

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

---

№ 1 (2026)

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/BGQF1934>

**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>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошекков 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>
Шерьязов С. К.	<i>т.ғ.д., профессор (Российская Федерация)</i>
Искакова З. С.	<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

<https://doi.org/10.48081/BGQF1954>

**Т. К. Койшиев<sup>1</sup>, \*З. Б. Бекжан<sup>2</sup>, Г. Р. Балходжаева<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби,  
Республика Казахстан, г. Алматы;

<sup>3</sup>Кызылординский университет имени Коркыт Ата,  
Республика Казахстан, г. Кызылорда

<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5320-6243>

<sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6018-0945>

<sup>3</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5066-1849>

\*e-mail: [zulfiya.bekzhan@gmail.com](mailto:zulfiya.bekzhan@gmail.com)

## **ТЕХНОЛОГИЯ КОМПАНОВКИ И ОПТИМИЗАЦИИ ПОЛЕ ГЕЛИОСТАТОВ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ БАШЕННОГО ТИПА**

*В данной работе рассматриваются принципы проектирования и создания солнечной электростанции (СЭС) башенного типа на территории Республики Казахстан. Актуальность темы обусловлена необходимостью расширения использования возобновляемых источников энергии, в частности, солнечной энергии, с целью повышения энергетической независимости и экологической устойчивости страны. В Казахстане основное внимание уделяется развитию фотоэлектрических солнечных станций, однако мировой опыт демонстрирует эффективность и перспективность других типов солнечных электростанций, включая башенные солнечные тепловые станции. В рамках исследования реализована многофакторная математическая модель, позволяющая проводить оптимизацию параметров системы СЭС башенного типа. Особое внимание уделено разработке и применению моделей оптической части станции, включающих расчет отражающих поверхностей (гелиостатов) и концентрации солнечного излучения на центральном приёмнике. Разработанные модели реализованы в виде программных комплексов, обеспечивающих проведение инженерных расчётов на ЭВМ [1]. На основе полученных результатов сформулированы рекомендации*

*для проектных и инженерных организаций, занимающихся разработкой и внедрением солнечных электростанций башенного типа в климатических условиях Казахстана.*

*Результаты исследования позволяют дать конкретные рекомендации проектным и инженерным организациям по созданию башенных солнечных электростанций, эффективно работающих в климатических условиях Казахстана.*

*Ключевые слова: СЭС башенного типа, оптическая система СЭС, солнечный парогенератор, теплоприемник, гелиостат.*

### Введение

Солнечная электростанция представляет собой – крупномасштабную энергетическую систему, она состоит из центрального приёмника (солнечный парогенератор) и собственного преобразователя (рис.1).

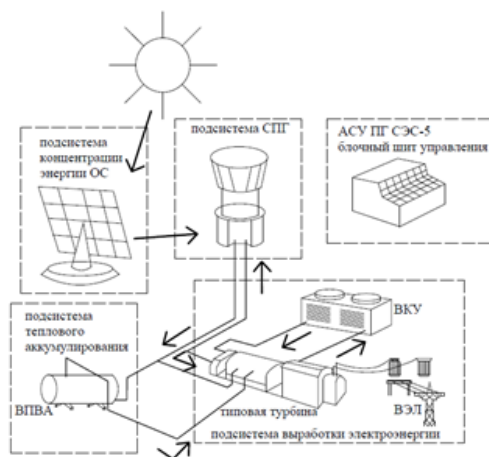


Рисунок 1 – Общая структурная схема солнечной электростанции башенного типа

Основные подсистемы СЭС:

- Подсистема солнечный парогенератор (СПГ) расположен на башне высотой 70м, в центре поле гелиостатов;
- Оптическая система (ОС) для концентрации солнечного излучения состоит из зеркальных гелиостатов с собственными системами управления;

– Подсистема паро-водяной тепловой аккумулятор (ПВТА) предназначена для накопления тепловой энергии (насыщенный пар), а также имеется подсистема воздушная коллекторная установка (ВКУ) [2].

Предполагаемый район строительства подобных станции, может быть в Туркестанской, Кызылординской, Атырауской и Жамбылской областей Казахстана. Эти регионы наиболее подходят по климатическим условиям.

На различных этапах проектирования подобных станции возникает ряд задач теоретического характера и поиск оптимальных конструктивных схем СЭС.

По такому методу разработаны большинство зарубежных проектов солнечных станций, интенсивно разрабатываемых специалистами США, Франции, Японии и других стран [3].

### **Материалы и методы**

В методологическом плане задачей многофакторной модели оптической системы СЭС является выявление и визуализация основных характеристик станции.

Для его решения требуются глубокие теоретические проработки и создание специального класса многофакторных математических моделей, позволяющих проводить сравнительный анализ и отбор вариантов компоновки ОС СЭС.

Поэтому разработана многофакторная математическая модель ОС СЭС, реализованная в виде набора программ на ЭВМ.

Качественная характеристика этого метода является исследование широкоапертурных концентрирующих зеркальных систем с изменяемой геометрией.

Именно такая схема вычисления реализована в многофакторной математической модели работы оптической системы СЭС, структурная схема которой приведена на рисунке 2.

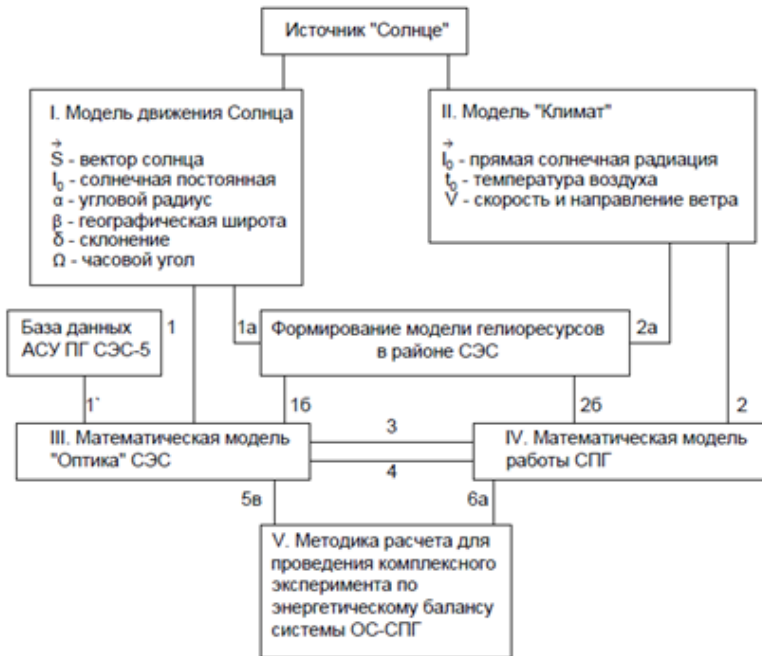


Рисунок 2 – Структура многофакторной математической модели ОС СЭС

Многофакторная математическая модель ОС СЭС состоит из нескольких под моделей, два из них являются исходными моделями:

– Модель I – движение Солнца вводится с первичных данных солнечной энергии;

– Модель II – в климат вводится группа данных который характеризует климатические условия района расположения СЭС.

Во внутренних блоках математической модели вычисляются положения солнца и наиболее вероятный уровень прямой солнечной радиации в различное время дня, в различные сезоны года.

Второй блок – эта группа данных содержит геометрические характеристики оптической системы: габаритные размеры зеркального поля и отдельных зеркал, расстояние между гелиостатами и способ их расположения в поле, высоту башни, размеры приемника и некоторые другие параметры, например, допуск на точность ориентации гелиостата.

Мы здесь используем программный модуль Shadow Analyzer для компьютерной визуализации полученных данных.

Функциональные возможности созданного программного модуля через программу Shadow Analyzer дает возможность оценить энергетические показатели станции, где учитываются климатические данные выбранного региона [4].

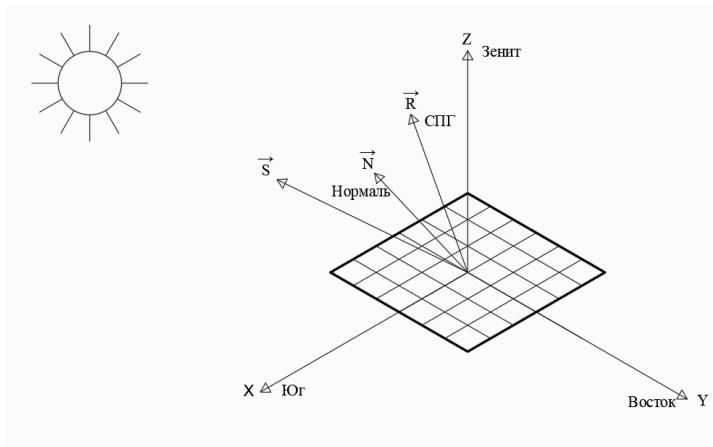


Рисунок 3 – Расчетная схема на плоскости  $i$  гелиостата:

$\vec{S}_i$  – вектор Солнца,  $\vec{R}_i$  – вектор направлен на солнечный парогенератор (СПГ),  $\vec{N}_i$  – вектор нормали

Траектория движения Солнца в координатах азимута – высота над горизонтом на широте 44 с.ш. для различных месяцев описывается вектором, который в выбранной системе координат XYZ имеет следующие компоненты:

$$\begin{aligned} S_x &= -\sin \delta \cdot \cos \beta + \cos \delta \cdot \sin \beta \cdot \cos \Omega, \\ S_y &= -\cos \delta \cdot \sin \Omega, \\ S_z &= \sin \delta \cdot \sin \beta + \cos \delta \cdot \cos \beta \cdot \cos \Omega. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь приняты следующие обозначения:

$\beta$  – географическая широта района планируемого расположения СЭС, для Кызылординской области  $\beta = 44^\circ$  с.ш.;

$\delta$  – склонение Солнца, определяемое по формуле:

$$\sin \delta = \sin \delta_m \cdot \sin \left( 2\pi \frac{n-81}{365} \right), \quad (2)$$

– наклон оси вращения Земли к плоскости эклиптики;

$n$  – номер дня от начала календарного года;

$\Omega$  – часовой угол, определенный по формуле:  $\Omega = \frac{\pi t}{12}$ ;

$t$  – солнечное время в часах, отсчитываемое от астрономического полудня.

При статистической обработке данных актинометрических наблюдений прослеживается четкая связь между высотой Солнца над горизонтом  $h$  и уровнем прямой радиации при ясном небе  $I_0$ . Это связь хорошо описывается формулой В. Г. Кастрова.

$$I_0 = \frac{I_n \cdot \sin h}{x + \sin h}, \quad (3)$$

В которую входят метеорологическая солнечная постоянная  $I_n$  и коэффициент ослабления прямой солнечной радиации атмосферой, отнесенной к единичной оптической массе атмосферы.

Величина  $I_n$  относится к внеатмосферной плотности потока солнечной радиации на орбите Земли и характеризует ту часть спектра, которая не испытывает полного поглощения при прохождении атмосферы, и уровень которой у земной поверхности зависит от оптической длины луча в атмосфере.

В соответствии с изменением расстояния между Землей и Солнцем при движении Земли по эклиптической орбите величина  $I_n$  в течении года изменяется по закону:

$$I_n = \left[ 1.256 + 0.042 \cdot \cos \left( \frac{2\pi \cdot n}{365} \right) \right] \text{ кВт/м}^2 \quad (4)$$

где  $n$  – номер дня от начала года.

Коэффициент ослабления зависит от содержания водяных паров  $\text{CO}_2$  и запыленности атмосферы. Оно изменяется по сезонам года и характеризуется своим среднемесячным значением  $x = x(m)$ , где  $m$  – номер месяца.

Значения для Кызылординского региона приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значение коэффициента ослабления прямой солнечной радиации для Кызылординского региона:

М	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
(m)	0.20	0.22	0.26	0.29	0.33	0.32	0.37	0.34	0.29	0.25	0.21	0.20

Дневной ход прямой радиации при ясном небе рассчитан в программной среде Shadow Analyzer по климатическим характеристикам Кызылординского региона, данные представлены на рисунке 3.

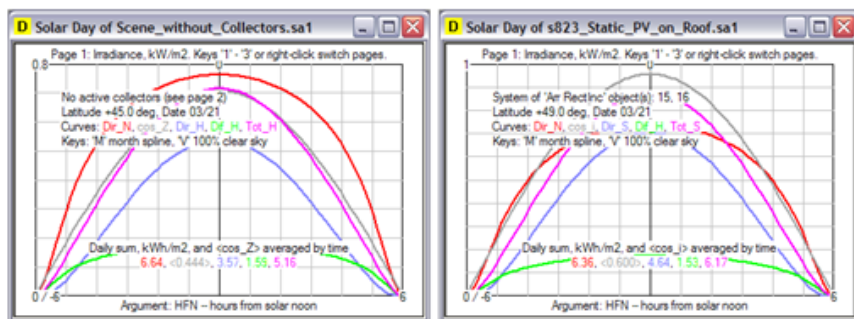


Рисунок 4 – Результаты расчета в программной среде Shadow Analyzer по климатическим характеристикам Кызылординской области

На рисунке 4 первая строка показывает объект СЭС, а вторая линия показывает географическую широту местности и дату.

Здесь показаны кривые:

- кривая  $Dir\_N$  – прямая солнечная радиация на нормальной поверхности гелиостата;
- кривая  $\cos(i)$  косинус угла падения солнечного луча;
- кривая  $Dif\_H$  и  $Dir\_S$  – полная диффузная и прямая солнечная радиация;
- кривая  $Tot\_S$  суммарная солнечная радиация.

Разработанная расчетная математическая модель работы поле гелиостатов солнечной электростанции (рисунок 3), создана таким образом чтобы трансформация хода лучей в системе была так, что вектор нормали  $\vec{N}_i$  к зеркалу непрерывно совпадал с биссектрисой плоского угла между гелиостатом – солнцем и гелиостатом – приемником [5].

Таким образом, ориентация гелиостата на поле однозначно определяется тремя векторами  $\vec{S}_i$ ,  $\vec{R}_i$ ,  $\vec{N}_i$ .

Теперь можно определить отношения этих векторов из геометрической схемы (рисунок 3).

Здесь используются свойства зеркального отражения и правила скалярного произведения единичных векторов для  $i$ -го гелиостата в данный момент времени. Это равно косинусу половины угла между векторами:

$$(\vec{S}_i, \vec{N}_i) = (\vec{N}_i, \vec{R}_i) = \cos \varphi_i \quad (5)$$

$$(\vec{S}_i, \vec{R}_i) = \cos 2\varphi_i \quad (6)$$

Здесь выражение косинуса двойного угла:

$$\cos \varphi_i = \left[ \frac{(1 + \cos 2\varphi_i)}{2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

Значения коэффициента косинуса  $\cos \varphi$  это и есть коэффициент полезного действия  $\eta$  оптической системы солнечной СЭС.

Здесь, значок «9» соответствует – 0,9, значок «8» – 0,8 и т. д.

Результаты показаны на рисунках 5а (22 марта, время: 12.00).

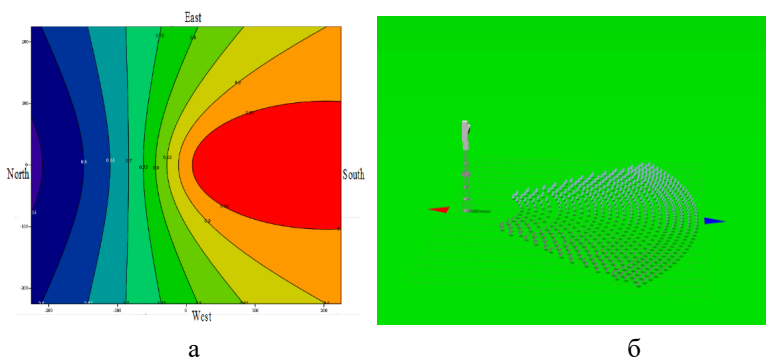


Рисунок 5 – Карты распределения уровня мгновенных локальных значений коэффициента эффективности использования зеркальной поверхности  $\eta$  гелиостатов

По результатам расчета значение коэффициента эффективности использования зеркальной поверхности гелиостатов  $\eta$  производилась компоновка зеркального поля в программной среде Shadow Analyzer рисунок 5б [6].

#### Результаты и обсуждения

В работе показана функциональная схема и подробное описание многофакторной математической модели оптической системы (ОС), для оценки энергетических характеристик станции [7].

Графики дневного изменения среднестатистического уровня прямой солнечной радиации при ясном небе для Кызылординского региона

приведены на рисунке 4, они получены через программную среду Shadow Analyzer [8].

В результате математического моделирования режимов работы оптической системы солнечной электростанции получены карты распределения уровня мгновенных локальных значений коэффициента эффективности использования зеркальной поверхности  $\eta$  гелиостатов.

Из рисунка 5 видно, что распределение мгновенных локальных количественных и качественных значений меняется в течении рабочего дня в оптической системе, в зависимости от положения солнца в небосклоне.

Например в полдень (рисунок 5) значение достигается до 0,9, для тех гелиостатов которые расположены [9] на северной стороне от башни. Это означает что гелиостаты расположенные на северной стороне от башни работают более эффективно по сравнению с другими секторами.

### **Выводы**

В работе представлены вопросы создания солнечных электростанций башенного типа и многофакторная математическая модель ОС СЭС.

Визуализация уровня солнечной радиации и режимы работы ОС производилось в программной среде ShadowAnalyzer [10].

В работе представлены основные подсистемы СЭС и функциональные схемы многофакторной математической модели ОС СЭС.

Многофакторная математическая модель дает возможность оценить энергетические показатели станции, которое выражает среднее значение по сезонному циклу работы СЭС.

В программный модуль Shadow Analyzer вводятся климатические характеристики Кызылординского региона и их алгоритмы расчета.

В работе также рассматриваются вопросы оптимизации и компьютерное моделирование режимов работы оптических систем в методологическом плане, задачей оптической системы поля гелиостатов является выявление, визуализация и оценка количественных, качественных характеристик, которое определяет режимы работы оптической системы солнечных электростанции башенного типа.

Разработанная расчетная схема и алгоритмы расчета работы поле гелиостатов солнечной электростанции созданы таким образом, чтобы ход лучей в системе всегда был так, что вектор нормали совпадал с биссектрисой плоского угла между гелиостатом – солнцем и гелиостатом – приемником [11].

Визуальная карта показывает что распределение мгновенных локальных значений меняется в течении рабочего дня, в зависимости от положения солнца в небосклоне.

В полдень солнечные лучи падают более вертикально и прямо на зеркальную поверхность гелиостатов [12].

Результаты представлены в виде визуальной карты для локальных значений коэффициента эффективности использования зеркальной поверхности поле гелиостатов для различных моментов времени работ оптической системы.

По результатам расчета делаем вывод, что при проектировании оптических систем солнечных электростанции, надо более плотно разместить гелиостаты на северной стороне от башни, таким образом гелиостаты расположенные [13] на северной стороне от башни будут работать более эффективно по сравнению с другими секторами расположения.

### Список использованных источников

1 **Treinius, N.** Hat der Energiesatellit eine Chance? Umschau in Wissenschaft und Technik. – 1975. – № 75(21). – P. 661–664.

2 **Blake, F. A., Walton, J. D.** Update on th solar power system and component research programme. «Solar Energy». – 1975. – № 17(4). – P. 213–219. – Sci-Hub [https://doi.org/10.1016/0038-092x\(75\)90002-x](https://doi.org/10.1016/0038-092x(75)90002-x)

3 **Sharma, V., Nayak, J.K., Kedare, S. B.** Effects of shading and blocking in linear Fresnel reflector field // Solar Energy. – 2015. – Vol. 113. – P. 114–138. – <https://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2014.12.026>

4 **Avezova, N. R., Khaitmukhamedov, A. E., Usmanov, A. Yu., Boliyev B. B.** Solar Thermal Power Plants in the World: The Experience of Development and Operation1 // Applied Solar Energy. – 2017. – Vol. 53. – № 1. – P. 72–77. – <https://doi.org/10.3103/S0003701X17010030>

5 **Cocco, D., Cau, G.** Energy and economic analysis of concentrating solar power plants based on parabolic trough and linear Fresnel collectors // Proc IMechE Part A: // Journal of. Power and Energy. – 2015. – P. 1– 12. – <https://doi.org/10.1177/0957650915587433>

6 **Beltagy, H., Semmar, D., Lehaut, Ch., Said, N.** Theoretical and experimental per-formance analysis of a Fresnel type solar concentrator // Renewable Energy. – 2017. – Vol.101. – P. 782–793. – <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.09.038> Theoretical and experimental performance analysis of a Fresnel type solar concentrator

7 **Banos, R., Manzano-Aguilario, F., Montoya, F.G., Gil, C., Alcayde, A., Gomez, J.** Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2011. – Vol.15. – P. 1753–1766. – <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.12.008>

8 **Payzullakhanov, M. S., Payziyev, Sh. D., Suleymanov, S. Kh.** «Modeling of Processes of Heating and Cooling of Materials in a Solar Furnace», Applied Solar Energy. – Vol. 55. – № 6. – P. 404–408. – 2019. – <https://doi.org/0.3103/S0003701X19060082> Sci-Hub || [10.3103/s0003701x19060082](https://doi.org/10.3103/s0003701x19060082)

9 **Koishiyev, T. K., Bekzhan, Z. B., Saribayev, A. S.** Optimization Issues, Computer Modeling, and Visualization of the Efficiency Coefficient of Optical Systems of Solar Furnaces and Solar Power Plants Applied Solar Energy. – 2023. – № 59(3). – P. 324–328. – <https://doi.org/10.3103/S0003701X2260148X>

10 **Koishiyev, T. K., Bekzhan, Z. B.** Creation of a computer architecture and evaluation of energy indicators of a PV-solar station in the «Shadow Analyzer» software environment Problems of energy and sources saving, Tashkent, Uzbekistan, 2022 qWyVQsL5HGBaoMNg4Sy5TYdLimX8pDHW00QF6W0I.pdf

11 **Boito, P., Grena, R.** Optimization of the geometry of Fresnel linear collectors // Solar Energy. – 2016. – Vol. 135. – P. 479–486. – <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.05.060>

12 **Strebkov, D. S., Penjiyev, A. M.** «Solar Power Plants with Parabolic Trough Concentrators in the Desert Area of Karakum», Applied Solar Energy, Vol. 55. – № 3. – P. 195–206, 2019. – <https://doi.org/10.3103/S0003701X19030083>

13 **Pinkey, M., Kumari, M., Sahdev, R.K., Tiwari, S.** «A Review on Solar Photovoltaic System Efficiency Improving Technologies», Applied Solar Energy, Vol. 58. – № 1. – P. 54–75. – 2022. – <https://doi.org/10.3103/S0003701X22010108>

Поступило в редакцию 03.10.25.

Поступило с исправлениями 10.11.25.

Принято в печать 27.02.26.

*Т. Қ. Қойшиев<sup>1</sup>, \*З. Б. Бекжан<sup>2</sup>, Г. Р. Балходжаева<sup>3</sup>*

<sup>1,2</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,  
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.;

<sup>3</sup>Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті,  
Қазақстан Республикасы, Қызылорда қ.

03.10.25 ж. баспаға түсті.

10.11.25 ж. түзетулерімен түсті.

27.02.26 ж. басып шығаруға қабылданды.

## **МҰНАРАЛЫ КҮН ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫНЫҢ ГЕЛИОСТАТТАР ӨРІСІН ЖОБАЛАУ ЖӘНЕ ОҢТАЙЛАНДЫРУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ**

*Осы жұмыста Қазақстан Республикасының аумағында мұнаралық типтегі күн электр станциясын (КЭС) жобалау және құру қазғидаттары қарастырылады. Тақырыптың өзектілігі жаңартылатын энергия көздерін, әсіресе күн энергиясын кеңінен пайдаланудың қажеттілігімен, елдің энергетикалық тәуелсіздігі мен экологиялық тұрақтылығын арттыру мақсатымен негізделеді. Қазақстанда негізінен фотоэлектрлік күн станцияларын дамытуға басымдық беріліп отыр, алайда әлемдік тәжірибе күн электр станцияларының басқа да түрлерінің, соның ішінде мұнаралық күн жылу станцияларының тиімділігі мен болашағы зор екенін көрсетеді. Зерттеу аясында мұнаралық типтегі СЭС жүйесінің параметрлерін оңтайландыруға мүмкіндік беретін көпфакторлы математикалық модель жасалды. Жұмыста станцияның оптикалық бөлігіне – шағылдырғыш беттерді (гелиостаттарды) және күн сәулесін орталық қабылдағышқа шоғырландыру есептерін қамтитын модельдерді әзірлеуге және қолдануға ерекше көңіл бөлінді. Дайындалған модельдер инженерлік есептеулерді ЭЕМ көмегімен жүргізуге мүмкіндік беретін бағдарламалық кешендер түрінде іске асырылды [2,3]. Зерттеу нәтижелері Қазақстанның климаттық жағдайында мұнаралық типтегі күн электр станцияларын әзірлеу және енгізумен айналысатын жобалау және инженерлік ұйымдарға арналған ұсыныстарды қалыптастыруға негіз болды. Зерттеу нәтижелері Қазақстанның климаттық жағдайында тиімді жұмыс істейтін мұнаралық күн электр станцияларын құру бойынша жобалау және инженерлік ұйымдарға нақты ұсыныстар беруге мүмкіндік береді.*

*Кілтті сөздер: мұнара түріндегі КЭС, КЭС оптикалық жүйесі, күн бу генераторы, жылу қабылдағыш, гелиостат.*

T. K. Koishiyev<sup>1</sup>, \*Z. B. Bekzhan<sup>2</sup>, G. R. Balkodzhaeva<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Al-Farabi Kazakh National University,

Republic of Kazakhstan, Almaty;

<sup>3</sup>Korkyt Ata Kyzylorda University,

Republic of Kazakhstan, Kyzylorda.

Received 03.10.25.

Received in revised form 10.11.25.

Accepted for publication 27.02.26.

## HELIOSTAT FIELD LAYOUT AND OPTIMIZATION TECHNOLOGY FOR A TOWER SOLAR POWER PLANT

*This study examines the principles of designing and constructing a tower-type solar power plant (SPP) in the Republic of Kazakhstan. The relevance of the topic is justified by the need to expand the use of renewable energy sources, particularly solar energy, in order to increase the country's energy independence and environmental sustainability. In Kazakhstan, priority is mainly given to the development of photovoltaic solar stations; however, international experience shows the efficiency and promising potential of other types of solar power plants, including tower-based solar thermal power stations. As part of the research, a multifactor mathematical model was developed to optimize the parameters of a tower-type SPP system. Special attention was paid to the development and application of models for the optical part of the station, including the calculation of reflective surfaces (heliostats) and the concentration of solar radiation on the central receiver. The developed models have been implemented as software packages that enable engineering calculations using computers [2,3]. Based on the results obtained, recommendations were formulated for design and engineering organizations involved in the development and implementation of tower-type solar power plants under the climatic conditions of Kazakhstan.*

*The research results make it possible to provide specific recommendations to design and engineering organizations for the construction of tower-type solar power plants that operate efficiently under the climatic conditions of Kazakhstan.*

*Keywords: tower-type SES, SES optical system, solar steam generator, heat sink, heliostat.*

Теруге 13.03.2026 ж. жіберілді. Басуға 31.03.2026 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

28.54 Мб RAM

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

Компьютерде беттеген: З. Ж. Шокубаева

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4523

Сдано в набор 13.03.2026 г. Подписано в печать 31.03.2023 г.

Электронное издание

28.54 Мб RAM

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

Компьютерная верстка: З. Ж. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4523

«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](mailto:kereku@tou.edu.kz)

[www.vestnik-energy.tou.edu.kz](http://www.vestnik-energy.tou.edu.kz)