

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

№ 4 (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/GMYR4462>

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/KNAM4324>***О. Д. Меурбекова¹, А. Н. Бергузинов², А. Г. Калтаев³**

¹Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Қазақстан Республикасы, Түркістан қ.

^{2,3}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0949-1443>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6954-8259>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1684-3347>

*e-mail: oksana_120183@mail.ru

ҚОСАЛҚЫ СТАНЦИЯ ЖАБДЫҚТАРЫН ДИАГНОСТИКАЛАУДЫҢ ЗАМАНАУИ ӘДІСТЕРІНІҢ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ

Энергетика саласының қарқынды дамуы жағдайында электр энергиясын беру және тарату процестерінде қосалқы станция жабдықтарының сенімділігі мен тиімділігіне қойылатын талаптар артып келеді. Осыған байланысты, жасасырын ақауларды ерте анықтау, қалдық ресурстарды бағалау және апаттардың алдын алу мақсатында диагностика әдістерін жетілдіру өзекті мәселе болып табылады.

Бұл мақалада қосалқы станция жабдықтарын диагностикалаудың заманауи әдістері қарастырылады. Негізгі назар термовизиялық бақылау, энергетикалық кәсіпорындарда қолдануға арналған заманауи технологиялар қарастырылады, оған ішінара разрядтарды талдау, дірілдік диагностика, заттардың интернеті (IoT) негізіндегі интеллектуалды жүйелер және сандық егіздер (digital twins) жатады. Әрбір әдістің артықшылықтары мен әлсіз тұстары талданып, олардың өндірістік тәжірибедегі тиімділігі бағаланады.

Сонымен қатар, нақты уақыт режимінде деректерді талдау және апатты жағдайларды болжау үшін машиналық оқыту алгоритмдерін қолдануға негізделген болжамды техникалық қызмет көрсету жүйесін енгізу мәселелері қарастырылады. Зерттеу шеңберінде сенсорлық деректерді жинау, сандық ұқсастарды пайдалану және модельдеу негізінде жасанды интеллект

алгоритмдерін оқытуға бағытталған интеграцияланған бақылау және диагностика жүйесі ұсынылған.

Зерттеу нәтижелері қарастырылған жүйенің ақауларды ерте диагностикалауда, техникалық қызмет көрсетуді оңтайландыруда және пайдалану шығындарын қысқартуда тиімді екенін дәлелдейді. Сонымен қатар, апаттық жағдайлардың жиілігін азайту, персоналдың еңбек қауіпсіздігін күшейту, жоспарлы жөндеуден жабдықтың нақты күйіне негізделген қызмет көрсетуге көшу және оның пайдалану мерзімін ұзарту мүмкіндіктері жан-жақты қарастырылған.

Кілтті сөздер: диагностика және бақылау, цифрлық технологиялар, жасанды интеллект, болжамды қызмет көрсету, энергия жүйесінің сенімділігі.

Кіріспе

Технологияның дамуымен жабдықтарды диагностикалау әдістері айтарлықтай өзгерістерге ұшырады. Егер бұрын негізгі тәсіл дәстүрлі құралдарды қолдана отырып, визуалды тексеру және мерзімді өлшеу болса, бүгінде цифрлық және интеллектуалды жүйелер кеңінен таралуда. Ішінара разрядтарды бақылау, термовизиялық тексеру, тербелістерді талдау және жасанды интеллектті қолдану жабдықтың күйін дәл және жедел бағалаудың жаңа мүмкіндіктерін ашады.

Қосалқы станциялық жабдық – бұл электр жүйесіндегі электр энергиясын түрлендіруді, бөлуді және бақылауды қамтамасыз ететін құрылғылар мен механизмдер кешені. Қосалқы станциялардың негізгі мақсаты электр кернеуі мен ток параметрлерін ұзақ қашықтыққа тиімді беру және одын әрі тұтынушылар арасында тарату үшін өзгерту болып табылады [1].

1 суретте қосалқы станция жабдығының диагностикасы істен шығудың алдын алу мен электр желісінің сенімділігін қамтамасыз ететіні көрсетілген. Қосалқы станциялар электр энергиясын түрлендіру және таратуда маңызды рөл атқарады. Сондықтан олардың жабдығының істен шығуы электрмен жабдықтаудың үзілуіне, қондырғылардың зақымдануына және елеулі қаржылық шығындарға әкелуі мүмкін. Ақауларды дер кезінде анықтау, қалдық ресурсты дұрыс болжау және заманауи диагностикалық әдістерді пайдалану аталған тәуекелдерді едәуір төмендетуге мүмкіндік береді [2]. Диагностиканың негізгі міндеттерінің бірі – жасырын ақауларды ерте анықтау, олар ұзақ уақыт бойы байқалмай қалуы мүмкін, бірақ уақыт өте келе елеулі зақымға айналады.



1-сурет – Қосалқы станциялық жабдықты диагностикалау

Диагностиканың тағы бір маңызды аспектісі – жабдықтың қалдық ресурсын болжау. Заманауи технологиялар ағымдағы ақауларды жазып қана қоймай, сонымен қатар олардың қауіпсіз қызмет ету мерзімін анықтау үшін компоненттердің күйін талдауға мүмкіндік береді. Бұл әсіресе өз шегінде жұмыс істейтін немесе ұзақ уақыт жұмыс істейтін жабдық үшін өте маңызды. Бұл тәсіл техникалық қызмет көрсету мен жөндеуді алдынала жоспарлауға мүмкіндік береді, бұл апаттық үзілістер мен тоқтап қалу мүмкіндігін айтарлықтай азайтады.

Диагностика сонымен қатар төтенше жағдайлардың азаюына да ықпал етеді [3]. Diagnostиканың экономикалық маңызы зор: жоспарлы қызмет көрсетуден жабдықтың жағдайына қарай қызмет көрсетуге көшу жөндеу және жаңарту шығындарын азайтады. Жабдыққа шынымен қажет болған кезде ғана қызмет көрсетіледі, бұл қажетсіз тексерулер мен ауыстыру шығындарын азайтады. Сонымен қатар, ақауларды ерте анықтау және істен шығудың алдын алу жабдықтың тоқтап қалуына және тұтынушылардың шығындарын өтеуге байланысты қаржылық шығындарды азайтады. Сонымен қатар, диагностика қызметкерлердің қауіпсіздігін арттырады. Автоматтандырылған бақылау жүйелерін пайдалану жоғары вольтты жабдыққа жиі физикалық қол жеткізу қажеттілігін азайтады. Сондай-ақ, төтенше жағдайлардың жиілігін төмендету қызметкерлер үшін қауіпсіз еңбек жағдайларын жасауға ықпал етеді [4].

Материалдар мен әдістері.

Қолданылатын диагностикалық әдістер:

1 Термовизиялық тексеру-оқшаулау мен контактілерді диагностикалау үшін қызып кету аймақтарын анықтау.

2 Ішінара разрядтарды мониторинг – жоғары вольтты оқшаулауда пайда болатын ақауларды ерте диагностикалау әдісі.

3 Дірілді талдау – механикалық тораптар мен агрегаттардың жұмыс күйін бағалауға мүмкіндік береді.

4 IoT негізіндегі интеллектуалды жүйелер – бұлтты платформаларды пайдалану арқылы жабдықты нақты уақыт режимінде бақылауды қамтамасыз етеді.

5 Сандық ұқсастар (Digital Twins) – жабдықтың жұмыс параметрлерін модельдеу және ықтимал ақауларды болжау құралы.

Өртүрлі әдістерді қолдану апаттардың шығындары мен тәуекелдерін азайту арқылы техникалық қызмет көрсетуді оңтайландыруға мүмкіндік береді.

Қосалқы станция жабдықтарын диагностикалаудың заманауи әдістері электр желілерінің сенімді және үздіксіз жұмысын қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады.

Термиялық тексеру – диагностиканың кең таралған әдістерінің бірі болып табылады. Бұл әдіс нашар контактілерді, оқшаулаудың зақымдалуын немесе шамадан тыс жүктемені көрсетуі мүмкін қызып кету аймақтарын анықтауға мүмкіндік береді. Жылу түсіргіштер инфрақызыл сәулеленуді тіркейді, бұл жабдықты өшірмей, ықтимал қауіпті аймақтарды анықтауға мүмкіндік береді.

Діріл диагностикасы трансформатордың салқындату жүйелері мен ажыратқыш қозғалтқыштары сияқты жабдықтың механикалық түйіндерінің күйін бағалау үшін қолданылады. Дірілдің жоғарылауы мойынтіректердің тозуын, роторлардың теңгерімсіздігін немесе механикалық ақауларды көрсетуі мүмкін. Діріл талдауын қолдану ақауларды анықтап қана қоймай, жабдықтың қалдық ресурсын болжауға мүмкіндік береді.

Заттардың тұтынушылық интернетіне негізделген жүйелер (IoT) негізделген бақылау жүйелері энергетикада танымал бола бастады. Бұл жүйелерге нақты уақыт режимінде жұмыс параметрлері туралы деректерді жинайтын негізгі жабдық элементтеріне орнатылған сенсорлар кіреді. Ақпарат бұлтты платформаларға жіберіледі, онда ол ауытқуларды анықтау үшін талданады. (IoT) қолдану диагностиканың жеделдігін едәуір арттыруға және физикалық тексеру қажеттілігін азайтуға мүмкіндік береді.

Қосалқы станция жабдықтарын диагностикалаудың заманауи әдістері жабдықтың күйін бағалаудың дәлдігін, жылдамдығын және ыңғайлылығын

арттыруға бағытталған. Ол әдісті енгізу жабдықтарға техникалық қызмет ету кезінде орын алатын шығындарды азайтуға, жабдықтың қызмет ету мерзімін ұзартуға және барлық электр желісінің сенімділігін арттыруға ықпал етеді [5].

Қосалқы станция жабдықтарына болжамды қызмет көрсету электр желілерінің сенімділігі мен тұрақтылығын қамтамасыз етуде шешуші рөл атқарады.

Деректерді бақылау.

Деректерді бақылау бүкіл жүйенің жұмысының негізі болып табылады. Бұл компонент қосалқы станция жабдықтарының күйі туралы ақпаратты нақты уақыт режимінде жинауға, беруге және сақтауға жауап береді. Бұл зерттеу жұмысы аясында мыналарды іс-шаралар іске асырылды:

Датчиктер жүйесі.

Қосалқы станцияның негізгі қондырғыларына – трансформаторларға, ажыратқыштарға, шиналарға және кабельдік желілерге сенсорлар орнатылды. Датчиктер ток, кернеу, температура, діріл және ішінара разрядтар сияқты жұмыс параметрлерін үздіксіз тіркейді.

Заттар интернетіне (IoT) негізделген инфрақұрылым.

Сенсорлардан алынған деректерді жинау үшін IoT инфрақұрылымы енгізілді. Ол деректерді беру желілерін, серверлерді және сақтау жүйелерін қамтиды. Мұндай тәсіл параметрлерді автоматты түрде бұлттық немесе жергілікті жадқа жеткізуге мүмкіндік береді.

Бұлтты және жергілікті серверлер.

Жиналған ақпаратты сақтау және өңдеу үшін бұлтты серверлер пайдаланылды. Бұл шешім жүйенің масштабталуын қамтамасыз етіп, алынған деректерді талдау мен жедел қолжетімділікті жеңілдетеді [6].



2-сурет – Жабдықтың күйін диагностикалау жүйесінің схемасы

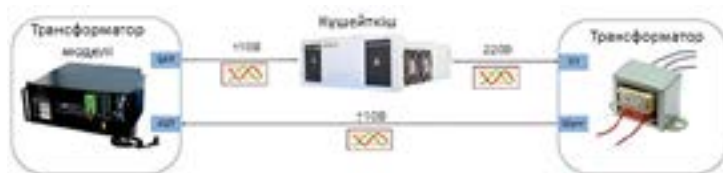
Сандық ұқсас (цифровой двойник) – нақты физикалық объектіні, жүйені немесе процесті бейнелейтін виртуалды модельі, олардың нақты уақыттағы сипаттамалары мен динамикасын қайталайды. Сандық ұқсастықтардың негізгі міндеті-диагностика, болжау, процестерді оңтайландыру және шешім қабылдау үшін физикалық объектінің жұмысын имитациялау. Энергетикада цифрлық ұқсастықтар қосалқы станциялар жабдықтарының жағдайын бақылау және талдау үшін кеңінен қолданылады.



3-сурет – Сандық ұқсастық схемасы

Сандық ұқсастықтың жұмыс істеу қағидаты (3 сурет) – физикалық объектіден алынған деректерді нақты уақыт режимінде виртуалды модельге біріктіруге негізделеді. Қосалқы станцияның жабдықтары үшін мұндай модель трансформаторлар, ажыратқыштар, кабельдер, шиналар және басқа да элементтердің техникалық сипаттамаларын қамтып қана қоймай, сонымен қатар жүктеме, температура және әртүрлі сыртқы әсерлерден туындайтын динамикалық өзгерістерді де көрсетеді.

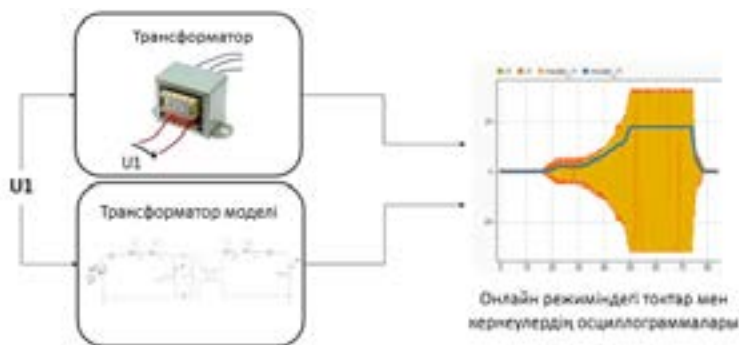
Сандық ұқсас құрылғыға орнатылған сенсорлардан алынған мәліметтерді пайдаланады. Датчиктер ток, кернеу, температура, діріл, окшаулаудың жағдайы мен ішінара разрядтар сияқты негізгі параметрлерді тіркейді. Жиналған ақпарат нақты уақыт режимінде жүйеге беріледі және виртуалды модельді үздіксіз жаңартуға қолданылады. Осы тәсіл арқылы сандық ұқсастық физикалық объект пен оның виртуалды бейнесі арасындағы толық сәйкестікті және синхрондауды қамтамасыз етеді (4 сурет).



4-сурет – Жабдықты қосу схемасы

Сандық ұқсастық екі негізгі компоненттен тұрады: нақты орналасу және виртуалды (сандық) орналасу. Нақты орналасу – бұл сенсорлар мен деректерді жинау жүйелері орнатылған физикалық жабдық немесе жүйе. Бұл датчиктерден алынған мәліметтер өңделеді және виртуалды орналасуға жіберіледі.

Сандық макет өз кезегінде нақты жабдықтың математикалық моделі болып табылады. Бұл модель физикалық заңдар, эмпирикалық мәліметтер және объектінің мінез-құлқын сипаттайтын инженерлік есептеулер негізінде жасалады. Сандық орналасу компоненттердің сипаттамаларын, олардың өзара әрекеттесуін, климаттық жағдайлар мен жүктемелер сияқты сыртқы әсерлерді, сондай-ақ ықтимал ақаулар мен олардың салдарын ескереді. Виртуалды орналасу ақауларды диагностикалау, ақауларды болжау және жабдықтың жұмыс режимдерін оңтайландыру сияқты әртүрлі тапсырмаларды орындау үшін пайдаланылады [7]. Виртуалды орналасу сирек сәтсіздіктерге байланысты деректерді жасауға және оны диагностика мен болжамдардың дәлдігін жақсартатын Машиналық оқыту үлгілерін үйрету үшін пайдалануға мүмкіндік береді (5 сурет).



5-сурет – Жабдықты қосу схемасы

Сандық ұқсастық дербес болжау жүйесі ретінде де жұмыс істей алады, жабдықтың күйі туралы ақпаратты оны өшірмей немесе күрделі сынақтарсыз қамтамасыз етеді. Мысалы, егер жабдық жұмыс істеп тұрған кезде датчиктер температураның немесе тоқтың қалыптан тыс жоғарылауын жазып алса, сандық ұқсастық бұл деректерді талдап, оның жүктеменің қалыпты өзгеруіне немесе ақаулықтың дамуына байланысты екенін анықтай алады. Бұл техникалық қызмет көрсету қажеттілігі немесе жұмыс параметрлерін өзгерту туралы жедел шешім қабылдауға мүмкіндік береді [8].

Сандық ұқсастық пайдалану қосалқы станция жабдықтарын пайдаланудың айтарлықтай артықшылығын қамтамасыз етеді, мысалы техникалық қызмет көрсету қажет болған жағдайда ғана жүргізілетін болжамды қызметке көшу арқылы техникалық қызмет көрсету шығындарын азайтуға көмектеседі [9;10].

Машиналық оқыту моделін оқыту-бұл алгоритмді деректердегі заңдылықтарды тануға және осы білімді аномалияларды жіктеу, болжау немесе анықтау сияқты тапсырмаларды орындау үшін пайдалануға үйрететін процесс. Қосалқы станция жабдықтарына болжамды қызмет көрсету контекстінде модельді оқыту ақаулықтарды анықтауға, сәтсіздіктерді болжауға және тарихи немесе жасалған деректер негізінде техникалық қызмет көрсету туралы шешім қабылдауға мүмкіндік береді [11].

Нәтижелер және талқылау

Біз модельді оқыту процесін жабдықтың қалыпты күйін де, ақаулардың әртүрлі түрлерін де қамтитын өкілдік деректер жиынтығын құрудан бастадық. Ол үшін біз трансформаторлар, ажыратқыштар және кабельдер сияқты қосалқы станция компоненттерінің күйін көрсететін токтар, кернеулер, тербелістер, температура және басқа параметрлердің деректерін қолдандық. Біздің жобамыздың негізгі деректер көздері нақты деректер және сандық ұқсастық модельдеу болды. Біз жүйенің ағымдағы параметрлері мен жұмыс режимдерін түсіре отырып, қосалқы станция жабдықтарына орнатылған сенсорлар арқылы нақты деректерді жинадық. Алайда, нақты жағдайда байқау қиын болатын сирек немесе күрделі ақаулар үшін біз сандық ұқсастыққа негізделген модельдеуді жүзеге асырдық. Бұл тәсіл модельді оқыту мүмкіндіктерін кеңейте отырып, мәліметтер жиынтығын қажетті сценарийлермен толықтыруға мүмкіндік берді.

```

import random

class Transformer:
    def __init__(self, max_voltage=140, min_voltage=100):
        self.max_voltage = max_voltage
        self.min_voltage = min_voltage
        self.voltage = 0
        self.energy_on = True

    def analyze_voltage(self):
        self.voltage = random.randint(0, 100) # generate random voltage
        if self.voltage > self.max_voltage:
            self.energy_on = False
            print("Перевышено значение напряжения.")
        elif self.voltage < self.min_voltage:
            print("Низкое значение напряжения!")
        else:
            print("Напряжение в норме.")

    def get_status(self):
        if self.energy_on:
            return "Интеракция включена"
        else:
            return "Интеракция выключена"

    def reset(self):
        self.energy_on = True
        self.voltage = 0

transformer = Transformer()

for _ in range(10):
    transformer.analyze_voltage()
    print(f"State: {transformer.get_status()}")

```

6-сурет – Жасанды интеллектті оқыту

6 суретте олардың сапасын қамтамасыз ету және талдауға дайындық үшін деректерді мұқият өңдеу жүргізілді. Бұл кезеңде нәтижелерді бұрмалайтын жалған сигналдарды болдырмау үшін шу, өткізіп алған мәндер және ақауларға байланысты емес ауытқулар алынып тасталды. Токтар мен кернеулер сияқты параметрлерді бір масштабқа келтіру арқылы деректер қалыпқа келтірілді, бұл бір параметрдің екіншісіне үстемдік етуіне жол бермеді. Деректердің үлкен көлемін өңдеуді оңтайландыру үшін біз негізгі компоненттер әдісі (PCA) сияқты өлшемді азайту әдісін қолдандық. Бұл бізге деректердің негізгі сипаттамаларын сақтай отырып, модельді оқытуды жеделдетуге мүмкіндік берді.

```

Напряжение в норме,
Статус энергии в подстанции: Энергия включена
Напряжение: 221V

Ошибка: Напряжение слишком низкое!
Статус энергии в подстанции: Энергия включена
Напряжение: 56V

Ошибка: Напряжение слишком низкое!
Статус энергии в подстанции: Энергия включена
Напряжение: 177V

Напряжение слишком высокое и энергия выключена,
Статус энергии в подстанции: Энергия выключена
Напряжение: 268V

Напряжение в норме,
Статус энергии в подстанции: Энергия включена
Напряжение: 234V

Ошибка: Напряжение слишком низкое!
Статус энергии в подстанции: Энергия включена
Напряжение: 94V

Напряжение в норме,
Статус энергии в подстанции: Энергия включена
Напряжение: 182V

```

7-сурет – Қосалқы станция жүйесіндегі логтар

Модельдің дәлдігі мен сенімділігін арттыру мақсатында бастапқы деректер үш бөлікке жіктелді: оқыту, тест және валидация үлгілері. Оқыту үлгісі негізгі бөлік ретінде алынып, деректердің шамамен 70–80 %-ын құрады (7 сурет). Бұл деректер тікелей модельді үйрету үшін пайдаланылды. Тестілеу үлгісі жалпы деректердің 10–15 %-ын қамтып, оқыту барысында модель көрмеген жаңа мәліметтерде оның сапасын бағалауға мүмкіндік берді. Сонымен қатар, деректердің тағы 10–15 % валидация үшін бөлініп, гиперпараметрлерді оңтайландыру және қайта үйрену (overfitting) қаупін азайту үшін қолданылды. Осындай бөліну әдісі оқыту, тестілеу және валидация арасындағы тепе-теңдікті сақтап, модельдің барлық кезеңдерінде тұрақты әрі жоғары нәтижелерге қол жеткізуге жағдай жасады (8 сурет).

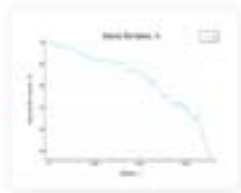
```

model = "power_forecast"
data = "power_forecast/forecast_data/power_forecast"
config = get_config(data, "R" + 0.15, "L" + 0.1, "L" + 0.1, "L" + 0.1)

for i in range(1, 10):
    result[i] = model.predict(data)
    loss[i] = model.loss(data)

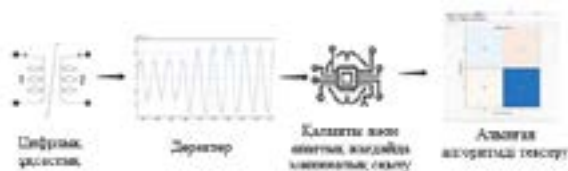
simulation_time = result["simulation_time"]
loss = result["loss"]
accuracy = result["accuracy"]
temperature = result["temperature"]
charge = result["charge"]

```



8-сурет – Қосалқы станциядағы диск батареяларының күйін бақылау

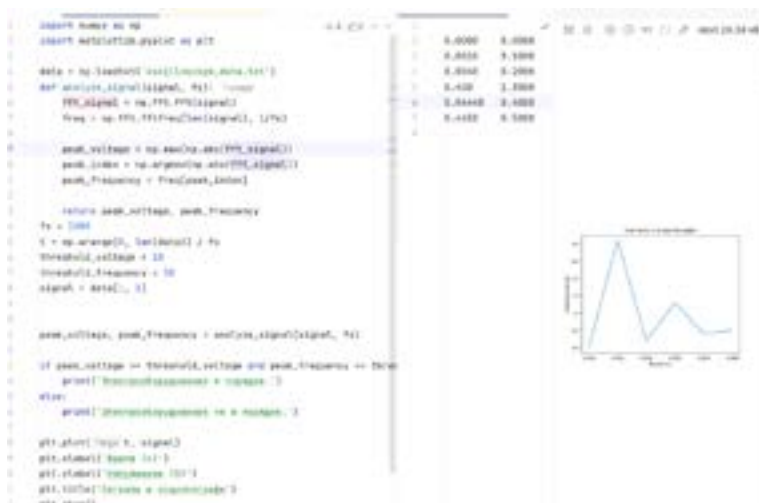
Болжалды техникалық қызмет көрсету мәселелерін шешу үшін уақыт қатарларын талдауға және көптеген параметрлермен жұмыс істеуге жарамды бірнеше Машиналық оқыту модельдері қолданылды. Ақауларды жіктеу және күйлерді болжау үшін анықтамалық векторлық әдісті (SVM) таңдады, өйткені ол біздің деректермен жұмыс істеу кезінде жоғары дәлдікті көрсетті.



9-сурет – Мониторинг жүйесінің жұмыс істеу принциптері

Уақыт қатарларын талдау үшін біз параметрлер тарихын ескеруге және нақты болжамдар жасауға мүмкіндік беретін қайталанатын нейрондық желілерді (RNN) қолдандық. Сондай-ақ, жіктеу және болжау тапсырмалары үшін градиентті күшейту модельдері (XGBoost, LightGBM) енгізілді, ал ауытқуларды анықтау үшін автокодерлер (Autoencoders) қолданылды. Модельдерді оңтайландыру үшін олардың гиперпараметрлері максималды дәлдік пен тұрақтылыққа қол жеткізу үшін кросс-валидацияны қолдана отырып реттелді. Оқыту барысында модельдің болжамдарының дәлдігін бағалау үшін қате функциясы пайдаланылды. Бұл функцияны минимизациялау мақсатында кіріс деректері (ток, кернеу, діріл сияқты параметрлер) мен мақсатты белгілер (мысалы, қалыпты жұмыс жағдайы немесе ақау) арасындағы оңтайлы байланыстарды анықтау үшін модельдің

ішкі параметрлері реттелді (9 сурет). Мұндай тәсіл модельге деректердегі күрделі заңдылықтарды тиімді талдауға және нақты әрі сенімді болжамдар жасауға мүмкіндік берді. Пайдаланудың қарапайымдылығы үшін олар операторларға графиктерге, кестелерге және автоматты ескертулерге қол жеткізуге мүмкіндік беретін нәтижелерді визуализациялауды жүзеге асырды. Бұл тәсіл қосалқы станциялардың сенімділігін арттыру және техникалық қызмет көрсету кестесін оңтайландыру арқылы аномалияларды жедел анықтауға, ақауларды жіктеуге және жабдықтың істен шығуын болжауға мүмкіндік береді.



10-сурет – Журналдар мен сигналдарды талдау арқылы электр жабдыктарын бақылау

Аталған кітапханалар MATLAB мүмкіндіктеріне ұқсас функционалдықты береді, бірақ оларды тікелей Python ортасында қолдануға болады. Бұл үлкен көлемдегі деректерді өңдеуде икемділік пен ыңғайлылықты қамтамасыз етеді. Numpy кітапханасының көмегімен деректер массивтерін жылдам өңдеп, әртүрлі математикалық операциялар, сигналдарды сүзгілеу және басқа да есептеулерді орындауға мүмкіндік бар. Мысалы, осциллографтан алынған токтар мен кернеулердің сигналдарын импорттауға және одан әрі талдау үшін түрлендіруге болады (10 сурет). Біз электр жабдыктарының күйін диагностикалау үшін маңызды болып табылатын жиіліктерді, амплитудаларды, RMS және басқа сигнал сипаттамаларын есептей аламыз.

Matplotlib кітапханасы өңделген деректерді визуализациялауға мүмкіндік береді. plt.plot пайдалана отырып, инженерлерге жабдықтың күйін қашықтан талдауға көмектесетін сигналдардың, спектрлердің және басқа визуалды көріністердің уақыт кестесін құра аламыз. Бұл әсіресе келесі параметрлерді бақылау үшін пайдалы:

Шамадан тыс жүктемені немесе қысқа тұйықталуды көрсетуі мүмкін токтардың жоғарылауы.

Трансформаторлардың немесе шиналардың ақауларына байланысты кернеудің ауытқуы.

Аппараттық ақаулықтарды көрсететін гармоника немесе шудың болуы.



11-сурет – Деректерді құру

Python және AI енгізу арқылы бейнеленген осциллограф 11-суретте сигналдары бізге электр жабдықтарының күйін қашықтан бақылауға мүмкіндік береді. Бұл мониторингтің жаңа мүмкіндіктерін ашады, өйткені мамандар аппараттық құрал орнатылған объектіден тыс жерде нақты уақыттағы деректерді талдай алады.

Жүйенің маңызды бөлігі-нақты жабдықтың виртуалды көшірмесі болып табылатын сандық ұқсастық. Сандық ұқсастық бақылау жүйесімен біріктірілген және қашықтан басқарылады. Ол физикалық жабдыққа әсер етпестен жұмыс сценарийлерін модельдеуге және гипотезаларды тексеруге мүмкіндік беретін жұмыс процестері мен аппараттық күйлерді қайталайды.

Операторлар нақты уақыттағы деректерді көрсететін визуалды интерфейс арқылы сандық ұқсастықтармен әрекеттесе алады. Бұл AI-ді оқытуға және техникалық қызмет көрсету туралы шешім қабылдауға көмектеседі. Нақты уақыттағы бақылау жүйесі көптеген сенсорлар арқылы электр жабдықтарының негізгі параметрлерін бақылайды.

ЖИ терең оқыту

Жүйенің негізгі элементі-терең жасанды интеллектті оқыту. Ол үшін тарихи деректер де, цифрлық егіз жасаған деректер де қолданылады. Терең оқыту жасанды интеллектке мүмкіндік береді:

– аномалияларды табу – визуалды талдау арқылы байқалмайтын қалыпты жұмыс режимінен ауытқуларды анықтау.

– ақауларды жіктеу – оқшаулаудың бұзылуы, шамадан тыс жүктеме немесе қысқа тұйықталу сияқты түрлі ақау түрлерін айқындау.

– істен шығуды болжау: істен шығу ықтималдығын және компоненттердің қалдық қызмет ету мерзімін есептеңіз.

ЖИ оқыту бірнеше кезеңдерде жүреді:

1 Журналдардан және сандық егіздерден мәліметтер жинау.

2 Деректерді тазарту және қалыпқа келтіру үшін алдын-ала өңдеу.

3 Тендестірілген деректер үлгісінде нейрондық желілерді оқыту.

4 Болжамдардың дәлдігін жақсарту үшін модельді тестілеу және оңтайландыру.

Модельді оқыту аяқталған соң, жасанды интеллект мониторинг жүйесіне енгізіледі. Ол нақты уақыт режимінде деректерді талдап, операторларға жабдықтың жағдайы бойынша диагностика және болжам нәтижелерін ұсынады.

Біз болжамды қызмет көрсету жүйесінің барлық негізгі компоненттерін объектіге бағытталған бағдарламалауды (ОББ) қолдана отырып, жасанды интеллект (ЖИ) басқаратын бірыңғай базаға біріктірдік. Бұл интеграцияланған платформа жабдықты бақылауды, диагностиканы, релелік қорғанысты және журналдарды талдауды қамтиды. ЖИ нақты уақыт режимінде сенсорлардан деректерді алады, оларды талдайды және диагностикалық нәтижелерді, анықталған ақауларды және сәтсіздік болжамдарын тіркейтін журналдар жасайды. Жүйенің негізгі артықшылығы – жасанды интеллект маңызды жағдайларда өздігінен шешім қабылдай алады. Атап айтқанда, ол ірі ақаулар кезінде релелік қорғанысты іске қосу, техникалық қызмет көрсетуге қатысты ұсынымдар беру немесе жабдықтың жұмыс параметрлерін түзету сияқты әрекеттерді орындайды. Бұл адам факторын барынша азайтып, электр желісінің жалпы сенімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Қорытынды. Қосалқы станция жабдықтарына арналған болжамды қызмет көрсетудің жетілдірілген жүйесі – жасанды интеллект, объектіге бағытталған бағдарламалау, цифрлық егіздер, нақты уақыттағы мониторинг және релелік қорғаныс сияқты алдыңғы қатарлы технологияларды біріктіретін кешенді шешім болып табылады. Ол жабдықтың жағдайын сенімді диагностикалауды, ықтимал ақауларды алдын ала болжауды және шешім қабылдау үдерісін автоматтандыруды қамтамасыз етеді. ЖИ басқаратын бірыңғай дерекқор сенсорлардан түсетін үлкен көлемдегі ақпаратты өңдеп, релелік қорғанысты іске қосу, техникалық қызмет көрсетуді оңтайландыру немесе жұмыс параметрлерін түзету секілді жедел әрекеттерді жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Мұндай тәсіл электр желілерінің қауіпсіздігін, сенімділігін және тиімділігін арттыру үшін ерекше маңызды.

Бағдарламалық архитектурада объектіге бағытталған тәсілді қолдану жүйенің модульділігін, масштабталуын және басқару жеңілдігін қамтамасыз етеді. Бұл болашақта жүйені жаңа міндеттерге бейімдеу және дамыту үшін үлкен артықшылық береді. Сандық егіздер арқылы әртүрлі жұмыс режимдерін, соның ішінде сирек кездесетін немесе қауіпті апаттық жағдайларды модельдеуге болады, бұл өз кезегінде нақты өмірде қолжетімсіз деректер негізінде ЖИ-ды оқытуға мүмкіндік береді.

IoT технологияларын қолдану деректерді нақты уақыт режимінде беруді, MATLAB-пен ықпалдасуды және нәтижелерді айқын визуализациялауды қамтамасыз етеді, соның арқасында талдау нәтижелері мамандар үшін түсінікті әрі қолжетімді болады. Сонымен қатар, ЖИ жүйесі автоматты түрде журналдарды құрып, оларды өңдей алады және диагностика, болжам мен ұсынымдар бойынша нақты қорытындылар ұсынады, бұл адам факторына тәуелділікті азайтады.

Осылайша, жасалған жүйе тек диагностика мен басқарудың заманауи құралы ғана емес, сонымен қатар жабдықты белсенді қызмет көрсетумен қамтуды және төтенше жағдайлардың алдын алуды көздейтін жаңа буын электр желілерін қалыптастырудың негізі болып саналады. Мұндай шешімді енгізу энергиямен жабдықтау сенімділігін жоғарылатуға, пайдалану шығындарын азайтуға және энергетика саласының тұрақты дамуына жол ашады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Михеев, Г. М.** Цифровая диагностика высоковольтного электрооборудования. – М. : ДМК-Пресс. – 2017.

2 **Сазыкин, В. Г., Кудряков, А. Г., Нетребко, С. А., Пронь, В. В.** Перспективы повышения эффективности электроэнергетического комплекса Кубани. Электрогериатрия – совершенствование эксплуатации изношенного электрооборудования. – Краснодар: КубГАУ, 2012.

3 **Михеев, Г. М.** Электростанция и электрические сети. Диагностика и контроль электрооборудования. – М. : Додека XXI век, 2010.

4 **Ящура, А. И.** Система технического обслуживания и ремонта энергетического оборудования: Справочник. – М. : НЦ ЭНАС. – 2008.

5 **Фролов, О., Шершнев, Ю., Гуревич, М., Вайнзихер, Б., Столяров, Е.** Собственные нужды подстанций. Источники бесперебойного питания. – Новости электротехники, № 6 (72). – 2011.

6 **Электротехнический справочник: Электротехнические изделия и устройства / Под общей ред. В. Г. Герасимова и др. – 8-е изд., испр. и доп. – М. : Издательство МЭИ. – 2008.**

7 **Ляндау, Ю. В.** Обзор применения технологий искусственного интеллекта в электроэнергетической отрасли. «ИННОВАЦИИ И ИНВЕСТИЦИИ». № 8. 2023

8 Тревор Хасты, Роберт Тибширани, Джером Фридман. Элементы статистического обучения: анализ данных, выводы и прогнозы. 2-е издание. – Нью-Йорк : Springer, – 2009.

9 **Кевин, П. Мёрфи, Т.** «Машинное обучение: вероятностный подход» Кембридж, Массачусетс: MIT Press. –, 2012.

10 Этем Алпайдин. «Введение в машинное обучение» 4-е издание. – Кембридж, Массачусетс: MIT Press, – 2020

11 **Чжан Чжун, Цзан, Е.** «Мониторинг на основе облаков и Интернета вещей». Лондон: Springer, – 2021.

REFERENCES

1 **Miheev, G. M.** Cifrovaya diagnostika vysokovol'tnogo elektrooborudovaniya [Digital diagnostics of high-voltage electrical equipment]. – М.: DMK-Press, 2017.

2 **Sazykin, V. G. Kudryakov, A. G. Netrebko, S. A., Pron', V. V.** Perspektivy povysheniya effektivnosti elektroenergeticheskogo kompleksa Kubani. Elektrogeriatriya – sovershenstvovanie ekspluatatsii iznoshennogo elektrooborudovaniya [Prospects for improving the efficiency of the Kuban electric power complex. Electrogeriatrics – improving the operation of worn-out electrical equipment]. – Krasnodar: KubGAU. – 2012.

3 **Miheev, G. M.** Elektrstanciya i elektricheskie seti. Diagnostika i kontrol' elektrooborudovaniya [Electrical station and electrical networks. Diagnostics and control of electrical equipment]. – М. : Dodeka XXI vek, – 2010.

4 **Yashchura, A. I.** Sistema tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta energeticheskogo oborudovaniya: Spravochnik [Energy equipment maintenance and repair system]. – М.: NC ENAS. – 2008.

5 Frolov, O., Shershnev, Yu., Gurevich, M., Vajnzihir, B., Stolyarov, E. Sobstvennyye nuzhdy podstancij. Istochniki besperebojnogo pitaniya. – [Own substation needs. Uninterruptible power supplies. – // Novosti elektrotekhniki [Electrical engineering news]. – № 6 (72), – 2011.

6 Elektrotekhnicheskij spravochnik: V 4 t. Elektrotekhnicheskie izdeliya i ustrojstva [6 Electrotechnical reference book: Electrical products and devices] / Pod obshej red. V. G. Gerasimova i dr. – 8-e izd., ispr. i dop. – М. : Izdatel'stvo MEI. – 2008.

7 **Lyandau, YU. V.** Obzor primeneniya tekhnologij iskusstvennogo intellekta v elektroenergeticheskoy otrasli [Overview of the application of artificial intelligence technologies in the electric power industry]. // «ИННОВАЦИИ И ИНВЕСТИЦИИ». – № 8. – 2023

8 Trevor Hasti, Robert Tibshirani, Dzherom Fridman. Elementy statisticheskogo obucheniya: analiz dannyh, vyvody i prognozy [Elements of statistical learning: data analysis, conclusions and forecasts]. 2-e izdanie. – N'yu-Jork: Springer, – 2009.

9 Kevin, P. Myorfi, T. «Mashinnoe obuchenie: veroyatnostnyj podhod» [Machine learning: a probabilistic approach]. – Kembridzh, Massachusetts: MIT Press. – 2012.

10 Etem Alpajdin. «Vvedenie v mashinnoe obuchenie» [Introduction to Machine learning] Kembridzh, Massachusetts: MIT Press, 4-e izdanie, 2020

11 CHzhan CHzhun, Czan E. «Monitoring na osnove oblakov i Interneta veshchej» [Cloud-based and Internet-of-Things monitoring] London: Springer, – 2021.

30.09.25 ж. баспаға түсті.

01.10.25 ж. түзетулерімен түсті.

05.12.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

*О. Д. Меирбекова¹, А. Н. Бергузинов², А. Г. Калтаев³

¹Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, Республика Казахстан, г. Туркестан;

^{2,3}Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар.

Поступило в редакцию 30.09.25.

Поступило с исправлениями 01.10.25.

Принято в печать 05.12.25.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ ПОДСТАНЦИЙ

В условиях стремительного развития энергетической отрасли предъявляются повышенные требования к надежности и эффективности оборудования подстанций, играющего ключевую роль в передаче и распределении электрической энергии. В связи с этим актуальной задачей является совершенствование методов диагностики, направленных на раннее выявление скрытых дефектов, прогнозирование остаточного ресурса и предотвращение аварийных ситуаций.

В данной статье рассматриваются современные методы диагностики оборудования подстанций. Основное внимание уделено термовизионному контролю, анализу частичных разрядов, вибродиагностике, интеллектуальным системам на основе Интернета вещей (IoT) и цифровым двойникам (digital twins). Проведен сравнительный анализ преимуществ и недостатков

данных методов, а также оценена их практическая значимость для энергетических предприятий.

Кроме того, рассматриваются вопросы внедрения предиктивного технического обслуживания, основанного на анализе данных в режиме реального времени и использовании алгоритмов машинного обучения для прогнозирования аварийных ситуаций. В рамках исследования предложена интегрированная система мониторинга и диагностики, включающая сбор данных с датчиков, использование цифровых двойников и обучение алгоритмов искусственного интеллекта на основе моделирования.

Полученные результаты демонстрируют эффективность предложенной системы в выявлении неисправностей на ранних стадиях, оптимизации технического обслуживания и снижении эксплуатационных затрат. Детально рассматриваются такие аспекты, как снижение частоты аварий, повышение безопасности персонала, переход от планового ремонта к техническому обслуживанию по состоянию, а также продление срока службы оборудования.

Ключевые слова: диагностика и контроль, цифровые технологии, искусственный интеллект, предиктивное обслуживание, надежность энергосистем.

**O. D. Meirbekova¹, A. N. Berguzinov², A. G. Kaltayev³*

*¹Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University,
Republic of Kazakhstan, Turkistan;*

^{2,3}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Received 30.09.25.

Received in revised form 01.10.25.

Accepted for publication 05.12.25.

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF MODERN METHODS OF DIAGNOSTICS OF SUBSTATION EQUIPMENT

In the context of the rapid development of the energy sector, increasing demands are placed on the reliability and efficiency of substation equipment, which plays a key role in the transmission and distribution of electrical energy. Consequently, improving diagnostic methods aimed at early fault detection, residual resource estimation, and accident prevention has become a critical issue.

This paper examines modern methods for diagnosing substation equipment. The primary focus is on thermal imaging inspection, partial discharge analysis, vibration diagnostics, intelligent systems based on the Internet of Things (IoT), and digital twins. A comparative analysis of these methods is conducted, evaluating their advantages, disadvantages, and practical significance for energy enterprises.

Additionally, the paper explores the implementation of predictive maintenance, which leverages real-time data analysis and machine learning algorithms for accident forecasting. The study proposes an integrated monitoring and diagnostic system that includes sensor data collection, digital twin utilization, and artificial intelligence training based on modeling.

The obtained results demonstrate the effectiveness of the proposed system in early fault detection, maintenance optimization, and operational cost reduction. Key aspects such as reducing failure rates, enhancing personnel safety, transitioning from scheduled maintenance to condition-based servicing, and extending the lifespan of equipment are examined in detail.

Keywords: diagnostics and monitoring, digital technologies, artificial intelligence, predictive maintenance, power system reliability.

Теруге 17.12.2025 ж. жіберілді. Басуға 30.12.2025 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Mb RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4494

Сдано в набор 17.12.2025 г. Подписано в печать 30.12.2025 г.

Электронное издание

29.9 Mb RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4494

«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

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz