

УДК 620.92.574; <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2026-4.14>

<https://orcid.org/0009-0000-1964-6352>

<https://orcid.org/0009-0002-3202-1458>

<https://orcid.org/0009-0007-2948-1951>

МҰНАЙ-ГАЗ КЕН ОРЫНДАРЫНДА ЖАҢАРТЫЛАТЫН ЭНЕРГИЯ КӨЗДЕРІН ПАЙДАЛАНУ ТИІМДІЛІГІ



А.Ə. ҚОНАРБАЕВА,

техника ғылымдарының кандидаты,
қауымдастырылған профессор,
maral2004@mail.ru



Г.Қ. ҚАБДЕШОВА,

техника және технология
магистрі, аға оқытушы,
gauhar.gulzhan@mail.ru



Н.М. САРСЕНОВ,

техника ғылымдарының
магистрі, аға оқытушы,
atyrau1992@gmail.com

С.ӨТЕБАЕВ АТЫНДАҒЫ АТЫРАУ МҰНАЙ ЖӘНЕ ГАЗ УНИВЕРСИТЕТІ
Қазақстан Республикасы, 060027, Атырау қ., Баймуханова к., 45А

Мақалада жаңартылатын энергия көздерін (ЖЭК) Қазақстанның мұнай-газ кен орындарының энергиямен жабдықтау жүйесіне интеграциялау мәселелері қарастырылған. Күн, жел және дизель генерациясын біріктіретін гибриді энергетикалық жүйенің құрылымы ұсынылды.

Зерттеу барысында жүйенің техникалық-экономикалық және экологиялық тиімділігі бағаланды. Есептеу нәтижелері бойынша ЖЭК қолдану энергия тұтынудың шамамен 26%-ын жабуға, дизель отынын тұтынуды жылына 570 мың литрден астам азайтуға және CO₂ шығарындыларын 1500 тоннаға дейін қысқартуға мүмкіндік беретіні анықталды. Сонымен қатар жобаның инвестициялық тиімділігі NPV және IRR көрсеткіштері арқылы дәлелденді.

Алынған нәтижелер гибриді энергетикалық жүйелерді Қазақстанның мұнай-газ саласында қолданудың тиімді екенін көрсетті.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: жаңартылатын энергия көздері, мұнай-газ кен орындары, гибриді энергетикалық жүйелер, күн энергиясы, жел энергиясы, энергия тиімділігі, декарбонизация, Қазақстан.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ НА НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

А.А. КОНАРБАЕВА, кандидат технических наук, ассоциированный профессор, maral2004@mail.ru

Г.К. КАБДЕШОВА, магистр техники и технологий, старший преподаватель, gauhar.gulzhan@mail.ru

Н.М. САРСЕНОВ, магистр технических наук, старший преподаватель, atyrau1992@gmail.com

АТЫРАУСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НЕФТИ И ГАЗА ИМЕНИ С. УТЕБАЕВА
Республика Казахстан, 060027, г. Атырау, ул. Баймуханова, 45А

В статье рассмотрены вопросы интеграции возобновляемых источников энергии в систему энергоснабжения нефтегазовых месторождений Казахстана. Предложена конфигурация гибридной энергетической системы, включающей солнечную, ветровую и дизельную генерацию. Выполнена оценка энергетической, экономической и экологической эффективности проекта.

Результаты расчетов показали, что применение ВИЭ позволяет покрыть около 26% энергопотребления, сократить расход дизельного топлива более чем на 570 тыс. литров в год и снизить выбросы CO₂ примерно на 1500 тонн. Инвестиционная эффективность проекта подтверждена положительным значением NPV и показателем IRR выше ставки дисконтирования.

Полученные результаты подтверждают перспективность внедрения гибридных энергетических систем на нефтегазовых месторождениях Казахстана.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: возобновляемые источники энергии, нефтегазовые месторождения, гибридные энергетические системы, солнечная энергия, ветровая энергия, энергоэффективность, декарбонизация, Казахстан.

ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF RENEWABLE ENERGY APPLICATION AT OIL AND GAS FIELDS

A.A. KONARBAYEVA, candidate of technical sciences, associate professor, maral2004@mail.ru

G.K. KABDESHOVA, master of engineering and technology, senior lecturer, gauhar.gulzhan@mail.ru

N.M. SARSENOV, master of technical sciences, senior lecturer, atyrau1992@gmail.com

ATYRAU OIL AND GAS UNIVERSITY NAMED AFTER S. UTEBAYEV
Republic of Kazakhstan, 060027, Atyrau, Baymukhanova str., 45A

The article examines the integration of renewable energy sources into the power supply system of oil and gas fields in Kazakhstan. A hybrid energy system combining solar, wind, and diesel power generation is proposed. The study evaluates the energy, economic, and environmental efficiency of the system.

The results demonstrate that renewable energy sources can cover approximately 26% of annual energy demand, reduce diesel fuel consumption by more than 570 thousand liters per year, and decrease CO₂ emissions by approximately 1,500 tons annually. The investment efficiency of the project was confirmed by a positive Net Present Value (NPV) and an Internal Rate of Return (IRR) exceeding the discount rate.

The obtained results confirm the feasibility and effectiveness of implementing hybrid energy systems at oil and gas fields in Kazakhstan.

KEYWORDS: renewable energy sources, oil and gas fields, hybrid energy systems, solar energy, wind energy, energy efficiency, decarbonization, Kazakhstan.

Қіріспе. Қазіргі кезеңде мұнай-газ саласы энергия тиімділігін арттыру және көмірқышқыл газы шығарындыларын азайту мәселелерімен тығыз байланысты дамуда. Қазақстанның шалғай орналасқан мұнай-газ кен орындарын энергиямен жабдықтау көбінесе дизельдік генераторлар арқылы жүзеге асырылады. Бұл жоғары эксплуатациялық шығындарға, отын тасымалдау күрделілігіне және қоршаған ортаға теріс әсердің артуына әкеледі [1].

Осыған байланысты жаңартылатын энергия көздерін (ЖЭК) мұнай-газ объектілерінің энергиямен жабдықтау жүйесіне интеграциялау өзекті ғылыми және практикалық бағыттардың біріне айналып отыр.

Қазіргі ғылыми зерттеулер күн және жел энергетикасын мұнай-газ секторында қолданудың тиімділігін дәлелдейді [9]. Алайда генерация тұрақсыздығы, энергия сақтау жүйелерінің қажеттілігі және нақты климаттық жағдайларға бейімдеу мәселелері толық шешімін таппаған [2-4].

Зерттеудің мақсаты – Қазақстанның мұнай-газ кен орындарында жаңартылатын энергия көздеріне негізделген гибриді энергетикалық жүйелерді енгізудің энергетикалық, экономикалық және экологиялық тиімділігін кешенді бағалау [6-10].

Зерттеудің ғылыми жаңалығы Батыс Қазақстан өңірінің климаттық және өндірістік ерекшеліктеріне бейімделген мұнай-газ кен орындары үшін гибриді энергетикалық жүйенің техникалық-экономикалық және экологиялық тиімділігін кешенді бағалауда болып табылады. Ұсынылған тәсіл күн және жел энергетикасын дизельдік генерациямен біріктіре отырып, энергия өндіру көлемін, отын шығынын, көмірқышқыл газы шығарындыларын және жобаның инвестициялық тиімділігін (NPV, IRR) бірыңғай модель аясында бағалауға мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер мұнай-газ нысандарында жаңартылатын энергия көздерін қолданудың тиімділігін сандық көрсеткіштер негізінде негіздейді.

Ғылыми зерттеулер гибриді энергетикалық жүйелерді қолдану пайдалану шығындарын азайтуға, энергетикалық дербестікті арттыруға және көміртегі ізін төмендетуге мүмкіндік беретінін көрсетеді. Алайда генерацияның тұрақсыздығы мен энергияны сақтау жүйелерін енгізу қажеттілігі бұл бағыттағы өзекті ғылыми және практикалық мәселелердің бірі болып қала береді.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Зерттеу нысаны ретінде Батыс Қазақстан өңірінің климаттық және өндірістік жағдайларына сәйкес келетін мұнай-газ кен орнының энергетикалық жүйесі алынды.

Жұмыста келесі зерттеу әдістері қолданылды:

- салыстырмалы талдау;
- техникалық-экономикалық модельдеу;
- энергия өндіру көлемін есептеу;
- экологиялық әсерді бағалау;
- инвестициялық тиімділікті анықтау (NPV, IRR).

Гибриді энергетикалық жүйенің құрылымы төмендегі элементтерден тұрады:

- Күн электр станциясы – 0,5 МВт;
- Жел электр станциясы – 0,5 МВт;
- Дизельді генераторлық қондырғы – 1 МВт.

Күн энергиясының әлеуетін бағалау үшін Global Solar Atlas деректері пайдала-

нылды [11]. Орташа күн генерациясы $1500 \text{ кВт} \cdot \text{сағ} / \text{кВт} \cdot \text{жыл}$ көлемінде қабылданды. Жел энергетикасы үшін бекітілген қуатты пайдалану коэффициенті 0,35 мәніне тең деп алынды [12].

Экономикалық есептеулер барысында дизель отынының шартты бағасы 250 тг/л, ал дисконттау мөлшерлемесі 10% деңгейінде қабылданды.

Мұнай-газ нысандары орталықтандырылған электр желілерінен қашық орналасуымен, энергиямен жабдықтаудың жоғары сенімділігін талап етуімен және айнымалы жүктеме режимдерімен ерекшеленеді [2]. Сондықтан мұндай нысандарда негізгі энергия көздері ретінде дизельді генераторлар мен газ қондырғылары кеңінен пайдаланылады.

Мұнай-газ саласында қолдануға перспективалы жаңартылатын энергия көздеріне күн және жел энергетикасы жатады. Күн энергетикасы фотоэлектрлік панельдер арқылы іске асырылса, жел энергетикасы электр энергиясын өндіретін жел генераторларын пайдалануға негізделеді. Энергия көзін таңдау аймақтың климаттық жағдайына байланысты. Қазақстанда Күн және жел энергиясының әлеуеті айтарлықтай жоғары.

Мұнай-газ нысандарын энергиямен қамтамасыз етудің тиімді бағыттарының бірі гибридіт энергетикалық жүйелерді пайдалану болып табылады, соның ішінде: гибридіт энергетикалық жүйелер құрамына күн панельдері, жел генераторлары, дизель немесе газ генераторлары және энергияны сақтау жүйелері кіреді [4]. Мұндай жүйелер энергиямен жабдықтау тұрақтылығын қамтамасыз етеді, отын шығынын азайтады және электрмен жабдықтау сенімділігін арттырады.

ЖЭК енгізу жанармай және логистикалық шығындарды төмендетуге, сондай-ақ энергия тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді [10–13]. Жоғары бастапқы инвестицияларға қарамастан, жобалардың өтелу мерзімі орта есеппен 5-10 жылды құрайды [5].

ЖЭК интеграциялау CO_2 шығарындыларын және қоршаған ортаға түсетін жүктемені азайтуға мүмкіндік береді, сондай-ақ халықаралық экологиялық талаптардың орындалуына ықпал етеді.

Нәтижелер және талқылау

Жүргізілген талдау ЖЭК негізіндегі гибридіт жүйелердің мұнай-газ нысандары үшін энергетикалық тиімді шешім екенін анықтады.

ЖЭК-нің жылдық генерациясы 2283 МВт·сағ құрады, бұл энергия тұтынудың шамамен 26% -ын қамтамасыз етеді.

Жүргізілген есептеулер гибридіт энергетикалық жүйені пайдалану мұнай-газ нысандарының дәстүрлі дизельдік генерацияға тәуелділігін төмендетуге мүмкіндік беретінін көрсетті. Бұл энергиямен жабдықтау сенімділігін арттырып қана қоймай, пайдалану шығындарын азайтуға және қоршаған ортаға түсетін экологиялық жүктемені төмендетуге ықпал етеді. Сонымен қатар, алынған нәтиже Батыс Қазақстан өңірінің климаттық жағдайында күн және жел энергетикасын бірлесіп пайдаланудың тиімді екенін дәлелдейді.

Негізгі артықшылықтары:

- шығындардың азаюы;
- экологиялық қауіпсіздік;
- нысандардың дербестігінің артуы.

Негізгі кемшіліктері:

- ауа-райына тәуелділік;
- энергияны сақтау қажеттілігі;
- бастапқы инвестицияның жоғары болуы.

Қазақстанның мұнай-газ кен орнында ЖЭК енгізу тиімділігін практикалық бағалау

Зерттеу барысында Батыс Қазақстан өңіріндегі (Атырау және Маңғыстау облыстарының табиғи-климаттық жағдайларына сәйкес келетін) шалғай орналасқан мұнай-газ кен орнының типтік өндірістік жағдайлары қарастырылды [6].

Қабылданған параметрлер:

Нысанның тұтынатын қуаты: **1 МВт**

Жылдық энерготұтыну:

$$E = 1 \cdot 24 \cdot 365 = 8760 \text{ МВт} \cdot \text{сағ} \quad (1)$$

Күн ресурсы

Қазақстан үшін Күн инсоляциясы жоғары деңгеймен сипатталады (Global Solar Atlas):

- Орташа генерация: 1300–1600 кВт·сағ/кВт жылына

Есептеулер барысында күн электр станциясының орташа жылдық генерациясы 1500 кВт·сағ/кВт·жыл деңгейінде қабылданды.

Жел ресурсы

Желдің орташа жылдамдығы: **5–6 м/с**

- Кейбір аймақтарда: 6+ м/с дейін және жоғары
- Жел электр станциясы үшін бекітілген қуатты пайдалану коэффициенті 0,35 мәніне тең деп қабылданды.

Гибридті жүйенің конфигурациясы

Зерттеу үшін келесі конфигурациядағы гибридті энергетикалық жүйе қарастырылды:

- Күн ЭС (күн): 0,5 МВт
- Жел ЭС (жел): 0,5 МВт
- ДГҚ (резерв): 1 МВт

Энергия генерациясының есептемесі

Күн электростанциясы

$$E_{solar} = 500 \cdot 1500 = 750000 \text{ кВт} \cdot \text{сағ} = 750 \text{ МВт} \cdot \text{сағ} \quad (2)$$

Жел электростанциясы

$$E_{wind} = 500 \cdot 8760 \cdot 0,35 = 1533000 \text{ кВт} \cdot \text{сағ} = 1533 \text{ МВт} \cdot \text{сағ} \quad (3)$$

ЖЭК-нің жалпы генерациясы

$$E_{RES} = 750 + 1533 = 2283 \text{ МВт} \cdot \text{сағ} \quad (4)$$

Жүктемені жабу үлесі

$$\eta = \frac{2283}{8760} \approx 26\% \quad (5)$$

ЖЭК нысанның қажеттілігінің ~26%-ын жабады.

Экономикалық есептеме

Дизельдік отынды үнемдеу

Дизельдің меншікті шығыны: ~ 0,25 л/кВт·сағ.

$$Fuel = 2283000 \cdot 0,25 = 570750 \text{ л/жыл} \quad (6)$$

Қаржылық үнемдеу

Экономикалық есептеулерде дизель отынының есептік бағасы 250 тг/л деңгейінде алынды.

$$Saving = 570750 \cdot 250 = 142687500 \text{ тг/жыл} \quad (7)$$

Жылына ~ 140 млн теңге үнемделеді.

Алынған экономикалық нәтиже бастапқы инвестициялардың жоғары болуына қарамастан, гибриді энергетикалық жүйені ұзақ мерзімді пайдалану кезінде жобаның өзін-өзі ақтайтынын көрсетеді.

Экологиялық тиімділік

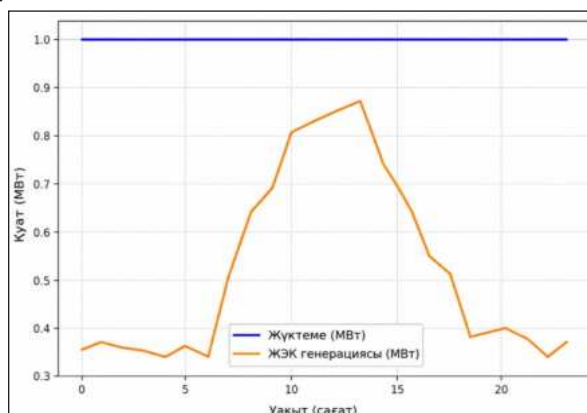
CO₂ шығарындысы: ~ 2,68 кг CO₂/л дизельге

$$CO_2 = 570750 \cdot 2,68 = 1529610 \text{ кг} \quad (8)$$

Жылына ~ 1530 тонн CO₂ қысқартылады.

Бұл нәтиже көміртегі шығарындыларын азайту жөніндегі ұлттық және халықаралық экологиялық талаптарды орындауға мүмкіндік береді және мұнай-газ кәсіпорындарының декарбонизациялау саясатын іске асыруға ықпал етеді.

Алынған нәтижелер жаңартылатын энергия көздерін мұнай-газ нысандарында қолданудың техникалық және экономикалық тұрғыдан тиімді екенін көрсетті. Гибриді энергетикалық жүйе нысанның энергия қажеттілігінің елеулі бөлігін қамтамасыз етіп, дизель отынын тұтынуды қысқартуға және парниктік газдар шығарындыларын төмендетуге мүмкіндік береді. Осыған байланысты гибриді энергетикалық жүйелерді енгізу экономикалық тұрғыдан негізделген, экологиялық тиімді және Қазақстанның мұнай-газ саласының тұрақты дамуы үшін маңызды бағыт болып табылады.



1 сурет – ЖЭК-нің жүктемелік графигі мен генерациясын салыстыру

1 суретте мұнай-газ нысаны жүктемесінің және жаңартылатын энергия көздерінен алынатын генерацияның тәуліктік кестесін салыстыру көрсетілген. Күн энергиясының максималды генерациясы күндізгі сағаттарда болады, ал жел генерациясы біркелкі болады. Бұл әртүрлі ЖЭК түрлерін біріктірудің тиімділігін дәлелдейді.

Экономикалық тиімділік (NPV, IRR)

Бастапқы мәліметтер:

- Капиталды шығындар (CAPEX): ~800 млн тг;
- Жылдық үнемдеу: 140 млн тг;
- Жобаның мерзімі: 10 жыл;
- Дисконттау мөлшерлемесі: 10%.

Есептеме нәтижелері:

- NPV ≈ +60 млн тг
- IRR ≈ 11,7%

Алынған нәтижелерден жоғары күрделі шығындарға қарамастан ЖЭК енгізудің тиімді екенін көрсетті.

Таза келтірілген құнды есептеу (NPV) жобаның экономикалық тиімділігін көрсететін оң мәнді көрсетті. Ішкі кірістілік коэффициенті (IRR) дисконттау мөлшерлемесінен асып түседі, бұл гибриді энергетикалық жүйені енгізудің инвестициялық тартымдылығын растайды. Айтарлықтай бастапқы инвестицияларға қарамастан, жоба ұзақ мерзімді перспективада өтелетін және тұрақты жоба болып табылады [7].

Практикалық мысал ретінде Қазақстанның батыс бөлігінде орналасқан Теңіз кен орны зерттеу нысаны ретінде алынды. Бұл нысан алыс қашықтықпен және жоғары энергия тұтыну деңгейімен сипатталады, бұл оны ЖЭК негізінде гибриді энергетикалық шешімдерді енгізу үшін перспективалы етеді.

Аймақтың жоғары күн инсоляциясы мен тұрақты жел ресурстары гибриді энергетикалық жүйелерді енгізуге қолайлы жағдай қалыптастырады, күн мен жел қондырғыларының интеграциясы энерготұтынуды ішінара жабуды қамтамасыз ете алады, дизельге тәуелділік деңгейін төмендетеді және кәсіпорынның көміртегі ізін азайтады [8].

Кесте 1 – Электрмен қамту жүйелерінің техникалық-экономикалық салыстырмасы

Көрсеткіштер	ЖЭК енгізілгенге дейін (дизельдік генерация)	ЖЭК енгізілгеннен кейін (гибриді генерация)	Өзгерістер
Бекітілген қуат	1 МВт (ДГҚ)	1 МВт (ДГҚ+0,5 МВт КүнЭС+0,5 МВт ЖелЭС)	Энергия көздерін диверсификациялау
Жылдық энерготұтыну	8760 МВт·сағ	8760 МВт·сағ	өзгеріссіз
ЖЭК-нен генерация	МВт·сағ	2283 МВт·сағ	+2283 МВт·сағ
ЖЭК-нің үлесі	0 %	~26%	+26%
Дизельдік отынның шығыны	~2190000 л/жыл	~1620000 л/жыл	-570750 л/жыл
Отынға кететін шығындар	~547 млн теңге	~405 млн теңге	-142 млн теңге
CO ₂ шығарындылары	~5860 тонна/жыл	~4330 тонна/жыл	-1530 тонна/жыл
Электрмен қамту сенімділігі	орташа (жанармай жеткізіліміне тәуелділік)	жоғары (резерв + ЖЭК)	жоғарылады
Экологиялық жүктеме	жоғары	төменделген	жақсартылған
Капиталдық шығындар	төмен	жоғары (~800 млн теңге)	CAPEX өсті
Эксплуатациялық шығындар	жоғары	төмен	төменделген
Өтелу мерзімі	-	6-8 жыл	-

Кестеде жаңартылатын энергия көздерін пайдалана отырып гибриді жүйені енгізгенге дейін және енгізгеннен кейінгі мұнай-газ нысанын электр энергиясымен жабдықтау параметрлеріне салыстырмалы талдау ұсынылған.

Талдау көрсеткендей, ЖЭК-ін енгізу дизель отынын тұтынуды 25%-дан астам төмендеуін қамтамасыз етеді, бұл пайдалану шығындарының айтарлықтай төмендеуіне әкеледі. Сонымен қатар, көмірқышқыл газы шығарындыларының жылына 1530 тоннаға төмендеуі байқалады, бұл экологиялық жүктемені айтарлықтай төмендетеді.

Капиталдық шығындардың ұлғаюына қарамастан, жобаның өтелу мерзімі экономикалық тұрғыдан тиімді болып табылады.

Қорытынды

Зерттеу нәтижелері жаңартылатын энергия көздерін мұнай-газ кен орындарының энергиямен жабдықтау жүйесіне интеграциялау энергетикалық, экономикалық және экологиялық тұрғыдан тиімді екенін көрсетті.

Ұсынылған гибриді энергетикалық жүйе күн, жел және дизель генерациясын үйлестіру арқылы энергиямен жабдықтау сенімділігін арттыруға және дизель отынына тәуелділікті төмендетуге ықпал етеді. Есептеулер нәтижесінде ЖЭК негізіндегі жүйе энергия тұтынудың шамамен 26%-ын жабатыны, дизель отынын тұтынуды жылына 570 мың литрден астам қысқартатыны және CO₂ шығарындыларын шамамен 1500 тоннаға азайтатыны көрсетілді.

Экономикалық талдау нәтижесінде жобаның инвестициялық тартымдылығы дәлелденді: NPV көрсеткіші оң мәнге ие, ал IRR дисконттау мөлшерлемесінен жоғары болды [13-15]. Бұл гибриді энергетикалық жүйелерді ұзақ мерзімді перспективада енгізудің тиімділігін растайды.

Зерттеудің практикалық маңыздылығы ұсынылған тәсілді Қазақстанның шалғай орналасқан мұнай-газ кен орындарында қолдану мүмкіндігімен анықталады. Ұсынылған модель отын шығындарын азайтуға, энергиямен қамту тұрақтылығын арттыруға және мұнай-газ кәсіпорындарының декарбонизация стратегиясын іске асыруға мүмкіндік береді. 🌐

ӘДЕБИЕТ

1. Жумағалиев С.Ж. Экономическая эффективность гибридных дизель-солнечных электростанций // Энергетика и электротехника. – 2018. – № 11. – С. 34–39. [Zhmagaliev S.Zh. Ekonomicheskaya effektivnost gibridnykh dizel-solnechnykh elektrostantsiy // Energetika i elektrotehnika. – 2018. – No. 11. – S. 34–39.]
2. Бекбаев А.Б. Энергоэффективность и энергосбережение в электроэнергетике Казахстана // Қазақстанның ғылымы мен өмірі. – 2019. – № 2. – С. 210–215. [Bekbaev A. B. Energoeffektivnost i energosberezhenie v elektroenergetike Kazakhstana // Qazaqstannyn ғылымы мен өмірі. – 2019. – No. 2. – S. 210–215.]
3. Елеманов Б. Д. Проблемы энергоснабжения удалённых нефтегазовых месторождений // Вестник Каспийского университета технологий и инжиниринга им. Ш. Есенова. – 2019. – № 2. – С. 45–50. [Elemanov B.D. Problemy energosnabzheniya udalennykh neftegazovykh mestorozhdeniy // Vestnik Kaspiyskogo universiteta tekhnologiy i inzhiniringa im. Sh. Esenova. – 2019. – No. 2. – S. 45–50.]
4. Кенжеғалиев А.К. Экологические аспекты внедрения ВИЭ в нефтегазовый сектор Казахстана // Экология и промышленность Казахстана. – 2020. – № 3. – С. 22–

27. [Kenzhegaliev A.K. Ekologicheskie aspekty vnedreniya VIE v neftegazovyy sektor Kazakhstana // Ekologiya i promyshlennost Kazakhstana. – 2020. – No. 3. – S. 22–27.]
5. Алиев Ж.К. Қазақстанның мұнай-газ кешеніндегі энергия үнемдеу технологиялары // Өнеркәсіптік энергетика. – 2021. – № 4. – С. 12–15. [Aliev Zh.K. Kazakhstannyn munai-gaz keshenindegi energiya unemdeu tekhnologiyalary // Onerkasiptik energetika. – 2021. – No. 4. – S. 12–15.]
6. Ибраев А. С. Декарбонизация нефтегазовой отрасли Казахстана: вызовы и перспективы // Нефть и Газ. – 2022. – № 5. – С. 102–110. [Ibraev A.S. Dekarbonizatsiya neftegazovoy otrasli Kazakhstana: vyzovy i perspektivy // Neft i Gaz. – 2022. – No. 5. – S. 102–110.]
7. Ибраев А.С. Декарбонизация нефтегазовой отрасли Казахстана: современные подходы // Нефть и Газ. – 2023. – № 4. – С. 98–105. [Ibraev A.S. Dekarbonizatsiya neftegazovoy otrasli Kazakhstana: sovremennye podkhody // Neft i Gaz. – 2023. – No. 4. – S. 98–105.]
8. Министерство энергетики Республики Казахстан. Развитие возобновляемых источников энергии в Республике Казахстан [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/energo> (дата обращения: 25.06.2026). [Ministerstvo energetiki Respubliki Kazakhstan. Razvitie vozobnovlyаемых istochnikov energii v Respublike Kazakhstan [Elektronnyy resurs]. – URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/energo> (data obrashcheniya: 25.06.2026).]
9. Токтаров Н.С. Энергоэффективность нефтегазовых месторождений // Промышленная энергетика. – 2024. – № 2. – С. 15–20. [Toktarov N.S. Energoeffektivnost neftegazovykh mestorozhdeniy // Promyshlennaya energetika. – 2024. – No. 2. – S. 15–20.]
10. Ассоциация KAZENERGY. Энергетический переход и декарбонизация экономики Казахстана [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.kazenergy.com> (дата обращения: 25.06.2026). [KAZENERGY Assotsiatsiya. Energeticheskiy perekhod i dekarbonizatsiya ekonomiki Kazakhstana [Elektronnyy resurs]. – URL: <https://www.kazenergy.com> (data obrashcheniya: 25.06.2026).]
11. International Energy Agency. World Energy Outlook 2024 [Electronic resource]. – URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024> (accessed: 25.06.2026).
12. International Renewable Energy Agency. Renewable Power Generation Costs in 2024 [Electronic resource]. – URL: <https://www.irena.org/Digital-Report/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2024> (accessed: 25.06.2026).
13. World Bank Group. Renewable Energy Program Overview [Electronic resource]. – URL: <https://www.worldbank.org/en/topic/energy> (accessed: 25.06.2026).
14. Сарсембаев А.Ж. Интеграция ВИЭ в нефтегазовую инфраструктуру Казахстана // Экология и промышленность. – 2025. – № 2. – С. 30–36. [Sarsembaev A.Zh. Integratsiya VIE v neftegazovuyu infrastrukturu Kazakhstana // Ekologiya i promyshlennost. – 2025. – No. 2. – S. 30–36.]
15. Омаров Б.К. Гибридные энергетические системы для удалённых объектов // Вестник науки и технологий. – 2025. – № 1. – С. 11–18. [Omarov B.K. Gibridnye energeticheskie sistemy dlya udalennykh obektov // Vestnik nauki i tekhnologiy. – 2025. – No. 1. – S. 11–18.]