

## Электр машиналарының энергия тиімділігін арттыру жолдары

ЖАРИЯЛАНДЫ  
07.12.2025СІЛТЕМЕ  
<https://bilimger.kz/185604/>

**Тәшпентаев Әлімжан, Қуандықов Әлихан**

**Әлмұханов Діндар, Насен Махаббат, Юсупова Жарқынай**

Қ.Жұбанова атындағы Ақтөбе өңірлік университеті

Техникалық факультеті

Оқытушы: **Отарбаева Айнагул Темірғазықызы**

### КІРІСПЕ

Қазіргі уақыттағы өндіріс орындары мен тұрмыстық секторда электр энергиясына деген тәуелділік күннен-күнге артып келеді. Әсіресе автоматтандырылған технологиялар, роботтандырылған желілер, интеллектуалды басқару жүйелері кең таралған сайын энергияны тұтыну көлемі де жоғарылай түсуде. Мұндай жағдайда энергияны тиімді пайдалану мәселесі тек экономикалық тұрғыдан ғана емес, сонымен бірге экологиялық қауіпсіздік пен ресурстық тұрақтылық үшін аса маңызды бағытқа айналып отыр.

Электр машиналары – энергияны түрлендірудің негізгі құралдарының бірі. Олар барлық дерлік өндірісте, машина жасау саласында, ауыл шаруашылығында, көлікте және тұрмыстық техникада қолданылып, өндірістік процестердің үздіксіз жұмыс істеуіне мүмкіндік береді. Электр қозғалтқыштары мен генераторлардың саны әлем бойынша миллиардтаған бірлікке жетеді, сондықтан олардың жалпы энергия тұтынудағы үлесі өте жоғары. Халықаралық энергетикалық агенттіктің мәліметіне сәйкес, әлемдік өнеркәсіптік электр энергиясының 60%-дан астамы электр қозғалтқыштар арқылы жұмсалады. Бұл көрсеткіш олардың энергия тиімділігін арттырудың қаншалықты маңызды екенін айқын көрсетеді.

Электр машиналарының тиімділігі төмен болса, электр энергиясының айтарлықтай бөлігі жылулық шығындарға айналады. Мұндай шығындар электр желісіне артық жүктеме

түсіреді, өндірістің өзіндік құнын арттырады және жабдықтардың мерзімінен бұрын істен шығуына себеп болады. Қызып кету оқшаулаудың қартаюын тездетіп, жөндеу шығындарын көбейтеді. Сондықтан энергияны көп қажет ететін кәсіпорындар үшін тиімділігі жоғары электр машиналарын пайдалану – бәсекеге қабілеттілікті арттырудың негізгі шарттарының бірі.

Электр машиналарының энергия тиімділігін жоғарылатудың қазіргі тәсілдері кең ауқымды. Оларға конструкциялық материалдарды жетілдіру, мыс өткізгіштердің сапасын арттыру, механикалық үйкелісті азайту, интеллектуалды басқару жүйелерін қолдану, сондай-ақ эксплуатациялық режимдерді оңтайландыру жатады. Сонымен қатар халықаралық IЕ стандарттарына сәйкес тиімділігі жоғары қозғалтқыштарды енгізу энергиялық шығындарды айтарлықтай төмендетуге мүмкіндік береді.

Мақалада электр машиналарының энергия тиімділігіне әсер ететін негізгі факторлар, шығын түрлері, заманауи техникалық және технологиялық шешімдер, басқару жүйелерін жетілдіру жолдары қарастырылады. Сонымен бірге электр машиналарының болашақтағы даму бағыттары, инновациялық қозғалтқыш түрлері және энергия үнемдеу саласындағы жаңа әдістер ғылыми негізде талданады.

## 2. Электр машиналарының энергия тиімділігін арттырудың конструкциялық шешімдері

Электр машиналарының тиімді жұмыс істеуі тікелей олардың конструкциялық элементтеріне, пайдаланылатын материалдардың сапасына, ротор мен статордың құрылымына, салқындату және майлау жүйелерінің деңгейіне байланысты. Заманауи инженерияда энергия тиімділігін арттыру мақсатында бірқатар конструкциялық жаңғырту әдістері енгізіліп келеді. Бұл бөлімде сол техникалық шешімдер жан-жақты қарастырылады.

### 2.1. Магниттік материалдардың сапасын жақсарту

Электромагниттік шығындардың басым бөлігі статор мен ротордың магниттік өзектерінде пайда болады. Темірдің құрылымындағы гистерезис пен вихрь тоқтарының әсерінен жылу түріндегі шығындар ұлғаяды.

Энергия тиімділігін арттыру үшін келесі материалдар қолданылады:

Кремнийлі электр болаты (электротехникалық болат)

Бұл материалдың құрамында 2,5–4,5% кремний болады. Кремний темірдің магниттік қасиетін жақсартып, электр өткізгіштігін төмендетеді. Нәтижесінде вихрь тоқтары азаяды, темір шығындары 20–30% дейін қысқарады.

Аморфты және нанокристаллды металл ленталар

Аморфты материалдардың құрылымы ретсіз, атомдар белгілі бір торға бағынбайды. Осыған байланысты гистерезис шығындары өте төмен.

Кәдімгі электр болатына қарағанда шығындар 70–80% аз болады. Мұндай материалдар көбіне жоғары классты IЕ4–IЕ5 қозғалтқыштарында қолданылады.

Магниттік өткізгіштігі жоғары жаңа қорытпалар

Fe–Co (темір-кобальт) негізіндегі қорытпалар жоғары индукция береді, қуат тығыздығын арттырады.

Бұл материалдар авиацияда, үлкен қуатты турбогенераторларда пайдаланылады. Жоғары сапалы магниттік материалдарды қолдану – электр машиналарының энерго тиімділігін арттырудағы ең пәрменді әдістердің бірі. Бұл тек шығынды азайтып қана қоймай, машинаның салмағын, көлемін және қызуын төмендетеді.

## 2.2. Орам өткізгіштерін жетілдіру және мыс қимасын үлкейту

Электр машиналарында орамдағы ток кедергіге ұшырағанда  $I^2R$  жылулық шығындары пайда болады. Бұл шығындар орам материалының кедергісіне, қимасына және оралу тығыздығына тәуелді.

Энергия тиімділігін арттыру үшін:

Мыс сымның көлденең қимасын арттыру

Қиманың өсуі кедергіні азайтады, жылу аз бөлінеді.

Мысалы:

- 2-3 мм<sup>2</sup> сымды 4 мм<sup>2</sup>-ге арттырғанда кедергі 30-40% төмендейді.
- Тиісінше қызу азайып, тиімділік өседі.
- Жоғары таза мыс қолдану

99,9% электролиттік мыс

→ жоғары өткізгіштік

→ аз шығын

→ ұзақ мерзімді тұрақты жұмыс.

Тұрақтандырылған күміс-қосынды мыс

Кейбір жоғары температуралы қозғалтқыштарда күміс қосылған мыс пайдаланылады (Ag 0,03-0,1%). Ол:

- ыстыққа төзімді,
- ток өткізгіштігі жоғары,
- механикалық беріктігі жақсы.

Қабатталған (litz-wire) өткізгіштер

Жоғары жиілікте жұмыс істейтін қозғалтқыштарда токтың тереңдік эффектісі (skin-effect) пайда болады.

Соған байланысты көптеген жұқа өткізгіш жилалардан құралған Litz-сымдар қолданылады.

## 2.3. Ротор конструкциясын жетілдіру

Ротор – қозғалтқыштың ең маңызды элементтерінің бірі. Оның формасы, материалы және құрастыру тәсілі энергия шығынына тікелей әсер етеді.

Қысқа тұйықталған роторды мыс таяқшалармен жасау Дәстүрлі алюминий роторларына қарағанда:

- ток аз қызады,
- кедергі төмен,
- механикалық беріктік жоғары.

Нәтижесінде тиімділік 2-5% көтеріледі.

Құйма тәсілінің жаңа технологиялары

Қысыммен құю арқылы ротордың саңылауларына металл дәл толады, бұл қосымша шығындарды азайтады.

Синхронды қозғалтқыштардағы тұрақты магниттерді жақсарту Nd-Fe-B сирек металл магниттері:

- жоғары магнит өрісін береді,
- ротордағы мыс шығынын толық жояды,
- КПД 97-98% жетеді.

Бұл технология қазіргі электр лифтілерінде, робот техникасында және электромобильдерде кең қолданылады.

2.4. Подшипниктің үйкелісін азайтуға арналған инженерлік шешімдер Электр машиналарындағы механикалық шығындардың 60%-ы подшипник үйкелісінен туындайды. Бұл шығынды азайту үшін заманауи конструкциялар енгізіледі.

Майлау жүйесін автоматтандыру Автоматты майлау:

- үйкелісті азайтады,
- қызып кетуді болдырмайды,
- қызмет көрсету интервалын ұзартуға мүмкіндік береді.

Төмен үйкелісті роликті подшипниктер Қоңыржай жүктемеде өте тиімді.

Жылу түзілуін 15-20% төмендетеді.

Магниттік подшипниктер

Бұл - ең заманауи технология.

Ротор ешқандай механикалық жанаспай, магнит өрісінде «ілініп» тұрады.

Артықшылықтары:

- үйкеліс жоқ → шығын нөлге жақын,
- жанасатын бөлшек болмағандықтан тозу болмайды,
- қызмет ету мерзімі өте ұзақ.

Магниттік подшипниктер көбіне турбиналарда, жоғары жылдамдықты қозғалтқыштарда пайдаланылады.

2.5. Жетілдірілген салқындату жүйелері

Қозғалтқыштың температурасы неғұрлым жоғары болса, оқшаулау соғұрлым тез қартаяды және шығындар артады. Сондықтан салқындатуды басқару - энергия үнемдеудің басты жолдарының бірі.

Интеллектуалды, жүктемеге байланысты реттелетін желдеткіш

Дәстүрлі қозғалтқыштарда желдеткіш үнемі бір жылдамдықта жұмыс істейді.

Жаңа жүйеде желдеткіш тек қажетті жағдайда жоғары жылдамдыққа көтеріледі.

Артықшылықтары:

- артық энергия шығыны болмайды, • шудың деңгейі төмен,
- қызып кету қаупі аз.

Сұйықтықпен салқындату

Май немесе су негізіндегі салқындату:

- жылуды тез әкетеді,

- жоғары қуатты қозғалтқыштарға тиімді.

Ішкі арналар арқылы бағытталған ауа ағыны

Статор мен ротор арасындағы арнайы арналар жылу алмасуды арттырады. Электр машиналарының конструкциялық бөліктерін жетілдіру – энергия тиімділігін арттырудың негізгі бағыттарының бірі. Жаңа магниттік материалдар, дамыған орамдар, модернизацияланған ротор жүйелері, үйкелісі аз подшипниктер және интеллектуалды салқындату технологиялары қозғалтқыштарды әлдеқайда үнемді, ұзақ мерзімді және экологиялық таза етеді.

3. Электр машиналарының энергия тиімділігін арттырудың эксплуатациялық тәсілдері

Электр машиналарының тиімділігіне тек олардың конструкциялық ерекшеліктері ғана емес, сонымен қатар пайдалану шарттары, жұмыс істеу режимдері және техникалық қызмет көрсету деңгейі де айтарлықтай әсер етеді. Қандай да бір қозғалтқыш техникалық жағынан өте тиімді болып жасалғанымен, ол дұрыс эксплуатацияланбаса, электр энергиясы артық жұмсалып, жабдықтың жалпы өнімділігі төмендейді. Сондықтан эксплуатациялық тәсілдер энергияны үнемдеудің ең жылдам, арзан және нәтижелі жолдарының бірі болып есептеледі. Электр машиналарын пайдалану барысында бірінші кезекте жүктемені оңтайландыру мәселесі қарастырылады. Қозғалтқыш өз қуатының белгілі бір бөлігінде ғана жоғары тиімділікпен жұмыс істейді. Егер жүктеме номинал көрсеткішінен шамадан тыс төмен болса, қозғалтқыш энергияны қажетсіз көп жұмсайды, себебі бос айналыста да айтарлықтай шығындар пайда болады. Ал жүктеменің шамадан тыс көбеюі токтың артуына, қызудың күшеюіне және оқшаулаудың тез бұзылуына алып келеді. Өндірістік тәжірибеде тиімділік әдетте номинал жүктеменің 70–100% аралығында ең жоғары деңгейде сақталады. Сол себепті әрбір агрегат өзінің нақты қажеттілігіне сай таңдалуы және сол диапазонда жұмыс істеуі керек.

Энергияны үнемдеудің маңызды эксплуатациялық жолдарының бірі – қуатты басқарудың заманауи тәсілдерін қолдану. Бүгінде кәсіпорындарда жиілік түрлендіргіштерді қолдану кең таралған. Жиілік түрлендіргіш қозғалтқыштың айналу жылдамдығын жұмыс жағдайына байланысты дәл реттеуге мүмкіндік береді. Мысалы, сорғылар мен желдеткіштерде ағынды немесе ауа көлемін өзгерту үшін дросселдеу немесе механикалық қысу сияқты тиімсіз әдістер бұрын жиі қолданылатын. Ал жиілік түрлендіргіш орнатылған жағдайда қозғалтқыш тек қажетті жылдамдықта жұмыс істейді, бұл энергия тұтынуды 30–40% дейін қысқартуға мүмкіндік береді. Бұдан бөлек, soft-start деп аталатын жүйелер

қозғалтқышты баяу іске қосып, іске қосу токтарын төмендетеді. Бұл қозғалтқыштың механикалық және электрлік жүктемесін азайтып, оның қызмет ету мерзімін ұзартады әрі энергия шығынының артуына жол бермейді.

Электр машиналарының тиімділігін сақтау үшін профилактикалық техникалық қызмет көрсетудің маңызы ерекше. Уақытылы майлау жасалмаса, подшипниктердегі үйкеліс ұлғайып, механикалық шығындар көбейеді. Шаңның жиналуы салқындату арналарының бітелуіне алып келеді, бұл қозғалтқыштың температурасын көтеріп, орам оқшаулауының

қартаюын тездетеді. Сонымен қатар орамдағы оқшаулаудың зақымдалуы, электр контактілерінің босап қалуы немесе вибрациялық ақаулар қозғалтқыштың тиімділігін күрт төмендетіп, оның толық істен шығуына әкелуі мүмкін. Сондықтан жоспарлы тексеру, тазалау, май ауыстыру және подшипниктерді дер кезінде жаңарту энергия шығынының өсуін алдын ала болдырмайды.

Энергияны үнемдеуге үлкен әсер ететін тағы бір фактор – электр желісіндегі кернеу сапасы. Кернеудің мөлшерден тыс ауытқуы қозғалтқыштағы токтың артуына, қызу процесінің күшеюіне және тиімсіз жұмыс режимінің қалыптасуына себеп болады. Кернеудің төмендеуі қозғалтқышты ауыр жағдайға қойып, оған қажетті қуатты алу үшін токтың шамадан тыс жоғарылауына әкеледі. Ал кернеудің шамадан тыс жоғары болуы оқшаулауға аралас кернеуді көбейтіп, оның тозуын тездетеді. Сол себепті трансформаторлар, стабилизаторлар, желіні бақылау құралдары және электр қорғанысының автоматтандырылған құрылғылары тұрақты кернеуді қамтамасыз ету үшін міндетті түрде қолданылуы тиіс.

Осыған қоса, өндірісте қозғалтқыштардың айтарлықтай бөлігі нақты жүктемеге қарағанда қуаты әлдеқайда жоғары етіп таңдалады. Мұндай жағдайды «артық қуатпен таңдау» деп атайды. Бұл тәжірибе көбіне қауіпсіздік мақсатында жасалғанымен, артық қуатты қозғалтқыштар бос жұмыс кезінде де көп энергия тұтынады. Егер агрегат өзінің нақты қажеттілігінен 20–30% үлкен қуатқа ие болса, оның тиімділігі айтарлықтай төмендеп, энергия шығыны артады. Сондықтан жабдықтарды нақты жүктеме талаптарына сай таңдау – артық энергия жұмсалудың болдырмаудың ең қолжетімді әрі тиімді жолы.

Жалпы алғанда, электр машиналарының энергия тиімділігін арттырудағы эксплуатациялық тәсілдер өзара байланысты бірқатар шаралардан тұрады. Жүктемені дұрыс бөлу, интеллектуалды басқару әдістерін қолдану, техникалық қызметті уақытылы жүргізу, кернеу сапасын тұрақтандыру және қозғалтқыш қуатын нақты талапқа сәйкес таңдау – осының бәрі электр энергиясын үнемдеуге, жабдықтардың жұмыс мерзімін ұлғайтуға және өндіріс шығындарын азайтуға мүмкіндік береді.

#### 5. Электр машиналарының энергия тиімділігін арттырудың инновациялық бағыттары

Электр техникасы саласындағы заманауи ғылыми-техникалық прогресс энергия үнемдеу көрсеткіштерін арттыруды талап етеді. Осыған байланысты электр машиналарының құрылымын жетілдіру, басқару жүйелерін жаңарту және энергия шығындарын азайтуға бағытталған бірқатар инновациялық шешімдер қалыптасқан. Төменде соңғы жылдары кең таралған және ғылыми негізделген негізгі бағыттар келтіріледі.

5.1. Тұрақты магнитті синхронды қозғалтқыштарды (PMSM) дамыту Жоғары энергия тығыздығына ие сирек жер металдарынан жасалған тұрақты магниттерді қолдану электр машиналарының пайдалы әсер коэффициентін бұрынғы үлгілермен салыстырғанда айтарлықтай жоғарылатуға мүмкіндік береді. Тұрақты магнитті синхронды қозғалтқыштар конструкциялық тұрғыдан ротордағы электр қуатын қажет

етпейтіндіктен, қосымша жылу шығындары мен мыс шығындары минималданады. Заманауи зерттеулерде мұндай қозғалтқыштардың тиімділігі 97–98% деңгейіне дейін жететіні дәлелденген, бұл оларды өнеркәсіптік автоматтандыруда, көлік жүйелерінде және тұрмыстық техникада кеңінен қолдануға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, PMSM машиналарының момент тығыздығы жоғары және төмен айналымда да тұрақты жұмыс істейді.

#### 5.2. Инверторлық басқару технологияларын жетілдіру

Электр қозғалтқыштарының энергетикалық көрсеткіштерін арттырудағы маңызды бағыттардың бірі — инверторлық басқарусыз жұмыс істейтін жүйелерден толық цифрлық инверторлық басқаруға көшу. Инверторлар қозғалтқыштың нақты жүктемесін үздіксіз бақылай отырып, кернеу мен жиілікті дәл реттейді. Бұл тәсіл қозғалтқыштың артық қуат жұмсауын болдырмайды және механикалық элементтердің тозуын азайтады. Соңғы буын инверторлары кеңейтілген PWM алгоритмдерін, векторлық басқаруды және тікелей моментті басқару әдістерін пайдалана отырып, энергия шығынын 20–30%-ға дейін қысқартуға мүмкіндік береді. Мұндай жүйелер өндірістік жабдықтарда, сорғылар мен компрессорларда ерекше тиімділік көрсетеді.

#### 5.3. Қайта генерациялау (регенеративтік тежеу) жүйелерін қолдану

Энергия тиімділігін арттырудың тағы бір стратегиялық бағыты — механикалық тежеу кезінде жоғалатын кинетикалық энергияны қайта электр энергиясына айналдыру. Бұл әдіс электр транспортында (электр пойыздары, трамвайлар, электромобильдер), лифтілерде, конвейерлік жүйелерде және динамикалық жүктемелері бар өндірістік машиналарда кеңінен қолданыс табуда. Регенеративтік тежеу жүйесінің негізгі артықшылығы — тежелу кезеңінде бөлінетін энергия электр желісіне немесе аккумулятор батареясына қайтарылып, жалпы энергия шығынын едәуір төмендетуі. Зерттеулер мұндай технологияларды пайдалану энергияның жалпы үнемделуін 15–40% аралығында қамтамасыз ететінін көрсетеді.

#### 5.4. Датчиксіз басқару технологияларын енгізу

Электр машиналарының сенімділігін арттыру және олардың өзіндік құнын төмендету мақсатында ротордың бұрыштық позициясы мен айналу жылдамдығын тікелей өлшейтін механикалық датчиктерді алып тастау бағытында белсенді зерттеулер жүргізілуде. Датчиксіз басқару алгоритмдері кернеу, ток және магнит өрісінің өзгерістерін математикалық модельдер арқылы сараптай отырып, ротордың нақты жағдайын жоғары дәлдікпен анықтайды. Датчиктерден бас тарту қозғалтқыш конструкциясын жеңілдетеді, техникалық қызмет көрсетуге жұмсалатын шығынды азайтады және экстремалды температура немесе вибрация жағдайларында жұмыс тұрақтылығын арттырады. Бұл технология электр көлігінде, робототехникада және жоғары динамиканы талап ететін жетектерде ерекше тиімді.

## ҚОРЫТЫНДЫ

Электр машиналарының энергия тиімділігін арттыру — қазіргі индустрияның, көлік жүйелерінің және энергетика секторларының тұрақты дамуына тікелей әсер ететін стратегиялық бағыт болып табылады. Энергия ресурстары қымбаттап, өндіріс көлемі ұлғайған сайын электр машиналарының тиімді жұмыс істеуі экономикалық та, экологиялық та маңызға ие. Сондықтан соңғы жылдары бұл салада жаңа материалдар, интеллектуалды басқару жүйелері және энергияны қайта өндіру механизмдері кеңінен енгізіліп келеді.

Талдау нәтижелері көрсеткендей, ең жоғары тиімділікке жетелейтін негізгі инновациялық шешімдерге тұрақты магнитті синхронды қозғалтқыштарды қолдану, инверторлық басқаруды жетілдіру, регенеративтік тежеу жүйелерін енгізу және датчиксіз басқару технологияларын дамыту жатады. Тұрақты магнитті машиналар энергия шығынын минималдандырып, жұмыс өнімділігін айтарлықтай арттырады. Инверторлық басқару жүйелері қозғалтқыш жүктемесіне сәйкес автоматты реттеу жүргізу арқылы қосымша электр шығындарын болдырмайды. Ал механикалық энергияны қайта электр энергиясына айналдыратын регенерация технологиясы жалпы энергия балансын оңтайландырып, шығындарды едәуір төмендетеді. Бұған қоса, датчиксіз басқару тәсілдері электр машиналарының сенімділігін арттырып, күрделі өндірістік орта жағдайында да тұрақты жұмыс істеу мүмкіндігін кеңейтеді.

Электр машиналарының тиімділігін арттыруға бағытталған бұл шаралардың барлығы тек техникалық көрсеткіштерді жақсартумен шектелмейді. Олар бүкіл өндіріс процесінің үнемділігін күшейтіп, қоршаған ортаға түсетін жүктемені азайтады, жабдықтардың қызмет ету мерзімін ұзартады және энергия үнемдеуге негізделген жаңа технологиялық шешімдердің дамуына жағдай жасайды. Нәтижесінде, энергия тиімді электр машиналарын кеңінен енгізу өнеркәсіптің бәсекеге қабілеттілігін арттыруға, ұлттық экономиканың тұрақтылығын қамтамасыз етуге және экологиялық қауіпсіз өндіріс жүйесін қалыптастыруға зор үлес қосады.

Жалпы алғанда, электр машиналарының энергия тиімділігін арттыру – көпқырлы ғылыми-техникалық міндет. Ол материалтану, электротехника, цифрлық басқару, энергия сақтау және қайта өндіру жүйелері сияқты көптеген бағыттардың үйлесімді дамуын талап етеді. Болашақта жаңа түрдегі магниттік материалдарды пайдалану, жасанды интеллектке негізделген басқару жүйелерін енгізу және жоғалту деңгейі төмен инновациялық конструкцияларды жасау бұл саланың әлеуетін одан әрі кеңейтеді деп сеніммен айтуға болады.

### **Пайдаланылған әдебиеттер**

1. Каменев, В. А. *Электр машиналары: теориясы және қолданылуы.* – Алматы: Білім, 2020. – 412 б.
2. Сергиенко, А. Ю. *Электр жетектерінің заманауи басқару жүйелері.* – Мәскеу:

Энергоатомиздат, 2019. – 368 с.

3. Жолдасбеков, Ө., Қожахметов, Т. *Электр техникасының негіздері*. – Астана: Фолиант, 2021. – 356 б.

4. Fitzgerald, A., Kingsley, C., Umans, S. *Electric Machinery*. – McGraw-Hill, 2014. – 720 p.

5. Қазақстан Республикасының Энергетика министрлігі. *Электр энергетикасындағы энергия үнемдеу жөніндегі ұлттық баяндамалар (2019– 2023)*. – Нұр-Сұлтан.

**КМ АА** Күәлік нөмірі: **KZ45VPY00102718** — ҚР Мәдениет және Ақпарат министрлігі

© 2026 **Bilimger.kz** Ақпараттық-танымдық білім порталы. Барлық мазмұн авторлық құқықпен қорғалған.