектісі: электр құрылғыларының электрлік контактілер жүйелеріндегі фазалық ауысулармен жылу алмасу процестерін сипаттайтын есептерді шешудің математикалық модельдері мен әдістері, оларды коммутациялау кезінде.

Жұмыстың мақсаты: Электр құрылғыларының электрлік контактілер жүйелерінде олардың коммутация кезіндегі фазалық ауысулары бар жылу алмасу процестерінің математикалық үлгілерін жасау.

Зерттеу әдістері: Еркін шекарасы белгісіз аймақтардағы сәйкес көп параметрлі жылуөткізгіштік есептерін шешудің аналитикалық және жуықтау әдістері.

Өзектілігі Тәжірибелік әдістерді қолдана отырып, электрлік контактілі жүйелерде фазалық ауысулары бар жылдам термофизикалық процестердің динамикасын зерттеу көбінесе өте қиын, ал кейде мүмкін емес. Қажетті ақпаратты тек соңғы нәтиже алу үшін ғана емес, сонымен қатар процестің динамикасын зерттеу үшін де қазіргі заманғы математикалық модельдеу құралдарының көмегімен алуға болады. Жоғары температура диапазонындағы процестерді модельдеу кезінде термофизикалық параметрлердің температураға тәуелділігін ескеру қажет, бұл пайдаланылған теңдеулердің сызықты еместігіне әкеледі, бұл еркін шекара тек қана қосылмайтын кезде сызықтық еместің басқа түріне қосылады. Стефан шарты, сонымен қатар дифференциалдық жылу теңдеуінің өзінде. Мұндай есептерді шешу әдістерін жасау өте күрделі математикалық есеп болып табылады.

Алынған нәтижелер мен жаңалық: 1) ұқсастық принципін қолдана отырып, коэффициенттері ізделіп отырған температураға сызықты емес тәуелді сфералық және жалпыланған жылу өткізгіштік теңдеулері үшін үш фазалы Стефан есебінің шешімінің бар екендігі туралы теорема дәлелденді және оны шешу әдісі әзірленеді; 2) Фурье критерийі мен Стефан санының үлкен және кіші мәндері үшін доғаның электродпен өзара әрекеттесуін сипаттайтын тура және кері Стефан есептерінің асимптотикалық жуықтау шешімдері құрылды; 3) металл фазасынан газ фазасына доғаның ауысу кезеңіндегі контактілердің қызу және эрозия динамикасының математикалық моделі және контактілердің температурасы мен доға эрозиясын есептеу әдісі әзірленді; 4) термоэлектрлік әсерлерді ескере отырып, сұйық-металл көпіріндегі температура өрісін сипаттайтын Стефан есебінің шешімі құрылды; 5) еркін шекараны бөліктік сызықтық жуықтау әдісі, кері Стефан есептерін шешудің интегралдық және вариациялық әдістері әзірленді; 6) сұйық металдың лақтыру коэффициентін ескере отырып, еркін шекарасы бар электрлік контакті есептерін шешу әдісі. Жүргізілген зерттеудің барлық нәтижелері жаңа.

Негізгі жобалық және техникалық-экономикалық көрсеткіштер: Жобаны жүзеге асырудағы экономикалық және өндірістік қызығушылық алынған нәтижелерді электр құрылғыларының контактілі жүйелерінде ғана емес, сонымен қатар коммутациялық жүйелер қолданылатын басқа салаларда, атап айтқанда, реле, қамыс ажыратқыштар және герсикондар сияқты төмен ток құрылғыларында.

Тиімділік: Жобаның математикалық үлгілері электр тізбектері және оларды қосу/өшіру процестері саласындағы жаңа теориялық және эксперименттік жұмыстарға тиімді ықпал ете алады.

КҮТІЛЕТІН НӘТИЖЕЛЕР

Негізгі нәтижелер

- коэффициенттері қажетті температураға сызықты емес тәуелді болатын сфералық және жалпыланған жылу теңдеулері үшін үш фазалы Стефан есебінің шешімі бар теореманы дәлелдеу және оны шешу әдісі әзірленеді.
- Фурье критерийінің және Стефан санының үлкен және кіші мәндері үшін доғаның электродпен әрекеттесуін сипаттайтын тура және кері Стефан есептерінің асимптотикалық және жуық шешімдерін құру. Шешім нәтижелері жылу ағынын анықтау үшін қолданылады электр доғасының және электр контактілерін ашу процесіндегі қуыс сұйық металл көпірдің динамикасы, сондай-ақ контактілер ашылған кезде пайда болатын тұйық контактілердің торус тәрізді дәнекерлеу динамикасын есептеу үшін.
- доғаның металл фазасынан газ фазасына өту сатысындағы контактілердің қызу және эрозия динамикасының математикалық моделін және контактілердің температурасы мен доғалық эрозиясын есептеу әдістемесін әзірлеу, сонымен қатар контактілердің доғалық эрозиясын эксперименттік тексеру. металл және газ фазаларындағы электр доғасының эрозиясын есептеу нәтижелері.
- металл және газ фазаларындағы электрдоғалық эрозияны есептеу нәтижелерін верификациялау.

2023 жыл: Сызықтық емес коэффициенттері бар Стефан есебінің классикалық және жалпыланған қойылымдарында шешімнің бар болуы мәселелері зерттеліп, оларды шешу әдістері құрастырылды. Электр доғасының металл фазадан газ фазасына өтуінің математикалық моделі және осы модельден туындайтын эрозия бағытының анодтан катодқа ауысу динамикасын есептеу әдісі әзірленді. Металл және газ фазаларындағы электрдоғалық эрозияны есептеу нәтижелері эксперименттік деректермен салыстырмалы түрде верификацияланып, соның негізінде модельді ықтимал түзету жүргізілді.

2024 жыл: Уақыттың үлкен және кіші мәндерінде еркін шекарасы бар жылуөткізгіштіктің электрконтакттық есептері шешімдерінің асимптотикасы табылды. Электрлік контактілерді ажырату процесінде электр доғасының жылу ағынын анықтау үшін еркін шекарасы бар жылуөткізгіштіктің кері есебін шешудің жуық әдістері әзірленді. Электр тізбегінің контактілері ажыратылған кезде қуыс сұйықметалдық көпіршенің динамикасын есептеудің математикалық моделі мен асимптотикалық әдісі жасалып, Фурье критерийінің кіші мәндерінде тұйықталған контактілердің тороидты дәнекерлену процесі зерттелді. Идеал емес жылулық контакттың математикалық моделі әзірленіп, туннельдік әсердің оның қызуына ықпалы бағаланды. Термозлектрлік әсерлерді ескере отырып, сұйықметалдық электрконтакттық көпіршедегі температуралық өріс үшін Стефан есебін шешу әдісі жасалды және Джоульдік пен Томсондық көлемдік жылу көздерінің қызуға әсері салыстырмалы түрде талданды. Еркін шекарасы бар аймақтағы сфералық жылуөткізгіштік есебінің математикалық моделі және оны шешу әдісі, ажыратылатын электр тізбегінің параметрлерінің әсерін ескере отырып, құрастырылды. Осы модельдің көмегімен доға жылу ағынының, Джоульдік және индуктивтік қызудың фазалық ауысулар динамикасына әсері зерттелді.

2025 жыл: Фазалық ауысудың берілген еркін шекарасын аппроксимациялауға негізделген электр доғасының жылу ағынын анықтау үшін кері сфералық Стефан есебін шешудің сандық әдісі әзірленді. Доғаның жылу ағынын және доғалық эрозияны есептеу бойынша еркін шекарасы бар кері электрконтакттық есептерді шешу үшін жылулық балансның интегралдық әдісі, вариациялық әдіс және коллокациялар әдісі әзірленіп, әрбір әдісті оңтайлы қолдану жөнінде ұсыныстар берілді. Берілген жылу ағыны бар сфералық Стефан есебін шешу үшін изотермиялық координаттар әдісі жасалды. Термокапиллярлық әсер есебінен сұйық металдың шашырау коэффициентін ескеретін еркін шекарасы бар электрконтакттық есептерді шешу әдісі әзірленді.

ЖОБАНЫҢ МАҚСАТЫ

- 1) Электр құрылғыларының электрлік контактілер жүйелерінде олардың коммутация кезіндегі фазалық ауысулары бар жылу алмасу процестерінің математикалық үлгілерін жасау.
- 2) Еркін шекарасы белгісіз аймақтардағы сәйкес көп параметрлі жылуөткізгіштік есептерін шешудің аналитикалық және жуықтау әдістерін жасау.
- 3) Доғаның металл фазасынан газ фазасына айналуының математикалық моделін құру.
- 4) Металл және газ фазаларындағы электр доғалық эрозияны есептеу нәтижелерін тәжірибелік тексеруді жүргізу.

ЖОБАНЫҢ НЕГІЗГІ ЕСЕПТЕРІ

- 1) Сфералық және жалпыланған жылу теңдеулері үшін күшейтілген сызықты еместігі бар үш фазалы Стефан есебін шешу. Электр контактілі жүйелердегі фазалық ауысу динамикасын зерттеуге қолдану.
- 2) Электр доғасының металл фазасының газ фазасына өтуінің математикалық моделі және еркін шекарасы бар сәйкес есепті шешу әдісі. Алынған нәтижелерді эксперименттік тексеру.

ТҮЙІНДІ СӨЗДЕР

электрлік жанасу және электр доғалық процестерін модельдеу, тікелей және кері Стефан типті есептер, аналитикалық және жуықтап шешу әдістері, ерітіндінің асимптотикасы, термоэлектрлік эффектiлер

ЗЕРТТЕУ ТОБЫНЫҢ МҮШЕЛЕРІ

№	ТАӨ	Лауазымы	Researcher ID	Scopus Author ID	ORCID
1	Харин С.Н.	Жоба жетекшісі	DZE-8768-2022	6701353063	0000-0002-9666-6514
2	Кавокин А.А.	ЖҒҚ 0.5 мөлш.	ABA-3640-2021	57200718188	0009-0000-1931-4518
3	Шпади Ю.Р.	ЖҒҚ 0.5 мөлш.	AAR-3322-2020	54411284900	0000-0002-0421-7149
4	Кулахметова А.Т.	ЖҒҚ 0.5 мөлш.	AGT-4652-2022	57202355373	0000-0002-7199-4714
5	Касабек С.А.	ЖҒҚ 0.5 мөлш.	ABF-9366-2021	56205307400	0000-0002-1714-5850
6	Наурыз Т.А.	АҒҚ 0.25 мөлш	AAD-3279-2019	57192197379	0000-0003-0523-2081
7	Нарбек О.	Математик, 1 санат 0.5 мөлш.			

Зерттеу нәтижелері бойынша 6 ғылыми мақала жарияланды, оның ішінде:

1 Targyn Nauryz, Samat A. Kassabek. Mathematical modeling of the heat process in closure electrical contacts with a heat source// International Journal of Non-Linear Mechanics.- 2023.- V. 157.- №104533.- P. 1-10 (ISBN 0020-7462) (Quartile in Web of Science: Q2, Quartile in Scopus Q1, Percentile: 87%) <https://doi.org/10.2139/ssrn.4507976> Дата выхода статьи январь 2023 г.

2 Julieta Bollati, Adriana C. Briozzo, Stanislav N. Kharin, Targyn A. Nauryz. Mathematical model of thermal phenomena of closure electrical contact with Joule heat source and nonlinear thermal coefficients// International Journal of Non-Linear Mechanics.- 2024.- V.158.- №104568.- P. 1-9 (ISBN 0020-7462) (Quartile in Web of Science: Q2, Quartile in Scopus Q1, Percentile: 87%).DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nonrwa.2025.104315> Дата выхода статьи 6 Nov 2023

3 Nauryz T.A. Mathematical modeling of the thermal process of arc erosion with current carrying heating effect in a temperature gradient // Partial Differential Equations in Applied Mathematics.- 2024.- V.11.- № 100888.- P.1-13 (ISBN 2666-81-81) (Scopus: процентиль 97%). <https://doi.org/10.1016> Дата выхода статьи ноябрь 2024 г.

4 Kharin S.N., Kulakhmetova A.T., Shady Yu.R. Generalized Stefan problem for mathematical modeling of the arc transition from the metallic phase to the gaseous phase//Kazakh Mathematical Journal, 2024.-24 (3).- pp. 6-21, DOI: <https://doi.org/10.70474/gbrx3g41> Дата выхода статьи сентябрь 2024 г.

5 Julieta Bollati, Adriana C. Briozzo, Stanislav N. Kharin, Targyn A. Nauryz, Mathematical modeling of heat process in a cylindrical domain with nonlinear thermal coefficients and a heat sources on the axis, Nonlinear Analysis: Real World Applications, 84 (2025) 104315, pp. 1-13, Q1 <https://doi.org/10.1016/j.nonrwa.2025.104315> Дата выхода статьи август 2025 г.

6 Nauryz T.A., Kharin S.N., Briozzo A.C., Bollati J. Exact solution to a stefan-type problem for a generalized heat equation with the thomson effect//The Eurasian Mathematical Journal (EMJ), 2025.- V.16.- P.68-89 Web-page of EMJ: www.emj.enu.kz, DOI:10.1016/j.nonrwa.2017.09.002Дата выхода статьи 01.10.2025