

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/ТЕНХ1390>

***Ф. Ж. Тасболат¹, И. А. Султангузин², А. Ш. Алимгазин³,
Ц. Цэрэндорж⁴, К. Б. Сулейменов⁵**

^{1,3}Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,
Қазақстан Республикасы, Астана қ.;

^{2,4}«МЭИ» Ұлттық зерттеу университеті, Ресей Федерациясы, Мәскеу қ.;

⁵«Innovation Technology Center» ЖШС,
Қазақстан Республикасы Астана қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3790-2097>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6324-5214>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5848-1842>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4827-7221>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6283-9164>

*e-mail: tasbolat_gzh@enu.kz

ЖАҢАРТЫЛҒАН ЭНЕРГИЯ КӨЗДЕРІН ПАЙДАЛАНАТЫН, ЖЫЛУ ОҚШАУЛАУЫ БАР ЭНЕРГИЯ БЕЛСЕНДІ ҮЙ

Мақалада пассив үй стандарттарын және жаңартылған энергия көздерін (ЖЭК) интеграциялауды біріктіретін автономды жылумен жабдықтау жүйелері үшін энергия тиімді шешімдері зерттеледі. Ақмола облысы, Зеренді ауылы аумағындағы «Тұмар» оқу-сауықтыру орталығының (ОСО) мысалында кешенді тәсілдер ұсынылған. Бұл тәсілдерге келесі шаралар кіреді: қоршау құрылымдарын жаңғырту (қабырғалар мен шатырды жылу оқшаулау, терезелерді ауыстыру), соның нәтижесінде жылу жоғалту 74 %-ға төмендеген; қуаты 34,5 кВт геотермалдық жылу сорғысы орнатылған, мұнда резервтік орталықтандырылған жылыту жүйесі тек шекті жүктеме кезінде ғана іске қосылады; 136 монокристалды панельден тұратын күн энергетикалық жүйесі, ол фотоэлектрлік жүйелерді модельдеу бағдарламасында жергілікті күн радиациясы мен энергия шығындарын ескере отырып жобаланған. Нәтижесінде жүйе жылына 95 816 кВт·сағ электр энергиясын өндіреді және нысанның жалпы энергия тұтынуының 87 %-ын қамтамасыз етеді. PHPP (Passive House Planning Package) және designPH бағдарламаларында

жүргізілген модельдеу жылдық жылу энергиясын тұтынудың $51(\text{кВт} \cdot \text{сағ})/(\text{м}^2 \cdot \text{жыл})$ деңгейіне дейін төмендегенін растайды, бұл нысанды өңірдің климаттық ерекшеліктерін ескере отырып пассив үй стандарттарына ($\leq 15 \text{кВт} \cdot \text{сағ}/(\text{м}^2 \cdot \text{жыл})$) жақындатады. Зерттеу нәтижелері Қазақстанның күрт континенттік климатында ұсынылған шешімдердің тиімділігін дәлеледейді. Мақалада экономикалық шектеулер мен сенімділік талаптарын ескере отырып, шалғай орналасқан өңірлерде автономды жүйелерді жобалауға арналған практикалық алгоритмдер ұсынылады.

Кілтті сөздер: пассивті үй, жаңартылған энергия көздері, жылу сорғысы, РНРР, энергия балансы.

Кіріспе

Энергия адамзат өркениетінің дамуына серпін беретін негізгі факторлардың бірі ретінде әрқашан маңызды рөл атқарып келеді. Бұл құнды ресурстың тапшылығы мен орынсыз ысырап етілуі экономикалық, әлеуметтік және экологиялық тұрғыдан адамзат үшін дағдарысқа алып келуі сөзсіз [1]. Халық санының көбеюі, электр энергиясына деген сұраныстың артуы және жер бетіндегі энергетикалық ресурстар қорының азаюы құрылыс саласында анағұрлым энергия үнемдеуші тәсілдерді әзірлеу қажеттілігін туындатып отыр. Мұндай тәсілдер тұтынылатын ресурстардың көлемін азайтуға, энергияны ұтымды пайдалануға және жаңартылған энергия көздеріне көшуге бағытталған. Осыған байланысты энергия тиімді ғимараттарды жобалау кезекті мәселе ретінде қарастырылады.

Қазбалы отынды (газ, көмір, дизель отыны) пайдаланатын дәстүрлі жылыту жүйелері көміртегі негізіндегі ластануға айтарлықтай үлес қосады. Бұл мәселе Қазақстанды да қамтиды, әлім елдерінің арасында 7-орында тұр және жылына 1200 тонна CO_2 эквивалентін шығарады [2].

Бүгінгі таңда Қазақстандағы құрылыс саласы энергия тиімділігі мен үнемділік талаптарына сай келетін заманауи ғимараттарды жобалауға байланысты бірқатар маңызды міндеттермен бетпе-бет келуде. Құрылыс және тұрғын-үй коммуналдық шаруашылығы шамамен электр энергиясының 11%-ын және жылу энергиясының 40 %-дан астамын тұтынады. Осыған байланысты энергия үнемдеу мен энергия тиімділігі мәселелері айрықша өзектілікке ие болады. Қазақстандағы тұрғын үй қоры 290 млн шаршы метрден асады, оның басым бөлігі кеңестік кезеңде салынған көпқабатты ескі үйлерден тұрады және қазіргі заманғы талаптарға сәйкес келмейтін жылу жоғалтумен сипатталады. Зерттеулерге сәкес, Қазақстанда ғимараттардың жылу энергиясын тұтыну деңгейі жылына шамамен м^2 құрайды, бұл көрсеткіш Еуропа елдеріндегі орташа деңгейден (м^2) едәуір жоғары [3].

Жылу энергиясын тұтынуды азайту үшін тұрғын және қоғамдық ғимараттарды салу мен жаңғырту барысында заманауи жылуоқшаулағыш материалдарды қолдану арқылы жылу жоғалтуды төмендету қажет. ЖЭК пайдалану ғимараттардың энергия тұтынуын нөлге дейін төмендетуге мүмкіндік береді. Мұндай жағдайда ғимараттар энергиябелсенді сипатқа ие болады.

Қазақстанның жергілікті климаттық жағдайларына бейімделген ғимараттардың энергетикалық көрсеткіштерін жобалау және зерттеу олардың энергия тиімділігін арттыру мақсатында кешенді тәсіл мен оңтайлы шешімдерді іздеуді талап етеді. Бұл үш негізгі бағытты қамтиды [4]:

- ғимарат ішіндегі жайлылықты қамтамасыз ететін микроклиматты ұйымдастыру арқылы тұрғындар мен қызметкерлерге қолайлы жағдай жасау;
- озық технологиялар мен ресурстарды үнемдейтін шешімдерді қолдану арқылы энергия шығындарын барынша азайту;
- ғимараттың үнемділігін қамтамасыз ету және материалдық ресурстарды ұтымды пайдалану.

Ғимараттың пішінін, бағдарлануын және орналасуын дұрыс таңдау, жарық саңылауларын тиімді пайдалану мен ішкі микроклиматты басқару – климаттың ғимараттың жылу балансына теріс әсерін төмендетуге мүмкіндік береді. Энергиябелсенді үйді жобалау барысында сәулеттік және инженерлік шешімдердің өзара байланысын есеру маңызды.

Материалдар мен әдістері

Қазіргі заманғы құрылыс саласында энергия үнемдеуге бағытталған шешімдер белсенді түрде енгізілуде. Бұл бағытта пассивті үй, активті үй және нөлдік энергия тұтынатын ғимарат сияқты тұжырымдамалар ерекше орын алады. Құрылыс саласындағы ең энергия үнемдейтін стандарттардың бірі – 1988 жылы неміс физигі Вольфганг Файст ұсынған пассивті үй тұжырымдамасы болып табылады. Бұл стандарттың негізгі талаптарына мыналар жатады [5;6]:

- жылумен қамтамасыз етуге жұмсалатын меншікті жылу шығыны – m^2 аспауы тиіс;
- құрылымның герметикалығы – қысым айырмашылығы кезінде ауа алмасу коэффициенті болуы қажет;
- бастапқы энергияның жалпы тұтынылуы – дейін;
- жылытуға қажетті ең жоғарғы жүктеме – m_2 аспауы тиіс.

Пассивті үй технологиясы барлық жабық құрылымдардың, яғни, қабырғалардың, терезелер мен шатырлардың жоғары тиімді жылуоқшаулауын қамтамасыз етеді. Пассивті кеңістікте жылу оқшаулаудың бірнеше қабаты түзеледі, олар әдетте ішкі және сыртқы қабаттарға бөлінеді. Бұл қабаттар

бір мезгілде үй ішіндегі жылуды сақтап, сыртқы суық ауаның енуіне жол бермейді [7].

Бүгінгі таңда Қазақстанда пассивті үй стандартына толық сәйкес келетін ғимараттар жоқ. Дегенмен, Астана мен Алматы қалаларындағы эконокалалашықтар сияқты пилоттық жобалар аясында бұл тұжырымдаманың жекелеген принциптері енгізіле бастады [8]. Ел үшін келешегі зор міндеттердің бірі – нөлдік энергия тұтынуға қол жеткізу мақсатында пассивті және активті үй тәсілдерін біріктіретін интеграцияланған энергиямен қамту жүйелерін әзірлеу болып табылады.

Қазақстан аумағындағы климаттық әртүрлілік (солтүстіктегі күрт континенталды климаттан оңтүстіктегі құрғақ климатқа дейін) жобалау барысында келесі факторларды ескеретін икемді инженерлік шешімдерді талап етеді:

– температураның күрт ауытқуы (қыс мезгілінде -40°C -тан бастап жазда $+45^{\circ}\text{C}$ -қа дейін);

– шапғай ауылдар мен фермерлік шаруашылықтарда орталықтандырылған желілерге қолжетімділіктің шектеулі болуы.

RHPP және designPH пассивті үйді жоспарлау бағдарламалық пакеттері көмегімен моделдеу

Энергоэффективті үйлерді designPH және RHPP бағдарламалық пакеттері көмегімен модельдеу нысанның энергиялық балансын есептеумен ғана шектелмей, сонымен қатар оның геометриялық сипаттамаларын, жылу көпірлерін ескеруге мүмкіндік береді. Бұл – дәл осы құрылыс саласында қолданылатын архитектуралық шешімдердің алуан түрлілігін ескере отырып, аса өзекті болып табылады [9].

Жылдық жеке жылыту энергиясын есептеу үшін қолданылатын өрнек [10]:

$$Q_H = Q_T + Q_V - \eta_{GW} \cdot (Q_S + Q_I) \quad (1)$$

мұндағы:

Q_H – жылу беру жүйесіне қажетті жылдық жылу энергиясы, M^2 ;

Q_T – жылу өткізгіштік арқылы болатын жылу шығындары, M^2 ;

Q_V – желдету арқылы болатын жылу шығындары, M^2 ;

Q_S – күн сәулесі арқылы түсетін, M^2

Q_I – ішкі жылу көздерінен түсетін жылу (тұрмыстық техника, адамдар және т.б.), M^2

η_{GW} – пайдаланылатын пайдалы жылу коэффициенті.

Бұл бағдарламаның есептеу нәтижелерінің дәлдігі RHPP негізінде жобаланған ғимараттарды көпжылдық зерттеулермен, сондай-ақ пассивті

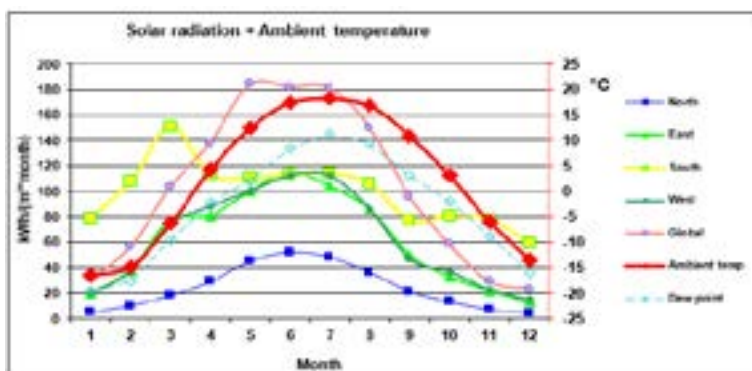
үй стандартына сәйкес салынған сертификатталған нысандарға қатысты кең көлемді деректер базасымен расталады.

Қарастырылып отырған нысан – Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетіне қарасты «Тұмар» оқу-сауықтыру орталығы (сурет-1). Бастапқы мәліметтер: пайдалануға берілген жылы – 1992 жыл, жалпы ауданы – 1993,1 м², үй-жайлар мен бөлмелер саны – 83, орташа тұрғындар саны – 50 адам, орналасқан жері – Ақмола облысы, Зеренді ауданы, Зеренді ауылы.



1-сурет – «Тұмар» ОО

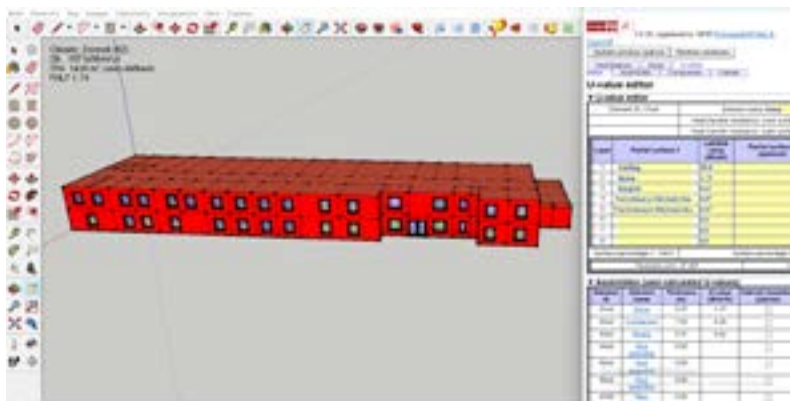
РНРР бағдарламасында келтірілген Зеренді ауылының климаттық деректері (сурет-2) бастапқы актинометриялық және климаттық ақпараттың ең кең таралған дереккөздерінің бірі болып табылатын NASA POWER1 жобасының деректер базасынан алынған [11].



2-сурет – Зеренді елді мекенінің климаттық деректері (РНРР бағдарламасына)

1 <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

Есептік жүктемелерді анықтау үшін нысанның геометриялық сипаттамаларын және жарықтың түсу бағытына қатысты бағдарлануын ескеретін үшөлшемді математикалық модель designPH бағдарламасының көмегімен құрылды (сурет-3).



3-сурет – designPH бағдарламасындағы үшөлшемді математикалық модель

designPH бағдарламасында әзірленген үшөлшемді математикалық модель нысанның геометриялық параметрлерін, жарықтың түсу төрт бұрышына қатысты бағдарлануын және қоршаушы құрылымдардың бастапқы жылутехникалық сипаттамаларын (кесте-1) ескереді. Модельдеу нәтижелері жылдық энергия тұтынуы мен ең жоғарғы жылу жүктемелерін бағалауды қоса алғанда, жылулық балансты егжей-тегжейлі есептеу үшін RHPP бағдарламасына экспортталады.

1-кесте – Ғимараттың қолданыстағы қоршаушы құрылымдарының жылутехникалық сипаттамалары

Зона	Материал	Қабырға қалыңдығы, $\delta, \text{мм}$	Жылуөткізгіштік коэффициенті, $\lambda, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	Жылу беру коэффициенті, $U, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$ $R_{\text{сеп}}, \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$

Шатыр	Профнастил (металл)	0,5	0,0377	0,622 / 1,6
	Шлак материалдар	200	0,15	
	Темірбетон плита	160	2,04	
	Ішкі сылақ	10	0,87	
Қабырға	Сайдинг (металл)	0,61	50	1,47 / 0,68
	Бетон	200	1,75	
	Кірпіш	25	0,67	
	Сыртқы сылақ	10	0,87	
	Ішкі сылақ	10	0,87	
Іргетас	Бетон	7000	2,0	0,275 / 3,6

Жылу оқшаулаусыз күйдегі қоршаушы құрылымдардың барлық жылу өткізуіне қарсы көрсеткіштері ҚР ҚН 2.04-04-2011 «Ғимараттардың жылулық қорғанысы» нормативтік құжатының базалық талаптарына сәйкес келмейді [12]. Осыған байланысты келесі энергия тиімді шешімдерді жүзеге асыру ұсынылады:

- қоршаушы құрылымдарды жылу оқшаулау;
- терезелерді ауыстыру;
- жылу насосын пайдалану;
- жаңартылған энергия көздерін (ЖЭК) енгізу.

РНРР бағдарламасындағы бастапқы күйдегі ғимаратты модельдеу нәтижелері жылу энергиясының жылдық тұтынуы m^2 екенін, ал жылулық жүктеме құрайтынын көрсетті (сурет-4).

Specific building demands with reference to the heated floor area				
Treated floor area		1431,5	m ²	
Space heating	Heating demand	197	kWh/(m ² a)	
	Heating load	65	W/m ²	
Space cooling	Overall specif. space cooling demand		kWh/(m ² a)	
	Cooling load		W/m ²	
	Frequency of overheating (> 26 °C)	0,7	%	
Primary energy	Heating, cooling, domestic hot water, auxiliary electricity, lighting, electrical appliances		kWh/(m ² a)	
	GHV, space heating and auxiliary electricity		kWh/(m ² a)	
	Specific primary energy reduction through solar electricity		kWh/(m ² a)	
	Pressurization test result $\eta_{p,0}$	0,6	%	
Requirements				Fulfilled?
15 kWh/(m ² a)				no
10 W/m ²				no
				+
				+
				+
120 kWh/(m ² a)				
				+
				+
				+
0,2 %				yes

4-сурет –Ғимараттың бастапқы күйі бойынша РНРР бағдарламасындағы моделдеу нәтижелері

Энергия тиімділігін арттыруға бағытталған іс-шаралар

Қоршау құрылымдарының жылу оқшаулауын жақсарту

Ғимараттың қоршаушы қабатының жылу оқшаулауы жылытуға қажетті жылу энергиясының көлеміне айтарлықтай әсер етеді. Жылу оқшаулағыш

қабаттың сапасы жоғары болып, ол бүкіл ғимаратты саңылаусыз және тығыз түрде қамтуы тиіс.

Ғимараттың жылу оқшаулауы қоршау құрылымдарының жылуөткізгіштік коэффициенттерін есептеу негізінде РНРР [13] бағдарламалық кешені арқылы жобаланады. Энергия тиімділігін оңтайландыру мақсатында жылу шығынын барынша азайтатын тұтас жылу оқшаулағыш қабық қалыптастыру ұсынылады, әрі кейіннен аталған бағдарламада энергия тұтынуын модельдеу жүргізіледі. Қолданылатын материалдар ретінде: шатыр құрылымдарына қалыңдықтағы базальт мақтасы және қабырға панельдеріне қалыңдықтағы жылу оқшаулағыш ұсынылды. Бұл параметрлер климаттық жүктемелер мен жылуөткізбеу талаптары ескеріле отырып таңдалған, нәтижесінде пассивті энергия балансының стандарттарына сәйкестікке қол жеткізу мүмкіндігі қамтамасыз етіледі.

Энергия үнемдеуші терезе жүйелерін енгізу арқылы жарық өткізетін құрылымдардың жылу оқшаулау сипаттамаларын оңтайландыру

Энергия үнемдеудің жаһандық сын-қатерлері жағдайында энергия үнемдеудің маңызды бағыттарының бірі – ғимараттың жалпы энергия шығынының 40 %-на дейтін жететін терезе саңылаулары арқылы жылу шығынын азайту болып табылады [14]. Зерттеліп отырған терезе блоктарының бастапқы параметрлері жылуөткізгіштік коэффициентімен

$U_g = 2,0 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ сипатталады, бұл олардың жылутехникалық сипаттамаларын арттыру қажеттілігін көрсетеді.

Зерттеу аясында қолданыстағы терезелерді келесі техникалық сипаттамаларға ие үш камералы әйнектерге ауыстыру ұсынылады:

- инфрақызыл сәулеленуді басуға арналған екі төмен эмиссиялы қабат;
- аралық кеңістіктің қалыңдығы 16 мм, 90% аргон және 10 % ауа қоспасымен толтырылған;

– жылуөткізгіштік коэффициенті : $U_g = 0,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$

– термиялық кедергі $R_{\text{отекл}} = 1,66 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$;;

– қысқатолқынды радиацияның бақыланатын өтімділігін қамтамасыз ететін күн факторы $g = 45\%$.

Жылу оқшаулау және ауыстыру жұмыстарынан кейін барлық көрсеткіштер қоршаушы құрылымдардың жылуөткізгіштікке қарсылықтың талап етілетін базалық мәніне (ҚР ҚН 2.04-04-2011 «Ғимараттардың жылулық қорғанысы») сәйкес келеді [12].

Қабырғаларды, шатырды жылу оқшаулау және терезелерді ауыстыру жұмыстарынан кейін «Тұмар» ОСО ғимаратының энергия тиімділігі стандарттарына жақындауына қол жеткізілді (2-кесте). Бір шаршы метрге

жылдық энергиясын тұтыну мөлшері $51 \frac{\text{кВт} \cdot \text{сағ}}{(\text{м}^2 \cdot \text{жыл})}$ құрады, ал ғимараттың жылулық жүктемесі – .

2-кесте Жақсартудан кейінгі ғимараттың қоршау құрылымдарының жылу-техникалық сипаттамалары

Зона	Материал	$\delta_i, \text{мм}$	$\lambda_i, \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{К}}$	$U_i, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{К}}$	$R_{\text{сн}}, \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{К}}{\text{Вт}}$	Бір шаршы метрге жылдық энергиясын тұтыну мөлшері,	Ғимараттың жылулық жүктемесі,
Шатыр	Профнастил (металл)	0,5	0,0377	0,077 / 12,99		51	31
	Ш л а к материалдар	200	0,15				
	Темірбетон плита	160	2,04				
	Ішкі сылақ	10	0,87				
	Б а з а л ь т мактасы	400	0,035				
Қабырға	С а й д и н г (металл)	0,61	50	0,134 / 7,46		51	31
	Бетон	200	1,75				
	Кірпіш	25	0,67				
	Сыртқы сылақ	10	0,87				
	Ішкі сылақ	10	0,87				
	Ж ы л у оқшаулағыш материалы	250	0,037				
Іргетас	Бетон	7000	2,0	0,275 / 3,64			

Нәтижелер және талқылау

Жылу сорғысын біріктіру

«Тұмар» ОСО үшін жылу сорғысын біріктіру бойынша ұсынылған шешім – энергия тұтынуды оңтайландырып, ғимараттың энергия үнемділігін арттыруға бағытталған тиімді шара. Қуаты **34,5 кВт** болатын геотермалдық жылу сорғысын орнату – жылыту маусымында төмен потенциалды жылу көзі ретінде жердің энергиясын пайдалану арқылы ғимаратты жылытуға

мүмкіндік береді. Жаз мезгілінде жылу сорғысы салқындату режимінде жұмыс істей отырып, кондиционерлеу жүйесіне қызмет көрсетеді. Энергия үнемдеу шараларынан кейін жылдық жылу жүктемесінің **54 кВт**-тан **31 кВт**-ка дейін төмендеуі – ғимаратта жылу жайлылығын қамтамасыз ету үшін қуатты әрі үнемді жылу сорғысын қолданудың қажеттілігін дәлілдейді.

Резервтік жылу көзі ретінде біз бұрынғы орталықтандырылған жылыту жүйесін сақтап қаламыз, оны жүктеменің шекті кезеңдерінде пайдалануға болады. Бұл жүйенің сенімділігін қамтамасыз етіп, ақаулардың туындау қаупін азайтады.

Геотермалдық жылу сорғысын резервтік орталық жылыту жүйесімен біріктіре отырып енгізу келесі артықшылықтарды береді:

- жылдық энергия тұтыну көлемін азайтады;
- қолайсыз климаттық жағдайларда да жайлы микроклиматты қамтамасыз етеді;
- қайта жаңартылған геометриялық энергияны пайдалану арқылы CO_2 шығындыларын төмендетеді.

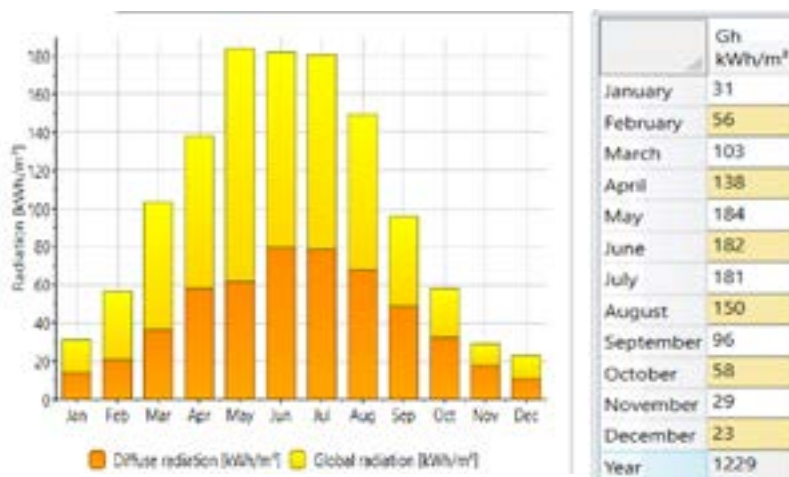
PVsyst бағдарламасын пайдалана отырып, фотоэлектрлік жүйенің жұмыс өнімділігін модельдеу және талдау

PVsyst – фотоэлектрлік жүйелерді жобалауға және модельдеуге арналған бағдарламалық құрал.

Фотоэлектрлік жүйенің құрылымы оның орналасқан жеріне тікелей байланысты, себебі әртүрлі аймақтар күн сәулесінің әрқилы мөлшерін қабылдайды. Бұл айырмашылық белгілі бір орынның күнге қатысты орналасуымен түсіндіріледі. Орналасу ерекшелігі географиялық ендік, бойлық және аймақтың қамту радиусы сияқты бірегей параметрлер жиынтығы арқылы сипатталады [15].

Зеренді – Қазақстанның солтүстігінде орналасқан ауыл, географиялық координаталары **52,90°** солтүстік ендік пен **69,10°** шығыс бойлықта, теңіз деңгейінен 437 метр биіктікте орналасқан. Жүйе Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің жанындағы «Тұмар» ОСО үшін арналған.

Зеренді ауылы бойынша PVsyst бағдарламасында пайдаланылған күн радиациясы жөніндегі деректер Meteoronorm климаттық дерекқорынан импортталған [16]. Бұл бағдарламалық модуль көпжылдық метеорологиялық бақылаулар мен спутниктік өлшеулерге негізделген және фотоэлектрлік жүйелерді жобалау үшін аса маңызды болып табылатын күн сәуленуінің параметрлерін жоғары дәлдікпен анықтайды. Зеренді аймағы үшін көлденең бетке түсетін жылдық жиынтық күн радиациясы **1229 кВт · сағ/м²** құрайды. Күн радиациясының айлық ауытқулары сурет-6 көрсетілген.



6-сурет – Күн радиациясының айлық ауытқулары

Аталған жүйе үшін жалпы қуаты болатын екі инвертор және әрқайсысының қуаты болатын 136 монокристалды модуль қажет. Шығыс қуаты барлық қажетті тиімділік түзетулерін ескере отырып есептеледі. Жүйені модельдеу нәтижелері 3-кестеде келтірілген.

3-кесте – PVsyst бағдарламасы арқылы фотоэлектрлік жүйені модельдеу нәтижелері

Параметрлері	Глобалды қолденен радиация,						Желіге берілетін энергия,
	Айлар	Көлденен диффузиялық радиация,	Қоршаған ортаның температурасы,	Глобалды инциденттік радиация	Тімді глобалды радиация,	Массивтен шыққан тиімді энергия,	
Қаңтар	32.0	13.04	-16.89	90.2	89.3	6282	5865
Ақпан	56.3	19.87	-15.39	118.3	117.0	8094	7550
Наурыз	110.8	31.85	-6.67	178.3	175.4	11712	10911
Сәуір	138.4	46.07	4.03	171.2	167.6	10745	9970
Май	190.4	65.18	12.49	194.9	190.2	11807	10951
Маусым	187.1	78.54	17.18	177.3	172.5	10611	9828
Шілде	177.0	67.39	18.41	173.7	169.2	10316	9536
Тамыз	151.0	69.05	16.95	167.2	163.4	10066	9337
Қыркүйек	96.0	42.66	10.36	128.8	126.3	7930	7341
Қазан	60.4	30.28	2.71	102.0	100.5	6579	6100
Қараша	30.9	17.27	-6.72	67.3	66.5	4517	4187
Желтоқсан	22.9	11.67	-13.66	66.3	65.6	4559	4240
Жылына	1253.2	492.88	1.99	1635.5	1603.6	103219	95816

Жүйе үшін кіріс деректер ретінде жылдық жалпы глобалды көлденең радиация алынған, оның шамасы **1253 кВт · сағ/м²**. Маусымдық оңтайлы көлбеу бұрыштар негізінде модельдеу нәтижесінде көлбеу жазықтыққа түсетін сәулелену туралы деректер алынған. Нәтижесінде жүктемеге немесе электр желісіне пайдалануға берілетін жүйеден алынған энергия **95816 кВт · сағ** құрайды.

Жүктемеге берілетін шығыс энергиясы бағдарламалық жасақтамадағы шығындарға түзетулер енгізілгеннен кейін есептеледі, бұл сурет-7 көрсетілген.



7-сурет – Жүйедегі энергия шығындарының диаграммасы

Есептік модельге сәйкес, жүйе 136 дана қуаты 500Вт болатын монокристаллды күн модулінен және жалпы қуаты 60 кВт болатын екі инвертордан тұрады. Барлық шығындарды ескере отырып, жүйе жылына көлемінде экологиялық таза электр энергиясын өндіреді. Бұл көрсеткіш оқу-сауықтыру орталықтың жылдық жалпы энергия тұтынуының шамамен 87%-ын (яғни, оның ішінде – электрмен жабдықтауға, – жылу сорғысының жұмысына) жабуға мүмкіндік береді. Нысанның энергия балансындағы жаңартылатын энергияның мұндай жоғары үлесі жобаны өңірдің тұрақты даму мақсаттарына сай келетін «жасыл» трансформацияның негізгі элементіне айналдырады.

Жоба шеңберінде өндірілген электр энергиясын күн белсенділігі төмен немесе тұтыну шыңы кезеңдерінде пайдалану мақсатында энергияны аккумуляторлық сақтау жүйелерін енгізу де қарастырылған. Аккумуляторлардың тиімділігі кешеннің жалпы өнімділігі мен сенімділігіне маңызды рөл атқарады.

Сонымен қатар, мұндай жобаларды іске асыру Қазақстан Республикасының жаңартылған энергия көздерін пайдалану саласындағы қолданыстағы заңнамасына толықтай сәйкес келеді. Қазақстан Республикасының «Жаңартылатын энергия көздерін пайдалану мәселелері бойынша қолдануды қамтамасыз ету туралы» Заңына (соңғы өзгерістерді ескере отырып) сәйкес, қуаты 200 кВт-қа дейінгі микрогенерация нысандарын құруға рұқсат етіледі. Аталған заңда шағын ауқымды нысан ретінде жалпы орнатылған қуаты 200 кВт-тан аспайтын жаңартылған энергия көздерін пайдаланатын техникалық құрылғылар түсіндіріледі [17].

Аталған заң сондай-ақ артық өндірілген электр энергиясын сатуға мүмкіндік береді. Бұл өз кезегінде жаңартылған энергия көздерін шағын кәсіпорындар, жеке шаруашылықтар мен білім беру мекемелері деңгейінде енгізу мен коммерцияландыруға ынталандыру тудырады.

Қорытынды

«Тұмар» ОСО энергия тиімділігін арттыру бағытындағы жаңғырту нәтижелері жылу шығындары мен энергия тұтынуды азайтуға кешенді тәсілдің жоғары тиімділігін дәлелдейді. Заманауи жылу оқшаулағыш материалдарды қолдану, қоршаушы құрылымдарды жаңғырту және геотермалдық жылу сорғысын енгізу арқылы жылдық энергия тұтыну деңгейін пассивті үй стандарттарына жуық көрсеткішке – бар болғаны деңгейіне дейін төмендетуге қол жеткізілді. Орнатылған күн панельдері жалпы энергия тұтынудың 87 %-ын жаба алады, ал ғимараттың жылу жүктемесі 67 %-ға төмендеді.

PHPP, designPH және PVsyst бағдарламаларында жүргізілген модельдеу нәтижелері энергия үнемдеу шараларын жаңартылған энергия көздерімен ұштастыру ғимаратты тек энергия тиімді ғана емес, сонымен қатар энергия активті етіп, оның көміртек ізіне түсетін әсерін барынша азайтатынын көрсетті. Бұл тәжірибе Қазақстанның күрт континенттік климаттық жағдайларында да энергия тұтынуы нөлге жуық ғимараттар салуға болатынын дәлелдейді. Мұндай технологияларды өңірдегі әлеуметтік және білім беру мекемелерінде енгізу орынды, себебі олар пайдалану шығындарын едәуір азайтып, заманауи экологиялық стандарттарға сай болуға мүмкіндік береді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Safdar, N., Chaudhry, I. S., Chaudhry, M. O.** Energy Consumption, Environmental degradation and economic growth in developing countries. // Pakistan Journal of Social Sciences. – 2019; 39(2). – P. 615–625 – <http://pjss.bzu.edu.pk/index.php/pjss/article/view/687/620>

2 **Шуленбаева, А. Р., Добровольская, В. В., Тажбенова Ж. О.** Перспективы строительства энергоэффективных зданий в Казахстане // Наука, техника и образование. – 2021; №8 (83). – <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-stroitelstva-energoeffektivnyh-zdaniy-v-kazahstane>

3 **Sharipov, R., Kudrevich, O., Yerzhanov, S., Shavdinova, M., Tyulyubayeva, D.** Further improvement of methods for determining energy efficiency of buildings and structures in the republic of Kazakhstan. Journal of Applied Engineering Science. – 2020. – 18(4). – P. 555 – 560. – <http://dx.doi.org/10.5937/jaes0-27202>

4 **Атай, Е. К., Куспанғалиев, Б. У., Самойлов, К. И.** Особенности формирования энергоэффективности в архитектурно-строительном комплексе Казахстана // Проблемы современной науки и образования. 2023. №8(186). – <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-formirovaniya-energoeffektivnosti-v-arhitekturno-stroitelnom-komplekse-kazahstana>

5 **Файст, В.** Основные положения по проектированию пассивных домов. – М.: ООО «КОНТИ ПРИНТ», 2015. – 144 с.

6 **Feist, W., Schnieders, J., Dorer, V., Haas, A.** Re-inventing air heating: Convenient and comfortable within the frame of the Passive House concept (2005) Energy and Buildings. – Vol. 37(11). – P. 1186–1203. – <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.06.020>

7 **Badescu, V., Rotar, N., Udrea, I.** Considerations concerning the feasibility of the German Passivhaus concept in Southern Hemisphere. Energy Efficiency. 2015; 8(5): P. 919–949. – <http://dx.doi.org/10.1007/s12053-015-9332-8>

8 **Тойшиева, А. А., Тойшиева, А. Д., Муканова, Д. М.** Формирование «зеленой» архитектуры жилых комплексов (на примере Астаны, Сиднея) ВЕСТНИК ЕНУ имени Л. Н. Гумилева. Серия технические науки и технологии №1(142)/2023. – 56 с. – <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2023-142-1-56-66>

9 **Султангузин, И. А., Шютц, У., Калякин, И. Д., Говорин, А. В., Яворовский, Ю. В., Жигулина, Е. В., Хромченков, В. Г., Малахов, А., Ланцке, Б., Дамен, А.** Расчет, строительство и обследование фасада энергоэффективного дома // Строительство и реконструкция. – 2017. – №47. – С. 110 – 118. ISSN: 2073-7416

10 Цэрэндорж, Ц., Султангузин, И. А., Махбал, Б., Калякин, И. Д., Яцюк, Т. В. Оценка энергоэффективности здания в Монголии и достижение нулевого энергетического баланса // XXVIII Международная научно-техническая конференция «Гидравлические и теплотехнические системы и агрегаты» Сборник трудов конференции – 2024. – С. 269–277.

11 NASA 2024 Prediction of worldwide energy resource URL <https://power.larc.nasa.gov>

12 СТРОИТЕЛЬНЫЕ НОРМЫ РК, Тепловая защита зданий, СН РК 2.04-04-2011. – Государственные нормативы в области архитектуры, градостроительства и строительства, 2011. – 50 с.

13 Sultanguzin, I., Kalyakin, I., Govorin, A., Khristenko, B., Yavorovsky, Yu. Optimization of the energy efficient active house // 3. INGENIUERTAG 2016. Der Fakultat Maschinenbau, Electro- und Energiesysteme Gus- und Os teuropatag. NESEFF-NETZWERKTREFFEN 2016. Tagungsband. Brandenburgische Technische Universitat. Cottbus Senftenberg. 14–15 November, – 2016. – P. 8–12.

14 Султангузин, И. А., Говорин, А. В., Лукьянов, В. С. Энергоэффективные окна – важнейший элемент для достижения домом нулевого энергопотребления // ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ №8–2024. – 10 с. ISSN 1609-7505

15 Yadav, P., Kumar, N., Chandel, S. S., Simulation and performance analysis of a 1kWp photovoltaic system using PVsyst, 2015 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC), Melmaruvathur, India. – 2015. – P. 0358–0363 – <http://dx.doi.org/10.1109/ICCPEIC.2015.7259481>

16 Meteotest A. G. Meteororm: Software for Meteorological Data [Электронный ресурс]. Версия 8.2.0. Берн, Швейцария: Meteotest AG, 2023. URL: <https://meteornorm.com>

17 Закон Республики Казахстан от 19 июня 2024 года № 96-VIII ЗРК «О внесении изменений и дополнений в некоторые законодательные акты Республики Казахстан по вопросам поддержки использования возобновляемых источников энергии и электроэнергетики» <https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z2400000096>

REFERENCES

1 Safdar, N., Chaudhry, I. S., Chaudhry, M. O. Energy Consumption, Environmental degradation and economic growth in developing countries. Pakistan Journal of Social Sciences, 2019; 39(2), P. 615–625 <http://pjss.bzu.edu.pk/index.php/pjss/article/view/687/620>

2 **Shulenbayeva, A. R., Dobrovolskaya, V. V., Tajbenova, Zh. O.** Perspektivy stroitelstva energoeffektivnykh zdaniy v Kazakhstane [Prospects for the construction of energy-efficient buildings in Kazakhstan] // Nauka, tekhnika i obrazovanie. – 2021. – №8 (83). – <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-stroitelstva-energoeffektivnykh-zdaniy-v-kazakhstane>

3 **Sharipov, R., Kudrevich, O., Yerzhanov, S., Shavdinova, M., Tyulyubayeva, D.** Further improvement of methods for determining energy efficiency of buildings and structures in the republic of Kazakhstan. Journal of Applied Engineering Science. – 2020. – 18(4). – P. 555–560. – <http://dx.doi.org/10.5937/jaes0-27202>

4 **Atay, E. K., Kuspangaliev, B. U., Samoylov, K. I.** Osobennosti formirovaniya energoeffektivnosti v arkhitekturno-stroitelnom komplekse Kazakhstana [Features of forming energy efficiency in the architectural and construction complex of Kazakhstan] // Problemy sovremennoy nauki i obrazovaniya, 2023; №8(186). – <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-formirovaniya-energoeffektivnosti-v-arhitekturno-stroitelnom-komplekse-kazakhstana>

5 **Feist, W.** Osnovnye polozheniya po proektirovaniyu passivnykh domov [Basic principles for designing passive houses]. Moscow: ООО «KONTI PRINT», 2015. – 144 p.

6 **Feist, W., Schnieders, J., Dorer, V., Haas, A.** Re-inventing air heating: Convenient and comfortable within the frame of the Passive House concept (2005) Energy and Buildings, Vol. 37(11). – P. 1186-1203. – <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.06.020>

7 **Badescu, V., Rotar, N., Udrea, I.** Considerations concerning the feasibility of the German Passivhaus concept in Southern Hemisphere. Energy Efficiency. 2015; 8(5): – P. 919–949. Available from: – <http://dx.doi.org/10.1007/s12053-015-9332-8>

8 **Toyshieva, A. A., Toyshieva, A. D., Mukanova, D. M.** Formirovanie «zelenoy» arkhitektury zhilykh kompleksov (na primere Astany, Sidneya) [Formation of «green» architecture of residential complexes (case study: Astana, Sydney)] // Vestnik L. N. Gumilyov ENU. Series: Technical Sciences and Technologies. – №1(142)/2023. – P. 56. – <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2023-142-1-56-66>

9 **Sultanguzin, I. A., Schütz, U., Kalyakin, I. D., Govorin, A. V., Yavorovsky, Yu. V., Zhigulina, E. V., Khromchenkov, V. G., Malakhov, A., Lanzke, B., Damen, A.** Raschet, stroitelstvo i obsledovanie fasada energoeffektivnogo doma [Design, construction and inspection of the facade of an energy-efficient house] // Stroitelstvo i rekonstruitsiya. – 2017; №47. P. 110–118. ISSN: 2073-7416

10 **Tserendorzh, Ts., Sultanguzin, I. A., Makhbal, B., Kalyakin, I. D., Yatsyuk, T. V.** Otsenka energoeffektivnosti zdaniya v Mongolii i dostizhenie nulevogo energeticheskogo balansa [Assessment of building energy efficiency in Mongolia and achieving net-zero energy balance] // XXVIII International Scientific and Technical Conference «Hydraulic and Thermal Systems and Units». Conference Proceedings. – 2024. – P. 269–277.

11 NASA 2024 Prediction of worldwide energy resource URL – <https://power.larc.nasa.gov>

12 Stroitel'nye normy Respubliki Kazakhstan. Teplovaya zashchita zdaniy. SN RK 2.04-04-2011 [Building Codes of the Republic of Kazakhstan. Thermal Protection of Buildings. SN RK 2.04-04-2011]. – Gosudarstvennye normativy v oblasti arkhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'stva, 2011. – 50 p.

13 **Sultanguzin, I., Kalyakin, I., Govorin, A., Khristenko, B., Yavorovsky, Yu.** Optimization of the energy efficient active house // 3. INGENIUERTAG 2016. Der Fakultat Maschinenbau, Electro- und Energiesysteme Gus- und Os teuropatag. NESEFF-NETZWERKTREFFEN 2016. Tagungsband. Brandenburgische Technische Universitat. Cottbus Senftenberg. 14–15 November 2016. P. 8–12.

14 **Sultanguzin, I. A., Govorin, A. V., Lukyanov, V. S.** Energoeffektivnye okna – vazhneishiy element dlya dostizheniya domom nulevogo energopotrebleniya [Energy-efficient windows – a key element for achieving net-zero energy houses] // Energoberezhenie. – №8–2024. – 10 P. ISSN 1609-7505

15 **Yadav, P., Kumar, N., Chandel, S. S.**, Simulation and performance analysis of a 1kWp photovoltaic system using PVsyst, 2015 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC), Melmaruvathur, India. – 2015. – P. 0358-0363 – <http://dx.doi.org/10.1109/ICCPEIC.2015.7259481>

16 **Meteotest A.G.** Meteonorm: Software for Meteorological Data [Electronic resource]. Version 8.2.0. Bern, Switzerland: Meteotest AG, 2023. URL: – <https://meteonorm.com>

17 Zakon Respubliki Kazakhstan ot 19 iyunya 2024 goda №96-VIII ZRK «O vnesenii izmeneniy i dopolneniy v nekotorye zakonodatel'nye akty Respubliki Kazakhstan po voprosam podderzhki ispol'zovaniya vozobnovlyaemykh istochnikov energii i elektroenergetiki» [Law of the Republic of Kazakhstan dated June 19. – 2024. – №96-VIII LRK «On Amendments and Additions to Certain Legislative Acts of the Republic of Kazakhstan Regarding the Support of Renewable Energy and the Electric Power Industry»]. – <https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z2400000096>

21.08.25 ж. баспаға түсті.

05.11.25 ж. түзетулерімен түсті.

05.12.25. ж. басып шығаруға қабылданды.

Г. Ж. Тасболат¹, И. А. Султангузин², А. Ш. Алимгазин³,Ц. Цэрэндорж⁴, К. Б. Сулейменов⁵*^{1,3}Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева,
Республика Казахстан, г. Астана.;^{2,4}Национальный исследовательский университет «МЭИ»,
Российская Федерация, г. Москва.;⁵ТОО «Innovation Technology Center», Республика Казахстан, г. Астана.

Поступило в редакцию 21.08.25.

Поступило с исправлениями 05.11.25.

Принято в печать 05.12.25.

ЭНЕРГОАКТИВНЫЙ ДОМ С УТЕПЛЕНИЕМ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИЭ

В статье исследуются энергоэффективные решения для автономных систем теплоснабжения, объединяющие стандарты пассивного дома и интеграцию возобновляемых источников энергии (ВИЭ). На примере учебно-оздоровительного центра «Тумар» (Акмолинская область, село Зеренды) продемонстрирован комплексный подход, включающий: модернизацию ограждающих конструкций (утепление стен, крыши и замена окон), что снизило теплопотери на 74 %; геотермальный тепловой насос с мощностью 34,5 кВт, где резервное центральное отопление активируется только при пиковой нагрузке; солнечную энергосистему из 136 монокристаллических панелей, спроектированную в программе для моделирования фотоэлектрических систем с учётом местной инсоляции и потерь, что обеспечило выработку 95816 кВт·ч/год и покрытие 87 % общего энергопотребления объекта.

Моделирование в PHPP (Passive House Planning Package), designPH подтвердило снижение годового потребления тепловой энергии до 51 (кВт·ч)/(м²·год), что приближает объект к стандартам пассивного дома (≤ 15 кВт·ч/(м²·год)) с учётом климатических особенностей региона. Результаты доказывают эффективность предложенных решений для резко-континентального климата Казахстана. Статья предлагает практические алгоритмы для

проектирования автономных систем в удалённых регионах с учётом экономических ограничений и требований к надёжности.

Ключевые слова: пассивный дом, возобновляемые источники энергии, тепловой насос, PHPP, энергобаланс.

*G. Tasbolat¹, I. Sultanguzin², A. Alimgazin³, Ts. Tserendorj⁴, K. Suleimenov⁵

^{1,3}L. N. Gumilyov Eurasian National University,
Republic of Kazakhstan, Astana;

^{2,4}National Research University «MPEI», Russian Federation, Moscow;

⁵LLP «Innovation Technology Center», Republic of Kazakhstan, Astana.

Received 21.08.25.

Received in revised form 05.11.25.

Accepted for publication 05.12.25.

ENERGY-ACTIVE HOUSE WITH INSULATION AND USE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES

The article explores energy-efficient solutions for autonomous heating systems that combine passive house standards with the integration of renewable energy sources (RES). Using the example of the educational and wellness center «Tumar» (Akmola Region, Zerenda Village), a comprehensive approach is demonstrated, which includes: the modernization of building envelopes (insulation of walls and roof, and window replacement), resulting in a 74 % reduction in heat loss; a geothermal heat pump with a capacity of 34.5 kWh, where the backup central heating system is activated only during peak loads; and a solar power system consisting of 136 monocrystalline panels, designed using photovoltaic simulation software that takes into account local insolation and losses. This system generates 95,816 kWh per year, covering 87 % of the facility's total energy consumption.

Modeling in PHPP (Passive House Planning Package) and designPH confirmed a reduction in annual thermal energy consumption to 51 kWh/(m² year), bringing the facility closer to passive house standards (≤ 15 kWh/(m² year)) while accounting for the region's climatic conditions. The results demonstrate the effectiveness of the proposed solutions for Kazakhstan's sharply continental climate. The article offers practical algorithms for designing autonomous systems in remote regions, taking into account economic constraints and reliability requirements.

Keywords: passive house, renewable energy sources, heat pump, PHPP, energy balance.

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