

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

№ 3 (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/TPDW7598>

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>
	<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/EUQS2901>

**Б. К. Сакенов¹, И. В. *Кошкин^{2*},
А. И. Успанова³, А. П. Кислов⁴**

^{1,2,3}Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті,
Қазақстан Республикасы, Қостанай қ.

⁴Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3457-0194>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8637-3665>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3484-8750>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4816-8008>

e-mail: elektroenergetika@mail.ru

ҚОСТАНАЙ ӨҢІРІНДЕ ЖАБЫҚ ТОПЫРАҚ ЖАҒДАЙЫНДА ӨСІМДІКТЕРДІҢ ӨНІМДІЛІГІН РЕТТЕУ ҮШІН ЖЭК ҚОЛДАНУДЫҢ НЕГІЗДЕМЕСІ

Бұл жұмыста Қостанай өңірінің аумағында жабық топырақтағы өсімдіктер өнімділігінің негізгі параметрлерін оңтайландыру үшін жаңартылатын энергия көздерін (ЖЭК) пайдалану қарастырылады. Бұл тақырыптың өзектілігі халықтың өсуі мен жаһандық климаттың өзгеруі жағдайында азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз ету қажеттілігіне байланысты. Зерттеу күн мен жел энергиясын, сондай-ақ жылыжайларды энергиямен қамтамасыз ету үшін биогаз қондырғыларын біріктіру мүмкіндіктерін талдайды. ЖЭК көмегімен микроклимат параметрлерін (температура, ылғалдылық, жарық) бақылауды автоматтандыруға ерекше назар аударылады, бұл қазба ресурстарына тәуелділікті азайтуға және өнімнің өзіндік құнын төмендетуге мүмкіндік береді. Зерттеулер көрсеткендей, ЖЭК көмегімен жабық жүйелердегі микроклиматты басқару дақылдардың өнімділігі мен өнімділігін едәуір арттыра алады.

Мақалада өсімдіктердің өсу жағдайларын олардың физиологиялық қажеттіліктеріне тиімді бейімдеуге мүмкіндік беретін әртүрлі технологияларды қолдана отырып, температура режимдерін, жарықтандыру мен суаруды реттеудің заманауи тәсілдері сипатталған. Сондай-ақ тұрақты ауыл шаруашылығына қол жеткізу және көміртегі шығарындыларын азайту үшін ЖЭК-ке

көшудің маңыздылығы атап өтіледі. Қорытындылай келе, ЖЭК-ті Қостанай өңірінің климаттық және ресурстық ерекшеліктерін ескеретін өнімділікті бақылау жүйелеріне интеграциялау әдістемесі ұсынылған, бұл агросектордың дамуына және оның технологиялық бәсекеге қабілеттілігін арттыруға ықпал етеді.

Кілтті сөздер: жаңартылатын энергия көздері, энергетика, факторлар, тәжірибе, жылыжайлар, климат, өнімділік.

Кіріспе

Жаңартылатын энергия көздерін (ЖЭК) пайдалана отырып, жабық топырақ жағдайында өсімдіктердің өнгіштігі мен өнімділігіне әсер ететін негізгі параметрлерді реттеудің өзектілігі, ең алдымен, азық-түлік қауіпсіздігі мен Қазақстан халқының өсу факторларымен айқындалады. Жабық жүйелер дақылдарды бақыланатын жағдайларда өсіруге мүмкіндік береді, сыртқы ортаға тәуелділікті азайтады, параметрлерді реттеу өсу қарқыны мен өнімділікке тікелей әсер етеді, бұл азық-түлікпен қамтамасыз ету үшін маңызды [1]. Авторлардың жазбаларындағы заманауи зерттеулер [1; 2] өсу фазасына, дақыл түріне және тәулік уақытына байланысты параметрлерді реттеуге сараланған көзқарас өсімдіктерді өсірудің тиімділігін арттыратынын көрсетеді. Мысалы, өсімдіктердегі стресстің алдын алу үшін күндізгі және түнгі температура режимдерін реттеу керек. Сондай-ақ, авторлар [3] зерттеулеріндегі өсімдіктерді өсірудің тұйық жүйелерін жылытудың жаңа тәсілдерін ұсынады, мысалы, жылыжайдың жарық өткізгіш материалдарын оңтайландыру арқылы жылуды шоғырландыру және табиғи күн жылыту, жылу мен CO₂ өндіретін органиканы ыдыратуға негізделген биологиялық жылыту, сондай-ақ техникалық гибридтік жүйелерді пайдалану (күн панельдері мен геотермальді сорғылар) микроклиматты басқару жүйелерін электрмен жабдықтау үшін [4; 5; 6] пайдаланылады.

Ғылыми зерттеулер жаңартылатын энергия көздерінің Internet of Things (IoT) технологияларымен үйлесуіне баса назар аударады [7; 8]. Мысалы, күн массивтеріне негізделген жарықтандыруды динамикалық басқару жарық режимін желінің шамадан тыс жүктелуінсіз оңтайландыруға мүмкіндік береді. Ылғалдылық пен CO₂ бақылайтын сенсорлар желдету мен суаруды автоматты түрде реттейді, бұл қуат тұтынуды азайтады. Зерттеулер сонымен қатар гибридті жүйелер ЖЭК құбылмалылығы жағдайында тұрақтылықты қамтамасыз ететінін көрсетеді, бұл жыл бойы өндіріс үшін өте маңызды.

Тұйық жүйелердегі жаңартылатын энергия көздеріне көшу тұрақты даму мақсаттарына сәйкес келеді, дәстүрлі әдістермен салыстырғанда CO₂ шығарындыларын 30 %-дан 50 %-ға дейін төмендетеді. Ғалымдардың еңбектерінде [9; 10] биогаз қондырғылары энергия өндіріп қана қоймай,

сонымен қатар органикалық қалдықтарды кәдеге жарататыны көрсетілген, бұл айналмалы экономика принциптерін қолдайды. Дегенмен, ЖЭК енгізу технологиялардың өмірлік циклін ескеруді талап етеді: күн панельдері мен жел генераторларын өндіру экологиялық тәуекелдерді арттыруы мүмкін сирек жер металдарын пайдалануды қамтиды.

Барлық зерттеулер көрсеткендей, жаңартылатын энергия көздерін пайдалана отырып, тұйық жер параметрлерін реттеу Қостанай облысында тұрақты және жоғары өнімді ауыл шаруашылығына көшудің негізгі элементі болып табылады. Бұл тәсіл азық-түлік қауіпсіздігі мен климаттық тәуекелдерді шешіп қана қоймайды, сонымен қатар экологиялық жауапкершілікті экономикалық пайдамен үйлестіре отырып, агросектордағы аймақтың технологиялық көшбасшылығына негіз болады.

Зерттеудің мақсаты аймақтың климаттық және ресурстық ерекшеліктеріне бейімделген жабық топырақ жағдайында өсімдіктердің өнімділігін бақылау жүйелеріне ЖЭК интеграциялау әдістемесін әзірлеу болып табылады.

Материалдар мен әдістері

Қостанай өңірінің климаттық және ресурстық ерекшеліктеріне бейімделе отырып, ЖЭК өсімдіктердің өнімділігін бақылау жүйелеріне интеграциялау үшін әдістеме әзірленді.

Зерттеу қызметінің негізгі принциптері мен тәсілдері келесідей тұжырымдалған:

1—процедура – Қостанай өңірінің климаттық жағдайлары мен ресурстық жағдайын талдау;

2—процедура – жабық жердегі өнімділіктің негізгі параметрлерін зерттеу және модельдеу;

3—процедура – қол жетімді ЖЭК-ке шолу және оларды аймақтың климаттық жағдайларына бейімдеу.

ЖЭК-тің өнімділікке әсерін бағалау үшін есептеу және эксперименттік әдістер қолданылды.

Нәтижелер және талқылау

1 процедураның методологиясын іске асыру үшін Қостанай облысы зерттелді, ол метеорологиялық параметрлердің айқын маусымдық өзгергіштігі бар күрт континентальды климатпен сипатталады, бұл жабық жерде өсімдік шаруашылығына ерекше жағдай жасайды. Ауаның орташа жылдық температурасы $+3,5^{\circ}\text{C}$ құрайды, қыс мезгілі арасында айтарлықтай дисперсия бар ($-16...-18^{\circ}\text{C}$ қаңтарда) және жазғы ($+20...+22^{\circ}\text{C}$ шілдеде) көрсеткіштермен. Жылыжай шаруашылығы үшін топырақтың минималды температурасы ерекше маңызды, олар қыста -12°C -ден $...-15^{\circ}\text{C}$ -ге 20 см тереңдікте жетуі мүмкін, бұл міндетті жер асты жылытуды қажет етеді [11].

Жылдық жауын-шашын мөлшері 300-ден 350 мм-ге дейін өзгереді, жыл мезгілдері бойынша біркелкі таралмайды: шамамен 70 % жылы мезгілде (сәуір-қазан) түседі. Салыстырмалы ылғалдылық маусымдық динамиканы көрсетеді-қыс айларында 75–80 %-дан, жазда 50–55 %-ға дейін, бұл қарқынды булануға байланысты (жылына 550–600 мм) айқындалады. Мұндай жағдайлар жылыжайлардағы ылғалдылық режимін мұқият бақылауды қажет етеді, әсіресе тұқымның өну кезеңінде [11].

Күн радиациясы жылына 110–115 ккал/см² құрайды, күн сәулесінің ұзақтығы 2100–2200 сағат. Алайда, қыс айларында (желтоқсан-ақпан) бұл көрсеткіш айына 60–80 сағатқа дейін төмендейді, бұл қосымша жарықтандыру жүйелерін қолдануды қажет етеді. Жел режимі оңтүстік-батыс желдерінің орташа жылдамдығы 4–5 м/с, өтпелі кезеңдерде жеке екпіні 15–20 м/с дейін басым болуымен сипатталады, бұл жылыжай қоршау құрылымдары арқылы жылу шығынын арттырады [11].

Қостанай облысында суық қыста 1,8–2,0 м жететін топырақтың қату тереңдігі ерекше назар аударуға тұрарлық. Сонымен қатар, жабық жерде тұқымның өнуі үшін температураның тәуліктік ауытқуы (10–12°C дейін), қыста ауаның төмен абсолютті ылғалдылығы және қарашадан ақпанға дейін фотосинтетикалық белсенді сәулеленудің жетіспеушілігі ең маңызды болып табылады [11].

2-процедура жабық топырақтағы өнімділіктің негізгі параметрлері бойынша зерттеулерді қамтиды, Қостанай өңірінің барлық есептік-климаттық жағдайларын ескере отырып жүргізілді. Аймақтық климаттық ерекшеліктерді есепке алу маусымға қарамастан 85-90% деңгейінде тұқымның өнуін қамтамасыз ететін жабық жерде өсімдіктерді өсірудің тиімді режимдерін жасауға мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелері 1-кестеде келтірілген.

1-кесте – Қостанай өңірінің есептік-климаттық жағдайларының жабық топырақ жағдайында өсімдіктердің өнгіштігіне әсер етуінің факторлық-параметрлік сипаттамалары

Факторлар тобы	Нақты параметр	Оңтайлы диапазон	Крити қаық деңгей	Өнгіштікке әсері
Температуралық	Топырақ температурасы	+18...+25°C	<+10°C немесе >+35°C	Биохимиялық процестердің жылдамдығын анықтайды
	Температураның тәуліктік ауытқуы	<5°C	>10°C	Ұрықтың стрессін тудырады

Ылғалдылық	С у б с т р а т ылғалдылығы	60 – 80 % ең төменгі ылғал сыйымдылығы	<40% немесе >90%	Тұқымның ісінуін қамтамасыз етеді
	С а л ы с т ы р м а л ы ылғалдылық	65–75%	<50% немесе >85%	Булануға әсер етеді
Жарык	Ж а р ы қ қарқындылығы	10–15 мың. люкс	<5 мың. люкс	Фоторецепторларды белсендіреді
	Фотопериод	14–16 сағат	<10 сағат	Зат алмасуды реттейді
Газдық құрамы	CO ₂ концентрациясы	800–1000 ppm	<400 ppm	Өсімдіктің «тыныс алуын» ынталандырады
	O ₂ мазмұны	18–21%	<15%	Аэробты тыныс алуды қамтамасыз етеді
Топырақтық	Субстраттың pH	6,0–7,0	<5,0 немесе >8,0	Элементтердің қол жетімділігіне әсер етеді
	Электр өткізгіштік	0,8–1,2 мСм/см	>2,0 мСм/см	Осмотық қысымды анықтайды
Механикалық	Тұқым себу тереңдігі	1–3 см (тұқым мәденнетіне байланысты)	>5 см	Жарыққа / а у а ға қ о л жеткізуді шектейді
	Субстраттың тығыздығы	0,8–1,1 г/см³	>1,3 г/см³	Аэрацияға әсер етеді

1-кестеден көріп отырғанымыздай, Қостанай өңірі үшін ерекшеліктерге мыналар жатады:

- басым мәндері бар температураны, (қысқы жылыту) және ылғалдылықты (азғыруға қарсы күрес) бақылау;
- сілтілі топырақтың pH (аймақтағы типтік көрсеткіш 7,5–8,2), мерзімді негізде түзетуді қажет етеді;
- тұрақты негізде, әсіресе қарашадан ақпанға дейінгі кезеңде пайдалануға талап етілетін жасанды жарықтандыру;
- булануды азайту үшін желден қорғау.

Климаттың негізгі факторларының өсімдіктердің өнімділігі мен өнгіштігіне әсерін растау үшін регрессиялық талдау әдісі [12; 13] нәтижелі белгі мен тәуелсіз айнымалы факторлар арасындағы байланысты бағалау үшін қолданылды.

Өнгіштік көрестекішін (G) климаттық параметрлермен байланыстыратын жалпы теңдеу құрылды:

$$G = \beta_0 + \beta_1 \cdot T + \beta_2 \cdot H + \beta_3 \cdot L + \beta_4 \cdot C + \beta_{12} \cdot T \cdot H + \beta_{13} \cdot T \cdot L + \beta_{14} \cdot T \cdot C + \beta_{23} \cdot H \cdot L + \beta_{24} \cdot H \cdot C + \beta_{34} \cdot L \cdot C + \varepsilon \quad (1)$$

мұндағы: T – топырақ температурасы, °C;

H – субстраттың ылғалдылығы, %;

L – жарықтандыру, Лк;

C – CO_2 концентрациясы, ppm;

β – регрессия коэффициенті

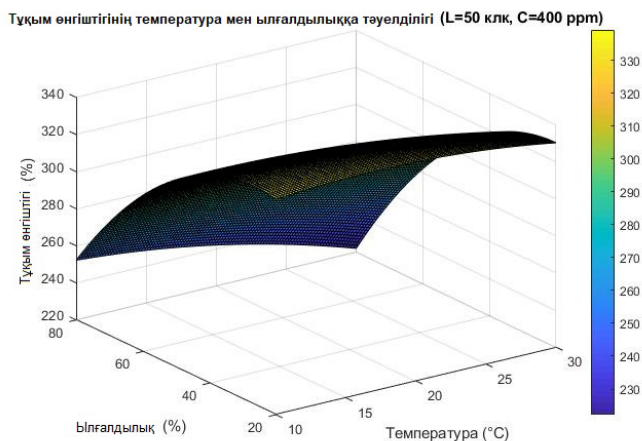
ε – кездейсоқ қате

Қостанай облысының есептік-климаттық жағдайларын ескере отырып, тәуелді кездейсоқ өнгіштік айнымалысы (G) моделі мынадай болады:

$$G = 15,2 + 2,1 \cdot T + 1,8 \cdot H + 0,9 \cdot L + 0,6 \cdot C - 0,05 \cdot T^2 - 0,03 \cdot H^2 - 0,02 \cdot T \cdot H \quad (2)$$

Өсімдіктердің өнгіштігінің әртүрлі факторларға тәуелділігін визуализациялау үшін кейбір регрессия теңдеуінің айнымалыларын бекітетін жауап беттері (MATLAB қосымшасы арқылы) салынған.

1-суретте өнгіштіктің температураға (T) және ылғалдылыққа (H) тұрақты жарықта (L) және CO_2 (C) тәуелділігін зерттеу нәтижелері келтірілген.



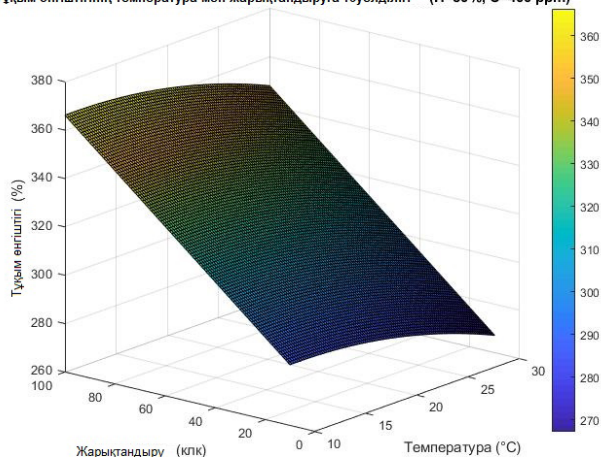
1-сурет – бекітілген L және C кезіндегі $G(T, H)$ тәуелділігі

Суреттен көріп отырғаныңыздай, максималды өну 20–25°C және 50–60 % ылғалдылық диапазонында байқалады. (<15°C) төмен температурада биохимиялық процестердің баяулауына байланысты өну күрт төмендейді.

(>70 %) жоғары ылғалдылықта тамыр аймағында оттегінің болмауына байланысты өсу баяулайды. Өзара әрекеттесу әсері $T \cdot H$ ($0.02 \cdot T \cdot H$) жоғары температура мен ылғалдылықта өнгіштіктің жеке-жеке төмендейтінін көрсетеді. Бұл ретте Қостанай облысында өну үшін оңтайлы жағдайлар $\sim 22^\circ\text{C}$ және ылғалдылықтың 55% құрайды.

2-суретте өнгіштіктің температураға (T) және жарыққа (L) тұрақты ылғалдылыққа (H) және CO_2 (C) тәуелділігі көрсетілген.

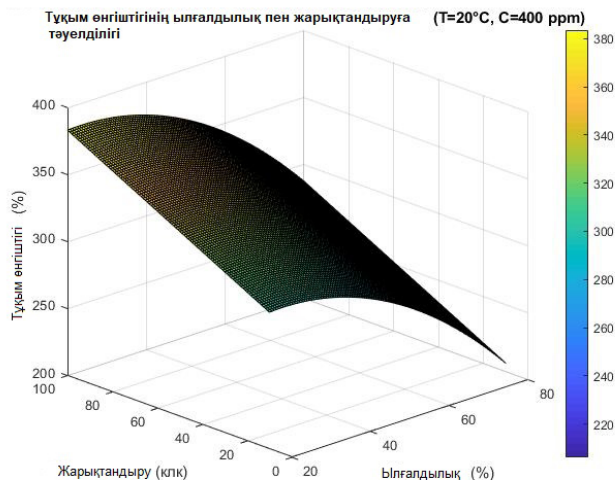
Тұқым өнгіштігінің температура мен жарықтандыруға тәуелділігі (H=50%, C=400 ppm)



2-сурет – бекітілген H және C кезіндегі G(T, L) тәуелділігі

Жауап функциясының жуықтауынан көріп отырғаныңыздай, өнгіштік жарықтың жоғарылауымен өседі, бірақ 70–80 клк-тен жоғары өсу баяулайды. ($>25^\circ\text{C}$) жоғары температурада тіпті қатты жарық жылу стрессін өтемейді. ($L < 30$ клк) көлеңкеде оңтайлы температурада да өнгіштігі төмен. Суреттен максималды өну үшін 60–80 клк жарықтандыру және $20\text{--}24^\circ\text{C}$ температура қажет екенін көруге болады.

3-суретте өнгіштік функциясындағы регрессия теңдеуін өңдеудің ылғалдылыққа (H) және жарықтандыруға (L) тұрақты температурада (T) және CO_2 (C) тәуелділігінің нәтижелері келтірілген.



3-сурет – бекітілген T және C кезіндегі G(H, L) тәуелділігі

3-суреттен көріп отырғанымыздай, (<30 %) төмен ылғалдылықта өну деңгейі жоғары жарықта да төмендейді. 50–60 % ылғалдылықта және (>50 клк) жарықтандыруда максималды әсер байқалады. (>70%) артық ылғалдылық саңырауқұлақ ауруларының қаупіне байланысты өнгіштігін төмендетеді. Сонымен қатар, ең жақсы көрсеткіштерге 50–60% ылғалдылық пен 60–80 клк жарықтандыру кезінде қол жеткізіледі.

Жүргізілген зерттеулер Қостанай облысының есептік-климаттық жағдайларын жанындағы жабық топырақ жағдайында өсімдіктердің өнгіштігі мен өнімділігіне орташа есеппен ылғалдылық көрсеткіштерін – 60 %, үй – жайлар ішіндегі орташа температура – 220C және 60–80 клк шегінде жарық көрсеткіштерін пайдалануға болатындығын көрсетті.

Жылыжай параметрлерін бақылау кезінде жаңартылатын энергия көздерін пайдаланудың тиімділігін растау үшін Қостанай облысының Федоров ауданындағы қолданыстағы жылыжай мысалында ылғалдылық пен температуралық режимді түзету мақсатында күн энергиясын пайдалану моделі ұсынылды.

Ауданы 100 м² жылыжайда және қыста сыртқы ауаның орташа температурасында -5 °C...-20 °C диапазонында жылу шығыны анықталды:

(3)

мұндағы: Q – жылу қуаты (Вт),

ΔT – жылыжайдың ішіндегі және сыртындағы температура айырмашылығы. $^{\circ}\text{C}$;

U – жылыжайдың қабырғалары мен шатыры арқылы жылу шығыны екі рет жылтыратылған кезде, $3 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ қабылданады.

Нәтижесінде жылу шығыны $8,1 \text{ кВт}$ құрады, тәуліктік жылу қажеттілігі $194,4 \text{ кВт}\cdot\text{сағ/күн}$.

Пайдалы әрекет коэффициенті (ПӘК) $60\text{--}70\%$ тиімділікпен күн вакуумды құбырлы коллекторларды пайдалану және күніне $500\text{--}700 \text{ ватт}\cdot\text{сағ/м}^2$ өндіру кезінде $194,4 \text{ кВт}\cdot\text{сағ/күн}$ жабу үшін шамамен 65 м^2 коллектор қажет болады. Жазда артық жылу топырақта немесе су ыдыстарында жиналуы мүмкін.

$13,5 \text{ кВт}\cdot\text{сағ/күн}$ (екі желдеткіш, сорғы жүйесімен тамшылатып суару, жарық диодты LED-фитолампарлармен жарықтандыру және сервоприводтар мен датчиктерді басқару автоматикасы) жылыжайдың электр жүйелеріне арналған фотоэлектрлік панельдерді пайдалану кезінде қысқы өндірісі $1,5 \text{ кВт}\cdot\text{сағ/м}^2/\text{күн}$ панельдері ұсынылды. Жылыжайдың толық жүктемесін жабу кезінде панельдердің қажетті қуатын есептеу 9 м^2 құрады, оны Қостанай өңіріндегі бұлтты күндерді ескере отырып, 12 м^2 алаңға жоспарлауға болады.

Ылғалдылықты $50\text{--}60\%$ диапазонында басқару үшін өнімділігі 5 л/мин (300 л/сағ) және тәулігіне $200 \text{ Вт}\cdot\text{сағ/күн}$ қуат тұтынатын тамшылатып суару үшін күн сорғысын пайдалану ұсынылады. Артық ылғалдылықта құрғату процедурасын жүзеге асыру үшін желдеткіштер (тәулігіне $2 \text{ Вт}\cdot\text{сағ/күн}$) және адсорбциялық құрғатқыштар (тәулігіне $1 \text{ кВт}\cdot\text{сағ/күн}$) ұсынылады.

Температура мен ылғалдылықты басқарудың бүкіл жүйесі $20 \text{ кВт}\cdot\text{сағ}$ (LiFePO_4) батареялар арқылы $1\text{--}2$ бұлтты күн резервімен жұмыс істей алады. Жылу аккумуляторы 5000 л су ыдысы түрінде беріледі. Коллекторлардан артық жылуды сақтау үшін. Күндіз коллекторлар Радиаторлар мен еденді жылыту үшін суды қыздырады, панельдер желдеткіштерді, сорғыларды және фитолампарларды қуаттайды. Түнде резервуардағы жылу температураны сақтайды, ал батареялар сенсорлардың жұмысын және ең аз желдетуді қамтамасыз етеді.

Қорытынды

Қостанай облысында жабық топырақ жағдайында өсімдік шаруашылығының тиімділігін арттыру температураның, ылғалдылықтың және жарықтың экстремалды маусымдық ауытқулары бар күрт континенттік климатпен сипатталатын өңірлік климаттық ерекшеліктерді кешенді есепке алуды талап етеді.

Жүргізілген зерттеу тұқымның өнуін анықтайтын негізгі факторлар топырақ температурасы ($+18\text{...}+25^{\circ}\text{C}$), субстрат ылғалдылығы ($60\text{--}80\%$

ең төменгі ылғал сыйымдылығы), жарықтандыру (10–15 клк) және CO_2 концентрациясы (800–1000 ppm) екенін анықтады.

Осы оңтайлы диапазондардан ауытқулар өну энергиясының айтарлықтай төмендеуіне және өсімдіктердің стресстік жағдайларының қаупінің жоғарылауына әкеледі. Өзірленген көп факторлы регрессиялық модель 85–90 % деңгейінде максималды өнгіштікке 22–24°C температурада, субстраттың ылғалдылығы 55–60 %, 60–80 клк жарықтандыруы және CO_2 800–1000 ppm концентрациясында қол жеткізілгенін көрсетті. Қостанай облысының жағдайлары үшін қараша–ақпан айларында міндетті түрде қосымша жарықтандыруды, жылу шығынын азайту үшін желден қорғайтын жүйелерді қолдануды, сілтілі топырақтың рН түзетуді және микроклиматты бақылаудың автоматтандырылған жүйелерін енгізуді қоса алғанда, экстремалды климаттық көріністерді өтеу жөніндегі шаралар ерекше маңызға ие.

Қостанай өңірінің есептік-климаттық жағдайлары үшін ЖЭК-ті жабық агрожүйелерде кешенді пайдалану микроклиматты дәл бақылау есебінен өнімділікті арттыруға мүмкіндік беріп қана қоймай, ауыл шаруашылығының орнықты моделіне көшуге де ықпал етуі мүмкін. Күн фотоэлектрлік жүйелері мен жылу қондырғыларын пайдалану тұрақты жылыту, жарықтандыру және тамшылатып суару жүйелерінің жұмысын қамтамасыз ету арқылы жылыжайларды энергиямен қамтамасыз етуді оңтайландыруға мүмкіндік береді.

Бұл әсіресе инсоляцияның жоғары деңгейі (жылына күннің 2200–3000 сағатқа дейін) айтарлықтай техникалық және экономикалық әлеует туғызатын Қостанай өңіріне қатысты. Күн жылыжайларының болжамды деректері өсімдіктер үшін оңтайлы температура мен ылғалдылықты сақтай отырып, қазба отынына тәуелділіктің 40–60 % төмендеуін көрсетеді. Сонымен қатар, жел қондырғылары күн генерациясының үзілістерін өтей алады, әсіресе төмен инсоляция кезеңдерінде. Аймақ қалыпты жел потенциалына ие (желдің орташа жылдамдығы 4–6 м/с), бұл үздіксіз энергиямен қамтамасыз ету үшін «күн-жел» гибриді жүйелерін пайдалануға мүмкіндік береді. Органикалық қалдықтар негізінде топырақты және биогаз қондырғыларын жылыту үшін геотермалдық суларды одан әрі пайдалану энергия циклінің тұйықталуына ықпал етеді. Бұл CO_2 шығарындыларын азайтып қана қоймайды, сонымен қатар био тыңайтқыштарды қолдану арқылы топырақ сапасын жақсартыды.

Одан әрі зерттеулерді Қостанай облысы жағдайында оларды енгізудің экономикалық орындылығын ескере отырып, микроклиматты бейімдеудің энергия тиімді технологияларын әзірлеуге бағыттаған жөн.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

- 1 **Аутко, А. А.** Овощеводство защищенного грунта [Текст] / А. А. Аутко. – Минск: ВЭВЭР, 2016. – 320 с.
- 2 **Jones, H. G.** Plants and Microclimate: A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology [Text] / H. G. Jones. – 3rd ed. – Cambridge : Cambridge University Press, 2014. – 407 p.
- 3 **Гиш, Р. А.** Модернизация и совершенствование управления параметрами микроклимата – основа теплиц V поколения [Текст] / Р. А. Гиш, Е. Н. Карпенко // Научный журнал КубГАУ. – 2016. – № 123 (09). – С. 81–94.
- 4 **Zghal, O.** Numerical investigation of CFD parameters: Evaluating height variations on microclimate and crop performance in large-scale soilless greenhouses in northern Tunisia [Text] / O. Zghal, A. Ketata, H. Abid [et al.] // Journal of Engineering Research. – 2025. – P. 326–334.
- 5 **Nauta, A. A.** new greenhouse energy model for predicting the year-round interior microclimate of a commercial greenhouse in Ontario, Canada [Text] / A. Nauta, J. Han, S. H. Tasnim, W. D. Lubitz // Information Processing in Agriculture. – 2024. – Vol. 11, Issue 4. – P. 438–456.
- 6 **Arbaoui, N.** Effects of a solar heating system on the microclimate of an agricultural greenhouse. Application on zucchini (Cucurbita pepo) [Text] / N. Arbaoui, R. Tadili, I. Ihoume [et al.] // Solar Energy. – 2023. – Vol. 262. – P. 111910.
- 7 **Boughanmi, H.** Enhancing nocturnal microclimate in Tunisian greenhouses: Experimental study on integrating an innovative conic helicoidal heat exchanger with a geothermal heat pump system [Text] / H. Boughanmi, N. Khaldi, M. Lazaar, A. Guizani // Geothermics. – 2024. – Vol. 123. – P. 103127.
- 8 **Tiwari, S.** Thermal analysis of photovoltaic thermal integrated greenhouse system (PVTIGS) for heating of slurry in potable biogas plant: An experimental study [Text] / S. Tiwari, G. N. Tiwari // Solar Energy. – 2017. – Vol. 155. – P. 203–211.
- 9 **Sa, Q.** Effects and assessment of the combined application of biogas slurry and chemical fertilizers on greenhouse tomato growth, yield, and soil quality [Text] / Q. Sa, J. Zheng, K. Zhang, Y. Wang // Scientia Horticulturae. – 2025. – Vol. 344. – P. 114113.
- 10 **Vinoth Kumar, K.** Solar Powered Biogas Plant in Hilly Area Greenhouse – A Field Study [Text] / K. Vinoth Kumar, R. Kasturi Bai // Solar Energy. – 2008. – Vol. 82, Issue 10. – P. 911–917.
- 11 Костанайская область // Википедия – свободная энциклопедия. – URL: [Электронный ресурс]. – https://ru.wikipedia.org/wiki/Костанайская_область (Дата обращения: 06.05.2025).

12 **Афанасьева, Н. Ю.** Вычислительные и экспериментальные методы научного эксперимента [Текст] / Н. Ю. Афанасьева. – М. : КноРус, 2017. – 192 с.

13 **Рустамов, Н. Т.** Математическая модель, основанная на передаточной функции системы распределенной генерации [Текст] / Н. Т. Рустамов, А. Н. Бергузинов, О. Д. Меирбекова, Г. А. Тулебаева // Торайғыров университетінің хабаршысы. Энергетикалық сериясы. – 2024. – № 2. – С. 340–355.

REFERENCES

1 **Autko, A. A.** Ovoshchevodstvo zashchishchennogo grunta [Greenhouse vegetable growing] [Text] / A. A. Autko. – Minsk : VEVER, 2016. – 320 p.

2 **Jones, H. G.** Plants and Microclimate: A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology [Text] / H. G. Jones. – 3rd ed. – Cambridge : Cambridge University Press, 2014. – 407 p.

3 **Gish, R. A.** Modernizatsiya i sovershenstvovanie upravleniya parametrami mikroklimate – osnova teplits V pokoleniya [Modernization and improvement of microclimate parameters management as the basis of fifth-generation greenhouses] [Text] / R. A. Gish, E. N. Karpenko // Nauchnyi zhurnal KubGAU. – 2016. – № 123 (09). – P. 81–94.

4 **Zghal, O.** Numerical investigation of CFD parameters: Evaluating height variations on microclimate and crop performance in large-scale soilless greenhouses in northern Tunisia [Text] / O. Zghal, A. Ketata, H. Abid [et al.] // Journal of Engineering Research. – 2025. – P. 326–334.

5 **Nauta, A. A** new greenhouse energy model for predicting the year-round interior microclimate of a commercial greenhouse in Ontario, Canada [Text] / A. Nauta, J. Han, S. H. Tasnim, W. D. Lubitz // Information Processing in Agriculture. – 2024. – Vol. 11, Issue 4. – P. 438–456.

6 **Arbaoui, N.** Effects of a solar heating system on the microclimate of an agricultural greenhouse. Application on zucchini (Cucurbita pepo) [Text] // N. Arbaoui, R. Tadili, I. Ihoume [et al.] // Solar Energy. – 2023. – Vol. 262. – P. 111910.

7 **Boughanmi, H.** Enhancing nocturnal microclimate in Tunisian greenhouses: Experimental study on integrating an innovative conic helicoidal heat exchanger with a geothermal heat pump system [Text] / H. Boughanmi, N. Khaldi, M. Lazaar, A. Guizani // Geothermics. – 2024. – Vol. 123. – P. 103127.

8 **Tiwari, S.** Thermal analysis of photovoltaic thermal integrated greenhouse system (PVTIGS) for heating of slurry in potable biogas plant: An experimental

study [Text] / S. Tiwari, G. N. Tiwari // Solar Energy. – 2017. – Vol. 155. – P. 203–211.

9 **Sa, Q.** Effects and assessment of the combined application of biogas slurry and chemical fertilizers on greenhouse tomato growth, yield, and soil quality [Text] / Q. Sa, J. Zheng, K. Zhang, Y. Wang // Scientia Horticulturae. – 2025. – Vol. 344. – P. 114113.

10 **Vinoth Kumar, K.** Solar Powered Biogas Plant in Hilly Area Greenhouse – A Field Study [Text] / K. Vinoth Kumar, R. Kasturi Bai // Solar Energy. – 2008. – Vol. 82, Issue 10. – P. 911–917.

11 **Kostanayskaya oblast [Kostanay Region]** // Wikipedia. – URL: [Electronic resource]. – https://ru.wikipedia.org/wiki/Kostanay_Region (Accessed: 06.05.2025).

12 **Afanasyeva, N. Yu.** Vychislitelnye i eksperimentalnye metody nauchnogo eksperimenta [Computational and experimental methods of scientific research] [Text] / N. Yu. Afanasyeva. – Moscow : KNORUS, 2017. – 192 p.

13 **Rustamov, N. T.** Matematicheskaya model, osnovannaya na peredatochnoi funktsii sistemy raspredelennoi generatsii [A mathematical model based on the transfer function of a distributed generation system] [Text] / N. T. Rustamov, A. N. Berguzinov, O. D. Meirbekova, G. A. Tulebaeva // Toraygyrov universitetiniң habarshysy. Energetikalyk seriyasy. – 2024. – № 2. – P. 340–355.

22.05.25 ж. баспаға түсті.

21.07.25 ж. түзетулерімен түсті.

08.09.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

*Б. К. Сакенов¹, *И. В. Кошкин², А. И. Успанова³, А. П. Кислов⁴*

^{1,2,3}Костанайский региональный университет имени

Ахмет Байтұрсынұлы, Республика Казахстан, г. Костанай;

⁴Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

Поступило в редакцию 22.05.25.

Поступило с исправлениями 21.07.25.

Принято в печать 08.09.25.

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ВИЭ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ РАСТЕНИЙ ЗАКРЫТОГО ГРУНТА В КОСТАНАЙСКОМ РЕГИОНЕ

В данной работе рассматривается использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) для оптимизации ключевых параметров урожайности растений в закрытом грунте

на территории Костанайского региона. Актуальность данной темы обусловлена необходимостью обеспечения продовольственной безопасности в условиях роста населения и глобального изменения климата. В исследовании анализируются возможности интеграции солнечной и ветровой энергетики, а также биогазовых установок для энергоснабжения теплиц. Особое внимание уделяется автоматизации контроля параметров микроклимата (температура, влажность, освещённость) с использованием ВИЭ, что позволяет минимизировать зависимость от ископаемых ресурсов и снизить себестоимость продукции.

Исследования показывают, что управление микроклиматом в замкнутых системах с применением ВИЭ может значительно повысить всхожесть и урожайность культур. В статье описываются современные подходы к регулированию температурных режимов, освещения и полива с использованием различных технологий, что позволяет эффективно адаптировать условия роста растений к их физиологическим потребностям. Также подчеркивается важность перехода на ВИЭ для достижения устойчивого сельского хозяйства и сокращения углеродных выбросов. В заключение, представлена методология интеграции ВИЭ в системы контроля урожайности, учитывающая климатические и ресурсные особенности Костанайского региона, что способствует развитию агросектора и повышению его технологической конкурентоспособности.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, энергетика, факторы, эксперимент, теплицы, климат, урожайность.

*B. K. Sakenov¹, *I. V. Koshkin², A. I. Uspanova³, A. P. Kislov⁴*

^{1,2,3}Kostanay Regional University named after Akhmet Baitursynuly, Republic of Kazakhstan, Kostanay;

⁴Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Received 22.05.25.

Received in revised form 21.07.25.

Accepted for publication 08.09.25.

JUSTIFICATION OF THE USE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES TO REGULATE THE YIELD OF INDOOR PLANTS IN THE KOSTANAY REGION

This paper examines the use of renewable energy sources (RES) to optimize key parameters of plant productivity in the enclosed ground in the

Kostanay region. The relevance of this topic is due to the need to ensure food security in the context of population growth and global climate change. The study analyzes the possibilities of integrating solar and wind energy, as well as biogas plants for power supply to greenhouses. Special attention is paid to automating the control of microclimate parameters (temperature, humidity, illumination) using renewable energy sources, which minimizes dependence on fossil resources and reduces the cost of production.

Research shows that microclimate management in closed systems using renewable energy sources can significantly increase germination and crop yields. The article describes modern approaches to regulating temperature conditions, lighting and irrigation using various technologies, which makes it possible to effectively adapt plant growth conditions to their physiological needs. It also highlights the importance of switching to renewable energy sources to achieve sustainable agriculture and reduce carbon emissions. In conclusion, the methodology for integrating renewable energy sources into yield control systems is presented, taking into account the climatic and resource characteristics of the Kostanay region, which contributes to the development of the agricultural sector and increasing its technological competitiveness.

Keywords: renewable energy sources, energy, factors, experiment, greenhouses, climate, productivity.

Теруге 09.09.2025 ж. жіберілді. Басуға 30.09.2025 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 № 4447

Сдано в набор 09.09.2025 г. Подписано в печать 30.09.2025 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 № 4447

«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