

**ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР / ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ /  
ENGINEERING SCIENCES**

ӘОЖ 621.354

**ЭНЕРГИЯ ЖИНАҚТАҒЫШТАРЫН МИКРОЖЕЛІЛЕРДЕ  
ПАЙДАЛАНУ*****Іргебай Айша Маратқызы***

магистрант, Көлік-энергетика факультеті, «7М07118 – Электр энергетикасы» кафедрасы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

**Ғылыми жетекші: PhD, доцент - Ерзада Майра**

*Бұл мақалада микрожелілерде жаңартылатын энергия көздерінің тұрақсыздығын тегістеу және ең жоғары немесе ең төмен жүктеме сағаттарында қуат теңгерімін басқару үшін энергия жинақтау жүйелерін қолдану мәселелері қарастырылған. Зерттеуде жинақталатын энергияның нақты түріне байланысты механикалық, электрохимиялық, химиялық және электрлік сақтау технологиялары жіктеліп, олардың жұмыс механикасы мен тиімділігіне талдау жасалады. Сонымен қатар, жоғары қуатты және жоғары энергиялы құрылғыларды біріктіру арқылы батареяның қызмет ету мерзімін ұзартатын әрі жүйе тиімділігін арттыратын аралас энергия жинақтау жүйелерінің артықшылықтары атап өтіледі. Мақалада микрожелілерде энергия жинақтау жүйелерін дамыту және енгізу барысында туындайтын негізгі сын-қатерлер жан-жақты бағаланған. Жұмыс материалдық шектеулерді еңсеру және аралас жүйелерді оңтайландыру арқылы болашақ орталықсыздандырылған энергетикалық жүйелердің сенімділігі мен экономикалық орындылығын арттыруды көздейді.*

**Кілт сөздер:** энергия жинақтау жүйесі, микрожелі, жаңартылған энергия көздері, аралас энергия жинақтау жүйесі, энергия жинақтағыштары

Энергия тұтынудың жаһандық өсуі урбанизация мен  $CO_2$  таралуының артуымен бірге энергияны пайдалануды оңтайландыру және зиянды шығарындыларды азайту үшін озық шешімдерді талап етеді. Қазба отынға тәуелділіктің ең перспективалы баламаларының бірі – микрожелілер архитектурасында жаңартылатын энергия көздері (ЖЭК) технологияларын

энергия жинақтау жүйелерімен (ЭЖЖ) біріктіру. Микрожелі, өз табиғаты бойынша, тұрақты энергия пайдалануға және жергілікті электрмен жабдықтаудың сенімділігіне қол жеткізуге арналған, үлестірілген энергия ресурстарынан тұратын оқшауланған құрылым болып табылады. Жаңартылатын энергия көздері үзілісті сипатқа ие болғандықтан, микрожелілердегі электрмен жабдықтау кейде жүктеме қажеттіліктерін қанағаттандыра алмайды, бұл жүйе жиілігінің ауытқуына әкеледі. Демек, жоғары сапалы электр энергиясын сақтау және ең жоғары және ең төмен жүктеме сағаттарында қуат теңгерімін басқару үшін жаңартылатын энергия көздердің тұрақсыздығын энергия жинақтағыш технологияларының көмегімен тегістеу қажет.

Микрожелілер желіге қосылу режимінде де, оқшауланған режимде де тиімді жұмыс істейтін икемді жұмыс сипаттамаларына ие. Желіге қосылу сценарийлерінде олар жүйенің тұрақты жиілігін сақтау үшін негізгі желімен қуат алмасады. Өз кезегінде, автономды конфигурациялар жұмысын жалғастыру үшін жиілікті бастапқы реттеуге қатты тәуелді. Бұл желілерді қолдау үшін ЭЖЖ екі негізгі конфигурацияда орналастырылуы мүмкін:

**Орталықтандырылған ЭЖЖ:** Үлестірілген энергетикалық ресурстардан жалпы қосылу нүктесіне дейінгі қуат ағыны тұрақты болып қалады, ал жүйе қуат ағынының ауытқуын азайту үшін өзінің жалпы сыйымдылығын пайдаланады.

**Үлестірілген ЭЖЖ:** Шағын көлемді жинақтағыш құрылғылар тікелей нақты үлестірілген көздерге қосылып, сенімді қуат реттеуді ұсынады, бірақ қуат ағындарын басқарудың күрделі мәселелерін тудырады.

### 1. Энергияны түрлендіру және тиімділікті бағалау

Энергия жинақтағыштары сақтау, зарядтау және разрядтау процестерінде сөзсіз шығындарға ұшырайды, ал жұмыс энергетикалық теңгерімі келесідей тұжырымдалады:

$$E_{\text{өндірілген}} - \Delta E_{\text{шығын}} = E_{\text{шығыс}}$$

$\Delta E_{\text{шығын}}$  жалпы энергия шығындары әртүрлі күйлердегі шығындардың қосындысын білдіреді:

$$\Delta E_{\text{шығын}} = \Delta E_{\text{заряд}} + \Delta E_{\text{сақтау}} + \Delta E_{\text{разряд}}$$

$n_{\text{сақтау}}^{\text{жалпы}}$  жүйенің тиімділігі  $n_{\text{заряд}}$  зарядтау,  $n_{\text{сақтау}}$  сақтау және  $n_{\text{разряд}}$  разрядтау кезеңдерінің тиімділігін көбейту арқылы бағаланады:

$$n_{\text{сақтау}}^{\text{жалпы}} = \frac{E_{\text{шығыс}}}{E_{\text{өндірілген}}} = n_{\text{заряд}} \times n_{\text{сақтау}} \times n_{\text{разряд}}$$

## 2. ЭЖЖ технологияларының жіктелуі және механикасы

Энергия жинақтау жүйелері жинақталатын энергияның нақты түріне және қолданылатын материалдарға байланысты механикалық, электрохимиялық, химиялық, электрлік және термальді санаттарына бөлінеді.

### 2.1 Механикалық энергия жинақтау жүйелері

Механикалық жүйелер сұраныс бойынша механикалық жұмысты орындау үшін қорек көзінің энергиясын түрлендіреді және жинақтайды, ал негізгі технологиялар мыналарды қамтиды:

**Маховиктерге негізделген энергия жинақтау жүйелері:** Бұл жүйе кинетикалық энергияны магнитті левитациялық подшипниктермен ұсталатын үлкен айналмалы цилиндрде сақтайды. Жинақталған кинетикалық энергия  $E_{\text{макс}}$  инерция моменті  $J$  және бұрыштық жылдамдық  $\omega$  арқылы анықталады:

$$E_{\text{макс}} = \frac{1}{2} J \times \omega^2$$

Қуыс цилиндрлі маховик үшін сыртқы радиусы  $b$  және ішкі радиусы  $\alpha$  болғанда инерция моменті:

$$J = \frac{1}{2} \times m \times (b^2 - \alpha^2) = \frac{1}{2} \rho \times h \times \Pi \times (b^4 - \alpha^4)$$

Маховикті энергия жинақтау жүйелері жоғары тиімділікке (90%–95%) ие және экологиялық тазалығымен, ұзақ қызмет ету мерзімімен әрі температураны бақылау қажеттілігінің болмауымен ерекшеленеді.

**Сығылған ауа негізіндегі энергия сақтау жүйелері:** Артық қуат компрессорларды іске қосып, ауаны жер асты үңгірлеріне немесе жер үсті резервуарларына айдайды; кейін сығылған ауа қыздырылып, турбина арқылы кеңейіп, электр энергиясын өндіреді.

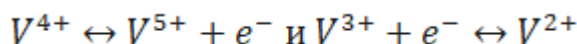
**Гравитация арқылы энергия сақтау жүйелері:** Ірі гидроаккумуляциялық станцияларға балама ретінде гравитациялық жинақтағыштар реверсивті сорғылар/турбиналарға негізделген жабық жүйе болып табылады, мұнда су ағынының кинетикалық энергиясы поршеньдік механизмге беріледі.

### 2.2. Электрохимиялық энергия жинақтау жүйелері

Электрохимиялық жинақтағыш құрылғылар белсенді материалдардың химиялық энергиясын химиялық реакциялар арқылы электр энергиясына түрлендіреді.

**Ағынды тотығу-тотықсыздану батареялары (редокс-аккумуляторлар):** олар электр энергиясын екі бөлек орта арасында жүретін тотығу-тотықсыздану

реакциялары арқылы өндіреді. Ванадий ағынды батареясы үшін қайтымды химиялық реакциялар мынадай болады:



Ағынды тотығу-тотықсыздану батареялары жоғары тиімділікке (85%-ға дейін) және ұзақ қызмет ету мерзіміне ие. Олар жоғары тұрақтылықпен, үлкен сақтау сыйымдылығымен және электр жүйесінде икемді пайдалану сипаттамаларымен ерекшеленеді. Осылайша, олар автономды желілерде қолдану үшін тиімді шешім болып табылады.

**Аккумуляторлық энергия жинақтау жүйелері:** Жүктемені реттеу және жиілікті бақылау үшін кеңінен қолданылады. Сыйымдылық пен заряд деңгейі батареяның өнімділігін анықтайды. Өртүрлі зерттеулер квази-Z-тәрізді инвертордың батареялардың параллель жұмыс істеуі үшін қолайлы әдіс екенін көрсетеді. [1] - жұмыста микрожелілерде қолдануға арналған аккумуляторлық энергия жинақтау жүйелері үшін квази-Z-тәрізді инвертор ұсынылған. Бұл модельде квази-Z-инвертордың өтпе ток толтыру коэффициенті автономды режимде жұмыс істейтін батареялар арасында жүктеме тогын бөлу үшін пайдаланылады. Алайда желіге қосылған режимде екі батарея жүйесінде тәуелсіз ток реттеу үшін ұсынылған модель инвертордың модуляция индексі мен өтпе токтың толтыру коэффициентіне тәуелді болады. Зерттеу нәтижелері микрожелі кернеуі теңгерілмеген жүктеме жағдайында да тұрақты болатынын көрсетті. Батарея технологиялары келесі бөлімдерде сипатталған:

1) Қорғасын-қышқылды батареялар: Үнемді және зарядты ұзақ уақыт сақтай алады, жалпы реакция арқылы жұмыс істейді:  $H_2O \rightarrow H_2 + \frac{1}{2}O_2$

2) Литий-ионды батареялар: Жоғары тиімділігімен (>90%) және энергия тығыздығымен белгілі. Зарядтау кезінде литий иондары катодтағы металл оксидінен анодтағы графит көміртегіне өтеді. Реакция түрі:  $LiMeO_2 + C \leftrightarrow Li_{1-x}MeO_2 + Li_xC$

3) Натрий-күкіртті батареялар: Жоғары температурада жұмыс істейтін балқытылған электродтардан тұрады, реакция келесідей:  $Na + xS = Na_2S_x$

### 2.3. Химиялық энергия жинақтау жүйелері

Химиялық жүйелер энергияның үлкен көлемін химиялық байланыстарда ұзақ уақыт бойы сақтай алады.

**Сутекті отын элементтері:** Сутек негізіндегі энергия жинақтау технологиясы сутек отынын ыдырату арқылы зиянды шығарындыларсыз электр энергиясын өндіруге мүмкіндік береді.

### 2.4. Электрлік энергия жинақтау жүйелері

Электрлік жинақтау жүйелері энергияны электр немесе магнит өрістерін өзгерту арқылы сақтайды. Бұл қысқа мерзімді жүктеме теңгерімін қамтамасыз ету және импульстік жүктемелерді жұмсарту үшін аса маңызды.

**Суперконденсаторларға негізделген энергия сақтау жүйелері:** Қос қабатты электрлік конденсаторлар ретінде де белгілі, бұл құрылғылар химиялық реакцияларды қолданбайды және өте жоғары шындық қуатын береді. Жалпы немесе нақты сыйымдылық  $C_r$  кернеуге байланысты өзгереді:

$$C_r = C_o + k \cdot \vartheta_c$$

**Асқынөткізгіш магниттік энергия жинақтағыштар:** Энергияны асқынөткізгіш катушкада айналып жүретін ток тудыратын магнит өрісінде сақтайды.  $W_{LS}$  энергия сыйымдылығы  $L$  индуктивтілік және  $I$  ток шамаларына тәуелді:

$$W_{LS} = \frac{1}{2} L \times I^2$$

### 3. Аралас энергия жинақтау жүйелеріне көшу

Бір ғана энергия жинақтау жүйесі барлық оңтайлы сипаттамаларды бір уақытта қамтамасыз ете алмайды. Сондықтан аралас жүйелер бірнеше сақтау тәсілдерін біріктіріп, жоғары қуатты (жылдам жауап үшін) және жоғары энергиялы (ұзақ уақыт қоректендіру үшін) құрылғыларды бірге қолданады. Мысалы, батарея/суперконденсатор негізіндегі аралас жүйелер микрожелідегі жиілік ауытқуларын тиімді тұрақтандырады. Суперконденсаторлар кенет өтпелі процестерді сіңіріп, шындық токтарды шектейді, соның нәтижесінде батареяға түсетін жүктеме азаяды. Зерттеулер мұндай комбинация батареяның қызмет ету мерзімін 75%-ға дейін ұзарта алатынын көрсетеді.

### 4. Мәселелер, сын-қатерлер және перспективалар

Микрожелілерде энергия жинақтау жүйелерін енгізу бірқатар күрделі мәселелермен байланысты:

**Материалдарды таңдау.** Қолданыстағы ЭЖЖ компоненттері қымбат болып қала береді, ал материалдардың құрамы жүйелердің сыйымдылығын, тығыздығын және қызмет ету мерзімін шектейді. Микрожелілердегі ЭЖЖ-ны одан әрі дамыту үшін жоғары сапалы ЭЖЖ материалдарының сипаттамаларын және олардың елеулі үлесін қарастыру қажет. Зарядтау және разрядтау сипаттамалары, сыйымдылық, энергия мен қуат тығыздығы, қызмет ету мерзімі және коррозияға төзімділік материалдарға айтарлықтай байланысты болуы мүмкін. Маховик, гравитация арқылы энергия сақтау жүйелері, асқын өткізгішті магниттік энергия жинақтағыштар, литий-ионды батареялар, натрий-күкіртті және редокс аккумуляторлары сияқты үлкен сақтау сыйымдылығы бар қолданыстағы ЭЖЖ механизмдері электр энергиясы нарығында әлі де қымбат. Сонымен қатар, батарея/суперконденсатор сияқты аралас энергия жинақтау

жүйелері үлкенірек сақтау сыйымдылығын қамтамасыз етеді, бірақ бұл технологияның тиімділігін одан әрі арттыруға болады. Осылайша, үнемді, ұзақ мерзімді озық технология жақсартылған энергия тиімділігі мен тұрақтылығы бар микрожелілердегі энергия жинақтау жүйелері үшін материалдарды таңдауға ықпал ете алады.

**Күштік электроника интерфейсі.** Күштік электрондық интерфейс электр энергиясының сапасын, өнімділігін, қуатты реттеуді, жүйенің сенімділігін, беріктігін және тиімділігін қамтамасыз ету технологияларымен айналысады. Микрожелі жүйесінің пайдалылығын арттыру үшін микрожеліні энергия жинақтау жүйесімен және қолданыстағы электр желісімен біріктіруге арналған күштік электрондық интерфейс (КЭИ) пайдалануға болады. КЭИ әртүрлі сипаттамаларға ие, өйткені ол түзеткіш пен инвертордың көмегімен энергияны түрлендірудің қажетті схемасына ие. КЭИ қолдану үшін төмендеткіш, жоғарылатқыш, төмендеткіш-жоғарылатқыш, жартылай көпірлі, кері жүрісті, Н-көпірлі және Z-тәрізді түрлендіргіштер сияқты әртүрлі түрлендіргіштерді пайдалануға болады, оларды DC-DC, DC-AC, AC-AC және AC-DC түрлендіргіштерінің топологиясы бойынша жіктеуге болады. Энергияны сақтау технологиясына және олардың қолданылуына байланысты энергия түрлендіргіші кернеуі тең емес екі тұрақты ток шинасын, тұрақты ток шинасы мен айнымалы ток шинасын қосуға немесе тіпті ток көзін кернеу шинасына қосуға мүмкіндік береді. Қолданыстағы күштік электроника интерфейстерінде икемділікке, өлшемге, тиімділікке және ауыстырып-қосу кезіндегі пульсацияларға байланысты кемшіліктер бар, бұл ЭЖЖ-ны тиімді біріктіру үшін озық түрлендіргіш топологияларын талап етеді.

**Энергияны басқару жүйелері.** Микрожелі қосымшалары үшін ЭЖЖ топологиясында қуатты бөлуді оңтайландыру энергияны басқару жүйесінің қуатын бірлесіп пайдалану арқылы орындалуы мүмкін. Ірі ауқымды интеграция үшін сығылған ауа негізіндегі энергия жинақтау жүйелері, гравитация есебінен энергия жинақтау жүйелері және литий-ионды батареялар сияқты бірнеше ЭЖЖ үлгісін жасауға болады, ал термалды энергия жинақтағыштар, суперконденсаторлар негізіндегі энергия жинақтау жүйелері, ағынды батареялар және отын элементтері орташа ауқымдағы энергияны басқару үшін тиімді. Тиімді энергияны басқару жүйесін жобалау үшін жүйенің жалпы шығындарын барынша азайту және заряд күйін бақылау тиісінше тиімділікті оңтайландыруда және болашақ сұраныс үшін резервті сақтауда маңызды рөл атқаруы мүмкін. Сонымен қатар, аралас энергия жинақтау жүйелері қуат ауытқуларын басқара алады, бұл электр энергиясының сапасын жақсартады және активті қуаттың өзгеруінің максималды жылдамдығын шектейді. Осылайша, олар бір ЭЖЖ жүйесіне қарағанда жақсырақ балама бола алады. Оңтайлы энергияны басқару жүйесі жүйенің жалпы шығындарын барынша

азайту, заряд күйін сәтті басқару және қуатты тиімді бөлу үшін, әсіресе аралас энергия жинақтау жүйелерінің көп буынды топологияларында қажет.

**Өлшемі мен құны.** Сығылған ауада энергия жинақтау және асқын өткізгішті магниттік энергия жинақтағыштар сияқты жүйелердің ауқымы жоғары күрделі шығындармен тығыз байланысты, бұл өлшемдерді анықтаудың оңтайландырылған алгоритмдері мен үнемді модельдеуге деген сұранысты арттырады. Жақын болашақта кейбір жаңа технологиялардың (мысалы, гравитация есебінен энергия жинақтау жүйелері, литий-ионды, ағынды батареялар, никель-кадмий немесе никель-мырыш) бағасының күтілетін төмендеуін ескере отырып және сорғылы гидроаккумуляциялық жүйелер, сығылған ауа негізіндегі энергия жинақтау жүйелері, маховикті энергия жинақтағыш, ағынды батареялар және термалды энергия жинақтағыштар сияқты қолданыстағы сақтау жүйелерін талдау негізінде микрожелідегі жекелеген ЭЖЖ кернеуі мен жиілігінің ауытқуын тұрақтандырудың көптеген шектеулері бар. Сондықтан технологиялардың дамуымен энергетикалық арбитражбен, ең жоғары деңгейлерді тегістеумен, уақытты ығыстырумен және кернеуді қолдаумен тиімді жұмыс істеуге қол жеткізу үшін көбірек технологияларды біріктіретін аралас энергия жинақтау жүйелері жасалды. Сақтау жүйесінің сыйымдылығын оларды біріктіру арқылы арттыруға болады, мысалы, батарея/суперконденсаторлар негізіндегі энергия жинақтау жүйелері, батарея/маховик, батарея/асқын өткізгішті магниттік энергия жинақтағыштар, сығылған ауа негізіндегі энергия жинақтау жүйелері/суперконденсаторлар негізіндегі энергия жинақтау жүйелері, сығылған ауа негізіндегі энергия жинақтау жүйелері/маховик және маховик/асқын өткізгішті магниттік энергия жинақтағыштар, бұл көбірек сақтау құрылғыларын жеке қосуды болдырмай, қондырғының жалпы көлемі мен құнын азайтуға көмектеседі. Бұл сондай-ақ жинақтағыштардың қызмет ету мерзімін ұзартуға айтарлықтай үлес қосады.

**Қауіпсіздік және экология.** Болашақ модельдер микрожелілерді қауіпсіз және экологиялық тұрақты енгізуді қамтамасыз ету үшін термиялық тұрақсыздық, омық шығындар, қысқа тұйықталу және улы химикаттарды кәдеге жарату сияқты қауіпсіздік мәселелерін белсенді түрде шешуі керек.

Қорытындылай келе, мақалада микрожелілердегі ЭЖЖ-ны одан әрі технологиялық дамыту үшін маңызды және іріктелген ұсыныстар берілген. Энергия жинақтау жүйелері сенімді және тұрақты микрожелі инфрақұрылымының негізін құрайды. Электрохимиялық, механикалық және аралас сақтау форматтарының үздіксіз эволюциясы энергияны озық басқаруға жол ашады. Ағымдағы технологиялық шолуларда атап өтілгендей, қолданыстағы материалдық шектеулерді еңсеру және аралас энергия жинақтау жүйелерінің конфигурацияларын оңтайландыру болашақ

орталықсыздандырылған энергетикалық жүйелердің сенімділігін, қауіпсіздігін және экономикалық орындылығын негізінен анықтайды.

### Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. J. Khajesalehi, M. Hamzeh, K. Sheshyekani, and E. Afjei, “Modeling and control of quasi-Z-source inverters for parallel operation of battery energy storage systems: Application to microgrids,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 125, pp. 164–173, Aug. 2015.

2. Накопители электроэнергии. Учебное пособие: Е.К. Умбеткулов, И.С. Соколова. – Алматы: АУЭС им Г. Даукеева, 2022. – 79 с.

3. Промышленные устройства хранения электроэнергии: способы, накопители и системы хранения энергии. <https://electricalschool.info/energy/2137-promyshlennye-ustroystva-hraneniya-elektroenergii.html>

4. Fusheng Li, Ruisheng Li, Fengquan Zhou, “Microgrid Technology and Engineering Application” London, UK : Academic Press is an imprint of Elsevier, [2015].

## ПРИМЕНЕНИЕ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ В МИКРОСЕТЯХ

*Іргебай Айша Маратқызы*

*В данной статье рассматриваются вопросы применения систем накопления энергии в микросетях для сглаживания нестабильности возобновляемых источников энергии и управления балансом мощности в часы максимальных или минимальных нагрузок. В исследовании классифицируются механические, электрохимические, химические и электрические технологии хранения в зависимости от конкретного вида накапливаемой энергии, а также анализируются их рабочие механизмы и эффективность. Кроме того, отмечаются преимущества гибридных систем накопления энергии, которые за счет объединения высокомоощных и высокоэнергоемких устройств продлевают срок службы батарей и повышают эффективность системы. В статье всесторонне оцениваются основные вызовы, возникающие в процессе разработки и внедрения систем накопления энергии в микросетях. Работа направлена на повышение надежности и экономической целесообразности будущих децентрализованных энергетических систем путем преодоления материальных ограничений и оптимизации гибридных систем.*

**Ключевые слова:** система накопления энергии, микросеть, возобновляемые источники энергии, гибридная система накопления энергии, накопители энергии.

## THE USE OF ENERGY STORAGE DEVICES IN MICROGRIDS

*Irgebay Aisha Maratqyzy*

*This article examines the application of energy storage systems in microgrids to mitigate the intermittency of renewable energy sources and manage the power balance during peak or off-peak load hours. The study classifies mechanical, electrochemical, chemical, and electrical storage technologies based on the specific type of energy stored, analyzing their operating mechanisms and efficiency. Additionally, it highlights the advantages of hybrid energy storage systems, which, by combining high-power and high-energy devices, extend battery life and enhance overall system efficiency. The article comprehensively evaluates the primary challenges encountered during the development and implementation of energy storage systems within microgrids. The research aims to improve the reliability and economic viability of future decentralized energy systems by overcoming material constraints and optimizing hybrid systems.*

**Keywords:** energy storage system, microgrid, renewable energy sources, hybrid energy storage system, energy storage devices.

### REFERENCES

1. J. Khajesalehi, M. Hamzeh, K. Sheshyekani, and E. Afjei, "Modeling and control of quasi-Z-source inverters for parallel operation of battery energy storage systems: Application to microgrids," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 125, pp. 164–173, Aug. 2015.
2. Energy storage devices. Training manual: E.K. Umbetkulov, I.S. Sokolova. – Almaty: AUPET named after G. Daukeyev, 2022. – 79 p.
3. Industrial electric power storage devices: energy storage methods, storage devices, and systems. <https://electricalschool.info/energy/2137-promyshlennye-ustroystva-hraneniya-elektroenergii.html>
4. Fusheng Li, Ruisheng Li, Fengquan Zhou, "Microgrid Technology and Engineering Application" London, UK : Academic Press is an imprint of Elsevier, [2015].