





https://doi.org/10.51885/3134-8025_IJCS_2026_1_6

XFTAP 50.01.85

НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІЛЕРДІ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ТҰРҒЫН ҮЙДІҢ ЭНЕРГИЯ ТҰТЫНУ ЖҮЙЕСІН ДАМУ

РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ЖИЛОГО ДОМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

ENHANCING RESIDENTIAL ENERGY CONSUMPTION SYSTEMS USING NEURAL NETWORKS

А.А. Найзабаева ¹, А.Ж. Алимханова ^{2*}, К. Қуанышбекқызы ¹, Ж.Е. Ерсайнова ¹

¹«Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті» КеАҚ, Өскемен қ., Қазақстан

²Қ. Құлажанов атындағы ҚазТБУ, Астана қ., Қазақстан

*Жауапты автор: Алимханова Аслима Жеңісқызы, e-mail: alimhanova@mail.ru

Ключевые слова:

энергосбережение;
автоматизация в
энергосбережении;
возобновляемые
источники энергии;
энергоэффективность

АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются актуальные вопросы энергосбережения в соответствии с программой развития Республики Казахстан до 2050 года и переходом к «зелёной» экономике. Предложена архитектура интеллектуального комплекса, включающего фотоэлектрические панели, малую ветрогенерацию, систему накопления энергии на основе аккумуляторных батарей и инвертор. Для краткосрочного почасового прогнозирования нагрузки применяется многослойный перцептрон с раздельным обучением на рабочие, выходные и праздничные дни с учётом сезонности, суток, метеорологических параметров и данных о предыдущем потреблении. Приведён пример практической реализации экспериментальной установки для жилого дома, а также разработанное в среде C# программное обеспечение для мониторинга, визуализации и прогнозирования, интегрированное с платой сбора данных DAQ. Для профилирования и классификации режимов работы используется сеть LVQ (на основе SOM) в сочетании с системой логических решающих правил, определяющих стратегию электроснабжения и энергосбережения. В результате эксперимента получены следующие результаты: средняя ошибка прогнозирования составила 0,65 %, точность моделирования – 91 %, точность сети LVQ – 80 %, чувствительность – 70 %, ошибка обобщения – 0,25. Эти результаты подтверждают применимость методов нейронных сетей в качестве практического инструмента для оптимизации потребления и увеличения доли локально покрываемых нагрузок в жилом секторе.

Түйінді сөздер:

энергияны үнемдеу;
энергияны үнемдеуді
автоматтандыру;

ТҮЙІНДЕМЕ

Мақалада Қазақстан Республикасының 2050 жылға дейінгі даму бағдарламасына және "жасыл" экономикаға көшуге сәйкес энергия үнемдеудің өзекті мәселелері қарастырылды.



© 2026 А.А. Найзабаева, А.Ж. Алимханова, К. Қуанышбекқызы, Ж.Е. Ерсайнова

Бұл жұмыс Creative Commons Attribution 4.0 халықаралық лицензиясы
(CC BY 4.0) бойынша таратылады.

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

жанартылатын энергия көздері; энергия тиімділігі.

Фотоэлектрлік панельдерді, желдің аз өндірілуін, аккумуляторға негізделген энергияны сақтау жүйесін және инверторды қамтитын интеллектуалды кешеннің архитектурасы ұсынылған. Жүктемені қысқа мерзімді сағаттық болжау үшін маусымдылықты, күнді, метеорологиялық параметрлерді және алдыңғы тұтыну туралы деректерді ескере отырып, жұмыс, демалыс және мереке күндері бөлек оқытылатын көп қабатты перцептрон қолданылады. Тұрғын үйге арналған эксперименттік қондырғыны, сондай-ақ C# ортасында әзірленген DAQ деректер жинау тақтасымен біріктірілген бақылау, визуализация және болжау бағдарламалық құралын практикалық іске асырудың мысалы келтірілген. Жұмыс режимдерін профильдеу және жіктеу үшін LVQ желісі (SOM негізінде) электрмен жабдықтау және энергияны үнемдеу стратегиясын анықтайтын логикалық шешуші ережелер жүйесімен бірге қолданылады. Эксперимент нәтижесінде келесі нәтижелер алынды: болжаудың орташа қателігі 0,65 %, модельдеу дәлдігі – 91 %, LVQ желісінің дәлдігі – 80 %, сезімталдық – 70 %, жалпылау қателігі – 0,25. Бұл нәтижелер тұтынуды оңтайландыру және тұрғын үй секторындағы жергілікті қамтылған жүктемелердің үлесін арттыру үшін практикалық құрал ретінде нейрондық желі әдістерінің қолданылуын растайды.

Keywords:

energy saving; automation in energy saving; renewable energy sources; energy efficiency.

ABSTRACT

The article discusses current issues of energy conservation in accordance with the development program of the Republic of Kazakhstan in 2050 and the transition to a "green" economy. The paper proposes an architecture of an intelligent complex that includes photovoltaic panels, small-scale wind power generation, a battery storage system, and an inverter. For short-term hourly load forecasting, a multilayer perceptron with separate training for working, weekend, and holiday days is applied, taking into account seasonality, day type, meteorological parameters, and previous consumption data. An example of a practical implementation of an experimental installation for a residential building is presented, as well as software developed in the C# environment for monitoring, visualization, and forecasting, integrated with a DAQ data acquisition board. For profiling and classification of operating modes, an LVQ (SOM-based) network is used in combination with a system of logical decision rules that determine the power supply and energy-saving strategy. The experiment yielded the following results: the average forecasting error was 0.65%, modeling accuracy – 91%, LVQ network accuracy – 80%, sensitivity – 70%, and generalization error – 0.25. These results confirm the applicability of neural network methods as a practical tool for optimizing consumption and increasing the share of locally covered loads in the residential sector.

КІРІСПЕ

Қазіргі қарқынды дамып келе жатқан әлемде электрмен жабдықтау жүйелерінің энергия тиімділігін арттыру стратегиялық маңызға ие болып отыр. Жеделдетілген өнеркәсіптік даму, урбанизацияның өсуі және энергия тұтынудың артуы энергияны ұтымды пайдалануға және қоршаған ортаға әсерді азайтуға бағытталған жаңа энергияны басқару технологияларын енгізуді талап етеді. Энергия тиімділігін арттыру шығындар мен энергия шығындарын азайтып қана қоймай, сонымен қатар жаңа өнеркәсіптік және инфрақұрылымдық жобалар үшін пайдаланылуы мүмкін энергияның айтарлықтай көлемін босатады.

Энергия тиімділігі және энергия тиімді экономикаға көшу Қазақстанның мемлекеттік саясатында ерекше орын алады. Президент Қасым-Жомарт Тоқаевтың жыл сайынғы жолдауларында, сондай-ақ елдің негізгі стратегиялық құжаттарында – «Энергия үнемдеу және энергия тиімділігін арттыру туралы» Заңнан бастап «Қазақстан-2050» стратегиясы мен «Жасыл экономикаға» көшу тұжырымдамасына дейін – ұлттық экономиканың энергия сыйымдылығын азайту және интеллектуалды энергияны басқару жүйелерін енгізу қажеттілігі атап өтіледі.

Энергетика саласындағы заманауи үрдістер энергия тиімділігін арттыру цифрландырусыз және басқару процестерін интеллектуалдандырусыз мүмкін емес екенін көрсетеді. Жасанды интеллект, машиналық оқыту және нейрондық желілерді пайдалану энергетикалық процестерді талдау, болжау және оңтайландыру үшін жаңа мүмкіндіктер ашады. Бұл технологиялар сыртқы жағдайларға, жүктемеге және пайдаланушы басымдықтарына негізделген энергия тұтынуды автоматты түрде реттей алатын бейімделгіш жүйелерді жасауға мүмкіндік береді.

Бұл зерттеу нейрондық желілерге негізделген интеллектуалды энергия басқару жүйесін әзірлеуге бағытталған. Осы мақалада ұсынылған модель электр энергиясын тұтынуды талдау және болжау, осылайша энергия ағынын бөлуді оңтайландыру, электрмен жабдықтаудың сенімділігін арттыру және шығындарды азайту үшін жасалған.

МАТЕРИАЛДАР МЕН ЗЕРТТЕУ ӘДІСТЕРІ

Энергетикалық тиімділік саласындағы ұлттық және аймақтық стратегиялардың басым бөлігі климаттың өзгеруіне қарсы саясатпен тікелей байланысты. «Халықаралық энергетикалық агенттіктің бағалауынша, соңғы тұтынушылардың электр құрылғыларын пайдалану шығындарын азайтуға бағытталған саясат аясында қолжетімді үздік технологияларды енгізу 2030 жылға дейін электр энергиясын 1000 ТВт-сағатқа дейін үнемдеуге мүмкіндік береді; бұл қазіргі көрсеткішпен салыстырғанда айтарлықтай үнемдеу болып табылады. Отын үнемдейтін автомобильдерді шығару отынға деген сұранысты айтарлықтай төмендетеді. Болжауларға сәйкес, дамушы елдердің тез дамып келе жатқан экономикасында 2025 жылға қарай көлік секторындағы энергия ресурстарына сұраныстың 43%-ы, 2008 жылғы шамамен 35%-бен салыстырғанда, тиесілі болады.» (Найзабаева А.А., 2023).

Қытай, Үндістан, Бразилия және соңғы жиырма жыл ішінде экономикасы мен энергияға сұранысы қарқынды өскен басқа елдер көмірсутек шикізатының бағасының өсуі жағдайында энергия үнемдеу саясатына көшуді бастады. Ең маңызды қазіргі үрдістердің бірі – құрылыста энергия үнемдеу және энергия тиімді технологияларды жетілдіру болып отыр. Халықаралық энергетикалық агенттіктің бағалауынша, 2050 жылға дейін CO₂ шығарындыларын азайтудың төрттен бір бөлігі ғимараттар мен құрылғылардың энергия үнемдеу әлеуетіне сәйкес келеді.

Сонымен қатар, көлік секторында энергияны үнемдеу басты бағыттардың бірі болып табылады. Дамыған елдерде жаңа және жаңартылатын энергия көздерінің тиімділігін арттыру саясаты біртұтас түрде енгізілуде. Жаңа технологиялардың дамуы күн энергиясы, гидроэнергетика және биомасса сияқты жаңартылатын энергия көздерін қолдануды тиімді әрі қолжетімді етеді.

Негізгі шектеу – экономикалық фактор, өйткені бұл технологиялар әлі де қымбат. Дегенмен, жаңа және жаңартылатын энергия көздерін пайдалану саласындағы ғылыми-техникалық прогрестің үздіксіздігі және дәстүрлі энергия ресурстарының, әсіресе сұйық көмірсутектердің бағасының тұрақты өсуі, жаңартылатын энергия көздерін көбінесе орталықтандырылмаған аймақтарда кеңінен қолдануға мүмкіндік береді.

«Әртүрлі елдерде энергияны үнемдеу тәсілдері ұлттық менталитетке, мәдени ерекшеліктерге және адамдардың мінез-құлық стереотиптеріне байланысты әртүрлі. Дегенмен, дамыған елдердің ортақ ерекшелігі – энергияны пайдалану кезеңінде үнемдеуге бағытталған саясатты жүйелі түрде енгізу» (Найзабаева А.А., 2023).

АҚШ экономикасы Қазақстан экономикасына қарағанда 2,5 есе тиімді. Кейбір сарапшылардың пікірінше, Америкада өнеркәсіп өнімдерін өндіруге Қазақстанға қарағанда 9 есе аз энергия жұмсалады. Қазіргі уақытта 1 доллар сомасына тауарлар мен қызметтерді шығару үшін қажет энергия 1970 жылмен салыстырғанда 50%-дан астам азайған. Бұл жетістіктер энергияны үнемдеу бойынша ұзақ жылдар бойғы жұмыстардың нәтижесі болып табылады.

АҚШ-та энергия тиімділігі саясатының ерекшелігі – қаржылық ынталандыру шараларын кең қолдану және барлық кодекстер мен ережелерді қабылдаудан жалтармау. "Перспектива-2025" бастамасы бойынша жартыдан астам штат энергия тиімділігін арттыру бағдарламаларын қабылдады және жаңа ғимараттарға энергия үнемдеу талаптарын енгізді. Сонымен қатар, федералды бағдарламалар энергияны үнемдеу мен тиімділікті арттыру әдістерін насихаттайды (Liang Z. et al. 2025).

Жапонияда энергия үнемдеу қоғамның әртүрлі саласына үш бағытта енгізіледі: күн энергиясы, электр көліктері және энергия үнемдейтін тұрмыстық техника. Елдің нақты мақсаты – тұтынылатын энергиядағы жаңартылатын энергия үлесін екі есеге арттырып, әлемдегі ең жоғары көрсеткішке – 20%-ға жету.

Германия, Ұлыбритания және АҚШ Жапонияның тәжірибесін ескере отырып, эко-бизнес бағдарламаларын енгізуде (Guo G. et al. 2024; Liang Z. et al. 2025). Еуропалық Одақ (ЕО) энергия тиімділігін арттыру және климаттың өзгеруіне қарсы стратегияларды ілгерілетуде негізгі жетекші күш болып табылады. Оның реттеуші әсері ЕО мүше елдерінен тыс жерлерге де қолданылады. Барлық мүше мемлекеттер энергия тиімділігі мәселесіне бірдей көңіл бөлмесе де, негізгі саясатты орындау міндеті бар, ал кейбір елдер бұл талаптан әлдеқайда асып түседі.

Германияда энергияны үнемдеуге арналған жалпы заң жоқ, бірақ Федералды когенерация туралы заң және энергия үнемдеу ережелері бар. Бұл құжаттар негізінен ЕО директиваларын ұлттық заңнамаға бейімдеуге бағытталған. Елде энергия үнемдеуді көбінесе мемлекет емес, банктер мен ірі корпорациялар қаржыландырады. Энергия үнемдеуді басқару жүйесі негізгі функцияларды өңірлік және жергілікті деңгейлерге береді.

Ұлыбританияда да энергия тиімділігіне арналған жалпы заң жоқ, құқықтық базаның негізгі бөлігі ЕО директиваларын ұлттық заңнамаға қайта құруға негізделген.

Энергия тиімділігіне арналған ұлттық іс-қимыл жоспарына сәйкес мемлекеттік саясаттың басты бағыты – бизнесте, қоғамдық секторда және үй шаруашылықтарында энергия тиімділігін ынталандыру болып табылады. 1980–2050 жылдарға арналған көмірқышқыл газы шығарындыларын азайту жоспарына сәйкес, 2050 жылы энергия тұтынудың жалпы көлемі 2011 жылғы деңгейден аспауы керек (Baek J. et al. 2022; El Alaoui M., Rougui M., Lamrani A. 2024).

Қазақстан "Қазақстан 2050" стратегиясы мен "жасыл экономикаға көшу тұжырымдамасын" қабылдау арқылы қоғам дамуының жаңа бағытын таңдады. Бұл тұжырымдама мемлекеттік саясаттың қоршаған ортаға әсерді азайту, ресурстарды үнемдеу және халықтың өмір сүру сапасын арттыру бағытында жүргізілуін қарастырады. Жасыл экономикаға көшу стратегиясының маңызды элементтерінің бірі – энергия тиімділігі. Қазіргі уақытта Қазақстан ЖІӨ-нің энергия сыйымдылығы бойынша ең жоғары көрсеткіштерге ие елдердің бірі болып саналады. Сарапшылардың пікірінше, өнеркәсіп, энергетика, ТКШ және көлік салаларында энергия тиімділігін арттыру үшін айтарлықтай мүмкіндіктер бар.

Энергетика саласында бастапқы энергетикалық ресурстар жалпы тұтынудың шамамен 47%-ын құрайды (Baek J. et al. 2022; El Alaoui M., Rougui M., Lamrani A. 2024). Солай бола тұра, энергетикалық генерация мен электр желілерінің тозуы жоғары, бұл электр энергиясын өндіру тиімділігінің төмендігіне және желілердегі шығындардың салыстырмалы түрде жоғары болуына әкеледі.

Өнеркәсіпте энергия тұтынудың жоғары болуы, ең алдымен, мұнай-газ, металлургия және тау-кен сияқты энергияны көп қажет ететін салаларға байланысты. Жабдықтың техникалық жай-күйі мен кәсіпорындардың жүктемесін азайту мәселесі өнеркәсіптің тиімділігіне елеулі әсер етеді. Қабылданған заңнамалық шектеулер кейбір кәсіпорындарда, әсіресе тау-кен металлургия кешені мен көмір өндіру саласында толық нәтиже бермей отыр. Тұрғын үй-коммуналдық секторда тұрғын үй қорының көп бөлігі орталықтандырылған жылумен жабдықталған көп пәтерлі үйлерден тұрады. Инфрақұрылымның қазіргі жағдайында орталық жылыту желілері төмен тиімділікке ие және жылу шығыны едәуір жоғары. Қазақстандағы тұрғын үйлер Солтүстік Еуропа елдеріне қарағанда аудан бірлігіне шамамен үш есе көп энергия тұтынады. Бұл негізінен ескірген жабдықтар мен тиісті жөндеудің болмауымен байланысты.

Көлік секторында елдің бастапқы энергетикалық ресурстарының 17%-ы тұтынылады. Көлік паркінің кейбір техникалық жағдайы мен отынның сапасы энергияны тұтынуға және зиянды заттардың шығарындыларына әсер етеді. Жаңа жанармай стандарттарына көшу және заманауи навигациялық жүйелерді енгізу көлік секторында энергия тиімділігін арттырады.

Өнеркәсіптік кәсіпорындар, қалалар, елді мекендер және үй шаруашылықтары электр энергиясына сенімді, қолжетімді және экологиялық таза энергияны қажет етеді. Жаңартылатын энергия көздері жеке үй шаруашылықтарын, өнеркәсіпті, көлікті және елді мекендерді жабдықтау үшін маңызды үлес қосуы мүмкін.

Бұл зерттеу тұрғын үйдің энергияны басқарудың ақылды (зияткерлік) жүйесін жобалауға бағытталған. «Ұзақ уақыт бойы ақылды үйлерді зерттеу негізінен аппараттық шешімдерге бағытталса, қазіргі уақытта термин ақпараттық технологияларды ғимараттарға біріктіруді білдіреді. Ақылды үйлер саласындағы негізгі тақырыптар – қауіпсіздік, денсаулық сақтау, энергия тиімділігі және тұрғындардың жайлылығы». Жүйелер жарықтандыруды, ойын-сауық және мультимедиа құрылғыларын кеңейтілген басқаруды қамтиды (Salter P., Huang Q., Tabares-Velasco P.C. 2024; Shvets O., Seebauer M., Naizabayeva A. 2020; Tomar D. et al. 2022; Yin Q. et al. 2024; Аленин И.Э. 2023; Билалова А.И. 2023).

Сонымен қатар, қауіпсіздік саласында үй тұрғындары болмаған кезде қашықтықтан бақылау жүйелері әзірленді. Әдебиетте көрсетілген тағы бір қолданыс – қатысуды модельдеу (Нейроинформатика. 2023; Нейронные сети в диагностике и управлении энергосистемами. 2023; Рахмонов И.У. 2023; Сидорова Н.В., Петров А.А. 2023). Дегенмен, басқа салаларда қосымша зерттеулер жүргізуге әлі де мүмкіндік бар.

«Әдебиетте ақылды технологияларды қолдана отырып, ғимараттарда энергияны үнемдеудің көптеген тәсілдері қарастырылған. Көптеген зерттеулерде ақылды ғимараттардағы энергияны үнемдеу негізінен үйдегі жылу жүйесін» (Нейронные сети в диагностике и управлении энергосистемами 2023; Рахмонов И.У. 2023), ауаны баптау (Староверов Б.А. 2023), немесе екеуін бірдей бақылауды қамтиды (Билалова А.И. 2023; Устинов Д.А. 2022; Шлепнёва Т.О. 2025; Энергия знаний: современные IT-технологии в энергетике: сборник статей. 2024).

Кейбір тәсілдер құрылғыларды тікелей аз тұтынуға бағытталмаған, бірақ мониторинг пен бақылауды жетілдіруді қамтамасыз етеді (Рахмонов И.У. 2023; Шлепнёва Т.О. 2025). «Бұл жобалардың көпшілігінде ылғалдылық пен температураны өлшеу үшін

сенсорлар кеңінен қолданылады, ал деректерді анық емес контроллер арқылы өңдеу энергияны тиімді таратуға мүмкіндік береді» (Рахмонов И.У. 2023; Энергия знаний: современные IT-технологии в энергетике: сборник статей. 2024).

Энергияны үнемдеудің тағы бір бағыты – үйдегі жарықтандыру мен тұрмыстық техникаға энергияны басқару функцияларын қосу (Устинов Д.А. 2022). Синтетикалық деректерді қолдана отырып, әртүрлі сценарийлерді модельдегенде, жеке үйлерде энергияны үнемдеу шамамен 30%-ға жетуі мүмкін екені анықталған. Жарықтандыру құрылғыларын қосу үшін адамға арналған инфрақызыл сенсорлар қолданылады.

Жаңа тәсілде үйде күн сәулесінің фотоэлектрлік панельдері, энергия сақтау жүйесі және басқарылатын/бақыланбайтын құрылғылар сияқты энергия үнемдейтін құрылғылар бар деп қарастырылады. Мұндай тәсілдің басты артықшылығы – нақты уақыт режимінде үйге қосылған барлық компоненттерді басқаруға және бақылауға мүмкіндік беру, бұл клиентке немесе коммуналдық меншікке тиесілі үйдің энергия тиімділігін арттырады.

НӘТИЖЕЛЕР МЕН ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Модельдеу үшін қолайлы нейрондық желіні таңдау нақты тапсырмаға, сондай-ақ мәліметтердің түрі мен көлеміне байланысты. Желілердің көптеген классификациялары бар, бірақ электр энергиясы нарығына тән мәселелерді шешу үшін көбінесе көпқабатты перцептрон (энергия тұтынуды болжау үшін) және Кохонен желісі (клиенттің электр энергиясын тұтыну профилін құру үшін) қолданылады.

«Электр энергиясын тұтынуға әсер ететін көптеген параметрлер бар, олардың барлығы бірдей әсер етпейді. Тұтынуды болжауда маңызды параметрлердің көпшілігі циклдік сипатқа ие: күнделікті, апталық, айлық, тоқсандық, жылдық тәуелділіктер; демалыс/жұмыс күндері және т.б. Сонымен қатар, функционалды сипаттамаларға метеорологиялық жағдайлар, клиент түрі, экономика саласы, ғимарат сипаттамалары жатады.

Бұл жұмыста ұқсас екі перцептроннан тұратын қарапайым модель ұсынылады: біреуі жұмыс күндерінің сағаттық жүктеме профилін, екіншісі демалыс немесе мереке күндерін болжайды. Оқу процесі екі бөлікке бөлінген: әр перцептрон үшін екі синаптикалық салмақ матрицасы есептеледі. Бірінші желі жұмыс күндерінің нақты деректері бойынша оқытылады және алынған салмақ матрицалары тек жұмыс күндері үшін қолданылады. Екінші желі демалыс немесе мереке күндерінің жүктемесін болжау үшін пайдаланылады» [Найзабаева А.А., 2023].

Шығыс қабаты тәуліктік сағаттық жүктеме профилін көрсету үшін 24 нейроннан, жасырын қабат – 15 нейроннан, кіріс қабаты – 30 нейроннан тұрады. Кіріс векторы алдыңғы күннің электр тұтыну сипаттамаларын (3 нейрон), алдыңғы күн мен болжанатын күннің орташа тәуліктік температураларын (2 нейрон) қамтиды. Маусымдылықты есепке алу үшін айлар саны бойынша 12 нейрон, бір айдағы онкүндіктер үшін 3 нейрон және тәулік түрін көрсету үшін 10 нейрон пайдаланылады.

Үш нейрон өткен тәуліктің электр энергиясын тұтыну сипатын көрсетеді: тәуліктік шығыс, сондай-ақ алдыңғы күннің ең жоғары және ең төмен сағаттық шығыстары. Перцептронды оқыту екі кезеңде жүреді: алдымен барлық берілген жұптар жиынтығында (1,5 жылға дейінгі нақты мәліметтер бойынша), содан кейін болжанатын күн алдындағы ең аз уақыт аралығында. Оқу жұбы – кіріс векторы мен мақсатты вектор, олардың мәндері 0-ден 1-ге дейінгі диапазонға қалыпқа келтіріледі.

Жасанды интеллект әдістерін қолданған болжамның дәлдігі желінің архитектурасына, деректер сенімділігіне және болжау кезеңіне байланысты. Қысқа мерзімді кәсіпорын жүктемесін болжау үшін тәуліктік электр тұтыну бойынша статистикалық есеп беру деректері қажет. Жоғары сенімділік үшін кәсіпорында алдын ала

жоғары дәлдіктегі көп функциялы автоматтандырылған тұтынуды бақылау және есепке алу жүйесі енгізілуі керек.

Сенімділік интервалдары 100 элементтен тұратын үлгі бойынша есептелді. Болжамның орташа қателігі 0,65% құрады. Сәуір айының екі онкүндігінде белсенді электр энергиясын тұтынудың тәуліктік нақты және болжанатын жүктемелерінің профилі келесідей: 1 — нақты жүктеме, 2 — болжанатын жүктеме. 0,87 сенімділік аралығының мәні 0,27 кВт-сағ, ең төменгі мәні 0,01 кВт-сағ болды. Сағаттық болжамның орташа қателігі 1,87% болды, ал болжамның орташа қателігі 0,65%-ды құрады.

Бұл жұмыс үшін нейрондық желі ретінде LVQ (Learning Vector Quantization) таңдалды. LVQ – кіріс векторларын жіктеу желісі, ол Кохоненнің өзін-өзі ұйымдастыратын картасы (SOM) принциптерінің дамуы болып табылады (Нейронные сети в диагностике и управлении энергосистемами. 2023).

Әрбір нейрондық желінің шығуы логикалық блоктар арқылы талданады. Үйдегі энергияны тұтыну жүйесінің әр күйіне бір логикалық блок сәйкес келеді. Барлығы сегіз жағдайға арналған шешуші ережелер жасалды.

1) Күн панельдері шығаратын энергия жеткілікті, сіз энергияны сақтау режимін қолдана аласыз

$$F_1 = Ref \& TV \& Est \& Ov \& WsM \& PC \& Pot \& DsM \& Vac \& Ir \& McW \& MCo \& bulb \& Ht \& Led \quad (1)$$

2) Күн панельдері шығаратын энергия жеткілікті

$$F_2 = Ref \& TV \& Est \& Ov \& WsM \& PC \& Pot \& DsM \& Vac \& Ir \& McW \& MCo \& bulb \& Ht \& Led \quad , \quad (2)$$

3) Күн панельдері шығаратын энергия құрылғылардың жұмысына жеткілікті, сақтандыру үшін балама көзді немесе батареяны қосыңыз

$$F_3 = Ref \& TV \& Est \& Ov \& WsM \& PC \& Pot \& DsM \& Vac \& Ir \& McW \& MCo \& bulb \& Ht \& Led \quad , \quad (3)$$

4) Күн панельдері шығаратын энергия қосылған құрылғылардың жұмысына жеткілікті, сақтандыру үшін балама көзді немесе батареяны қосыңыз

$$F_4 = Ref \& TV \& Est \& Ov \& WsM \& PC \& Pot \& DsM \& Vac \& Ir \& McW \& MCo \& bulb \& Ht \& Led \quad , \quad (4)$$

5) Күн панельдері шығаратын энергия қосылған құрылғылардың жұмысына жеткілікті

$$F_5 = Ref \& TV \& Est \& Ov \& WsM \& PC \& Pot \& DsM \& Vac \& Ir \& McW \& MCo \& bulb \& Ht \& Led \quad , \quad (5)$$

6) Күн панельдері шығаратын энергия жеткілікті, сіз энергияны сақтау режимін қолдана аласыз

$$F_6 = Ref \& TV \& Est \& Ov \& WsM \& PC \& Pot \& DsM \& Vac \& Ir \& McW \& MCo \& bulb \& Ht \& Led \quad , \quad (6)$$

7) Күн панельдері шығаратын энергия құрылғылардың жұмысына әрең жетеді, сақтандыру үшін балама көзді немесе батареяны қосыңыз

$$F_7 = Ref \& TV \& Est \& Ov \& WsM \& PC \& Pot \& DsM \& Vac \& Ir \& McW \& MCo \& bulb \& Ht \& Led \quad , \quad (7)$$

8) Күн панельдері шығаратын артық энергия, энергияны сақтау режимін қолдануға болады

$$F_8 = Ref \& TV \& Est \& Ov \& WsM \& PC \& Pot \& DsM \& Vac \& Ir \& McW \& MCo \& bulb \& Ht \& Led \quad , \quad (8)$$

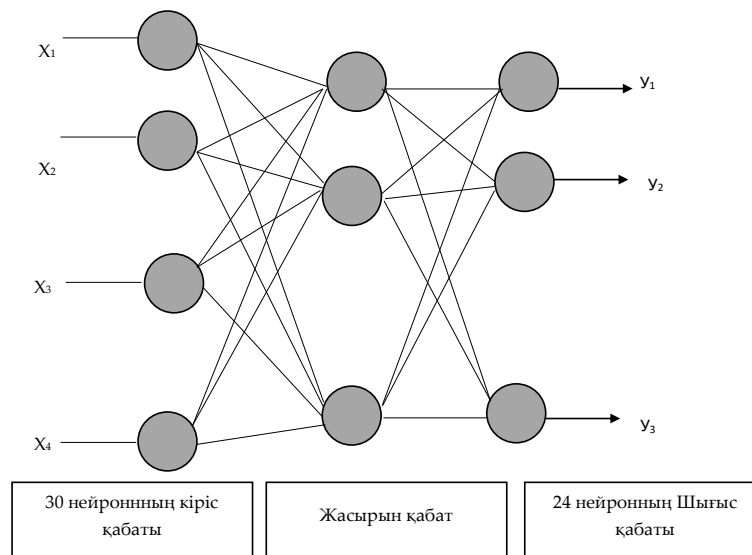
Мұнда Ref, TV, Est, Ov, WsM, PC, Pot, DsM, Vac, Ir, McW, MCo, bulb, Ht, Led, TV, (Est), Ov, WsM, PC, Pot, DsM, Vac, Ir, McW, MCo, Bulb – нейрондық желі шығуларынан алынған мәліметтер.

Нейрондық желілердің шығуын талдау сатысында (1...k) шешуші ережелерге (1–8) сәйкес үйді электрмен жабдықтау жағдайы анықталады. Суретте MathLab 6.5 ортасында жүзеге асырылған нейрондық желіні талдау схемасы көрсетілген.

Басым шифратор нейрондық желілерден алынған k мәнін талдау нәтижесінде нақты шешімдердің бірін таңдайды. Шифратордың шығуында кіріс желісінің нөміріне сәйкес оң

кіріс сигналы кодталады (яғни, талдауға қатысатын k нейрондық желілерінің бірінен логикалық "1" сигналы келгенде). Егер бірнеше кіріс сигналы бір уақытта түскен жағдайда, ең үлкен нөмірлі кіріс шығыс кодын анықтайды, яғни жоғары нөмірлі кірістер төменгілерге қарағанда басымдыққа ие болады.

Осы кезеңнің нәтижесі энергия тұтыну жүйесінің күйін көрсететін қорытынды нөмір болып табылады. Алынған нөмірге сәйкес пайдаланушыға энергия тұтыну жағдайының сөздік сипаттамасы беріледі.



1-сурет. MathLab 6.5 ортасында жүзеге асырылған нейрондық желіні талдау сызбасы
Ескерту – авторлар құрастырған

Оқыту сапасын бағалау үшін келесі параметрлердің әсері зерттелді: оқ үлгісінің артық болуы, шуылдың мөлшері, жылжу мөлшері, жасырын қабат нейрондарының саны, оқ укезеңдерінің саны.

Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде НС LVQ оқыту сапасының келесі сандық көрсеткіштері алынды:

- ерекшелігі: 80 %;
- сезімталдық: 70 %;
- жалпылау қатесі: 0,25;
- оқу қатесі: 0,08.

Нейрондық желіні үйреткеннен кейін, құрастырылған анық емес модельдің құрылымында 252 ереже болады.

Алынған нәтижелер электр жүктемесін болжау үшін ұсынылған тәсілді қолдану мүмкіндігін көрсетеді. Нейрондық желілер дәстүрлі статистикалық әдістерге балама энергия тұтынуды болжау мәселелерін шешудің қолайлы құралы болып табылады. Болжамның дәлдігін одан әрі арттыру желі құрылымын дәлірек және дәл баптау және кіріс параметрлерінің санын өзгерту арқылы мүмкін болады.

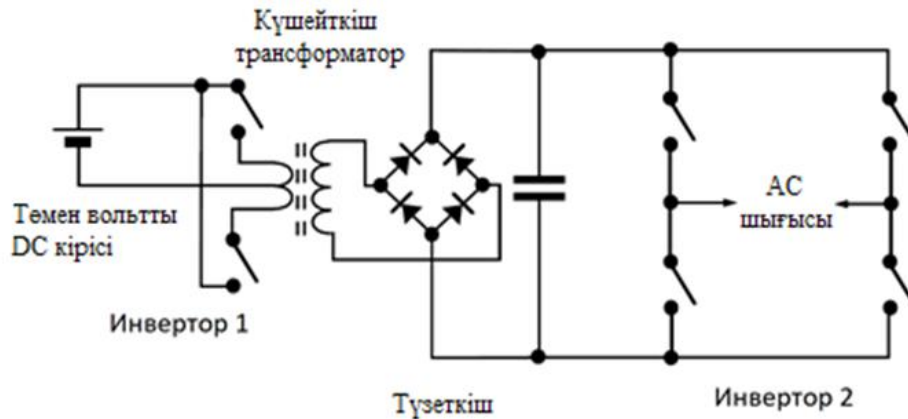
ЭКСПЕРИМЕНТТІК ҚОНДЫРҒЫ ҚҰРУ ЖӘНЕ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ

Эксперименттік қондырғыға арналған генераторларды таңдау қолда бар жабдыққа байланысты жасалды. Қарастырылған жүйеде инвертор генераторлар мен жүйенің жүктемесі бар бөлігін байланыстыратын көпір қызметін атқарады.

Осы жұмыс аясында 550 Вт желілік инвертор жобаланып, жасалды. Жүйенің негізгі байланыс схемасы келесідей: жүйеде екі шина бар – тұрақты ток шинасы және айнымалы ток шинасы.

Барлық тұрақты ток қондырғылары (фотоэлектрлік панельдер, DWT, балласт жүктемесі, батареялар) тұрақты ток шинасына қосылады.

Барлық айнымалы ток қондырғылары (жүктемелер, желі) айнымалы ток шинасына қосылады. Инвертор екі шинаға да қосылып, оларды бір-бірімен байланыстырады. Эксперименттік қондырғыда қолданылатын инвертор тізбегінің топологиясы суретте көрсетілген.



2-сурет. DC-DC түрлендіргіші бар Инвертор

Ескерту – авторлар Guo G. et al. 2024 деректері негізінде құрастырылған

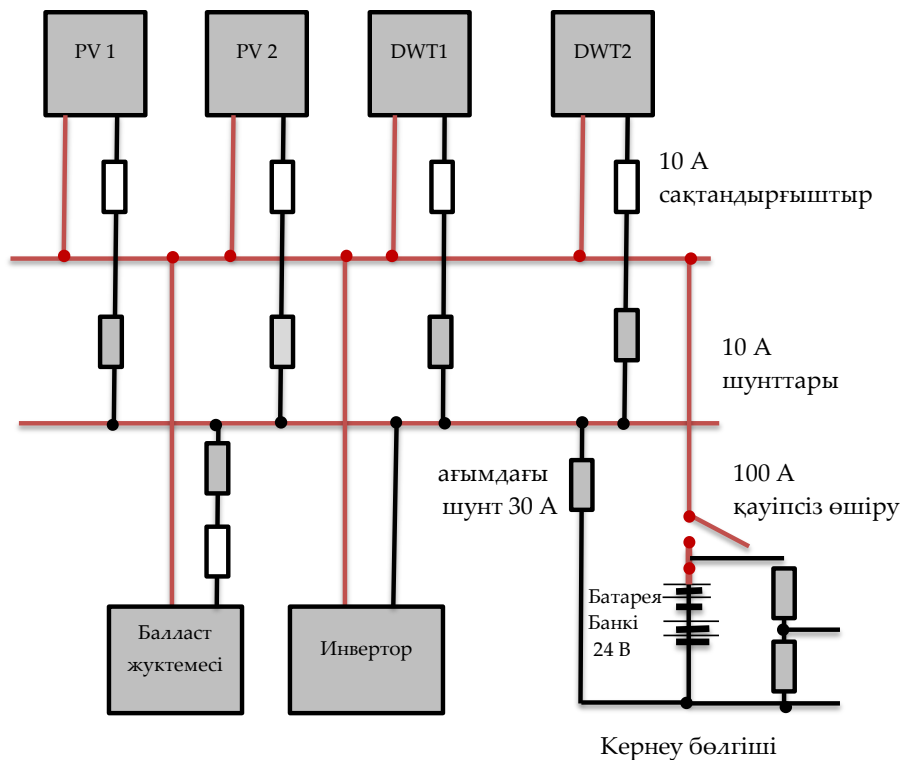
Эксперименттік қондырғының бұл бөлімі инвертордан (бұл жағдайда ажыратқыш) тұрады, одан кейін трансформатор және түзеткіш орналасады. Бұл схема күрделі болса да, белгілі бір артықшылықтарға ие. Инвертордың шығысы трансформатор арқылы өткенде, трансформатор инвертордың шығу жиілігіне сәйкес жұмыс істеуге арналған болуы тиіс.

1-кесте. Жабдықтар тізімі

Жүйе компоненті	Өндіруші	Саны
Saturn 80, монокристалды фотоэлектрлік модуль, номиналды кернеуі 12 В, максималды қуаты 80 Вт	BP Solar	2
МАХ-50, поликристалды фотоэлектрлік модуль, номиналды кернеуі 12 В, максималды қуаты 50 Вт	Solarex	2
Қорғасын-қышқылды батарея, 12 В, 75 ампер-сағат	Varta	2
24 В кіріс инверторы, 230 В Шығыс, 550 Вт максималды қуат	Жеке өндіріс	1
Балласт жүктемесі, 24 В, 200 Вт максималды, реттегіш шунтпен және кірісті басқарумен	Жеке өндіріс	1
Сақтандырғыштары, батарея оқшаулағышы, ток шунттары және кернеу бөлгіші бар клеммалық қалып	Жеке өндіріс	1
Intel Core i3 компьютері, 4 Гб жедел жады, 500 Гб HDD	Түрлі компоненттерден жиналған	1
PCI - 6023e, деректерді жинау картасы, 8 аналогтық кіріс арналары, 8 Сандық шығыс желілері	National Instruments	1

Ескерту – авторлар құрастырған

Жүйе суретке сәйкес жиналды.



3-сурет. Тұрақты ток жабдықтарын қосу схемасы

Ескерту – авторлар құрастырған

Әр типтегі фотоэлектрлік панельдер екі қатарға қосылып, 12 В батареядан тұратын екі қатарлы 24 В батарея жүйесіне қосылады. Жел турбинасының екі модулі (DWT) де аккумуляторға қосылады. Олар айнымалы ток тудыратыны үшін әрбірінде түзеткіш қолданылады.

Инвертор батареядан кіріс сигналын қабылдап, электр желісіне шығудан қуатты береді, яғни кез келген басқа электр аспабы сияқты розеткаға қосылады. Тұрақты ток жүйесінің барлық кернеулері мен токтары, сондай-ақ инвертор күйі DAQ тақтасы бар компьютер арқылы жазылып, бақыланады. Ethernet арқылы бұл компьютер басқа физикалық қашықтықтағы компьютерге қосылып, екінші компьютер жүктемелердің күйін бақылайды және айнымалы ток тұтынушыларын басқарады.

Жүйе компоненттерінің функционалдығын тексеру және жеке тексерулерде анықталмайтын кедергілерді табу үшін сандық сүзгі қолданылды. DAQ картасы бірнеше үлгіні алып, орташа мәнді есептейді, сондықтан қарапайым төмен өту сүзгісі бағдарламалық жасақтамада жүзеге асырылды. 1 секундта 1000 үлгі алу және 100 үлгінің орташа мәнін есептеу пульсацияны қолайлы деңгейге төмендетті, бірақ бұл есептеу қуатын айтарлықтай қажет етеді.

Ұсынылған жүйе анық емес логика элементтерін қолданып, электр жүктемелерін «ақылды» ету әдісін қажет етті. «Ақылды розетка» құрылысын жобалау AIS2020 симпозиумында егжей-тегжейлі қарастырылып, жарияланды.

Бағдарламалық қамтамасыз ету төрт негізгі блоктан тұрады:

- Өлшеу деректері;
- Қуат көрсеткіштері;

- Электр энергиясын өндіру және тұтыну;
- Болжамды модель.

«Өлшеу деректері» қойындысында кесте бар, оның әр жолы соңғы бес мәннен басқа бір өлшемді білдіреді, себебі кейбір мәндер басқа кезеңде есептеледі (суретті қараңыз).

Өлшеу деректері		Қуат көрсеткіштері			Электр энергиясының өндірісі мен тұтынуы				Болжамдық модель									
Өлшеу күні мен уақыты	Тұрақты ток шинасының кернеуі, В	PV1 шығыс тогы, А	PV2 шығыс тогы, А	DWT1 шығыс тогы, А	DWT2 шығыс тогы, А	Балласт жүктемесінің кіріс тогы, А	Батареяның кіріс тогы, А	Айнымалы ток желісінің кернеуі, В	Инвертордың шығыс тогы, А	Желіден тұтынылатын ток, А	Жүктеме тұтынылатын жалпы ток, А	Құрылымы 1 қосылған	Құрылымы 2 қосылған	Құрылымы 3 қосылған	Құрылымы 4 қосылған	PV1 генерациялайтын қуат, Вт	PV2 генерациялайтын қуат, Вт	DWT1 генерациялайтын қуат, Вт

4-сурет. «Өлшеу деректері» қойындысы

Ескерту – авторлар Найзабаева А.А деректері негізінде құрастырған

Кесте келесі өрістер:

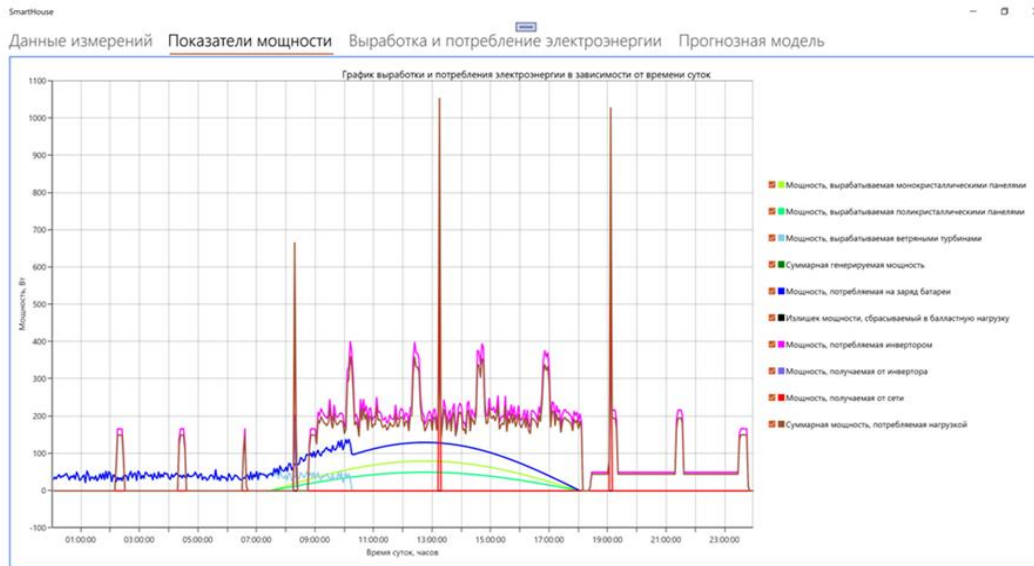
- күні мен уақыты өлшеу;
- DC кернеуі, В;
- pv1, а ШЫҒЫС ТОГЫ;
- pv2, а ШЫҒЫС ТОГЫ;
- dwt1, а ШЫҒЫС ТОГЫ;
- dwt2, а ШЫҒЫС ТОГЫ;
- балласт жүктемесінің кіріс тогы, А;
- батареяның кіріс тогы және;
- айнымалы ток желісіндегі кернеу, В;
- инвертордың ток шығысы, А;
- желіден тұтынылатын ток, А;
- жүктеме арқылы тұтынылатын жалпы ток, А;
- 1 құрылғысы қосулы, иә/жоқ;
- 2 құрылғысы қосулы, иә/жоқ;
- 3 құрылғысы қосулы, иә/жоқ;
- 4 құрылғысы қосулы, иә/жоқ;
- pv1, Вт шығаратын қуат;
- pv2, Вт шығаратын қуат;
- dwt1, А арқылы өндірілетін қуат;
- жалпы өндірілетін қуат, Вт;
- батарея зарядына тұтынылатын қуат, Вт;
- балласт жүктемесіне артық қуатты есептеу, Вт;
- инвертор тұтыныатын қуат, Вт;
- инвертордан алынатын қуат, Вт;
- желіден алынатын қуат, Вт;
- жүктеме тұтыныатын қуат, Вт.

«Деректерді жүктеу» батырмасын басқан кезде деректерді бағдарламалық өнімге беру жүзеге асырылады және жүктелген жазбалар санымен «деректерді жүктеу аяқталды» терезесі пайда болады.

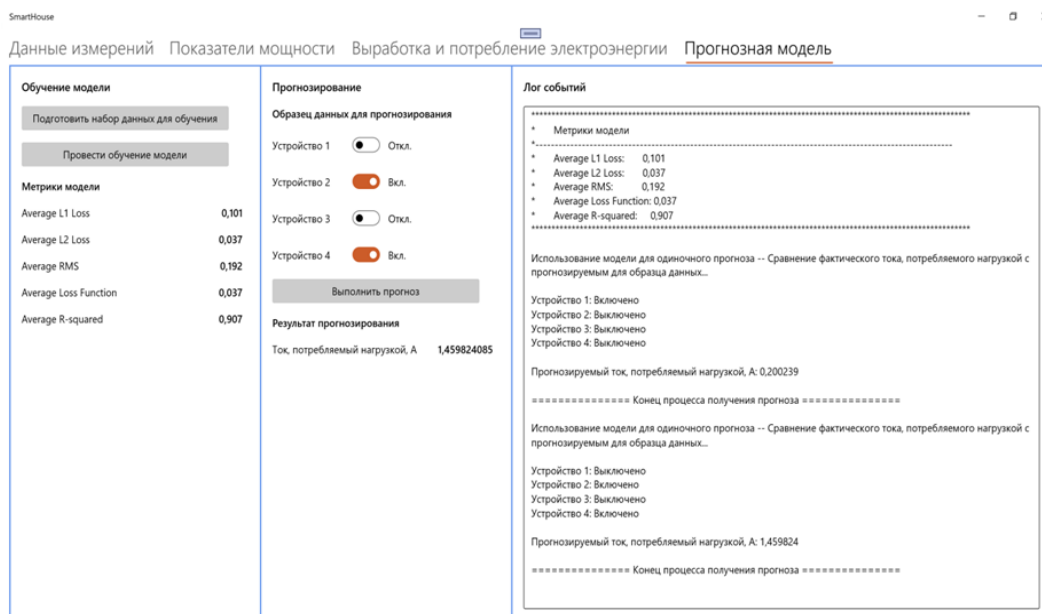
«Қуат көрсеткіштері» қойындысы терезесінің оң жақ бөлігі (суретті қараңыз) келесі графикалық түрде көрсетілген есептік көрсеткіштерді таңдау үшін жалаушаларды орнатуға мүмкіндік береді:

- монокристалды панельдер шығаратын қуат;
- поликристалды панельдер шығаратын қуат;
- жел турбиналары шығаратын қуат;

- жиынтық қуаты;
- батарея қуатын тұтынатын қуат;
- балласт жүктемесіне лақтырылатын артық қуатты есептеу;
- инвертор тұтынатын қуат;
- инвертордан алынған қуат;
- желіден алынатын қуат;
- жүктеме тұтынатын жалпы қуат.



5-сурет. «Қуат көрсеткіштері» қойындысы, суретте бір уақытта қосылған екі құрылғы үшін болжау мысалы келтірілген
Ескерту – авторлар Найзабаева А.А деректері негізінде құрастырған



6-сурет. Қосылған екі құрылғы үшін болжау мысалы, болжау нәтижелері бойынша модельдеу дәлдігі 91 % құрайды
Ескерту – авторлар Найзабаева А.А деректері негізінде құрастырған

ҚОРЫТЫНДЫ

Дамыған елдерде, мысалы, АҚШ, Жапония, Ұлыбритания және Еуропалық Одақтың кейбір елдерінде энергия үнемдеу саясатына заманауи озық тәсілдер қолданылып келеді. Әлемде және Қазақстан Республикасында энергия тиімділігінің даму тенденциялары қарастырылды.

«Ақылды үйді автоматтандыру жүйелеріне арналған зерттеулер талданды, олардың әдістері мен энергияны үнемдеу бойынша ұсыныстар беру әлеуеті бағаланды. Эксперименттік қондырғыға арналған генераторларды таңдау қолда бар жабдыққа байланысты жасалды». (https://www.ektu.kz/files/research/DissertationCouncil/Naizabayeva/%D0%94%D0%B8%D1%81%D1%81%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F_2023_17_%D0%B8%D1%8E%D0%BB%D1%8F.pdf)

Қондырғыда монокристалды және поликристалды фотоэлектрлік модульдер қолданылды. Шатырға орнатылғаннан кейін олар кіріктірілген жаңартылатын энергия көздері ретінде қарастырылды.

Бағдарламалық жасақтама әзірленген схемалар мен талаптарға сәйкес C# ортасында жүзеге асырылды.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- Baek J., Kim H., Lee S., Park J., & Choi Y. (2022). Enhanced LSTM-based community energy consumption prediction considering occupant behaviour // *Energy and Buildings*. – Vol. 258. – DOI: 10.1016/j.enbuild.2022.111815. (In Eng.)
- El Alaoui M., Rougui M., Lamrani A. (2024). Examining the Application of Artificial Neural Networks (ANNs) for Advancing Energy Efficiency in Buildings: A Comprehensive Review // *Journal of Sustainable Research*. – DOI: 10.20900/jsr20240015. (In Eng.)
- Guo G., Li H., Zhang X., & Wang Y. (2024). Early energy performance analysis of smart buildings by ANN and metaheuristic optimization // *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. – DOI: 10.1016/j.seta.2024.103568. (In Eng.)
- Liang Z., Chen L., & Wang J. (2025). Research on building energy consumption prediction: a customised convolutional neural network with Q-Learning (CCNN-QL) // *Energy Informatics*. – DOI: 10.1186/s42162-025-00483-y. (In Eng.)
- Michalakopoulos V., Karypidis S., & Papadopoulos F. (2023). Data-driven building energy efficiency prediction using physics-informed neural networks // *arXiv preprint*. – arXiv:2311.08035. (In Eng.)
- Mishra A., Lone H.R., & Mishra A. (2023). DECODE: Data-driven Energy Consumption Prediction leveraging Historical Data and Environmental Factors in Buildings // *arXiv preprint*. – arXiv:2309.02908. (In Eng.)
- Rani U., Singh A., & Kumar P. (2024). Deep learning-based urban energy forecasting model for household energy efficiency // *Building Simulation*. – DOI: 10.1177/01445987241257590. (In Eng.)
- Salter P., Huang Q., & Tabares-Velasco P.C. (2024). Quantifying and Predicting Residential Building Flexibility Using Machine Learning Methods // *Applied Energy*. – DOI: 10.1016/j.apenergy.2024.120937. (In Eng.)
- Швец О., Зибауэр М., Найзабаева А. (18-ДАУ-3р), Толегазин А. (20-МАУ-2р). Оптимизация автономных систем электроснабжения для повышения энергоэффективности // 15th International Symposium on Applied Informatics and Related Areas organized in the frame of Hungarian Science Festival 2020 by Óbuda University, 12.11.2020. // Shvets O., Seebauer M., Naizabayeva A. (18-DAU-3p), Toleugazin A. (20-MAU-2p). Avtonomnye sistemy elektrosnabzheniya: optimizatsiya dlya povysheniya energoeffektivnosti [Autonomous power supply systems optimization for energy efficiency increasing] (In Russ.)

- Tomar D., Singh R., & Gupta A. (2022). Deep Learning Neural Network Prediction System for Domestic Electric Power Consumption of a Single Residential Building // *Energies*. – DOI: 10.3390/en15030874. (In Eng.)
- Yin Q., Zhang L., & Wang X. (2024). A Review of Research on Building Energy Consumption Prediction Using Neural Networks // *Sustainability*. – Vol. 16(17), p. 7805. – DOI: 10.3390/su16177805. (In Eng.)
- Аленин И.Э. (2023). Применение технологии нейронных сетей и BIM-данных в энергетике зданий // СГГИТ сборник трудов. – Новосибирск. – С. 23–29. // Alenin I.E. Primenenie tekhnologii neyronnykh setey i BIM-dannykh v energetike zdaniy [Application of neural networks and BIM-data technology in building energy] (In Russ.)
- Билалова А.И. (2023). Прогнозирование потребления и повышение качества электроэнергии. – Ульяновск: УлГТУ. – 78 с. // Bilalova A.I. Prognozirovanie potrebleniya i povyshenie kachestva elektroenergii [Prediction of consumption and improvement of electricity quality] (In Russ.)
- Найзабаева А.А. (2023). Контроль и управление системы энергопотребления с использованием нейронных сетей // Диссертация на соискание степени доктора философии (PhD) – Усть-Каменогорск: ВКТУ им.Д.Серикбаева. // Naizabayeva A.A. Kontrol i upravlenie sistemy energopotrebleniya s ispol'zovaniem neyronnykh setey [Control and management of energy consumption system using neural networks] (In Russ.)
- Нейроинформатика-2023: сборник материалов конф. – М.: МИФИ, 2023. – 512 с. // Neuroinformatika-2023: sbornik materialov konf. [Neuroinformatics-2023: Conference proceedings] (In Russ.)
- Нейронные сети в диагностике и управлении энергосистемами // Энергоэффект. – Минск, 2023. – № 4. – С. 33–40. // Neyronnye seti v diagnostike i upravlenii energosistemami [Neural networks in diagnostics and management of energy systems] (In Russ.)
- Рахмонов И.У. (2023). Прогнозирование электропотребления с помощью нейронных сетей (с LSTM) // Наука и образование сегодня. – № 8(83). – С. 32–38. // Rakhmonov I.U. Prognozirovanie elektropotrebleniya s pomoshch'yu neyronnykh setey (s LSTM) [Electricity consumption forecasting using neural networks (with LSTM)] (In Russ.)
- Сидорова Н.В., Петров А.А. (2023). Применение RNN и WaveNet для прогнозирования энергопотребления // Вестник Чувашского университета. – № 4. – С. 57–65. – DOI: 10.47026/1810-1909-2023-4-57-65. // Sidorova N.V., Petrov A.A. Primenenie RNN i WaveNet dlya prognozirovaniya energopotrebleniya [Application of RNN and WaveNet for energy consumption forecasting] (In Russ.)
- Староверов Б.А. (2023). Ансамбли нейронных сетей для прогнозирования электропотребления. – Омск: ОмГТУ. – 138 с. // Staroverov B.A. Ansambli neyronnykh setey dlya prognozirovaniya elektropotrebleniya [Neural network ensembles for electricity consumption forecasting] (In Russ.)
- Устинов Д.А. (2022). Прогнозирование потребления электроэнергии с учётом внедрения ВИЭ. – СПб: СПГИ. – 94 с. // Ustinov D.A. Prognozirovanie potrebleniya elektroenergii s uchetom vnedreniya VIE [Electricity consumption forecasting considering RES implementation] (In Russ.)
- Шлепнёва Т.О. (2025). Искусственный интеллект и нейросетевые технологии в энергетике // Инновации и безопасность регионов. – № 1(12). – С. 45–52. // Shlepneva T.O. Iskusstvennyy intellekt i neyrosetevyye tekhnologii v energetike [Artificial intelligence and neural network technologies in energy] (In Russ.)
- Энергия знаний: современные IT-технологии в энергетике: сборник статей. – Курск: ЮЗГУ, 2024. – 214 с. // Energiya znaniy: sovremennyye IT-tekhnologii v energetike: sbornik statey [Energy of knowledge: modern IT technologies in energy] (In Russ.)

Авторлар туралы мәліметтер
Информация об авторах
Information about authors



Найзабаева Асель Айбарқызы – PhD, ғылыми қызметкер, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

Найзабаева Асель Айбаровна – Phd, научный сотрудник, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Naizabayeva Asel Aybarkyzy – PhD, Research Fellow, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan,
e-mail: aselnaizabaeva@mail.ru ,
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9334-5087>



Алимханова Аслима Жеңісқызы – PhD сеньор лектор КазУТБ им К Құлажанова, Астана қаласы, Қазақстан

Алимханова Аслима Женисовна – PhD сеньор лектор КазУТБ им К Кулажанова, г. Астана, Казахстан

Alimkhanova Aslima Zheniskyzy – PhD, Senior Lecturer, KazUTB named after K. Kulazhanov, Astana, Kazakhstan,
e-mail: alimhanova@mail.ru



Қуанышбекқызы Кербез – техника және технология магистрі, Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

Қуанышбекқызы Кербез – магистр социальных наук, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Kuanyshbekkyzy Kerbez – master of Engineering and Technology, East Kazakhstan Technical University named after D. Serikbaev, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan,
e-mail: kuanyshbekkyzy.kerbez@gmail.com,
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7847-2710> ,



Ерсаинова Жансая Ерланқызы – техника ғылымдарының магистрі, Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

Ерсаинова Жансая Ерлановна – магистр технических наук, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Ersainova Zhansaya Erlanovna – master of Engineering Sciences, East Kazakhstan Technical University named after D. Serikbayev, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan
e-mail: zhansaya.ersayynova@mail.ru ,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4052-8830>,