

**АҢДАТПА**  
**диссертациялық жұмысқа**  
**ЕЛШІБЕКОВ АМАНДЫҚ МАҚАМБЕТҰЛЫ**

Философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін дайындалған  
**«Электржылжымалы құрамдарында энергияны жинақтағышты қолданудың тиімділігін зерттеу»**

6D071300 – Көлік, көлік техникасы және технологиясы мамандығы бойынша

**Кіріспе**

Теміржол көлігі Қазақстанның энергетика саласындағы отын-энергетикалық ресурстың (ОЭР) негізгі тұтынушыларының бірі болып саналады. Сондықтан қазіргі таңдағы елдегі экономикалық даму кезеңінде энергия үнемдеу мен энергияны тиімді пайдалану теміржол көлігінің ішкі және сыртқы халықаралық көлік қызметі нарығындағы бәсекелістікті жоғарылататын негізгі факторлары болып саналады. Көліктік тасымалдау процессінде тұтынылатын ОЭР негізгі үлесі тартым жылыжымалы құрамдарына тиесілі (жылына 500 мың т. жоғары), сондықтан поездар тартымына жұмсалатын энергоресурстың меншікті шығынын төмендету тартым жылжымалы құрамының (ТЖК) энергетикалық тиімділігін жоғарылатуға септігін тигізеді.

Теміржолдың электрленген бөлімшелерінде энергия үнемдеудің негізгі көзі тежеу энергиясын рекуперациялау әдісі болып табылады. Поездар тартымында бұл энергияны қолдану поездар тартымына жұмсалатын энергияның меншікті шығынын азайту бойынша техникалық іс шаралардың негізгі бағыттары болып есептеледі.

ТЖК тежеу кезіндегі энергияны рекуперациялау бойынша көптеген зерттеулер мен зертеуші авторлардың әртүрлі әдістері жасалды, бірақ әлі күнге дейін табысты, тиімді жоба болып қалыптастырылған жоқ. Оның бірнеше маңызды себептері бар. Негізгі себеп тежеу энергиясын рекуперациялауда емес, одан алынған энергияны тиімді пайдалану жолдарына қатысты, яғни рекуперацияланған энергияны қабылдайтын электрлік контактілік желілердің дайын еместігі (инверторлы қондырғымен жабдықталмауы және т.б) болып саналады. Бұл сұраққа теміржол шаруашылықтары бірігіп, соның ішінде теміржолдың электрмен қамтамасыз ету орталығымен бірге жүзеге асырылуы тиіс.

Рекуперациялық энергияны қолдану үлесінің төмендігі, жалпы қазіргі электрмен қамтамасыз ету жүйелерінің жағдайына қатысты рекуперациялық энергияны қабылдаудың қиындықтары, түптеп келгенде мүмкін еместігіне байланысты соңғы кездері рекуперациялық энергияны қолдануда энергия жинақтағыштарды қолдану бағыттары зерттелуде. Қазіргі таңда жартылай және толық энергия жинақтағыштары (ЭЖ) орнатылған гибриді теміржол

көліктері тәжірбиелік сынақтан өтіп жатыр.

Энергия жинақтағыш орнатылған теміржол көліктерінде рекуперациялық энергияны толығымен пайдалану көзделген, өз кезегінде жинақталған энергия көліктің әр түрлі қажеттіліктерін өтейді, соның ішінде тартым жүйесіне және өзіндік қажеттілігіне (өзіне қажетті тұтынушылар) жұмсалады.

Диссертациялық жұмыста негізгі көзделетін жұмыстар рекуперативтік энергияны тиімді пайдалану жолдары, рекуперативтік энергияны ЭЖ жинай отырып, оны ЭЖҚ тиімді қайта тұтыну, соның ішінде электровоздың қосалқы қондырғыларына қолдану арқылы оның энергетикалық тиімділігін арттыру болып табылады. Жоғарыда келтірілген іс шара бойынша энергия жинақтағыштар ЭЖҚ орналастырылуы, оның тиімді жағдайлары қалыптастырылуы тиіс.

Қазіргі таңда рекуперациялық энергияны қолданудың тиімді жолдары және энергия жинақтағыштарды ЭЖҚ жүйесіне ендіру бойынша біршама зерттеулер мен өнертабыстық жобалар жасалды. Поездар тартымының тиімділігін арттыру бойынша маңызды жобаларды жүзеге асырған зерттеуші ғалымдар: И.С. Ефремов, В.Е. Розенфельд, К.Г. Марквардт, В.П. Феокистов, В.В. Шевченко, Шевлюгин М. В., А. Ruffer, Д.А. Бут, Н.И. Щуров, В.И. Сопов, А.А. Штанг, В.Н. Аносов, М. Zolot, К. J. Kelly, T. Markel, A. Burke және т.б. қызмет жасады.

**Диссертациялық зерттеудің маңыздылығы** поездар тартымына жұмсалатын электр энергиясының меншікті шығынын азайту және поездар тартымына тұтынылған электр энергиясының едәуір бөлігін қайтаруға мүмкіндік беретін рекуперациялық энергияны қолдануға кепілдік беретін әдісті зерттеу. Бұл айтылған зерттеулер мен жұмыстар мотор-вагонды поездар үшін және магистральды электровоздар үшін де маңызды жоба болып саналады. Рекуперативті тежеу энергиясын толық пайдалану поездар тартымындағы жұмсалатын энергия шығынын 7-18% дейін төмендетеді.

**Зерттеудің мақсаты және тапсырмасы** ЭЖҚ – да энергия жинақтағышты қолданудың тиімділігін зерттеу, энергия жинақтағыштардың ЭЖҚ энергетикалық жүйесіне ендірудің тиімді сұлбасын әзірлеу және оның жүйеге сәйкес есептік параметрлерін анықтап, математикалық модельін қалыптастыру. Рекуперациялық энергияны ЭЖ көмегімен толық тұтынудың тиімділігін арттыру әдістерін жасау.

Қойылған мақсатқа сәйкес келесі тапсырмалардың орындаудың реттілігі туындайды:

1) Кездейсоқ факторлардың әсерін есепке ала отырып рекуперативті тежеуді қолданудың негізгі мәселелері мен тиімділігіне кешенді бағалау жүргізу және жылжымалы құрамның тежеу энергиясын тиімді қолдануды қамтамасыз ететін шешімдердің бірі ЭЖҚ энергия жинақтағыштарды орнатуды негіздеу

2) Математикалық талдау және имитациялық модельдеу әдістерін, математикалық статистиканы өңдеу әдістерін қамтитын кешенді зерттеу әдісін қолдана отырып, рекуперациялық энергияның мөлшерін және осы

артық энергияны толық қабылдауға қабілетті энергия жинақтағыштың (ЭЖ) орташа сыйымдылығының мөлшерін анықтау

3) Жинақтағыштардың қолданыстағы түрлеріне талдау жасау және оларға теміржол электржылжымалы құрам жүйесімен қойылатын талаптарды тұжырымдау.

4) Тежеу режимінде өндірілетін электр энергиясын эксперименттік және сандық бағалауға сүйене отырып, электр жылжымалы құрам жүйесінде жинақтаушы құрылғыларды пайдалану тиімділігін арттыруға мүмкіндік беретін әдістер мен сұлбалық шешімдерді әзірлеу;

5) Электр көлігі жүйесінде пайдалану талаптарына жауап беретін жинақтаушы құрылғының негізгі параметрлерін айқындау және оны электржылжымалы құрамға орналастыру үшін энергия жинақтағышының параметрлерін есептеу әдістемесін әзірлеу, сонымен қатар ЭЖ қолданудың техникалық - экономикалық тиімділігіне бағалау жүргізу.

**Зерттеу нысаны.** Зерттеу нысаны магистралды электровоз және электржылжымалы құрамның жүйесі болып табылады.

**Зерттеу пәні** болып ЭЖ жабдықталған электр жылжымалы құрамының энергетикалық сипаттамалары және ЭЖҚ электр энергиясын жинақтап пайдалану жағдайында энергия ағындарын тиімді тұтыну болып табылады.

**Зерттеу әдістері.** Қойылған міндеттерді шешу үшін ғылыми-техникалық әдебиет деректерін талдау мен жинақтау, теориялық және эксперименттік әдістерді қамтитын кешенді зерттеу әдісі пайдаланылды. Теориялық зерттеулер қолданбалы бағдарламалық кешенді пакеттерді қолдана отырып математикалық, құрылымдық және имитациялық модельдеу әдістеріне, электр тізбектері теориясының әдістеріне негізделген. Алынған нәтижелердің сенімділігі әртүрлі модельдерді қатар қолданумен, сонымен қатар оларды эксперименттік зерттеулер барысында растаумен қамтамасыз етіледі.

Есептеулер мен математикалық модельдер «Exsel», «Кортэс» (Электрмен жабдықтаудың тартым есептік кешені), «Вектрум» есептеу-бағдарламалық кешендері және «Matlab – Simulink» математикалық модельдеу кешендерінің көмегімен орындалды.

### **Қорғауға шығарылатын негізгі мәселелер**

1) ЭЖҚ жүйесінде электр тежеу энергиясын барынша тиімді пайдалануға мүмкіндік беретін суперконденсаторлар мен литий - ионды аккумулятор негізінде жинақтаушы құрылғыларды құру мен енгізудің қажеттілігі және орындылығы туралы мәселелер

2) ЭЖҚ тартым және өзіндік қажеттіліктерінің энергия тұтыну мөлшерін анықтауға жасалған эксперименттік зерттеу нәтижелері және ЭЖҚ тартым мен электрлік тежеудің меншікті энергиясын теңестіру функцияларын анықтау.

3) ЭЖҚ жүйесінде жинақтау құрылғыларын неғұрлым тиімді пайдалануды негіздейтін негізгі ережелер, электрлік тежеу энергиясының таралу сипатын анықтауға мүмкіндік беретін ЭЖҚ қозғалысының процестерін математикалық сипаттау және модельдеу.

4. Рекуперацияның орнына регенеративті тежеу режимінде жылжымалы құрамды тежеу энергиясын пайдалану тиімділігін арттырудың ұсынылған әдістері.

5. Магистральдық электровоздарда және қала аралық электр поездарда пайдалану үшін әзірленген қағидаттық схемалар, сондай-ақ техникалық-экономикалық көрсеткіштерді бағалай отырып, олардың жұмыс тиімділігін айқындайтын көрсеткіштерді айқындау әдістері.

#### **Диссертациялық жұмыстың ғылыми жаңашылдығы.**

- Кешенді талдау жүргізіліп, электр жылжымалы құрамда жинақтаушы құрылғылармен жабдықталған көлік кешенінің энергия теңгерімін анықтайтын нәтижелер алынды. Қарастырылып отырған жүйеде энергия жинақтағыштарын орнату кезінде электр тұтынудың төмендеуіне сандық баға берілді.
- ЭЖҚ жинақтау құрылғысын пайдалану тиімділігін бағалауға және оның параметрлерін анықтауға мүмкіндік беретін тиімді электр сұлбалары әзірленді және есептеу әдісі жасалды.
- ЭЖ электржылжымалы құрамдарында ұтымды орналастыру жобалары қарастырылды және ЭЖ энергия сыйымдылығы мен масса-габирттік өлшемдері анықталды.
- Компьютерде жүзеге асырылатын және жинақтаушы құрылғымен жабдықталған ЭЖҚ электр тізбегінде жүретін электр процестерін есептеуге мүмкіндік беретін жасалаған математикалық модельге өзгеріс енгізіліп қайта жасалды.
- ЭЖ пайдаланудан техникалық-экономикалық әсерді бағалау әдістемесі әзірленді.;

**Жұмыс нәтижелерінің тәжірбиелік маңызы** ЭЖҚ жүйесінде электр тұтынуды азайтуға бағытталған энергия жинақтаушы құрылғыларды пайдаланудың өзекті кешенді міндетін шешу болып табылады. Энергетикалық көрсеткіштер бойынша тиімді жинақтаушы құрылғыларды жобалауға мүмкіндік беретін инженерлік есептеу әдістері әзірленді.

**Жұмыс нәтижелерін іске асыру** Диссертациялық жұмыста зерттелген энергия жинақтағыштарды қолдану және ЭЖҚ рекуперативті тежеуді тиімді пайдалану әдістері бойынша теориялық және практикалық материалдар ЛжКА, «Жылжымалы құрам» кафедрасының 6D07117 – «Локомотивтер» білім беру бағдарламасы бойынша студенттерді даярлауда «Локомотивтік тарту теориясы» және «Локомотивтер» пәндерінің оқу процесінде пайдаланылады, сонымен қатар қосымша әдістемелік нұсқаулық құрал ретінде «ҚТЖ – Жүк тасымалы» ЖШС филиалдары Алматы және Жамбыл локомотив пайдалану деполарында пайдаланылады.

**Жұмыстың апробациясы** Зерттеу нәтижелері: «Көліктегі инновациялық технологиялар, білім, ғылым, тәжірибе» XVII халықаралық ғылыми-практикалық конференциясында, ҚазККА, Алматы, 18 Сәуір 2018 ж.; «Заманауи ғылымның әлеуеті» халықаралық ғылыми-техникалық конференциясында, Прага, Чехия, 30 қараша 2018 ж.; «Көліктегі

инновациялық технологиялар: білім, ғылым, практика» XVII халықаралық ғылыми-техникалық конференциясында, ҚазККА, Алматы қ., 17 сәуір 2019 ж.; «Локомотивтер. Электр көлігі. XXI ғасыр» VI халықаралық ғылыми-техникалық конференциясында, Санкт-Петербург, Ресей, 13-15 қараша 2018 ж.; «Жылжымалы құрам» кафедрасының кеңейтілген отырысында, ЛЖКА, 10.10.2022 ж., Алматы қ. баяндалды.

**Жарияланымдар.** Ғылыми жұмыс бойынша 1 мақала Scopus базасына кіретін «Transport Problems» журналында (25 процентильден төмен емес), Қазақстан Республикасы Білім министрлігінің Білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету Комитетінің (ККСОН) базасына кіретін журналдарда 6 мақала, халықаралық ғылыми-техникалық конференциялар материалдарының жинақтық журналдарында 3 мақала жарияланды және 2 пайдалы үлгі патенті алынды.

**Диссертацияның құрылымы мен көлемі.** Диссертациялық жұмыс кіріспеден, мазмұннан, 5 бөлімнен тұратын негізгі бөлімнен, қорытынды мен қорытындыдан, қосымшалардан тұрады. Жұмыстың мазмұны компьютермен теріліп басылған мәтіннің 142 бетінде баяндалған, 65 кестені, 89 суретті, 84 атаудан пайдаланылған дереккөздердің тізімін, 8 беттен тұратын 2 қосымшаны қамтиды.

Диссертацияның негізгі мазмұны бес тарауда баяндалған.

**Кіріспеде** тақырыптың өзектілігі және ғылыми зерттеу бағыты көрсетілген. Жұмыстың мақсаттары, міндеттері және шешудің болжамды жолдары тұжырымдалған. Зерттеу әдістері сипатталған. Қорғауға шығарылатын негізгі ережелер келтірілген, зерттеу нәтижелерінің ғылыми маңыздылығы, жаңалығы мен тәжірбиелік құндылығы, жұмысты іске асыру және сынақтан өткізу туралы мәліметтер келтірілген.

**Бірінші тарауда** электр көлігі күрделі электротехникалық кешен ретінде қарастырылады, онда екі негізгі ішкі жүйе бөлінеді: электрмен жабдықтау және электржылжымалы құрамы. Қазіргі уақытта негізгі мәселе рекуперативті тежеуді қолданудың энергетикалық тиімділігін арттыру мәселелерін шешу болып саналады. Көптеген зерттеулер мен талдаулардың нәтижесінде бүгінгі күні рекуперативті энергияны тиімді пайдаланудың негізгі әдісі - электр энергиясымен қамтамасыз ету станцияларында немесе ЭЖҚ жүйесінде энергия жинақтау құралдарын қолдану болып табылады. Осыған дейін магистральдық электровоздар мен электр пойыздарында энергия жинақтағыштарды кеңінен пайдаланбаудың басты себебі оның массалық-габариттік сипаттамаларының сәйкес келмеуіне байланысты. Бірақ қазіргі уақытта энергия жинақтағыштар бойынша ғылыми – техникалық даму қарқынды жүріп жатыр, өте жақсы массалық габариттік сипаттамалары бар тиімді энергия жинақтағыштар (мысалы, литий – ионды аккумуляторлар, суперконденсаторлар) өндіріске еніп жатыр. Электржылжымалы құрамның қозғалыс энергетикасын анықтайтын энергия балансы ұсынылған.

**Екінші тарауда** имитациялық модельдеу көмегімен электрлендірілген теміржол учаскелері бойынша рекуперативтік энергиясының потенциалдық мүмкіндігіне есептеу жүргізілді. Рекуперативті тежеуден алынатын

энергияның сандық көрсеткіші бойынша электрлендірілген теміржол бөлімшелеріне толық талдау жүргізілді. Есептеу теміржол бөлімшелерінің жұп және тақ бағыттары бойынша жүргізілді. Нәтижесінде алынған рекуперативті энергия (пойыздардың тартылуына жұмсалатын жалпы энергияға қатысты) пайыздық қатынаста орташа есеппен жұп бағытта 10% және тақ бағытта 7% құрайтыны анықталды. Осы көрсеткіштерден поездардың тартымының энергия шығынын азайту үшін рекуперативті тежеу жүйесін қолданудың үлкен мүмкіндігі бар екендігі анықталды. Бірақ қозғалыстың кездейсоқ сипаты толық немесе ішінара есепке алынбауына байланысты, есептеудің бұл әдісі электржылжымалы құрамдарындағы энергияны тұтынудың нақты процестерін толық көрсетпейді.

Тежеу және тартым энергиясының меншікті шығындары кездейсоқ шамаларды білдіретіні көрсетілген. Бұл қозғалыс процестеріне әсер ететін кездейсоқ факторлардың айтарлықтай сандық мөлшерінің болуына байланысты. Меншікті тартым және тежеу энергияларының ықтималдығын бөлудің негізгі заңы гамма-таралуды қабылдауға болатындығы анықталды. Электр тежеу режимінде өндірілетін энергетикалық компоненттің тұрақты өсуіне және пайдаланылмайтын энергияның үлкен қорына байланысты жинақтағыш құрылғыларды қолдану тиімді және орынды болып табылады.

**Үшінші тарауда** энергия жинақтағыштардың әртүрлі түрлеріне талдау жасалды: электрохимиялық, индуктивті, асқын өткізгіш, гибриді жинақтау түрлері, сыйымдылық, қос электр қабаты бар конденсаторлар және гибриді электрохимиялық конденсаторлар. Жүргізілген талдау нәтижесінде ЭЖҚ кешеніне енгізу үшін ең тиімді және негізгі талаптарды қанағаттандыратын қос электр қабатының конденсаторлары (суперконденсаторлар) және электрохимиялық (литий-ионды аккумуляторлар) негізіндегі жинақтаушы элемент болып табылатыны анықталды. Жинақтаушы элементтердің бұл түрлері электр қозғалтқыштарының берілген тартым сипаттамаларын іске асыруы үшін қажетті жоғары энергетикалық көрсеткіштерді, шағын масса - габаритті өлшемдерде қамтамасыз ете алады.

Жинақтаушы құрылғыларды салыстырмалы бағалау белгілері әзірленді, олардың негізінде энергия жинақтаушыларға тыңғылықты талдау жасалды, оларды электр көлік кешенінде пайдаланудың артықшылықтары мен кемшіліктері анықталды.

Суперконденсаторға негізделген энергия жинақтағыштар мыналарды біріктіреді: 50 кДж/кг дейін сақталатын меншікті энергиямен шамамен  $10^4 \cdot 10^5$  Вт/кг жоғары меншікті қуат болады; жүз мыңнан бір миллионға дейінгі диапазонда жатқан зарядтау - разрядтық циклдердің үлкен саны; зарядтау уақыты 30 с дейін; кең температура диапазонында жұмыс істеу - 50 - +100 °С; 95% - дан асатын жоғары тиімділік; жүздеген сағатты құрайтын сақталған энергияны ұзақ сақтау уақыты; бүкіл жұмыс температурасының диапазонында разрядтың өзгермейтін жылдамдығы. Суперконденсатордың модульдік құрылымы килоамперлік токтар мен жүздеген вольттық кернеулерге төтеп бере алады.

Литий-ионды аккумуляторға негізделген энергия жинақтау құрылғылары біріктіріледі: бірдей типтегі басқа батареялармен салыстырғанда энергия тығыздығы жоғары. Олар энергияны 150 Вт·сағ/кг дейін, төмен разряд жылдамдығын бере алады. Осылайша, олар сенімді және тұрақты зарядтау мүмкіндіктеріне ие болады, бұл оларға қатарынан екі зарядтау кезеңі арасында ұзақ уақыт жұмыс істеуге мүмкіндік береді, сонымен қатар литий-ионды батареялар ең аз техникалық қызмет көрсетумен немесе онсыз жұмыс істей алады. Олар жиі, қосымша күтімді қажет етпейді, әртүрлі қалыпта және өлшемдерде қол жетімді болады.

**Төртінші тарауда** жинақтау, қысқа мерзімді сақтау және тартым режимінде тұтыну арқылы электр тежеу энергиясын жедел пайдалану мақсатында электр жылжымалы құрамда жинақтау құрылғысын барынша тиімді пайдалану көрсетілген. Жинақталған энергияны ЭЖҚ (мотор-желдеткіштер, мотор-компрессорлар, электровоздың мотор-сорғылары) өз қажеттіліктері үшін пайдалану ұсынылады. Жинақтаушы элементі бар ЭЖҚ қуат тізбегінің сұлбалық шешімдері ұсынылған. Электровоздың өзіндік қажеттілігіне эксперименттік өлшеулер жүргізілді, тұтынылатын қуат және ағымдағы кернеу мен ток көрсеткіштері анықталды. Математикалық теңдеулердің көмегімен электровоздың өз қажеттіліктері үшін энергия сақтау сыйымдылығы анықталды және «Matlab-Simulink» бағдарламалық кешенінде энергия сақтау құрылғысы бар ЭЖҚ сұлбалық компьютерлік моделі жасалды. Бұл модельдік жұмыс энергия жинақтағышты қолданудың сәйкестігіне, оның математикалық есептеулер мен электр тізбектерінің дұрыстығын растауға көмектеседі.

Жинақтаушы құрылғыларды енгізуді ескере отырып, ЭЖҚ өз қажеттілігінің энергия тұтынуының өзгеруін және рекуперацияның артық энергиясының шамасын бағалау жүргізілді.

**Бесінші тарауда** электр тежеу энергиясын тиімді пайдалану электржылжымалы құрамдарында жинақтау құрылғысын орнату кезінде жүзеге асыруға болатындығы және ЭЖҚ жүйесінде энергия сақтау құрылғысын орналастырудың алдын ала шарттары тұжырымдалғаны көрсетілген. Қолданыстағы ЭЖҚ энергия жинақтағыштарды орналастыру мүмкіндігіне зерттеулер жүргізілді, нәтижесінде энергия жинақтағышты қолданыстағы электр жылжымалы құрамға орналастыру тек модернизациялық жұмыстарын жүргізу жолымен жүргізілетіні анықталды. ЭЖҚ энергия жинақтағыштарды орналастырудың тиімді орындары анықталды. Жинақтаушы құрылғының массасы ЭЖҚ массасының 3% - нан аспайтыны және электр тежеу энергиясын толық және жеткілікті дәрежеде пайдалануға мүмкіндік беретіні анықталды.

Қолданыстағы электрлендірілген теміржолдарда ЭЖ енгізудің техникалық-экономикалық тиімділігі есептелген, бұл жерде энергия жинақтағыштарды ЭЖҚ орнатудың өтелу мерзімі 4,5 - 5 жылды құрайды. Литий – ионды аккумуляторлық батареялардың қызмет ету мерзімі 9-10 жылға дейін жетеді (суперконденсаторлардың қызмет ету мерзімі 25-30

жылға дейін жетуі мүмкін), бұл ұсыныстың тиімділігінің артуына мүмкіндік беретінін көрсетеді.

**Қорытындыда** жинақтаушы құрылғылардың көмегімен электр жылжымалы құрамда энергияны пайдалану тиімділігін арттыруға байланысты мәселелерді теориялық және практикалық дамыту бойынша негізгі нәтижелердің сипаттамасын қамтиды.

- ЭЖК энергия жинақтағыштарды пайдалану тиімділігін бағалауға мүмкіндік беретін негізгі белгілері анықталды.
- Қолданыстағы энергия сақтау құрылғыларын салыстырмалы талдау ЭЖК жинақтау құрылғыларына қойылатын талаптарды әзірлеуге және осындай құрылғы ретінде көлік құралдарының электрлік тежеу энергиясын барынша ұтымды пайдалануға мүмкіндік беретін литий-ионды аккумуляторлар мен суперконденсаторларды таңдауға мүмкіндік берді.
- ЭЖК жұмысының негізгі көрсеткіштерін айқындау әдістемесі әзірленді, ол ЭЖ пайдаланудың орындылығын айқындайды.
- Электрлендірілген темір жолдардағы рекуперативтік энергияның мөлшерін анықтау барысында потенциалдық мүмкіндігі жоғары бөлімшелер анықталды
- Электр жылжымалы құрамда жинақтаушы құрылғыларды пайдалану теміржол электр көлігі жүйесінде электр энергиясын 7-ден 14% - ға дейін үнемдеуге мүмкіндік береді.
- Іс-шара жинақтаушы құрылғыларды сұлбалық іске асырудың және пайдаланудың әртүрлі нұсқаларын қарастырды, оларды ЭЖК жүйесіне ұтымды енгізудің негіздемесі жүргізілді.
- ЭЖК пайдалану үшін ЭЖ негізгі түрлерінің массалық габариттік көрсеткіштері анықталды, сонымен қатар оларды пайдаланудың ықтимал мүмкіндігі бағаланды, принципіальды сұлбалары әзірленді.
- ЭЖК параметрлерін есептеу үшін компьютерлік модельдеу қолданылды, бұл энергия алмасумен бірге жүретін барлық процестерді математикалық түрде көбейтуге және зерттелетін объектілер жұмысының электр энергетикалық көрсеткіштерін есептеуге мүмкіндік береді.
- Электржылжымалы құрамдарында ЭЖ енгізу тиімділігін бағалау әдістемесі әзірледі, ол ЭЖ орнату іс шараларының өтелу мерзімі 4,5 - 5 жылды құрайтынын көрсетті. Алайда, нанотехнологияның, соның ішінде молекулалық конденсаторларды өндіру технологияларының даму болашағын ескере отырып, олардың құны айтарлықтай төмендейді деп болжауға болады.

Қарастырылып отырған мәселе бойынша одан әрі зерттеулер аккумулятор батареясы мен жинақтау құрылғысының бірлескен жұмысы кезінде болып жатқан процестерді тереңірек талдауға, олардың параметрлерін оңтайландыруға, сонымен қатар жинақтау құрылғыларымен ЭЖК электр тізбектерінің сұлбалық шешімдерін жетілдіруге бағытталуы қажет.