

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 (2025)

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/NRPL3020>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошеков К. Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е. В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Шокубаева З. Ж.	<i>технический редактор</i>

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 университет

<https://doi.org/10.48081/SCBO5844>***А. К. Ашимова¹, Қ. Б. Шакенов²**^{1,2}Сәтбаев университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-9036-0508>²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9722-1605>*e-mail: Ashimova_ak@mail.ru

ЭНЕРГИЯНЫ САҚТАУ ЖҮЙЕЛЕРІ ЖӘНЕ ЭНЕРГИЯ ЖҮЙЕСІНІҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫ

Соңғы жылдары оқшауланған желі күн фотозлектрлік жүйелері немесе жел генераторлары сияқты жаңартылатын энергия көздеріне негізделген электр энергиясын өндірумен толықтырыла бастады. Фотозлектрлік жүйелер сияқты жаңартылатын энергия көздерінің интеграциясы осы мақсатқа жету үшін ғана емес, сонымен қатар электр энергиясын өндіру шығындарын азайту үшін де қолданылады. Алайда, күн фотозлектрлік жүйелерінің электр желісіне енуі оның тұрақсыздығына байланысты көптеген тұрақтылық мәселелеріне әкелуі мүмкін. Мысалы, инерциясы шектеулі оқшауланған жүйеде өндірілетін қуаттың бір бөлігін жоғалту орынсыз төмен жиіліктерге әкелуі мүмкін, бұл жүйенің бұзылуына әкелуі мүмкін. Фотозлектрлік жүйе мен дизель отынынан тұратын оқшауланған желілерде энергия өндірісінің құбылмалылығына байланысты жиілік пен қуаттың ауытқу проблемасын аккумуляторлық энергияны сақтау жүйесі арқылы шешуге болады. Бұл жағдайда ол жүйе өндіретін артық қуатты сіңіріп, фотозлектрлік жүйе аз энергия өндірген кезде оны дизельді генератормен бірге тарата алады. Қазіргі уақытта бұл жүйе үшін құрылғылардың жоғары бағасына байланысты инвестициялық шығындарды айтарлықтай арттырмас үшін энергияны сақтау жүйесінің батарея сыйымдылығын сәйкесінше таңдау маңызды. Демек, электр желісіндегі аккумуляторлық энергияны сақтау жүйесінің тиімді сыйымдылығын және жалпы жүйенің жалпы инвестициялық шығындарын азайту үшін энергия қажеттілігін анықтау аккумуляторлық энергияны сақтау жүйесін енгізу жобасындағы екі негізгі мәселе болып табылады.

Бұл мақалада электр желісінің тұрақтылығы мен электр энергиясының сапасын жақсарту үшін электр желісіне қосылатын

Энергияны сақтаудың ауқымды технологиялары қарастырылады және түсіндіріледі.

Кілтті сөздер: энергияны сақтау жүйелері, сенімділік, тұрақтылық, энергияны сақтау технологиялары, жел генераторлары.

Кіріспе

Аккумуляторлық энергияны сақтау жүйелері әртүрлі салаларда қолданылады. Оларды ең жоғары жүктемелерді «кесу», жүктемені уақыт бойынша қайта бөлу, өндірістік шындарды ауыстыру және желіні қолдау қызметтерін ұсыну үшін пайдалануға болады. Энергияны сақтау жүйелері электр желісіндегі жиілік пен кернеуді реттеуде, әсіресе олардың жылдам жауап беруіне байланысты бастапқы реттеу үшін маңызды рөл атқара алады. Оларды фотоэлектрлік, желдік, гидро және газ электр станцияларымен бірге қолдануға немесе дербес пайдалануға болады. Сонымен қатар, энергияны сақтау жүйелері жылу электр станцияларын өшіргеннен кейін қайта іске қосу үшін қолданылады және электр энергиясын сатып алу – сату нарығына қатысуға мүмкіндік береді. Бұл сұраныс бойынша генерацияны диспетчерлеуді қамтамасыз ету және ЖЭК енуінің артуы кезінде электр энергиясының сапасы мен электр желісінің тұрақтылығын сақтау үшін жаңа қиындықтар туғызады [1, 3–6-бб.].

Жиі апаттық сөндірулері бар елдерде энергияны сақтау жүйелерін енгізу арқылы энергетикалық инфрақұрылымның сенімділігін, тұрақтылығын және икемділігін айтарлықтай арттыруға болады. Бұл өз кезегінде өшірулердің жағымсыз салдарын азайтуға, маңызды қызметтердің үздіксіздігін қамтамасыз етуге және елдің жалпы энергетикалық қауіпсіздігін арттыруға көмектеседі. Өндірілетін қуат деңгейі табиғи факторларға байланысты өзгергенімен, желіге берілетін қуаттың өзгеруі энергияны сақтаудың тиісті технологияларын қолдану арқылы айтарлықтай төмендеуі мүмкін.

Сонымен қатар, көптеген желілік органдар мен стандарттар электр энергиясының сапасына қатысты мәселелер туындаған кезде таратылған генерация жүйесінің әр түрлі жауап беру мәселелерін анықтайды. Бұл энергияны сақтау технологиялары осы мәселелерді шешу үшін де қолданылады.

Соңғы жылдары оқшауланған желі күн фотоэлектрлік жүйелері немесе жел генераторлары сияқты жаңартылатын энергия көздеріне негізделген электр энергиясын өндірумен толықтырыла бастады. Фотоэлектрлік жүйе сияқты жаңартылатын энергия көздерінің интеграциясы осы мақсатқа жету үшін ғана емес, сонымен қатар электр энергиясын өндіру шығындарын азайту үшін де қолданылады. Сонымен қатар, олар болжамды мәліметтерге сәйкес келесі күні берілген міндеттемелерді орындауға үлкен үлес қосады.

Осы мақсатта 34 МВт, 40 МВтсағ [2, 1–20-бб.] сияқты үлкен энергия сақтау жүйелері орнатылды. Сонымен қатар, ЖЭК-тен өндірілген энергияны энергия бірлігінің бағасы мен энергияға сұраныс төмен болған кезде энергияны сақтау жүйелерінде сақтауға болады, содан кейін энергия бірлігінің бағасы мен энергияға сұраныс жоғары болған кезде бұл жинақталған энергияны желіге экспорттауға болады. Сонымен, қосымша экономикалық пайдадан басқа, жүктеме қисығы да тегістеледі (шыңдарды кесу, шұңқырларды толтыру).

Батарея қуатын сақтау жүйесінің қуат сыйымдылығы осы функцияны орындау үшін батарея қуатын сақтау жүйесінде қол жетімді энергияны қажет етеді. Егер қуат сыйымдылығы жүйенің Шығыс қуатының дәйекті төмендеуін қамтамасыз ету үшін жеткіліксіз болса, онда жүйенің жиілік тұрақтылығын сақтау мүмкін емес. Сондықтан аккумуляторлық энергияны сақтау жүйесінде жинақталған энергияның жеткілікті екендігін тексеру қажет. Дегенмен, екі бағытты тұрақты токтан айнималы токқа түрлендіргіштер арқылы жалпы қосылу нүктесіне қосылатын орталықтандырылған энергияны сақтау жүйелері сақтау технологияларының әсері мен маңыздылығы туралы хабардар болған сайын танымал болды [3, 5–9-бб.].

Материалдар мен әдістері

Бұл зерттеу гидравликалық жинақтау жүйелері, сығылған ауаны сақтау жүйелері, аккумуляторлар, ағынды батареялар, сутегі негізіндегі сақтау жүйелері, асқын өткізгіш магниттік энергияны сақтау жүйелері, маховиктер және суперконденсаторлар сияқты энергияны сақтау жүйелерін қарастырады. Энергия және меншікті қуат, қызмет ету мерзімі, жауап беру уақыты, өздігінен разряд жылдамдығы және ұзақ немесе қысқа мерзімді сақтауға жарамдылығы сияқты сақтау жүйелерінің негізгі техникалық сипаттамалары берілген. Сонымен қатар, электр энергиясының сапасы мен электр желісінің тұрақтылығын сақтау үшін осы сақтау технологияларын қолданудың негізгі бағыттары түсіндіріледі.

Энергияны сақтау технологиялары

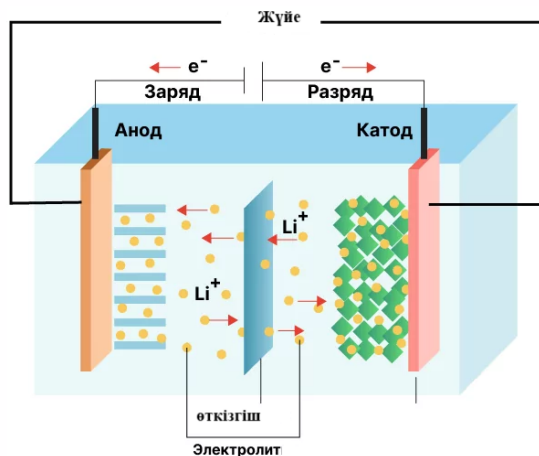
Энергияны сақтаудың әртүрлі технологиялары энергияны түрлендірудің әртүрлі стратегияларын қолдана отырып жасалған. Мысалы, энергия су ыдыстарында потенциалдық гравитациялық энергия түрінде, үңгірлерде Сығылған ауа түрінде, электрохимиялық энергия түрінде аккумуляторлар мен ағынды аккумуляторларда, химиялық энергия түріндегі отын элементтерінде, кинетикалық энергия түріндегі маховиктерде, магнит өрісі түріндегі индукторларда және электр өрісі түріндегі конденсаторларда жиналады. Мұнда осы топологиялар қарастырылып, олардың сипаттамалары келтірілген [4, 3–6-бб.].

Айдалатын гидроэнергетикалық диск

Сорғы аккумуляторының жұмыс принципі резервуардағы судың потенциалдық энергиясын пайдаланады. Электр энергиясына қажеттілік төмен болған кезде энергияны сақтау үшін су төменгі резервуардан жоғарғы резервуарға айдалады. Содан кейін, электр қуатына деген қажеттілік жоғары болған кезде, су жоғарғы резервуардан төменгі резервуарға ағып, турбинаны іске қосады және электр энергиясын өндіреді. Жүйелердің шығыс қуатының төмендеуі қолданылады және алынған жүйелік жиілік тіркеледі. Сондықтан электр жүйесінің шығыс қуаты өзгерген кезде жүйенің жиілігін ұстап тұру үшін аккумуляторлық энергияны сақтау жүйесінің сәйкес өлшемін анықтауға болады. Энергия жерасты сақтау камерасында Сығылған ауа ретінде сақталады. Төмен қуат тұтынылған кезде ауа камераға айдалады және артық энергия жиналады. Камерадағы Сығылған ауа газ турбины арқылы электр энергиясына айналады. Сығылған ауа төмен және жоғары қысымды турбиналар жиынтығымен қызады және механикалық энергияға айналады. Ауа табиғи газбен араласып, күйіп кетеді. Электр генераторлары турбиналармен бірге электр энергиясын өндіреді. Сонымен қатар, сығылған ауаны жылыту және тиімділікті арттыру үшін турбинаның пайдаланылған газдары да қолданылады [5, 3–6–66.].

Аккумуляторлық энергия сақтау жүйелері

Батареяны сақтау жүйесі-бұл электр энергиясын химиялық энергия түрінде сақтай алатын және қажет болған жағдайда оны босататын құрылғы. үш негізгі компоненттен тұрады: батарея, қуат түрлендіргіші және басқару жүйесі. Батарея-бұл электр энергиясын химиялық және керісінше түрлендіретін негізгі компонент. Қуат түрлендіргіші-Бұл батареяны желіге немесе жүктемеге қосатын интерфейс. Ол қуат ағынының бағытына байланысты айнымалы тоқты тұрақты токқа немесе керісінше түрлендіреді. Басқару жүйесі-бұл жұмысты басқаратын және басқаратын ми. Ол желі операторымен, жүктемемен немесе басқа энергия көздерімен байланысып, өнімділік пен тиімділікті оңтайландыруы мүмкін.



1-сурет – Куат элементінің жұмыс принципі

Қорғасын-қышқылды аккумуляторлардың жұмысы қорғасын диоксидінің күкірт қышқылында еріген қорғасынмен реакциясына негізделген. Қосылған кезде электролит тотығады, зарядтау кезінде кері операция жасалады, бұл батареяның қалпына келуіне және оның бастапқы қасиеттеріне кепілдік береді. Модельдер герметикалық және ағып кетуі мүмкін. Біріншісі шаңды сұртуден басқа күтімге ұшырамайды, сондықтан олар ең көп таралған. Қызмет көрсетілетін құрылғылар, керісінше, параметрлері мен жұмыс күйін қалпына келтіру үшін тазартылған суды үнемі толтыруды қажет етеді. Бұл батарея қосылған кезде сұйықтық электролит құрамынан біртіндеп тозып, оның тығыздығы артады. Нәтижесінде өнімділік төмендейді. Тиісті күтімсіз батареяның бұл түрі Өндіруші мәлімдеген барлық мерзімге қызмет етпейді [6, 3–5-бб.].

Нәтижелер және талқылау

Кәдімгі қорғасын-қышқылды аккумуляторлардың қызмет ету мерзімі қайтымды тотығу-тотықсыздану реакцияларына байланысты электродтардың тозуына байланысты шамамен 1200–1800 циклды құрайды (разряд тереңдігіне байланысты). Зарядтау тиімділігі және олардың күтілетін қызмет ету мерзімі сәйкесінше 75–80 % және 5–15 жылды құрайды. Бекітілген күйде орналастыруға арналған, станцияларда қосымша қуат көзі ретінде және жүйені қолдау үшін қолданылады.

Күн энергиясы үшін. Олар әсерлі сыйымдылығымен ерекшеленеді, заряд-разряд циклдерінің көп санына төтеп береді, ұзақ қызмет ету мерзіміне ие. Адамдар үшін қауіпсіз, оларды үйлерге орнатуға болады [7, 2–8-бб.].

Мобильді тұрмыстық электроникада, электромобильдерде және гибриді электромобильдерде кеңінен қолданылатын Литий-ионды аккумуляторлар ауқымды энергия сақтау жүйелерінің ықтимал шешімі ретінде назар аударады. Литий элементі-анод ретінде литий немесе оның қосылыстары қолданылатын бір реттік (қайта зарядталмайтын) гальваникалық элемент. Литий элементінің катоды мен электролиті әртүрлі болуы мүмкін, сондықтан «литий элементі» термині бірдей анод материалымен элементтер тобын біріктіреді. Әр түрлі химиялық қосылыстар жоғары қуат тығыздығын, жоғары энергия тығыздығын, жоғары энергия тығыздығын, ұзақ қызмет ету мерзімін алу үшін зерттеледі. Нарықта литий батареяларының үш түрі бар: кобальт, марганец және фосфат. Сонымен қатар, олар жылдам зарядтау және разрядтау қабілетіне ие, жоғары тиімділік (шамамен 70–80 %). Алайда олардың күнделікті разряд деңгейі 15 %-ға жетеді. Сондай-ақ, осы типтегі батареялардың кернеуі мен температурасының мәндерін қауіпсіз жұмыс уақытында сақтау керек.

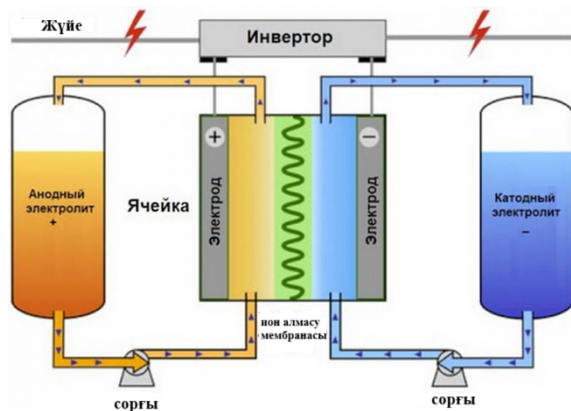
Ағынды аккумуляторлық энергияны сақтау жүйелері

Энергияны тұтыну қазіргі заманғы электр желісінің негізгі құрамдас бөлігі болып табылады, өйткені ол желінің икемділігін, үмітін және тұрақтылығын қамтамасыз ете алады. Энергияны талдау электр энергиясына сұраныс пен ұсынысты жинауға, жаңартылатын энергия көздерін біріктіруге, парниктік газдарды таңдауды азайтуға және электр энергиясының сапасы мен қауіпсіздігін арттыруға көмектеседі [8, 1–18-бб.].

Бірақ энергияны сақтаудың барлық технологиялары бірдей жасалмайды. Олардың кейбіреулері төмен энергия тығыздығы, жоғары құны, қысқа қызмет ету мерзімі немесе қоршаған ортаға мүмкіндіктер сияқты шектеулерге ие. Осылайша, осы проблемаларды тудыруы және таза және тұрақты энергияға өсімдік сұранысын қанағаттандыруы мүмкін жаңа буын энергетикалық құрылымдарына деген қажеттілік.

Бұл рөлге ең перспективалы үміткерлердің бірі-ағынды батарея. Ағынды батарея-энергияны сақтау және алу үшін сыртқы резервуарларда сақталған сұйық электролиттерді пайдаланатын күн батареясының бір түрі. Тұрақты қуат пен қуатқа ие кәдімгі батареялардан айырмашылығы, ағынды батареялар резервуарлардың өлшемдері мен электролит ағынының жылдамдығын реттеу арқылы осы екі параметрді бөле алады.

Ағынды батареялар энергияны ұзақ уақыт сақтауға жарамды, өздігінен разрядтың төмен деңгейі, жанама әсерлерсіз толық зарядсыздану мүмкіндігі, ұзақ қызмет ету мерзімі және техникалық қызмет көрсетудің төмен талаптары сияқты маңызды артықшылықтарға ие.



2-сурет – Ағынды батареяның құрылымы және жұмыс принципі

Сутегі негізіндегі энергияны сақтау жүйелері

Электролизер, сутегі қоймасы, отын ұяшығы және энергияны түрлендіру кезеңі, бұл Сутегі энергиясын сақтау жүйесі. Суды электролиздеу арқылы сутекті алуға болады, ал жаңартылатын энергия көздерінен немесе дәстүрлі энергия көздерінен осы қызметке қажетті энергияны алуға болады. Алынған сутекті металл немесе композиттік резервуарларда газдар немесе металл гидридтері түрінде сақтауға болады. Блоктың қуат деңгейі полимерлі-электролиттік мембраналық отын ұяшығы үшін 100 кВт және ламинатталған оксидті отын ұяшығы үшін 2 МВт болуы мүмкін. Қуатты құрылымдарды құру оларды жеңілдетеді модульдік құрылым. Төмен разряд жылдамдығына байланысты сутегі негізіндегі энергия сақтау жүйелері ұзақ мерзімді энергия сақтау жүйелеріне жарамды. Бірақ электролизердің тиімділігі 60 % және отын ұяшығының тиімділігі 70 % төмен болғандықтан, олардың тиімділігі төмен.

Энергияны сақтаудың маховиктік жүйелері

Маховикті энергияны сақтау жүйесі-бұл электромеханикалық энергияны сақтау жүйесі. Электр машинасына қосылған Масса екі магниттік мойынтіректе айналады [9, 1–5-бб.]. Электр машинасы қозғалтқыш сияқты жұмыс істейді және зарядтау циклі кезінде масса жылдамдығы артады. Разряд циклінде электр машинасы генератор ретінде жұмыс істейді және массаның жылдамдығы төмендейді. Маховик жинаған энергия жылдамдық пен инерция квадратына байланысты. Осьтік және радиалды ағынды тұрақты магнитті синхронды машиналар бұл қосымшаларда электр машиналары ретінде жиі қолданылса, индукциялық және синхронды индуктивті машиналарды да қолдануға болады. Айналу жылдамдығына байланысты (төмен жылдамдықты маховиктің айналу жылдамдығы мыңға жуық, ал

жоғары жылдамдықты маховиктің айналу жылдамдығы он мыңға жуық) маховиктерді екі санатқа бөлуге болады: төмен айналымды және жоғары жылдамдықты маховиктер. Маховиктің энергия тығыздығы мен максималды меншікті энергиясы материалдың түріне байланысты. Бұл технология жоғары тиімділік (~ 90 %), жоғары қуат және жоғары энергия тығыздығы мәндері, кең Жұмыс температурасы, ұзақ қызмет ету мерзімі, разряд тереңдігіне тәуелділіктің болмауы сияқты жақсы сипаттамаларға ие. Алайда, бұл топология өздігінен разрядтың жоғары жылдамдығынан зардап шегеді (сағатына шамамен 20 %). Демек, бұл топология энергияны ұзақ уақыт сақтауға арналған қосымшаларға жарамайды.

Асқын өткізгіш магниттік энергия сақтау құрылғысы

Асқын өткізгіш магниттік энергияны сақтау жүйесі бойынша алғашқы зерттеулер 1970 жылы жүргізілді. Энергия магнит өрісінде жиналады, ол криогендік температурада үлкен асқын өткізгіш катушка арқылы өтетін тұрақты ток арқылы жасалады. Жинақталған энергия мөлшері ток мәнінің квадратына және асқын өткізгіш катушканың өзіндік индукциясының шамасына байланысты. Энергияның тығыздығы маховик жүйесі мен кәдімгі батареяларға қарағанда жоғары болуы мүмкін. Сонымен қатар, жүйенің жауап беру уақыты өте төмен және циклдің қызмет ету мерзімі өте жоғары. Алайда олардың қымбаттығына байланысты асқын өткізгіш магниттік энергияны сақтау жүйелерінің өте шектеулі саны анықталды [10, 2–8–бб.].

Суперконденсаторлық энергияны сақтау жүйелері

Батареялармен қатар суперконденсаторлар электрохимиялық элементтер болып табылады. Суперконденсаторда жинақталған энергия мөлшері оның сыйымдылығына және терминалдардағы кернеу квадратына тікелей байланысты. Суперконденсатор тығыздығы үшін беті үлкенірек кеуекті электродтарды пайдаланады, бұл конденсатордан айырмашылығы. Электродтардың түріне байланысты әлемде суперконденсаторлардың әртүрлі түрлері бар. Өте қысқа уақыт тұрақтылары мен жылдам жауап алуға болады, өйткені суперконденсатордың эквивалентті кедергісі өте аз. Сонымен қатар, суперконденсатордың меншікті қуаты батареяларға қарағанда шамамен он есе жоғары.

Энергияны сақтау технологияларын қолдану арқылы энергия жүйесінің тұрақтылығын арттыру.

Жаңартылатын энергия көздерінің енуіне қатысты электр желісінің тұрақтылығын арттыру үшін әр түрлі жағдайларды сақтау қажет. Осындай проблемалардың бірі-қуаттың ауытқуын азайту. Бұл тербелістердің ұзақтығы мен амплитудасы үлкен болуы мүмкін, бұл электр желісіндегі кернеу мен жиіліктің ауытқуын тудырады және электр энергиясының сапасын нашарлатады. Бұл әсер оқшауланған электр жүйелерінде анағұрлым ауыр.

Осылайша, энергияны сақтау жүйелері кернеу мен жиіліктің тұрақтылығын, сондай-ақ электр жүйесіндегі электр энергиясының сапасын жақсарту үшін қолданылады. Бұл жағдайда бүкіл таратылған ұрпақ тобы үшін бір орталық сақтау жүйесі қолданылады. Қалай болғанда да, энергияны сақтау жүйесі қуаттың ауытқуын азайтуға арналған қосымша контроллермен басқарылуы керек. Үлкен t мәндері біркелкі қуат тұтынуды қамтамасыз етеді, бірақ сонымен бірге деректерді сақтау жүйесінің қажетті сыйымдылығы да артады. Желдің жылдамдығы профилі үшін әсері тексерілді энергияны сақтау жүйесінің қуаты және сүзгі қуатына уақыт тұрақтысы. Мұнда уақыт константасының әртүрлі мәндері қолданылады және алынған нәтижелер суретте көрсетілген. 4 Сондықтан t анықтамасы маңызды мәселе болып табылады. Сүзгі уақытының тұрақтысын оңтайлы анықтау үшін анық емес логика, генетикалық Алгоритмдер, бөлшектерді жинауды оңтайландыру және т.б. сияқты әртүрлі оңтайландыру әдістері қолданылды. Сонымен қатар, нақты уақыттағы уақыт тұрақтысын оңтайландыру ұсынылды.

Сонымен қатар, энергияны сақтау жүйесінің қуат деңгейін анықтау және қуаттың ауытқуын азайту үшін әртүрлі басқару әдістері де қолданылады.

Электр желісіндегі кернеудің тұрақтылығын сақтау үшін реактивті қуат шығынын бақылау маңызды. Кейбір жел турбиналары, мысалы, Қос қуатты асинхронды генераторлар және қуат түрлендіргіштерімен жабдықталған тұрақты магнитті синхронды генераторлар белсенді және реактивті қуатты басқара алады, энергияны сақтау жүйелері кернеуді реттеу мүмкіндігін қолдайды және кернеуді реттеу динамикасын жақсартады. Осы мақсатта аккумуляторларды, ағынды батареяларды және маховиктер, суперконденсаторлар және асқын өткізгіш магниттік энергияны сақтау жүйелері сияқты жоғары жылдамдықтағы энергияны қысқа мерзімді сақтау технологияларын пайдалануға болады. Сонымен қатар, кернеудің тұрақтылығын сақтау және Ток гармоникасының орнын толтыру үшін энергияны сақтау жүйесі қолдайтын статкомдар ұсынылады. Бұл жүйенің тиімділігі мен қол жетімділігін арттыра алады.

Электр желісін басқару арқылы іске қосылуы мүмкін пайдаланылмаған қуат ретінде анықталатын айналым резерві электр желісінің тұрақтылығының тағы бір факторы болып табылады. Таратылған генерация көздері электр желісіне жиілікті қолдауды қамтамасыз ету үшін белсенді қуатын реттейді. Уақыт диапазоны 30 минутқа дейін анықталады. Демек, айдау гидравликалық сақтау жүйелері, Сығылған ауа энергиясын сақтау жүйелері, сутегі негізіндегі энергияны сақтау жүйелері, аккумуляторлар, ағынды батареялар және асқын өткізгіш магниттік энергияны сақтау жүйелері энергияны сақтаудың қолайлы технологиялары болып табылады.

Жаңартылатын энергия көздерінің анықталмаған сипаты, мысалы, энергияға сұраныс пен электр энергиясын өндіруді үйлестіруді қиындатады фотоэлектрлік жүйелер және жел турбиналары нтсондықтан жаңартылатын энергияның белгілі бір сипатына ие. Бұл электр желісінің кернеуі мен жиілігінің тұрақтылығына әсер етуі мүмкін, осылайша бұл жүйелердің жоғары енуін шектейді. Сондықтан энергияны сақтау жүйелері қолданылады. Бұл сақтау жүйелері жүйені бірнеше минуттан он сағатқа дейін энергиямен қамтамасыз етуі керек. Сондықтан бұл қосымшаларда ұзақ мерзімді энергияны сақтау технологиялары қолданылады, мысалы, айдалатын гидравликалық жинақтау жүйелері, сығылған ауадағы энергияны сақтау жүйелері, сутегі негізіндегі энергияны сақтау жүйелері, аккумуляторлар (әсіресе натрий-күкірт), ағынды аккумуляторлар. Футуматта 34 МВт натрий-күкіртті қайта зарядталатын батарея 51 МВт жел энергетикасы жүйесінде қолданылады. Бұл қызметтердің құрылымы, қуат деңгейі және басқаруы кейбір техникалық және экономикалық аспектілерге сәйкес анықталады.

Қорытынды

Жаңартылатын энергияның кездейсоқ әрекеті электр желісінің тұрақтылығына әсер етуі мүмкін, әсіресе жаңартылатын энергия көздерінің электр желісіне кең енуі жағдайында. Энергияны сақтау жүйелерін электр желісінің тұрақтылығын сақтау үшін пайдалануға болады. Бұл зерттеу энергияны сақтаудың әртүрлі технологияларын қарастырды және олардың әртүрлі сипаттамаларын берді. Сонымен қатар, энергияны сақтау жүйесі қолдайтын әртүрлі қызметтер сипатталған және осы қызметтер үшін энергияны сақтаудың қолайлы технологиялары бөлінген.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Ефремов, Д. Г.** Исследование возможности и разработка способов применения накопителей энергии различного типа для противоаварийного управления при больших возмущениях в энергосистеме : дисс. канд. техн. наук [Текст]. – М. : Национ. исследоват. ун-т «МЭИ», 2018. – 146 с.

2 **Glavic, M., Lelic, M., Novosel, D., Heredia, E., and Kosterev, D. N.,** «Simple computation and visualization of voltage stability power margins in realtime» [Text] // Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2012. – P. 1–7.

3 **Venkatesh, B., Alex, Rost, Riuchen, Chang,** Dynamic Voltage Collapse Index – Wind Generator Application // Trans. on Power Delivery. – Vol. 22. – Issue 1. – 2007. – P. 90–94.

4 **Rehman, S. and Al-Hadhrani** LM 2010 Study of a solar PV-diesel-battery hybrid power system for a remotely located population near Rafha // Saudi Arabia Energy – 35 p. – 4986–95.

5 **Oppenheim, A. V.** Discrete-Time Signal Processing. – Englewood Cliffs, New Jersey : Prentice Hall, 1999. – P. 543.

6 **Зырянов, В. М., Кирьянова, Н. Г., Коротков, И. Ю., Нестеренко, Г. Б., Пранкевич, Г. А.** Системы накопления энергии : российский и зарубежный опыт // Энергетическая политика. – 2020. – № 6(148). – С. 76–87.

7 **Wong, L., Ramachandaramurthy, V., Taylor, P., Ekanayake, J., Walker, S., Padmanaban, S.** Review on the optimal placement, sizing and control of an energy storage system in the distribution network // Journal of Energy Storage. 2019. – № 21. – P. 489–504.

8 **Бельский, А. А., Добуш, В. С.** Анализ характеристик российских литийионных аккумуляторных батарей // Промышленная энергетика. – 2019. – №9. – С. 25–32.

9 **Mercier, P., Cherkaoui, R., Oudalov, A.** Optimizing a battery energy storage system for frequency control application in an isolated power system // Power Systems. – 2009. – Vol. 24. – № 3. – P. 1469–1477.

10 **Timmermans, J.-M., Nikolian, A., Hoog, J., Gopalakrishnan, R., Goutam, Sh., Omar, N., Coosemans, Th., Mierlo, J., Swierczynski, M., Stroe, D.-I.** Batteries 2020 – Lithium-ion battery first and second life ageing, validated battery models, lifetime modelling and ageing assessment of thermal parameters // 18th European Conference on Power Electronics and Applications. – Karlsruhe, 5–9 September 2016.

REFERENCES

1 **Efremov, D. G.** Issledovanie vozmozhnosti i razrabotka sposobov primeneniya nakopitelej energii razlichnogo tipa dlya protivooavarijnogo upravleniya pri bolshih vozmusheniyah v energosisteme : diss. kand. tehn. nauk. [Study of the possibility and development of methods for using energy storage devices of various types for emergency control during large disturbances in the power system : diss. Cand. of Technical Sciences]. – M. : Nacion. issledovat. un-t “MEI”, 2018. – 146 p.

2 **Glavic, M., Lelic, M., Novosel, D., Heredia, E., and Kosterev, D. N.,** Simple computation and visualization of voltage stability power margins in realtime [Text] // Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2012. – P. 1–7.

3 **Venkatesh, B., Alex, Rost, Riuchen, Chang.** Dynamic Voltage Collapse Index – Wind Generator Application // Trans. on Power Delivery. – Vol. 22. – Issue 1, 2007. – P. 90–94.

4 **Rehman, S. and Al-Hadhrani LM** 2010 Study of a solar PV-diesel-battery hybrid power system for a remotely located population near Rafha // Saudi Arabia Energy – 35 p. – 4986–95.

5 **Oppenheim, A. V.** Discrete-Time Signal Processing. – Englewood Cliffs, New Jersey : Prentice Hall, 1999. – P. 543.

6 **Zyryanov, V. M., Kiryanova, N. G., Korotkov, I. Yu., Nesterenko, G. B., Prankevich, G. A.** Sistemy nakopleniya energii : rossijskij i zarubezhnyj opyt [Energy storage systems : Russian and foreign experience] [Text] // Energeticheskaya politika. 2020. – № 6 (148). – P. 76–87.

7 **Wong, L., Ramachandaramurthy, V., Taylor, P., Ekanayake, J., Walker, S., Padmanaban, S.** Review on the optimal placement, sizing and control of an energy storage system in the distribution network // Journal of Energy Storage. 2019. – № 21. – P. 489–504.

8 **Belskij, A. A., Dobush, V. S.** Analiz harakteristik rossijskikh litijionnyh akkumulyatornyh batarej [Analysis of the characteristics of Russian lithium-ion batteries] [Text] // Promyshlennayaenergetika. – 2019. – № 9. – P. 25–32.

9 **Mercier, P., Cherkaoui, R., Oudalov, A.** Optimizing a battery energy storage system for frequency control application in an isolated power system // Power Systems. – 2009. – Vol. 24. – № 3. – P. 1469–1477.

10 **Timmermans, J.-M., Nikolian, A., Hoog, J., Gopalakrishnan, R., Goutam, Sh., Omar, N., Coosemans, Th., Mierlo, J., Swierczynski, M., Stroe, D.-I.** Batteries 2020 – Lithium-ion battery first and second life ageing, validated battery models, lifetime modelling and ageing assessment of thermal parameters // 18th European Conference on Power Electronics and Applications. – Karlsruhe, 5–9 September 2016.

23.04.25 ж. баспаға түсті.

30.04.25 ж. түзетулерімен түсті.

03.06.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

* *А. К. Ашимова¹, К. Б. Шакенов²*

^{1,2}Satbayev University, Республика Казахстан, г. Алматы.

Поступило в редакцию 23.04.25.

Поступило с исправлениями 30.04.25.

Принято в печать 03.06.25.

СИСТЕМЫ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ И СТАБИЛЬНОСТЬ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

В последние годы изолированная сеть начинает дополняться производством электроэнергии на основе возобновляемых источников энергии, таких как солнечные фотоэлектрические системы или ветряные генераторы. Интеграция возобновляемых источников энергии, таких как фотоэлектрическая система, используется не только для достижения этой цели, но и для снижения затрат на выработку электроэнергии. Однако проникновение солнечных фотоэлектрических систем в энергосистему может привести ко многим проблемам со стабильностью работы из-за ее непостоянства. Например, в изолированной системе, имеющей ограниченную инерцию, потеря части генерируемой мощности может привести к неприемлемым низким частотам, что может привести к коллапсу системы. В изолированных сетях, состоящих из фотоэлектрической системы и дизельного топлива, проблема с колебаниями частоты и мощности из-за изменчивости выработки энергии может быть устранена с помощью аккумуляторной системы накопления энергии. В этой ситуации она может поглощать избыточную мощность, вырабатываемую системой, и распределять ее совместно с дизельным генератором, когда фотоэлектрическая система вырабатывает меньшую мощность. В настоящее время из-за высокой цены устройств на эту систему важно соответствующим образом выбирать размер емкости аккумуляторной системы накопления энергии, чтобы это существенно не увеличивало инвестиционные затраты. Следовательно, определение эффективной мощности аккумуляторной системы накопления энергии в энергосистеме и энергетических потребностей для снижения общей инвестиционной стоимости системы, в целом, являются двумя фундаментальными проблемами в проекте внедрения аккумуляторной системы накопления энергии.

В этой статье рассматриваются и объясняются крупномасштабные технологии накопления энергии, которые подключаются к энергосистеме для повышения стабильности энергосистемы и качества электроэнергии. .

Ключевые слова: системы накопления энергии, надежность, устойчивость, технологии накопления энергии, ветряные генераторы.

*A. K. Ashimova¹, K. B. Shakenov²,

^{1,2}Satbayev University, Republic of Kazakhstan, Almaty.

Received 23.04.25.

Received in revised form 30.04.25.

Accepted for publication 03.06.25.

ENERGY STORAGE SYSTEMS AND THE STABILITY OF THE ENERGY SYSTEM

In recent years, the isolated grid has begun to be complemented by electricity generation based on renewable energy sources such as solar photovoltaic systems or wind generators. The integration of renewable energy sources, such as a photovoltaic system, is used not only to achieve this goal, but also to reduce the cost of generating electricity. However, the penetration of solar photovoltaic systems into the power grid can lead to many problems with the stability of operation due to its volatility. For example, in an isolated system with limited inertia, the loss of some of the generated power can lead to unacceptably low frequencies, which can lead to system collapse. In isolated networks consisting of a photovoltaic system and diesel fuel, the problem with frequency and power fluctuations due to the variability of energy production can be eliminated using a battery energy storage system. In this situation, it can absorb the excess power generated by the system and distribute it together with a diesel generator when the photovoltaic system generates less power. Currently, due to the high price of devices for this system, it is important to choose the capacity of the battery energy storage system accordingly, so that this does not significantly increase investment costs. Therefore, determining the effective capacity of a battery energy storage system in the power grid and energy needs to reduce the overall investment cost of the system as a whole are two fundamental problems in the project of implementing a battery energy storage system.

This article discusses and explains large-scale energy storage technologies that are connected to the power grid to improve the stability of the power system and the quality of electricity.

Keywords: energy storage systems, reliability, stability, storage technologies, wind generators.

Теруге 09.06.2025 ж. жіберілді. Басуға 30.06.2025 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Mb RAM

Шартты баспа табағы 25,6. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректорлар: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс №4417

Сдано в набор 09.06.2025 г. Подписано в печать 30.06.2025 г.

Электронное издание

29.9 Mb RAM

Усл. печ. л. 25,6. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректоры: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4417

«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

Е-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz