ӘЛ-ФАРАБИ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

Физика-техникалық факультеті

Плазма физикасы, нанотехнология және компьютерлік физика кафедрасы

Дәріс оқушы, профессор Досболаев М.Қ.

merlan@physics.kz

Техника-интеллектуалды қызмет және инженерлік мәселелерді шешу теориясы

пәні бойынша дәрістер жинағы

«8D07108 Электр энергетикасы»

білім беру бағдарламасы докторанттарына арналған

Алматы, 2026

Дәріс 9.

Техникалық жүйелерді заттық-өрістік талдау

Дәрістің мақсаты: Білім алушыларды техникалық жүйелерді заттық-өрістік талдау әдісімен таныстыру, заттар мен өрістер арасындағы өзара әрекеттесулерді модельдеуге үйрету, толық емес, зиянды және жеткіліксіз тиімді заттық-өрістік жүйелерді анықтау және оларды жетілдіру тәсілдерін меңгерту.

Дәріс жоспары:

1. Заттық-өрістік талдау әдісінің мәні және оның ӨЕШТ жүйесіндегі орны.
2. Заттық-өрістік модельдің негізгі элементтері және оларды бейнелеу.
3. Толық және толық емес заттық-өрістік жүйелер.
4. Зиянды және жеткіліксіз тиімді заттық-өрістік жүйелер.
5. Заттық-өрістік жүйелерді толықтыру және түрлендіру тәсілдері.
6. Электр энергетикасы, жоғары кернеулі аппараттар және плазмалық құрылғылар мысалында заттық-өрістік талдау жүргізу.
7. Қорытынды және бақылау сұрақтары.

Қысқаша теориялық мәліметтер

1. Заттық-өрістік талдау әдісінің мәні және оның ӨЕШТ жүйесіндегі орны

Қазіргі заманғы электр энергетикасы күрделі техникалық жүйелердің жұмыс істеуіне негізделеді. Электр генераторлары, трансформаторлар, электр қозғалтқыштары, жоғары кернеулі коммутациялық аппараттар, электр жеткізу желілері және плазмалық құрылғылар көптеген өзара байланысты элементтерден тұрады. Бұл элементтер арасында электрлік, магниттік, электр магниттік, жылулық және механикалық өзара әрекеттесулер жүреді.

Техникалық жүйелерді жетілдіру кезінде инженерлер әртүрлі мәселелерге тап болады. *Мысалы,* электр қозғалтқышының айналу моментін жоғарылатқанда магниттік жүйенің қанығуы немесе орамалардың қызуы байқалады. Жоғары кернеулі коммутациялық аппараттарда токты ажырату кезінде электр доғасы пайда болып, түйіспелердің тозуын жылдамдатады. Мұндай мәселелерді шешу үшін техникалық жүйенің сыртқы құрылысын ғана емес, оның элементтері арасындағы физикалық өзара әрекеттесулерді де зерттеу қажет.

ӨЕШТ осы мақсатта заттық-өрістік талдау әдісі қолданылады.

Заттық-өрістік талдау – техникалық жүйедегі заттар мен физикалық өрістердің өзара әрекеттесуін қарапайым модель түрінде сипаттауға және сол модель негізінде жүйені жетілдіру жолдарын анықтауға арналған ӨЕШТ әдісі. Орыс тіліндегі әдебиеттерде бұл әдіс «вещественно-полевой анализ», ал оның моделі «веполь» деп аталады.

Заттық-өрістік талдау әдісі Г.С. Альтшуллер қалыптастырған ӨЕШТ әдістемесінің маңызды құрамдас бөліктерінің бірі. Оның негізгі қағидасы бойынша техникалық жүйенің пайдалы қызметін қамтамасыз ететін физикалық өзара әрекеттесуді белгілі бір заттар мен өрістер арасындағы байланыстар арқылы сипаттауға болады.

Өнертапқыштық мәселені шешуде жүйенің құрылымын анықтау, оның қызметін сипаттау және туындайтын қайшылықтарды жою ең маңызды жұмыс. Заттық-өрістік талдау осы міндеттерді орындауға мүмкіндік беретін әдістердің бірі.

Заттық-өрістік талдаудың басты артықшылығы – әртүрлі техникалық құрылғылардағы мәселелерді бірдей абстрактілі модель арқылы қарастыру мүмкіндігі. *Мысалы,* электр қозғалтқышындағы магнит өрісінің роторға әсерін және плазмалық құрылғыдағы электр өрісінің зарядталған бөлшектерге әсерін бірдей модельдеу қағидалары бойынша сипаттауға болады. Бұл тәсіл инженердің назарын нақты құрылғының күрделілігінен оның негізгі қызметін жүзеге асыратын физикалық механизмге аударады.

2. Заттық-өрістік модельдің негізгі элементтері

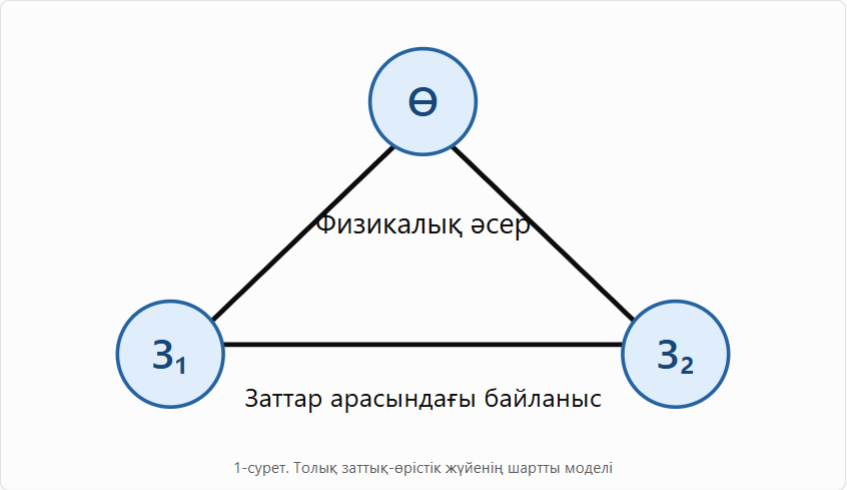
Заттық-өрістік модель техникалық жүйенің қарапайым қызметтік сипаттамасы болып табылады. Классикалық толық модель үш негізгі элементтен тұрады:

- $З_1$ – бірінші зат. Әсер қабылдайтын объект, яғни өңделетін, қозғалатын, қыздырылатын немесе өзгертілетін дене.
- $З_2$ – екінші зат. Бірінші затқа әсер ететін құрал немесе әсерді жеткізетін материалдық объект.
- Ө – физикалық өріс. Заттар арасындағы өзара әрекеттесуді қамтамасыз ететін физикалық әсер.

Бұл жерде «зат» ұғымы тек химиялық заттарды ғана білдірмейді. Ол қатты денені, сұйықтықты, газды, плазманы, жеке бөлшектерді немесе техникалық жүйенің белгілі бір материалдық элементін қамтуы мүмкін.

Ал «өріс» ұғымы ӨЕШТ әдістемесінде кең мағынада қолданылады. Оған электрлік, магниттік, жылулық, механикалық, акустикалық және басқа да физикалық әсерлер жатқызылады. Сондықтан ӨЕШТ-тегі өріс ұғымын тек классикалық физикадағы өріс анықтамасымен шектеуге болмайды.

2.1. Заттық-өрістік модельдің сызбасы



1-сурет. Толық заттық-өрістік жүйенің шартты моделі

Модельдегі үшбұрыштың төбелері екі зат пен бір физикалық өрісті көрсетеді. Олардың арасындағы сызықтар тиісті өзара әрекеттесулердің бар екенін білдіреді. Егер қажетті қызметті жүзеге асыруға қатысатын байланыстардың бірі болмаса, жүйе толық емес болуы мүмкін. Модельді құрастыру кезінде ең алдымен техникалық жүйенің қандай пайдалы қызмет атқаруы керектігі анықталады. *Мысалы,* электр қозғалтқышының негізгі қызметі – электр энергиясын механикалық энергияға түрлендіру. Бұл процесте статор қалыптастыратын магнит өрісі ротордың ток өткізгіш элементтерімен немесе магниттік құрылымымен өзара әрекеттеседі. Соның нәтижесінде айналдыру моменті пайда болады.

Қарапайым заттық-өрістік модельде:

- $З_1$ – ротордың әсер қабылдайтын элементі;
- $З_2$ – статордың электромагниттік жүйесі;
- Ө – магниттік өріс.

Бұл модель электр қозғалтқышының толық электр магниттік теориясын алмастырмайды. Алайда ол негізгі пайдалы әрекетті қамтамасыз ететін байланыстарды бөліп көрсетеді.

2.2. Физикалық өрістердің түрлері

Электр энергетикалық жүйелерді модельдеу кезінде төмендегідей өзара әрекеттесулер жиі кездеседі.

Өріс немесе әсер түрі	**Техникалық жүйедегі мысал**
Электрлік	Диэлектриктің поляризациясы, зарядталған бөлшектердің үдеуі
Магниттік	Электр машинасында айналдыру моментінің пайда болуы
Электр магниттік	Индукциялық қыздыру, электромагниттік энергияның берілуі
Жылулық	Трансформатор орамасынан жылудың салқындатқышқа берілуі
Механикалық	Коммутациялық аппарат түйіспелерінің қозғалысы
Акустикалық	Ультрадыбыстық диагностика және материалдарды өңдеу

Бір техникалық жүйеде бірнеше физикалық өріс бір уақытта әрекет етуі мүмкін. *Мысалы,* трансформаторда магнит өрісі электр магниттік индукция процесін қамтамасыз етеді, электр тогы орамаларда жылу бөледі, ал температураның өсуі оқшаулағыш материалдардың қасиеттеріне әсер етеді. Сондықтан күрделі жүйелерді талдағанда бір ғана заттық-өрістік модельмен шектелмей, өзара байланысты бірнеше модель құрастыру қажет болуы мүмкін.

3. Толық және толық емес заттық-өрістік жүйелер

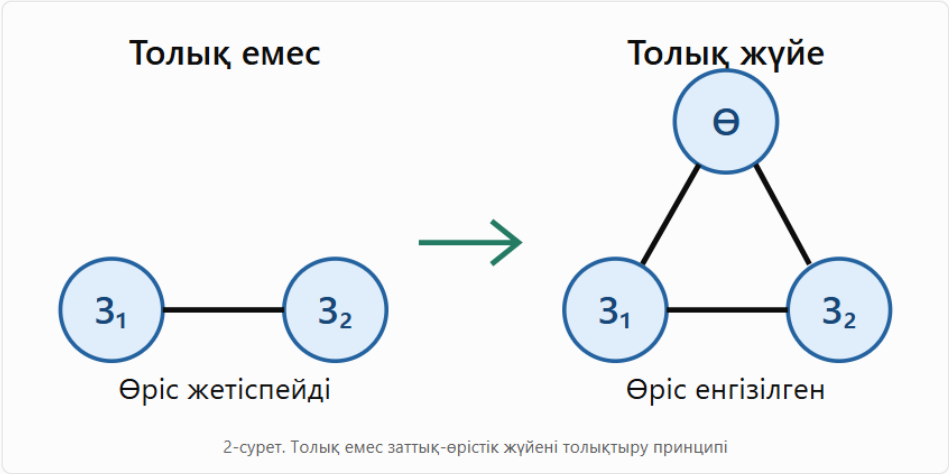
Заттық-өрістік талдауда техникалық жүйелер олардың құрылымының толықтығына және атқаратын қызметінің тиімділігіне байланысты жіктеледі. Толық заттық-өрістік жүйе деп қажетті пайдалы әрекетті орындауға мүмкіндік беретін екі зат пен физикалық өріс арасындағы өзара байланыстары қалыптасқан жүйені айтады. *Мысалы,* электр магниттік реледе катушка арқылы ток өткен кезде магнит өрісі пайда болады. Бұл өріс қозғалмалы якорьға әсер етіп, оның орын ауыстыруын қамтамасыз етеді. Якорьдың қозғалысы электрлік түйіспелерді қосуға немесе ажыратуға мүмкіндік береді. Бұл жүйеде электр магниттік әсер, қозғалмалы элемент және қажетті өзара әрекеттесу механизмі бар. Алайда толық заттық-өрістік жүйе міндетті түрде жоғары тиімді жүйе болып саналмайды. Онда энергия шығындары, зиянды әсерлер немесе басқару қиындықтары кездесуі мүмкін.

3.1. Толық емес заттық-өрістік жүйелер

Толық емес заттық-өрістік жүйе – қажетті пайдалы әрекетті жүзеге асыру үшін заттың, өрістің немесе олардың арасындағы функционалдық байланыстың жетіспеуімен сипатталатын жүйе. Мұндай жүйелерде белгілі бір элементтер болғанымен, олардың өзара әрекеттесуі қажетті нәтижеге жеткізбейді. *Мысалы,* екі металл түйіспені қарастырайық. Олар бір-біріне тиіп тұрғанымен, егер түйіспелерді басқарылатын түрде жылжытатын

механизм болмаса, электр тізбегін автоматты түрде қосу және ажырату қызметі орындалмайды. Мұндай жағдайда жүйеде екі зат бар, бірақ олардың қажетті басқарылатын әрекетін қамтамасыз ететін физикалық әсер немесе механизм жетіспейді.

Заттық-өрістік модельдің қарапайым түрленуін төмендегі схема арқылы көрсетуге болады.



2-сурет. Толық емес заттық-өрістік жүйені толықтыру принципі

Толық емес жүйені жетілдірудің негізгі тәсілі – жетіспейтін элементті немесе функционалдық байланысты енгізу. Мәселен, түйіспелерді электр магнит арқылы басқаруға болады. Катушкада пайда болатын магнит өрісі якорьға әсер етіп, түйіспенің қозғалуын қамтамасыз етеді. Нәтижесінде толық емес жүйе қажетті қызметті атқаратын функционалдық жүйеге айналады. Бұл түрлендіру классикалық ӨЕШТ стандарттарындағы заттық-өрістік жүйені құрастыру қағидасына сәйкес келеді.

3.2. Толық емес жүйелерді анықтау

Техникалық жүйенің толық еместігін анықтау үшін келесі сұрақтарға жауап беру қажет:

1. Жүйенің негізгі пайдалы қызметі қандай?
2. Бұл қызмет қандай объектіге бағытталған?
3. Объектіге қандай құрал әсер етеді?
4. Әсерді қандай физикалық өріс немесе механизм қамтамасыз етеді?
5. Қажетті нәтижені алу үшін қандай элемент немесе байланыс жетіспейді?

Бұл сұрақтар электр энергетикасындағы құрылғыларды талдауға мүмкіндік береді. *Мысалы,* жоғары кернеулі жабдықтың температурасын қашықтан бақылау міндеті берілсін. Құрылғы қызады, бірақ оның температурасы туралы ақпарат өлшеу жүйесіне берілмейді. Мұнда температураны қабылдап, оны өлшенетін сигналға түрлендіретін элемент немесе

тиісті байланыс жетіспейді. Жүйені толықтыру үшін инфрақызыл датчик немесе жылулық сәулеленуді тіркейтін камера енгізуге болады. Нәтижесінде жылулық сәулелену арқылы температураны қашықтан өлшеуге мүмкіндік пайда болады.

4. Зиянды және жеткіліксіз тиімді заттық-өрістік жүйелер

Техникалық жүйеде барлық қажетті элементтер болуы мүмкін, бірақ олардың өзара әрекеттесуі әрдайым пайдалы нәтижеге жеткізе бермейді. Осыған байланысты заттық-өрістік жүйелердің екі маңызды түрі қарастырылады: зиянды өзара әрекеттесуі бар және жеткіліксіз тиімді жүйелер.

4.1. Зиянды заттық-өрістік жүйелер

Зиянды заттық-өрістік жүйе – техникалық жүйедегі өзара әрекеттесудің нәтижесінде қажетті пайдалы қызметпен қатар немесе оның орнына жағымсыз әсер пайда болатын жүйе. Мұндай әсерлерге қызу, үйкеліс, материалдың тозуы, электрлік тесіп өту, механикалық тербеліс, коррозия және басқа құбылыстар жатады. Электр энергетикасында зиянды өзара әрекеттесудің кең тараған мысалы – өткізгіштердің электр тогынан қызуы. Өткізгіш арқылы ток өткен кезде электр энергиясының бір бөлігі жылуға айналады. Джоуль–Ленц заңы бойынша:

$$Q = I^2Rt,$$

Электр энергиясын жеткізу кезінде өткізгіштердің қызуы көбінесе зиянды әсер болып саналады, өйткені ол энергия шығынын арттырады және оқшаулағыш материалдардың қызмет ету мерзімін қысқартуы мүмкін.

Бұл процестің заттық-өрістік моделін былай сипаттауға болады:

- $З_1$ – электр өткізгіш;
- $З_2$ – ток өткізгіштің электрлік тізбекпен өзара әрекеттесетін материалдық элементтері;
- Ө – электрлік әсер;
- Зиянды нәтиже – өткізгіште жылудың бөлінуі.

Модельде пайдалы әрекет пен зиянды нәтиже ажыратылып көрсетіледі: пайдалы қызмет – электр энергиясын жеткізу, ал зиянды әсер – жылулық шығын. Мұндай жағдайда өнертапқыштық мәселе электр энергиясын жеткізуді сақтай отырып, өткізгіштің қызуын азайту. Мәселені шешудің бірнеше бағыты бар: өткізгіштің кедергісін төмендету, салқындатуды күшейту, токты бірнеше параллель өткізгішке бөлу немесе белгілі жағдайларда өткізгіштің геометриялық пішінін өзгерту.

4.2. Зиянды байланысты жою принциптері

ӨЕШТ әдістемесінде зиянды өзара әрекеттесуді жоюдың негізгі тәсілдерінің бірі – жүйеге үшінші затты енгізу немесе бұрыннан бар заттардың қасиеттерін өзгерту. *Мысалы,* механикалық түйіспелерде үйкеліс пен тозуды азайту үшін майлау материалы енгізіледі. Бұл жағдайда үшінші зат екі беттің тікелей өзара әрекеттесу сипатын өзгертеді. Электр энергетикасында осындай қағиданы жоғары кернеулі аппараттардағы электр доғасының әсерін азайтуға қолдануға болады. Электрлік түйіспелер ажыратылған кезде олардың арасында электр доғасы пайда болуы мүмкін. Доғаның жоғары температурасы түйіспелердің балқуына және эрозиясына әкеледі.

Мұндай жүйеде:

- $З_1$ – электрлік түйіспе;
- $З_2$ – доғалық разрядтың плазмасы;
- Ө – электрлік және жылулық әсерлер;
- Зиянды нәтиже – түйіспе материалының қызуы және эрозиясы.

Доғаның зиянды әсерін азайту үшін коммутациялық аппарат конструкциясына сәйкес доға сөндіру камералары, магниттік үрлеу жүйелері, газдық орта немесе вакуумдық ажырату технологиялары қолданылуы мүмкін. Бұл шешімдер зиянды әрекетті әлсіретуге, оның ұзақтығын қысқартуға немесе энергиясын басқа аймаққа бағыттауға негізделеді.

4.3. Жеткіліксіз тиімді заттық-өрістік жүйелер

Жеткіліксіз тиімді заттық-өрістік жүйе – барлық негізгі элементтері болғанымен, пайдалы әрекеттің қарқындылығы, дәлдігі, жылдамдығы немесе басқарылу деңгейі талап етілген нәтижеге жетпейтін жүйе. *Мысалы,* электр қозғалтқышында магнит өрісі роторға әсер етеді және айналдыру моментін тудырады. Алайда қозғалтқыштың белгілі бір жұмыс режимінде пайда болатын момент жүктемені қозғалту үшін жеткіліксіз болуы мүмкін. Мұндай жүйе толық емес болып саналмайды. Себебі негізгі элементтер де, олардың өзара байланысы да бар. Бірақ өзара әрекеттесудің тиімділігі жеткіліксіз. Жеткіліксіз тиімді жүйелерді жетілдіру үшін өрістің қарқындылығын өзгерту, әсер ету уақытын оңтайландыру, жаңа материалдарды пайдалану, жүйенің геометриясын өзгерту немесе қосымша басқарылатын өрісті енгізу тәсілдері қолданылады. *Мысалы,* асинхронды электр қозғалтқышының жұмысын жетілдіру кезінде қоректендіру кернеуінің жиілігін реттеу арқылы оның жылдамдығын басқаруға болады. Бұл тәсіл жиіліктік түрлендіргіштердің жұмыс принципінің негізін құрайды. Алайда кез келген өрістің қарқындылығын арттыру әрдайым тиімді бола бермейді. *Мысалы,* магнит өрісін күшейткенде магнитөткізгіштің қанығуы, электрлік шығындардың өсуі немесе жылулық шектеулер пайда болуы мүмкін.

Сондықтан жүйені жетілдіру кезінде пайдалы нәтижемен қатар қосымша шығындар мен зиянды әсерлер міндетті түрде ескерілуі тиіс.

5. Заттық-өрістік жүйелерді толықтыру және түрлендіру тәсілдері

ӨЕШТ әдістемесінде заттық-өрістік жүйелерді түрлендіру үшін бірқатар стандартты шешімдер қолданылады. Г.С. Альтшуллер ұсынған классикалық 76 стандарт жүйесінде заттық-өрістік жүйелерді құрастыру, зиянды байланыстарды жою, жүйелерді дамыту және өлшеу міндеттерін шешу тәсілдері қарастырылған. Электр энергетикасы тұрғысынан олардың ішіндегі бірнеше негізгі бағытты қарастырайық.

5.1. Жүйеге жетіспейтін элементті енгізу

Бұл тәсіл толық емес заттық-өрістік жүйелерге қолданылады. Егер қажетті қызметті орындау үшін белгілі бір зат немесе физикалық әсер жетіспесе, жүйеге сол элемент енгізіледі. *Мысалы,* электр жабдығының температурасын автоматты басқару үшін температура датчигі, басқару құрылғысы және салқындату жүйесінің атқарушы механизмі пайдаланылуы мүмкін. Нәтижесінде температура туралы ақпарат алынып, оған сәйкес басқарушы әрекет қалыптасады.

5.2. Үшінші затты енгізу

Бұл тәсіл жүйедегі пайдалы әсерді күшейтуге немесе зиянды әсерді әлсіретуге мүмкіндік береді. *Мысалы,* трансформатордағы жылуды сыртқа шығару үшін салқындатқыш сұйықтық қолданылады. Ол орамалар мен магнитөткізгіштен жылуды қабылдап, оны салқындату беттеріне жеткізеді.

Қарапайым модельде:

- $З_1$ – қызған орама;
- $З_2$ – салқындатқыш сұйықтық;
- Ө – жылулық әсер.

Бұл жерде салқындатқыш сұйықтық жылу тасымалдаушы қызметін атқарады. Әрине, нақты трансформаторларда салқындату жүйесінің тиімділігі сұйықтықтың жылуфизикалық қасиеттеріне, айналым жылдамдығына, конструкцияға және жылу алмасу жағдайларына тәуелді.

5.3. Физикалық өрісті ауыстыру немесе қосымша өріс енгізу

Кейбір техникалық жүйелерде бастапқы физикалық әсер қажетті нәтижені жеткілікті деңгейде қамтамасыз ете алмайды. Мұндай жағдайда басқа өрісті пайдалану немесе қосымша өріс енгізу тиімді болуы мүмкін. *Мысалы,* жоғары кернеулі коммутациялық аппараттағы электр доғасына магнит өрісі арқылы әсер етуге болады. Ток өткізетін плазмаға магнит өрісі әсер еткенде электр магниттік күш пайда болады. Оның көлемдік тығыздығы:

$$\vec{f} = \vec{J} \times \vec{B},$$

мұндағы: $\vec{f}$ – электр магниттік күштің көлемдік тығыздығы, Н/м³; $\vec{J}$ – ток тығыздығы, А/м²; $\vec{B}$ – магнит индукциясы, Тл.

Бұл күш доғалық разрядтың қозғалысына және пішініне әсер етуі мүмкін. Арнайы ұйымдастырылған магнит өрісі арқылы электр доғасын доға сөндіру аймағына бағыттау, оның ұзындығын өзгерту немесе түйіспе бетіндегі жылулық жүктемені қайта бөлу мүмкіндігі қарастырылады. Осылайша бастапқы жүйеге магнит өрісін енгізу оның жұмыс режимін басқаруға мүмкіндік береді.

5.4. Заттың физикалық қасиеттерін өзгерту

Заттық-өрістік жүйені жетілдірудің келесі тәсілі – жүйедегі материалдардың қасиеттерін өзгерту. *Мысалы,* электрлік түйіспелердің сенімділігін арттыру үшін олардың материалына, беткі жабындысына және құрылымына өзгерістер енгізіледі. Материалдың электрлік өткізгіштігін, жылуға төзімділігін, қаттылығын немесе эрозияға тұрақтылығын арттыру арқылы түйіспелердің қызмет ету мерзімін ұзартуға болады. Сол сияқты трансформаторларда жоғары жылуөткізгіштікке және электрлік оқшаулау қасиеттеріне ие материалдарды пайдалану жылулық режимді жақсартуға мүмкіндік береді.

5.5. Бірнеше өрістің бірлескен әсерін пайдалану

Күрделі техникалық жүйелерде пайдалы нәтижеге жету үшін бірнеше физикалық өріс бір уақытта қолданылуы мүмкін. *Мысалы,* плазманы басқару үшін электр және магнит өрістерінің бірлескен әсерін пайдалануға болады. Зарядталған бөлшекке әсер ететін Лоренц күші:

$$\vec{F} = q\left(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}\right),$$

Бұл өрнек зарядталған бөлшектер қозғалысының электр және магнит өрістеріне тәуелді екенін көрсетеді. Электр өрісі бөлшектерге энергия беріп, оларды үдете алады, ал магнит өрісі олардың қозғалыс бағытына және траекториясына әсер етеді. Бұл қағида плазмалық құрылғыларда, магниттік ұстау жүйелерінде және электромагниттік плазмалық үдеткіштерде қолданылады.

6. Электр энергетикасындағы техникалық жүйелерді заттық-өрістік талдау мысалдары

Заттық-өрістік талдауды практикалық қолданудың негізгі мақсаты – техникалық мәселені қарапайым модельге келтіру және сол модельді өзгерту арқылы жаңа инженерлік шешім ұсыну. Төменде электр энергетикасындағы үш техникалық жүйе қарастырылады.

6.1. Бірінші мысал. Күштік трансформатордың салқындату жүйесін жетілдіру

Мәселенің қойылуы. Күштік трансформатор жұмыс істеген кезде оның орамалары мен магнитөткізгішінде электрлік және магниттік шығындар нәтижесінде жылу бөлінеді. Жүктеме артқан сайын температура жоғарылауы мүмкін. Бұл оқшаулағыш материалдардың қартаюын жылдамдатып, трансформатордың сенімділігіне кері әсер етеді.

Техникалық қайшылық: трансформатордың жүктемесін арттыру қажет, бірақ температураның жоғарылауына жол бермеу керек.

Заттық-өрістік модель:

- З₁ – трансформатордың қызған орамалары;
- З₂ – салқындатқыш орта;
- Ө – жылулық әсер;
- Пайдалы қызмет – орамалардағы жылуды сыртқа шығару;
- Кемшілік – жылу алмасудың жеткіліксіз тиімділігі.

Бұл жүйені жетілдірудің бірнеше тәсілі бар. Біріншіден, табиғи конвекцияға негізделген салқындатуды мәжбүрлі айналыммен толықтыруға болады. Екіншіден, радиатордың жылу алмасу бетін ұлғайту қарастырылады. Үшіншіден, салқындатқыш ортаның жылуфизикалық сипаттамаларын оңтайландыруға болады. Жылу алмасуды қарапайым түрде келесі теңдеумен бағалауға болады:

$$\dot{Q} = hA(T_s - T_f),$$

мұндағы: $\dot{Q}$ – жылу берілу қуаты, Вт; h – жылу беру коэффициенті, Вт/(м²·К); A – жылу алмасу бетінің ауданы, м²; T_s – қызған беттің температурасы, К; T_f – салқындатқыш ортаның температурасы, К.

Теңдеуден жылу алмасу бетінің ауданын немесе жылу беру коэффициентін арттыру арқылы бірдей температура айырмасында жылу берілу қарқынын жоғарылатуға болатынын көруге болады.

ӨЕШТ бойынша шешім: жеткіліксіз тиімді заттық-өрістік жүйені қосымша механикалық әсермен, яғни салқындатқыш ортаның мәжбүрлі айналымын қамтамасыз ететін сорғы немесе желдеткішпен толықтыру. Бұл жағдайда жүйенің жылу алмасу мүмкіндігі артады. Алайда қосымша энергия шығыны мен құрылғының күрделенуі де ескерілуі тиіс.

6.2. Екінші мысал. Жоғары кернеулі вакуумдық ажыратқыштағы электр доғасының әсерін азайту

Мәселенің қойылуы. Вакуумдық ажыратқышта электрлік түйіспелер ажыраған кезде олардың арасында металл буының плазмасынан тұратын доғалық разряд пайда болуы мүмкін. Доғаның әсерінен түйіспелер қызады және олардың беті эрозияға ұшырайды.

Техникалық қайшылық: ажыратқыш үлкен токтарды сенімді түрде үзуі тиіс, бірақ түйіспелердің тозуы мүмкіндігінше аз болуы қажет.

Заттық-өрістік модель:

- $З_1$ – электрлік түйіспенің беті;
- $З_2$ – доғалық плазма;
- $Ө_1$ – электрлік және жылулық әсерлер;
- Зиянды нәтиже – түйіспе материалының жергілікті қызуы және эрозиясы.

Бұл жүйеде зиянды өзара әрекеттесуді толығымен болдырмау әрдайым мүмкін емес. Сондықтан негізгі міндет – разрядтың сипаттамаларын басқару арқылы түйіспелердің бұзылуын азайту. Мүмкін болатын шешімдердің бірі – түйіспелердің арнайы геометриясы арқылы магнит өрісін қалыптастыру және доғаның қозғалысын немесе таралуын басқару. Магнит өрісінің әсерінен доғалық плазмадағы токқа электр магниттік күш түседі. Бұл токтың белгілі бір аймақта шоғырлануын азайтуға көмектесуі мүмкін.

ӨЕШТ бойынша шешім: зиянды өзара әрекеттесуі бар жүйеге қосымша басқарушы магнит өрісін енгізу және оның әсері арқылы жылулық жүктеменің таралуын өзгерту. Нақты вакуумдық ажыратқышта нәтижеге түйіспе геометриясы, магнит өрісінің бағыты, ток шамасы және разряд режимі әсер етеді. Сондықтан ұсынылған шешім тәжірибелік және есептік тексеруді талап етеді.

6.3. Үшінші мысал. Плазмалық құрылғыдағы зарядталған бөлшектер қозғалысын басқару

Мәселенің қойылуы. Плазмалық құрылғыларда электр өрісі зарядталған бөлшектердің қозғалысын қамтамасыз етеді. Алайда бөлшектердің траекториялары, кеңістікте таралуы және энергиясы қажетті технологиялық талаптарға сәйкес келмеуі мүмкін.

Мысалы, плазмалық үдеткіште бөлшектердің белгілі бағытта қозғалуын қамтамасыз ету, ал плазмалық өңдеу құрылғысында плазманың материал бетіне біркелкі әсер етуін арттыру қажет болуы мүмкін.

Заттық-өрістік модель:

- $З_1$ – зарядталған бөлшектер немесе плазма ағыны;
- $З_2$ – электродтық жүйе;

- $Ө_1$ – электр өрісі;
- Пайдалы әрекет – бөлшектерді үдету;
- Кемшілік – бөлшектер қозғалысының немесе плазманың кеңістікте таралуының жеткіліксіз басқарылуы.

Мұндай жүйені жетілдіру үшін қосымша магнит өрісін қолдану қарастырылады. Электр өрісі бөлшектерге энергия берсе, магнит өрісі олардың траекториясын өзгертуге мүмкіндік береді. Бұл арқылы белгілі жағдайларда бөлшектер ағынының кеңістіктегі таралуын басқаруға болады.

ӨЕШТ бойынша шешім: бастапқы электрлік заттық-өрістік жүйені электрлік-магниттік өзара әрекеттесу жүйесіне түрлендіру. Алайда магнит өрісінің енгізілуі әрқашан плазмалық құрылғының тиімділігін арттырады деп тұжырымдауға болмайды. Оның әсері плазманың параметрлеріне, соқтығысу жиілігіне, магниттелу дәрежесіне және құрылғы геометриясына байланысты болады. Сондықтан заттық-өрістік талдау жаңа шешімнің бағытын анықтайды, ал оның тиімділігі физикалық модельдеу және тәжірибелік өлшеулер арқылы тексеріледі.

6.4. Қарастырылған жүйелерді салыстыру

Техникалық жүйе	**Анықталған мәселе**	**ТРИЗ бойынша түрлендіру**
Күштік трансформатор	Жылу алмасу тиімділігінің жеткіліксіздігі	Салқындатқыш ортаның мәжбүрлі айналымын енгізу
Вакуумдық ажыратқыш	Электр доғасының түйіспелерге зиянды әсері	Магнит өрісі арқылы доғаға әсер ету
Плазмалық құрылғы	Бөлшектер қозғалысын басқарудың жеткіліксіздігі	Қосымша магнит өрісін енгізу

Бұл мысалдар заттық-өрістік талдаудың әртүрлі физикалық процестерге ортақ әдістемелік негізде қолданылатынын көрсетеді.

7. Заттық-өрістік талдауды орындау алгоритмі

Техникалық жүйені заттық-өрістік талдау арқылы зерттеуді келесі реттік кезеңдерге бөлуге болады.

1. Техникалық мәселені анықтау
2. Пайдалы және зиянды әрекеттерді ажырату
3. Заттар мен физикалық өрістерді анықтау
4. Заттық-өрістік модельді құрастыру
5. Жүйенің түрін анықтау

6. Түрлендіру тәсілін таңдау
7. Ұсынылған шешімді физикалық тұрғыдан тексеру

Бұл алгоритм білім алушыларға инженерлік мәселені жүйелі түрде қарастыруға көмектеседі. Заттық-өрістік талдау техникалық шешімді бірден дайын күйінде бермейтінін ескеру қажет. Ол мәселенің құрылымын түсінуге және перспективалы шешім бағытын таңдауға мүмкіндік береді. Ал ұсынылған шешімнің нақты жұмысқа қабілеттілігі физикалық заңдар, инженерлік есептеулер және тәжірибелік зерттеулер негізінде дәлелденеді.

Өзіндік тексеруге арналған бақылау сұрақтары

1. Заттық-өрістік талдау әдісінің негізгі мақсаты қандай?
2. Заттық-өрістік модельдің негізгі элементтерін атаңыз.
3. Толық және толық емес заттық-өрістік жүйелердің айырмашылығы неде?
4. Зиянды заттық-өрістік жүйелерге электр энергетикасынан қандай мысалдар келтіруге болады?
5. Жеткіліксіз тиімді заттық-өрістік жүйені қандай тәсілдер арқылы жетілдіруге болады?
6. Жоғары кернеулі вакуумдық ажыратқыштағы электр доғасына магнит өрісі арқылы әсер етудің физикалық негізі қандай?
7. Плазмалық құрылғылардағы электр және магнит өрістерінің бірлескен әсерін заттық-өрістік модель арқылы қалай сипаттауға болады?

Қолданылған әдебиеттер тізімі

1. Альтшуллер Г. Найти идею: Введение в ТРИЗ - теорию решения изобретательских задач. -М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. Стр. 400.

2. Гольдштейн Е.И. Теория решения изобретательских задач: Учебное пособие. - Томск: Изд. ТПТУ, 2009. Стр. 153.

3. Петров В.М. Теория решения изобретательских задач - ТРИЗ: учебник по дисциплине «Алгоритмы решения нестандартных задач». М.: СОЛОН-Пресс, 2017 . Стр. 500 с.

4. Злотин Б.Л., Литвин С.С. Теория изобретательских задач: современный подход и примеры применения. - Москва: Эксмо, 2017.

5. Зусман А.В. Методология ТРИЗ: Теория и практика инновационного мышления. - Москва: Наука и Техника, 2019.

Профессор Досболаев М.Қ.