

Marat Khazimov – Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Thermal Power Engineering and Physics, Gumarbek Daukeyev Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, Kazakhstan; e-mail: mkhazimov@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5448-3122>.

Поступила в редакцию 14.01.2026
Поступила после доработки 27.03.2026
Принята к публикации 30.03.2026

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-2\(22\)-59](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-2(22)-59)



МРНТИ 31.15.10

И.М. Дауренова^{1,2*}, Д.М. Тойбазар^{1,2}, А.Б. Мустафаева³, Б.А. Урмашев⁴, М.Ж. Хазимов^{1,2}

¹Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева,
050013, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Байтурсынова, 126/1

²Казахский национальный аграрный исследовательский университет,
050010, Республика Казахстан, г. Алматы, пр. Абая, д. 8

³Казахстанско-Британский технический университет,
050000, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Толе би, 59

⁴Казахский национальный университет имени Аль-Фараби,
050040, Республика Казахстан, г. Алматы, пр. Аль-Фараби, 71

*e-mail: daurenovaindira1@gmail.com

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ ГЕЛИОКОЛЛЕКТОРА ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ СУШКИ КУКУРУЗЫ

Аннотация: В статье представлено исследование процесса сушки кукурузы с использованием экспериментальной сушильной установки, работающей на базе воздушного солнечного коллектора. Проведены теплотехнические эксперименты, включающие измерение скорости воздушного потока и регистрацию изменения влажности кукурузы в процессе сушки. Дополнительно выполнен анализ конструктивных и эксплуатационных характеристик солнечного гелиоколлектора, исследованы показатели солнечной радиации в зоне эксперимента, что обеспечило оценку уровня доступной солнечной энергии и её влияния на эффективность нагрева воздуха. Проведённые исследования позволили определить тепловую мощность воздушного коллектора, оценить распределение температур по его длине и установить оптимальные параметры работы системы. Установлено, что использование солнечного нагрева обеспечивает значительное снижение энергозатрат на сушку кукурузы, повышает энергоэффективность процесса и способствует устойчивому использованию возобновляемых источников энергии. Дополнительно выполнено сравнение экспериментальных данных с расчётными зависимостями, что позволило уточнить кинетику влагопереноса и теплообмена в слое кукурузы. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и модернизации солнечных сушильных установок для сельскохозяйственной продукции, а также для обоснования рациональных режимов сушки в условиях переменной инсоляции и естественной вентиляции.

Ключевые слова: солнечные коллекторы, сушка кукурузы, солнечная радиация, пиранометр GSM/O-120, измерение излучения.

Введение

Кукуруза является одной из ключевых зерновых культур, востребованных для продовольственных, кормовых и технических целей [1]. Высокая урожайность, универсальность использования и ценность химического состава делают её важным компонентом агропромышленного комплекса. Важнейшим элементом растения, определяющим продуктивность и качество урожая, является початок кукурузы [2].

Поздние сроки уборки и несвоевременная сушка негативно влияют на качество зерна, приводят к трещинам и повреждению початков, снижая товарную и семенную ценность [3]. Оптимальная влажность зерна для хранения и транспортировки составляет 14 –15%, при

пересушивании повышается количество брака. Содержание жира и белка в зерне кукурузы выше, чем у большинства других зерновых культур, что повышает её питательную и экономическую ценность [4].

Сушка кукурузы является одним из наиболее энергоёмких этапов послеуборочной обработки: потребление энергии на сушку початков в 4-5 раз выше, чем у других зерновых культур. В современных условиях значительные энергозатраты можно снизить за счёт внедрения энергоэффективных технологий и использования возобновляемых источников энергии, в частности солнечных коллекторов [5].

Широкое распространение получили сушилки косвенного нагрева на дизельном топливе, где до 30% всех затрат на производство приходится на сушку зерна. Использование солнечных коллекторов позволяет сократить расход топлива, снизить себестоимость продукции и повысить экологичность процесса. Разработка оптимальных температурных режимов сушки и внедрение энергосберегающих технологий являются актуальными задачами для повышения рентабельности производства [6].

Цель данного исследования – оценить возможность применения воздушных солнечных коллекторов для сушки кукурузы на примере сельскохозяйственного предприятия юга Казахстана, определить оптимальные параметры гелиоколлектора и режимы сушки, обеспечивающие сохранность зерна и снижение энергозатрат.

Научная новизна исследования заключается в экспериментальном определении тепловой мощности воздушного гелиоколлектора малой мощности в климатических условиях юга Казахстана. В работе выполнено сопоставление экспериментальных измерений солнечной радиации с данными платформы Global Solar Atlas, определён коэффициент светопропускания полиэтиленового покрытия коллектора и установлена зависимость температурного режима нагрева воздуха от скорости воздушного потока в канале коллектора. Полученные результаты позволяют уточнить теплотехнические характеристики гелиоколлекторов, применяемых в сельскохозяйственных сушильных установках.

Материалы и методы исследования

При анализе работы воздушного солнечного коллектора основное внимание уделялось его способности поглощать солнечное излучение и характеристикам прозрачной полиэтиленовой плёнки, влияющим на проникновение света [7]. Расчёт температур абсорбера и проходящего через коллектор воздушного потока осуществлялся путём составления теплового баланса и применения радиационных зависимостей, вытекающих из закона Стефана-Больцмана [8].

Модель была упрощена за счёт предположения, что температура абсорбирующей поверхности в пределах коротких временных интервалов остаётся почти постоянной, а теплотери через нижний изолированный слой можно считать незначительными. В итоге работоспособность коллектора в первую очередь определяется тем, насколько сильно нагревается поглощающая поверхность и какие температурные параметры достигает воздух на выходе. На рисунке 1 показано схема воздушного гелиоколлектора.

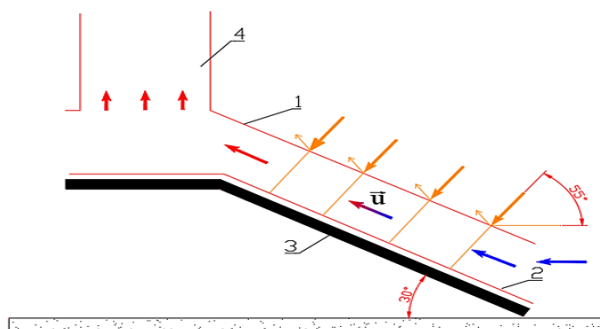


Рисунок 1 – Схема воздушного гелиоколлектора
1– прозрачная полиэтиленовая пленка; 2 – абсорбер; 3 – теплоизолятор;
4-нагретый воздух после гелио коллектора

Для упрощения расчета приняты следующие допущения: в рассматриваемый короткий промежуток времени температура абсорбера постоянна; потери теплоты через изоляцию дна коллектора являются незначительными. Солнечное излучение проходит через прозрачной

бесцветной полиэтиленовой пленки коэффициентом отражения 21 %. Учитывая потери теплового потока солнечной радиации при прохождении сквозь пленки коэффициентами отражения k , уравнение баланса теплового потока имеет вид:

$$q \cdot k = \varepsilon \cdot \sigma \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \quad (1)$$

где:

$\sigma = 5,67 \text{ Вт/м}^2\text{К}^4$ – постоянная Стефана – Больцмана;

$\varepsilon = 0,8$ – степень черноты тела;

$k = 20\%$ – коэффициентом отражения пленки.

Место проведения исследования (Алматинская область) находится на расположенную на северной широте 43.89568° и 70.37812° восточной долготы.

При вынужденной конвекции модель теплообмена в воздушном коллекторе запишется в виде.

$$q \cdot k = \varepsilon \cdot \sigma \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] + \alpha \frac{(\Delta t' - \Delta t'')}{\ln \frac{\Delta t'}{\Delta t''}}, \quad (2)$$

где:

α – коэффициент теплообмена, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$.

Работа выполнялась в Алматинской области с целью изучения возможностей использования солнечной энергии и анализа климатических особенностей региона. Для оценки доступной солнечной радиации были использованы сведения платформы Global Solar Atlas, разработанной Всемирным банком при поддержке программы ESMAP [9]. Полученные данные о средней глобальной горизонтальной радиации и потенциальной солнечной генерации, в том числе для города Алматы, подтвердили эффективность применения гелиосушительных систем в этих климатических условиях.

В рамках исследования в этом регионе была измерена плотность солнечной энергии с использованием пиранометра, а полученные результаты сопоставлены с данными ГИС (рис. 2).

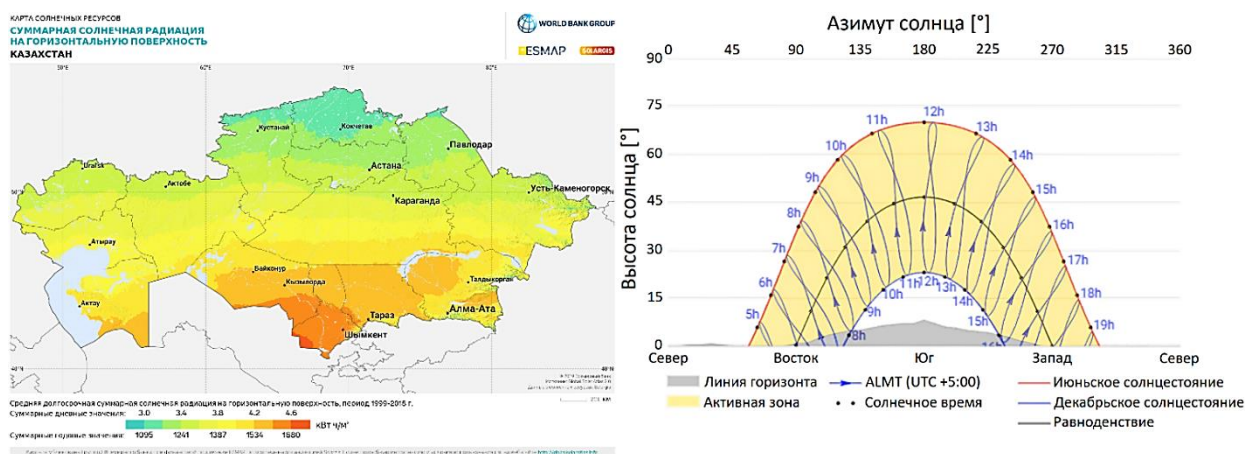


Рисунок 2 – Показатели солнечной радиации в зоне исследований:

а – Глобальное горизонтальное излучение; б – Солнечный азимут

В июне 2025 года на производственной базе Казахского Национального Аграрного Исследовательского Университета были проведены экспериментальные исследования теплопередачи. В качестве исследуемого устройства использовался солнечный коллектор размерами $1,5 \times 0,5 \times 0,5 \text{ м}$. Эксперименты проводились при естественном дневном солнечном освещении. После выхода установки на квазистационарный режим при заданной интенсивности солнечного излучения выполнялись измерения температуры воздуха на входе (T') и выходе (T''), температуры стенок абсорбера, а также скорости движения воздуха. Коэффициент теплопередачи абсорбера определялся после установления стабильной температуры его поверхности при постоянной солнечной радиации. Для каждой серии опытов тепловой поток рассчитывался с использованием соответствующего уравнения.

$$Q = G \cdot C_p (T'' - T'). \quad (3)$$

Расход воздуха была вычислен по формуле:

$$G = U \cdot \rho \cdot S, \quad (4)$$

где:

$\rho = 1,293 \text{ кг/м}^3$ – плотность воздуха;

S – площадь поперечного сечения канала, м^2 .

Скорость потока воздуха U была определена путем измерения с помощью смарт прибора (Тесто-смарт 405i) погрешность прибора $\pm(0,1 \text{ м/с} + 5\%)$ согласно стандарту (рис. 3).

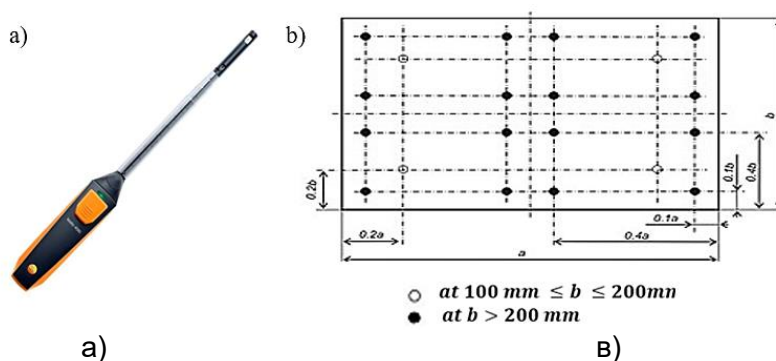


Рисунок 3 – Измерение скорости потока воздуха в солнечном коллекторе
а – общий вид прибора Тесто-смарт 405i; в – схема замера скорости потока

Расчет коэффициента теплоотдачи (α) осуществлялся по формуле:

$$\alpha = \frac{Q}{F (t_w - t_l)}, \quad (5)$$

где:

F – площадь коллектора, м^2 ;

t_w – температура поверхности коллектора, $^{\circ}\text{C}$;

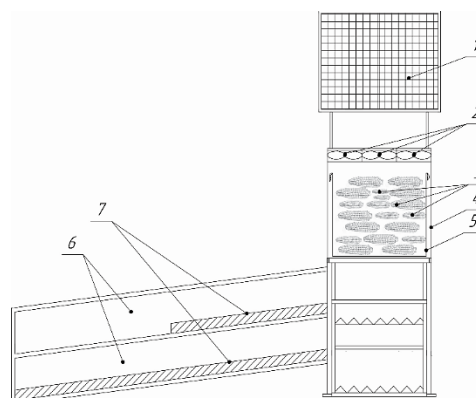
t_l – температура воздуха на поверхности коллектора, $^{\circ}\text{C}$.

В эксперименте измерялась плотность солнечной радиации на внешней поверхности покрытия и под плёнкой коллектора для определения коэффициента её светопропускания (рис. 4). На рисунке 4а слева показана реальная установка, а на рисунке 4б справа – её схематическое представление.



а)

а) общий вид оборудования;



б)

б) схема расположения приборов;

Рисунок 4 – Устройство для сушки початков кукурузы

1 – солнечная панель; 2 – батареи для вентиляторов вытежки; 3 – початки кукурузы; 4 – короб из оргстекла; 5 – биг бэг; 6 – прозрачная пленка над солнечным коллектором; 7 – солнечные коллекторы

Солнечная радиация, зарегистрированная под плёнкой, отражает ту часть энергии, которая действительно проникает внутрь камеры, формируя внутренний энергетический поток системы. Сравнение значений излучения до и после фильтрации позволяет определить коэффициент светопропускания плёнки и оценить её роль в снижении тепловых потерь

коллектора. Таким образом, проведенное исследование направлено на количественную характеристику прозрачности покрытия и его влияния на общий энергетический баланс солнечного коллектора.

Результаты исследований

В результате проведенного экспериментального исследования была получена графическая зависимость температуры воздуха по длине солнечного коллектора для обогрева воздуха при различных значениях скоростей потока (рис. 5).

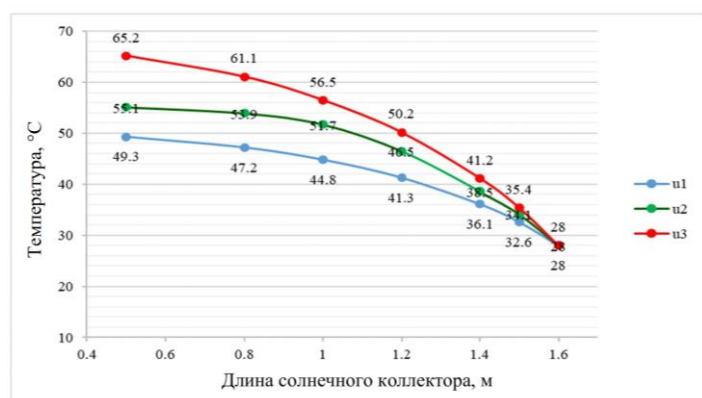


Рисунок 5 – Распределение температуры воздуха по длине солнечного коллектора сушилки при варьировании скорости движения воздуха

На основаниях полученных данных были обоснованы и комплектованы параметры солнечного коллектора для обогрева воздуха (табл. 1, 2).

Таблица 1 – Результаты измерения солнечной радиации и температуры коллектора в течение суток

Часы суток	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	17-18	18-19
Суммарная солнечная радиация, Вт/м ²	305	500	615	693	738	763	761	729	683	615	525	405
Температура коллектора, °C	67	89	97	103	106	110	109	105	101	97	91	80

Таблица 2 – Технические характеристики электрической сушильной установки для сравнительного анализа

Показатели сушилок	Макетный образец модели сушилка электронагревом воздуха
Потребляемое напряжение, В	220
Потребляемая мощность электромоторов вентилятора, Вт	1600
Потребляемая мощность для нагрева воздуха, Вт	2000
Источник питания	Электросеть (220В)
Автономный источник питания	-
Контроллер электросистемы	TPM-1

Кукуруза в Казахстане является самой высокоурожайной зерновой и основной кормовой культурой универсального использования. Территория Республики Казахстан отличается разнообразием климатических условий – от холодных степей севера до жарких и сухих полупустынь южных районов [10]. Это обуславливает выращивание и производство гибридов кукурузы разных групп созревания от раннеспелых до позднеспелых. В последние годы в республике наметилась тенденция на переработку кукурузы в пищевых целях, хотя основным было и остается использование ее на корм [11].

Сушка кукурузы является одним из ключевых этапов при уборке урожая, позволяющим значительно увеличить срок её хранения [12].

Сушка кукурузы в оптимальном режиме способствует повышению всхожести и энергии прорастания зерна. Правильно высушенная кукуруза обеспечивает более высокий урожай по сравнению с зерном, высушенным естественным способом на воздухе [13].

Графики на рисунке 6 отражают сезонные и суточные колебания температуры, обусловленные изменением интенсивности солнечного излучения. Амплитуда пиков показывает эффективность нагрева в разные периоды года, достигая максимума в летние месяцы (июль, август) и минимума в зимние (декабрь) [9].

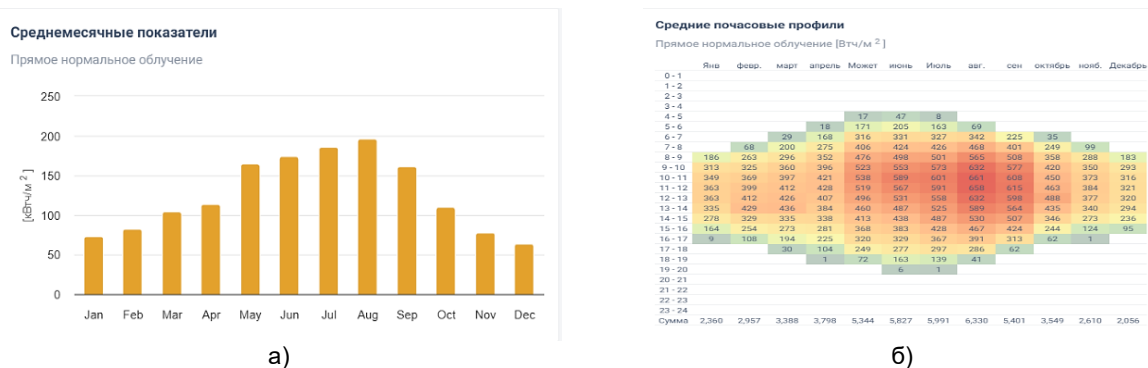


Рисунок 6 – Показатели солнечной радиации в зоне исследований
а – Среднемесячные значения; б – Средние часовые профили

Статистические данные за несколько лет показывают, (рис 6), что среднегодовая величина глобальной горизонтальной радиации в регионе составляет 1470,3 кВт·ч/м², что свидетельствует о высоком солнечном потенциале. Показатель прямого солнечного излучения достигает 1494,2 кВт·ч/м², а рассеянного – 600,8 кВт·ч/м², что играет решающую роль при проектировании систем, использующих оба типа солнечной энергии. Расчёты годовой потенциальной выработки фотоэлектричества в стандартных условиях дают ориентировочно 1418,2 кВт·ч, что подтверждает эффективность применения солнечных технологий, включая гелиосушительные комплексы [14, 15]. Для достижения наилучших энергетических показателей солнечные модули следует устанавливать под углом 35° и ориентировать строго на юг (азимут 180°).

Дневные измерения солнечной радиации показали отчётливо выраженный суточный характер её распределения, типичный для устойчиво ясной погоды. Наибольшие значения плотности солнечного излучения фиксировались в промежутке между 12:00 и 13:00, когда поток достигал примерно 1000 Вт/м² на внешней поверхности и около 870 Вт/м² внутри сушильной установки. Этот период совпадает с максимальной высотой Солнца над горизонтом, что обеспечивает наиболее интенсивную инсоляцию и повышенную тепловую нагрузку на оборудование.

В утренние часы (05:00-08:00) облучённость возрастала постепенно по мере подъёма Солнца, а после 17:00 наблюдалось её равномерное снижение до минимальных значений порядка 0-200 Вт/м². Такой характер суточных колебаний свидетельствует о стабильных атмосферных условиях и позволяет более точно прогнозировать производительность солнечной сушильной установки. Дополнительный анализ этих данных может использоваться для оптимизации режима работы оборудования, выбора материалов и улучшения теплоизоляции конструкции.

Анализ величин облучённости снаружи и внутри сушильной камеры показал, что среднее снижение солнечного потока составляет примерно 13%, что эквивалентно коэффициенту пропускания плёночного материала 0,87. Такой уровень прозрачности соответствует действующим стандартам для гелиосушительных систем и подтверждает высокое качество применённого светопропускающего слоя. Небольшие потери излучения указывают на эффективное подавление излишних тепловых потерь, благодаря чему покрытие способствует повышению энергетической отдачи всей установки. Это делает материал особенно подходящим для эксплуатации в условиях изменяющейся солнечной активности, обеспечивая устойчивый режим работы сушильной камеры на протяжении всего светового дня.

Определение потерь солнечной радиации через прозрачную плёнку. Для оценки величины потерь солнечного излучения через прозрачную плёнку, установленную над воздушнонагревательным коллектором, были выполнены измерения с использованием пиранометра, погрешность пиранометра GSM-120 - $\pm 5\%$; (рис. 7).



Рисунок 7 – Интенсивность солнечной радиации

Заключение

Проведённые исследования подтвердили, что использование солнечной энергии в условиях Алматы является эффективным решением для сушки кукурузы. Измерения солнечной облучённости показали, что гелиосушительная установка способна поддерживать стабильный температурный режим в течение большей части светового дня, особенно в летний период с высокой инсоляцией. Сравнение локальных данных с данными Global Solar Atlas показало хорошее соответствие и подчеркнуло значимость учёта местных факторов, таких как угол падения солнечных лучей, наличие затенений и свойства плёночного покрытия.

Коэффициент пропускания плёнки, равный примерно 0,87, подтвердил её эффективность для щадящей сушки кукурузы, минимизируя тепловые потери и обеспечивая безопасный режим обработки сырья. Временной интервал с 9:00 до 16:00 обеспечивает оптимальные условия для сушки без привлечения дополнительной энергии, что делает гелиосушительные установки экономичным и экологически устойчивым решением для небольших и средних хозяйств.

Таким образом, результаты исследования демонстрируют, что правильный подбор конструкции и параметров гелиоколлектора позволяет достичь высокой энергоэффективности и стабильности процесса сушки, подтверждая перспективность солнечных технологий для агропромышленных нужд региона.

Список литературы

1. Sotchenko V.S. Technology of corn cultivation / V.S. Sotchenko, V.N. Bagrintseva // Bulletin of the Agroindustrial Complex of Stavropol Special. – 2015. – Issue № 2. – 79 б.
2. Alabushev A.V. Corn: biology, breeding, cultivation technology / A.V. Alabushev // Rostov n/A: Phoenix, 2018. – P. 45-78.
3. Popova T.N. Chemical composition and nutritional value of corn grain / T.N. Popova // Food Industry. – 2022. – № 5. – P. 32-36.
4. Перспективная технология сушек влажного зерна кукурузы / В.Н. Пермяков и др. // Башкирский государственный аграрный университет.
5. Энергоэффективная технология сушка зерна, использующая солнечную энергию / Н.Ю. Куртченко и др. // Известия. – 2022. – № 4(68).
6. Technology and system of power supply / O. Gorbenko et al // Determination on energy efficiency in corn grain drying.
7. Barantsev A.I. Solar energy: heat engineering and technology / A.I. Barantsev, V.M. Kuznetsov. – Moscow: Energiya, 2019. – P. 112-145.
8. Fedyanina V.Ya. Fundamentals of using non-traditional and renewable energy sources / V.Ya. Fedyanina, S.O. Khomutova, V.M. Ivanova, / ed.- Barnaul, LLC «MC EOR». – 2018.

9. Globalis Solaris Atlas [Fontes electronici] / Grex Argentariae Mundanae, ESMAP. – Modus accessus: <https://globalsolaratlas.info>.
10. Dzyuba V.A. Breeding and seed production of corn / V.A. Dzyuba, V.V. Kozlov. – Moscow: Kolos, 2017. – P. 23-56.
11. Kuzmin, I.I. Scientific justification of increasing the level of hybridity of corn seeds and the technology of their post-harvest processing at plants: abstract of the dissertation. ... Candidate of Technical Sciences, Moscow, 1999. – 24 p.
12. GOST 32882-2014 «Corn, fresh on the cob» (for processing for food purposes and for fresh consumption).
13. ГОСТ 13634-90 Межгосударственный стандарт. Кукуруза Требования пи заготовках и поставках. – Москва. Стандартинформ. – 2010.
14. Duffie J.A. Solar Engineering of Thermal Processes / J.A. Duffie, W.A. Beckman // 4th ed. John Wiley & Sons, 2013. – 936 p.
15. Mishenin E.V. Modellatio mathematica radiationis solaris pro systematibus autonomis / E.V. Mishenin // Conservatio energiae et energia renovabilis. – 2020. – № 2. – P. 18-25.

References

1. Sotchenko V.S. Technology of corn cultivation / V.S. Sotchenko, V.N. Bagrintseva // Bulletin of the Agroindustrial Complex of Stavropol Special. – 2015. – Issue № 2. – 79 b. (In English).
2. Alabushev A.V. Corn: biology, breeding, cultivation technology / A.V. Alabushev // Rostov n/A: Phoenix, 2018. – R. 45-78. (In English).
3. Popova T.N. Chemical composition and nutritional value of corn grain / T.N. Popova // Food Industry. – 2022. – № 5. – R. 32-36. (In English).
4. Perspektivnaya tekhnologiya sushk vlazhnogo zerna kukuruzy / V.N. Permyakov i dr. // Bashkirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet. (In Russian).
5. Ehnergoehffektivnaya tekhnologiya sushka zerna, ispol'zuyushchaya solnechnuyu ehnergiyu / N.Yu. Kurtchenko i dr. // Izvestiya. – 2022. – № 4(68). (In Russian).
6. Technology and system of power supply / O. Gorbenko et al // Determination on energy efficiency in corn grain drying. (In English).
7. Barantsev A.I. Solar energy: heat engineering and technology / A.I. Barantsev, V.M. Kuznetsov. – Moscow: Energiya, 2019. – R. 112-145. (In English).
8. Fedyanina V.Ya. Fundamentals of using non-traditional and renewable energy sources / V.Ya. Fedyanina, S.O. Khomutova, V.M. Ivanova, / ed.- Barnaul, LLC «MC EOR». – 2018. (In English).
9. Globalis Solaris Atlas [Fontes electronici] / Grex Argentariae Mundanae, ESMAP. – Modus accessus: <https://globalsolaratlas.info>. (In English).
10. Dzyuba V.A. Breeding and seed production of corn / V.A. Dzyuba, V.V. Kozlov. – Moscow: Kolos, 2017. – R. 23-56. (In English).
11. Kuzmin, I.I. Scientific justification of increasing the level of hybridity of corn seeds and the technology of their post-harvest processing at plants: abstract of the dissertation. ... Candidate of Technical Sciences, Moscow, 1999. – 24 p. (In English).
12. GOST 32882-2014 «Corn, fresh on the cob» (for processing for food purposes and for fresh consumption). (In English).
13. GOST 13634-90 Mezghosudarstvennyi standart. Kukuruza Trebovaniya pi zagotvokakh i postavkakh. – Moskva. Standartinform. – 2010. (In Russian).
14. Duffie J.A. Solar Engineering of Thermal Processes / J.A. Duffie, W.A. Beckman // 4th ed. John Wiley & Sons, 2013. – 936 p. (In English).
15. Mishenin E.V. Modellatio mathematica radiationis solaris pro systematibus autonomis / E.V. Mishenin // Conservatio energiae et energia renovabilis. – 2020. – № 2. – P. 18-25. (In English).

Информация о финансировании

Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по проекту «AP26199873 Разработка энерго- и ресурсосберегающей гибридной технологии транспортировки, хранения и складирования початков кукурузы с одновременной осциллирующей сушкой в контейнерах с использованием гелиовоздушных коллекторов и теплонасосной установки».

И.М. Дауренова^{1,2*}, Д.М. Тойбазар^{1,2}, А.Б. Мустафаева³, Б.А. Урмашев⁴, М.Ж. Хазимов^{1,2}

¹Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы Энергетика және Байланыс Университеті,

050013, Қазақстан, Алматы қ., Байтұрсыұлы к-сі, 126/1

²Қазақ Ұлттық Аграрлық Зерттеу Университеті,

050010, Қазақстан, Алматы қ., Абай д-лы, 8

³Қазақ-Британ техникалық университеті,

050000, Қазақстан, Алматы қ., Төле би к-сі, 59

⁴Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,

050040, Қазақстан, Алматы қ., Өл-Фараби д-лы, 71

*e-mail: daurenovaindira1@gmail.com

ЖҮГЕРІНІ ТИІМДІ КЕПТІРУ ҮШІН ГЕЛИОКОЛЛЕКТОРДЫҢ ЖЫЛУ ҚУАТЫН АНЫҚТАУ

Мақалада ауа күн коллекторы негізінде жұмыс істейтін тәжірибелік кептіру қондырғысын пайдалана отырып, жүгеріні кептіру процесін зерттеу нәтижелері ұсынылған. Жылутехникалық тәжірибелер жүргізіліп, ауа ағынының жылдамдығы өлшенді және кептіру барысында жүгерінің ылғалдылығының өзгеруі тіркелді. Сонымен қатар күн гелиоколлекторының конструктивтік және пайдалану сипаттамалары талданып, тәжірибе аймағындағы күн радиациясының көрсеткіштері зерттелді, бұл қолжетімді күн энергиясының деңгейін және оның ауаны қыздыру тиімділігіне әсерін бағалауға мүмкіндік берді. Зерттеу нәтижесінде ауа коллекторының жылулық қуаты анықталып, оның ұзындығы бойынша температураның таралуы бағаланды және жүйенің оңтайлы жұмыс режимдері белгіленді. Күн энергиясын пайдалану жүгеріні кептіру кезіндегі энергия шығындарын едәуір төмендетіп, процестің энергия тиімділігін арттыратыны және жаңартылатын энергия көздерін орнықты пайдалануға ықпал ететіні анықталды. Қосымша түрде тәжірибелік нәтижелер есептік тәуелділіктермен салыстырылып, жүгері қабатындағы жылу және ылғал алмасу кинетикасы нақтыланды. Алынған деректер ауылшаруашылық өнімдерін кептіруге арналған күн кептіргіш қондырғыларын жобалау және жетілдіру кезінде, сондай-ақ өзгермелі инсоляция мен табиғи желдету жағдайында кептірудің ұтымды режимдерін негіздеу үшін пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: күн коллекторлары, жүгеріні кептіру, күн радиациясы, GSM/O-120 пиранометрі, радиацияны өлшеу.

I.M. Daurenova^{1,2*}, D.M.Toibazar^{1,2}, A.B. Mustafaeva³, B.A. Urmashiev⁴, M.Zh. Khazimov^{1,2}

¹Gumarbek Daukeev Almaty University of Energy and Communications,

050013, Republic of Kazakhstan, Almaty, Baitursynuly street, 126/1

²Kazakh National Agrarian Research University,

050000, Republic of Kazakhstan, Almaty, Abay avenue, 8

³Kazakh-British Technical University,

050000, Republic of Kazakhstan, Almaty, Tole bi street, 59

⁴Al-Farabi Kazakh National University,

050040, Republic of Kazakhstan, Almaty, Al-Farabi avenue, 71

*e-mail: daurenovaindira1@gmail.com

DETERMINATION OF THE THERMAL POWER OF A SOLAR COLLECTOR FOR EFFICIENT DRYING OF CORN

The article presents the results of an investigation of the corn drying process using an experimental drying unit based on an air-type solar collector. Thermotechnical experiments were conducted, including measurements of air flow velocity and monitoring of changes in corn moisture content during the drying process. In addition, the structural and operational characteristics of the solar heliocollector were analyzed, and solar radiation indicators in the experimental area were studied, which made it possible to assess the level of available solar energy and its influence on air heating efficiency. The study allowed the thermal power of the air collector to be determined, the temperature distribution along its length to be evaluated, and optimal operating parameters of the system to be established. It was found that the use of solar heating provides a significant reduction in energy consumption for corn drying, increases the energy efficiency of the process, and promotes the sustainable use of renewable energy sources. Furthermore, experimental results were compared with theoretical calculations, enabling refinement of heat and moisture transfer kinetics within the corn layer. The obtained results can be applied in the design and improvement of solar drying systems for agricultural products and in substantiating rational drying regimes under conditions of variable solar radiation and natural ventilation.

Key words: solar collectors, corn drying, solar radiation, GSM/O-120 pyranometer, radiation measurement

Информация об авторах

Индира Маликовна Дауренова* – докторант, Казахский национальный аграрный исследовательский университет», г. Алматы, Казахстан; e-mail: daurenovaindira1@gmail.com. ORCID <https://orcid.org/0009-0001-0155-6954>.

Даулет Мейірұлы Тойбазар – старший преподаватель кафедры «Электроэнергетические системы» Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, Казахстан; e-mail: d.toibazar@gmail.com. ORCID <https://orcid.org/0009-0002-4978-4400>.

Ардақ Болатқызы Мустафаева – сениор-лектор школа прикладной математики, Казахстанско-Британский технический университет, г. Алматы, Казахстан; e-mail: mustafayeva.ab@gmail.com. ORCID <https://orcid.org/0009-0008-0312-016X>.

Байдаулет Амантаевич Урмашев – профессор, кафедра компьютерных наук факультета информационных технологий, Казахский национальный университет имени Аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан; e-mail: baydaulet.urmashev@gmail.com. ORCID <https://orcid.org/0000-0001-7641-198X>.

Марат Жалелович Хазимов – кандидат технических наук, профессор, кафедра «Теплоэнергетики и физика» Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Дукеева, г. Алматы, Казахстан; e-mail: mkhazimov@gmail.com. ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5448-3122>.

Авторлар туралы мәліметтер

Индира Мәлікқызы Дауренова* – «Энергетика және электротехника» кафедрасының, докторанты, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы қ. Қазақстан; e-mail: daurenovaindira1@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0155-6954>.

Даулет Мейірұлы Тойбазар – «Электр энергетикасы» кафедрасының аға оқытушысы, Г. Дукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., Қазақстан; e-mail: d.toibazar@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4978-4400>.

Ардақ Болатқызы Мустафаева – Қолданбалы математика мектебінің сениор-лекторы, Қазақ-Британ техникалық университеті, Алматы қ., Қазақстан; e-mail: mustafayeva.ab@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0312-016X>.

Байдаулет Амантаевич Урмашев – Ақпараттық технологиялар факультеті, Информатика кафедрасының профессоры, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан; e-mail: baydaulet.urmashev@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7641-198X>.

Марат Жалелович Хазимов – «Жылуэнергетикасы және физика» кафедрасының профессоры Г. Дукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ. Қазақстан; e-mail: mkhazimov@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5448-3122>.

Author information

Indira Daurenova* – PhD doctoral student, Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan; e-mail: daurenovaindira1@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0155-6954>.

Daulet Toibazar – Senior Lecturer, Department of Electric Power Systems, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, Kazakhstan; e-mail: d.toibazar@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4978-4400>.

Ardak Mustafayeva – Senior Lecturer, School of Applied Mathematics, Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan; e-mail: mustafayeva.ab@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0312-016X>.

Baydaulet Urmashiev – Professor, Department of Computer Science, Faculty of Information Technologies, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; e-mail: baydaulet.urmashev@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7641-198X>.

Marat Khazimov – Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Thermal Power Engineering and Physics, Gumarbek Daukeyev Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, Kazakhstan; e-mail: mkhazimov@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5448-3122>.

Поступила в редакцию 05.01.2026

Поступила после доработки 05.03.2026

Принята к публикации 07.04.2026