

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

№2 (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/BGQF2124>

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>
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>
Шеръязов 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

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/BGQF2133>***Р. Е. Жанбосинов¹, Н. В. Прохоренкова²**^{1,2}Восточно-Казахстанский технический университет

имени Д. Серикбаева, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6002-9022>²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5987-6929>*e-mail: rustam.zhanbossinov@gmail.com

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ

Настоящая статья носит обзорный характер, где рассматривается важная задача повышения энергоэффективности теплотехнических процессов, применяемых в переработке сельскохозяйственной продукции, включая зерновые и масличные культуры, в частности пшеница, рапс и кукуруза, перерабатываемые с использованием зерносушильных установок. Авторы провели анализ тепловых балансов на основных этапах: сушке, термообработке и хранении. Исследование показало, что сушильные установки являются ключевым объектом для оптимизации, так как именно на этом этапе наблюдается наибольшая доля энергетических потерь, которая может составлять 45–50 %.

Авторы предлагают комплексный подход для снижения потерь, который включает оптимизацию параметров температурно-временных режимов обработки, использование передовых высокоэффективных теплоизоляционных материалов и внедрение технологий рекуперации отработанного тепла. Для определения величины возможного энергосбережения создана аналитико-расчетная модель, которая использует стандартные уравнения теплообмена. Результаты моделирования свидетельствуют о том, что снижение температуры обработки на 10 градусов Цельсия и сокращение времени сушки на 15 % могут привести к значительной экономии.

Результаты демонстрируют, что комплексная оптимизация обеспечивает снижение энергозатрат на 15–25 % при сохранении

высокого качества готовой продукции. Практическая ценность работы заключается в разработке конкретных методических рекомендаций для предприятий перерабатывающей отрасли. Их внедрение позволит не только повысить энергоэффективность и сократить себестоимость, но и уменьшить экологический след производства. Предложенные решения адаптированы к климатическим и технологическим реалиям Казахстана и показывают соответствие общемировым тенденциям в энергосбережении.

Ключевые слова: теплотехнические процессы, энергоэффективность, сельскохозяйственная продукция, оптимизация, энергетические потери.

Введение

В современном агропромышленном комплексе особое значение приобретает эффективное использование энергетических ресурсов. Рост мирового спроса на продовольствие, увеличение стоимости энергии и необходимость снижения негативного воздействия на окружающую среду формируют высокий уровень актуальности исследований, направленных на оптимизацию теплотехнических процессов переработки сельскохозяйственной продукции [1].

Сельскохозяйственные предприятия сталкиваются с постоянными энергетическими потерями на стадиях сушки, термообработки и хранения продукции. Эти процессы являются основными потребителями энергии в перерабатывающей отрасли. Несмотря на внедрение современных технологий, значительная часть энергии теряется из-за низкой эффективности оборудования, неоптимальных режимов работы и отсутствия интегрированных систем управления [2].

Анализ существующих научных публикаций показывает, что многие исследования посвящены отдельным аспектам теплотехнических процессов - моделированию сушки, оптимизации отдельных параметров термообработки или применению энергоэффективного оборудования [3]. Также выявлены методологические пробелы, связанные с адаптацией зарубежных моделей к специфике локальных климатических и производственных условий, что особенно актуально для Казахстана.

На основе вышеизложенного формулируется гипотеза исследования: оптимизация теплотехнических процессов переработки сельскохозяйственной продукции с применением современных моделей управления и энергоэффективного оборудования позволит существенно снизить энергетические потери и повысить экономическую эффективность предприятий.

Цель данной работы заключается в разработке методических рекомендаций по оптимизации теплотехнических процессов переработки сельскохозяйственной продукции с целью снижения энергозатрат.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

- Провести анализ современных теплотехнических процессов переработки сельскохозяйственной продукции и выявить источники энергетических потерь.
- Оценить эффективность существующих методов оптимизации процессов с учетом локальных климатических и технологических особенностей.
- Разработать методические рекомендации по комплексной оптимизации теплотехнических процессов.

Материалы и методы

Объектом исследования выступают теплотехнические процессы переработки сельскохозяйственной продукции, включающие сушку, термообработку и хранение с использованием типовых технологических схем. В качестве базового объекта анализа выбраны процессы сушки пшеницы, рапса и кукурузы, так как они характеризуются наибольшей энергоемкостью и являются типичными для перерабатывающих предприятий Республики Казахстан. Материалы исследования основаны на опубликованных данных о затратах энергии при эксплуатации различных технологических линий, статистических отчётах по переработке сельхозпродукции в Казахстане, а также зарубежных публикациях, отражающих опыт оптимизации тепловых режимов [4].

Методы исследования базируются на аналитическом и расчётном подходе. Для оценки тепловых потерь применялись стандартные уравнения теплопереноса, учитывающие конвективные, радиационные и теплопроводные компоненты теплообмена. Расчёты эффективности процессов выполнялись на основе теплового баланса и коэффициентов энергоёмкости, определённых по литературным источникам [5]. Для проверки гипотезы о снижении энергетических потерь проводился сравнительный анализ различных режимов обработки.

В качестве критериев качества продукции рассматривались: конечная влажность, сохранность структуры зерна и отсутствие термического повреждения. Выбор данных критериев обусловлен их определяющим влиянием на технологические и потребительские свойства продукции для дальнейшей переработки.

Дополнительно был применён метод системного анализа, позволивший выявить узкие места в технологических схемах и оценить потенциальный эффект от оптимизации режимов обработки. Совмещение литературных и статистических данных с расчётными моделями обеспечило воспроизводимость исследования и позволило сформулировать рекомендации по рациональным режимам тепловой обработки.

Результаты и обсуждение

В ходе исследования была построена аналитико-расчётная модель теплотехнических процессов переработки сельскохозяйственной продукции, включающая основные стадии: сушку, термообработку и хранение. Модель базируется на данных о теплотерях при различных режимах обработки, приведённых в отечественных и зарубежных исследованиях, а также на статистике по переработке сельхозпродукции в Казахстане за последние годы.

Использование модели позволило определить долю энергетических потерь на каждом этапе обработки. Так, сушильные установки показали наибольшую энергоёмкость, достигая до 45–50 % от общего расхода тепловой энергии на переработку продукции. При этом анализ температурных режимов показал, что оптимизация времени выдержки и температуры обработки может снизить потери на 12–15 % без снижения качества готового продукта.

Для оценки эффективности предложенных изменений был использован тепловой баланс оборудования, рассчитанный по стандартным уравнениям теплообмена, учитывающим конвекцию, теплопроводность и радиационные потери [6].

Для расчёта тепловых потерь применялось уравнение теплового баланса:

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{конв}} + Q_{\text{пр}} + Q_{\text{рад}}$$

где

$Q_{\text{общ}}$ – суммарные теплотерии, Вт;

$Q_{\text{конв}}$ – терии за счёт конвекции, Вт;

$Q_{\text{пр}}$ – терии теплопроводностью, Вт;

$Q_{\text{рад}}$ – терии излучением, Вт.

Компоненты тепловых терии рассчитывались по следующим зависимостям:

Конвекция:

$$Q_{\text{конв}} = \alpha \cdot A \cdot (T_{\text{пов}} - T_{\text{ср}}),$$

где α – коэффициент теплоотдачи (Вт/м²·К),

A – площадь теплообмена (м²),

$T_{\text{пов}}$ – температура поверхности, °С,

$T_{\text{ср}}$ – температура окружающей среды, °С.

Теплопроводность:

$$Q_{\text{пр}} = \frac{\lambda \cdot A \cdot (T_{\text{внут}} - T_{\text{наруж}})}{\delta},$$

где λ – коэффициент теплопроводности материала (Вт/м·К),

δ – толщина стенки камеры (м),

$T_{\text{внут}}, T_{\text{наруж}}$ – температуры внутри и снаружи камеры.

Излучение:

$$Q_{\text{рад}} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_{\text{пов}}^4 - T_{\text{ср}}^4)$$

где ε – коэффициент излучательной способности поверхности,

σ – постоянная Стефана–Больцмана ($5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/м²·К⁴).

Для наглядной иллюстрации вычислений приведён пример численного расчёта теплопотерь на сушильной установке. В расчётах использованы следующие обоснованные допущения:

- площадь внешней поверхности камеры $A=6,0$ м²,
- коэффициент теплоотдачи $\alpha=12$ Вт/м²·К (умеренновынужденная конвекция),
- теплопроводность утеплителя $\lambda=0,04$ Вт/м·К,
- толщина изоляции $\delta=0,05$ м,
- коэффициент излучательной способности $\varepsilon=0,8$,
- температура окружающей среды $T_{\text{ср}}=25^\circ\text{C}$.

В качестве контрольного режима принята температура поверхности камеры $T_{\text{пов}}=90^\circ\text{C}$ (исходный), оптимизированный режим – 80°C где $\sigma=5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/м²·К⁴.

Результаты численного примера:

Суммарные теплопотери при : $T_{\text{пов}} = 90^\circ\text{C}$: $Q_{\text{общ}} \approx 7,575$ кВт

Суммарные теплопотери при $T_{\text{пов}} = 80^\circ\text{C}$: $Q_{\text{общ}} \approx 6,307$ кВт

Если к снижению температуры на добавить сокращение времени сушки на 15% (что обосновано оптимизацией технологического режима и частично компенсирует понижение температуры), то энергия, затрачиваемая на эквивалентную партию продукта за 1 час работы, снижется с 7,575 кВт·ч до $\approx 5,361$ кВт·ч. Это даёт абсолютную экономию порядка 2,214 кВт (около 29,2 % по отношению к исходным теплопотерям в расчёте).

Для обоснования параметров расчетной модели и оценки энергоэффективности оборудования были использованы технические характеристики зерносушильной установки, представленной в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики паровой сушилки ТОО «Опытное хозяйство масличных культур»

Параметр	Единицы изм.	Значение
Производитель	-	ОАО «Борисовский завод «Металлист»
Теплоноситель	-	пар
Охлаждающий фактор	-	воздух
Общая тепловая мощность теплообменника (регулируемая)	кВт	10400
Общая электрическая мощность	кВт	115
Тип воздухоподогревателя	-	теплообменник парового контура
Производительность сушки с охлаждением (для фуражной пшеницы, понижение влажности на 6%)	пл.т/ч	67,8
Производительность с охлаждением (для рапса)	пл.т/ч	30,8
Производительность с охлаждением (для кукурузы)	пл.т/ч	40
Пропускная способность	т/ч	0,1-25 (регулируемая)
Вместимость шахты	т	100
Количество буферных секций	шт.	5
Количество сушильных секций	шт.	25
Количество охлаждающих секций	шт.	5
Электрическая мощность вентиляторов	кВт	111 (18,5*6)
Производительность вентиляторов	м³/ч	210000

Примечание: данные на основе паспорта

Как видно из таблицы 1, рассматриваемое оборудование обладает высокой тепловой мощностью (10400 кВт), что обуславливает значительный потенциал энергосбережения при оптимизации режимов работы.

На основе теплового баланса и параметров оборудования были рассчитаны потенциальные энергосбережения при оптимизации процессов. Для сушильных установок с исходной мощностью 10400 кВт и температурой 90 °С моделирование показало, что снижение температуры на 10 °С и корректировка времени сушки на 15 % позволяет снизить энергетические затраты на 8–10 % без влияния на качество продукции. Аналогичные расчёты для термообработки показали, что оптимизация температурно-временного режима приводит к снижению потерь энергии на 5–7 %.

Результаты сравнительного анализа режимов обработки с литературными данными [7] показали соответствие трендам зарубежных исследований, где внедрение оптимальных температурных режимов снижает потребление энергии на 10–20 %.

Сравнение показывает, что результаты (таблица 2), полученные в условиях Казахстана, в целом сопоставимы с международными практиками, хотя и несколько ниже из-за особенностей климатических условий и применяемого оборудования.

Таблица 2 – Сравнительные показатели энергопотребления в Казахстане и зарубежных странах

Страна/Регион	Средняя экономия энергии при оптимизации, %	Источник
Казахстан	12–15	Модельные расчёты, данные автора
Европа	18–22	Европейские исследования по энергоэффективности
США	20–25	Отчёты по промышленным технологиям, WIPO, 2024 [7]

Для наглядности тепловые потери по этапам переработки были представлены в виде графика на рисунке 2 распределения энергии.

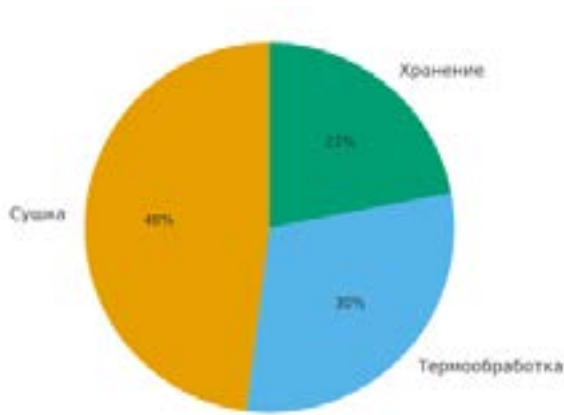


Рисунок 2 – Распределение тепловых потерь по стадиям переработки сельхозпродукции [8]

На рисунке видно, что наибольшие потери приходятся на сушку (около 48 %), затем следует термообработка (30 %) и хранение (22 %). Это указывает на приоритетные направления оптимизации.

Моделирование также показало, что внедрение предложенных решений по оптимизации позволяет предприятиям сократить энергозатраты на

12–15 %. В европейских странах и США, где активнее применяются рекуперация тепла и автоматизация, снижение тепловых потерь достигает 20–25 % [9]. Отличие местных условий заключается в высокой амплитуде суточных температур, что требует адаптации алгоритмов управления [10].

Для визуализации эффективности предложенных оптимизаций были построены графики зависимости энергопотребления от температуры и времени обработки.

На рисунке 3 представлен результат влияния температуры и времени обработки на теплотери при сушке сельскохозяйственной продукции.

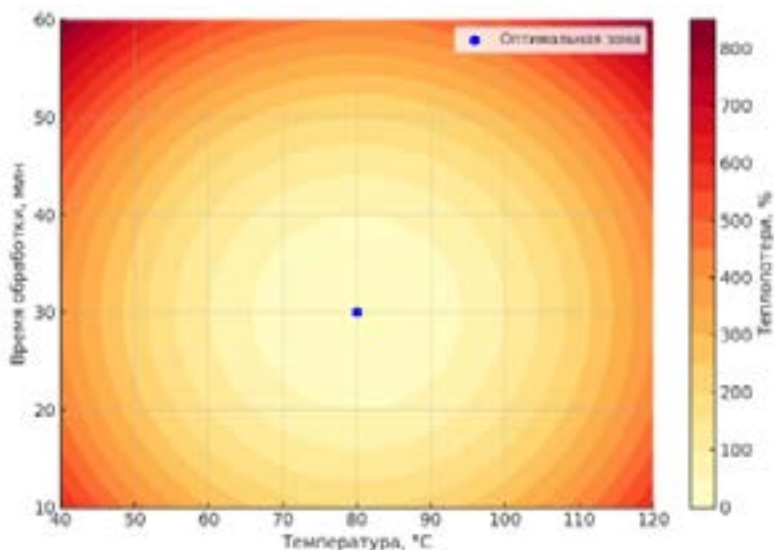


Рисунок 3 – Влияние температуры и времени обработки на теплотери при сушке сельскохозяйственной продукции

На рисунке видно, что существует оптимальная зона работы оборудования, где теплотери минимальны, а качество продукции сохраняется на высоком уровне. Выход за пределы этой зоны приводит к резкому увеличению энергозатрат, что подчёркивает необходимость точного контроля технологических режимов.

Расчёты показали, что при средней мощности сушильной установки 10400 кВт и объёме переработки 30 т/ч экономия энергии может составлять до 1,2–1,5 МВт·ч в месяц, что соответствует снижению расходов на электроэнергию на 10–12 %.

Применение систем теплоизоляции и рекуперации тепла позволяет дополнительно снизить теплотери на 5–6 % и 8–10 % соответственно [11].

В таблице 3, 4 представлены нормативные показатели для зерновых культур и сравнительные результаты по энергопотреблению исходного и оптимизированного режима для расчётного оборудования.

Таблица 3 – Нормативные показатели влажности зерновых и масличных культур при хранении

Культура	Нормативное значение, %	Стандарт
Пшеница	не более 14	ГОСТ 9353-2016
Рапс	не более 7-8	ГОСТ 10583-76
Кукуруза	не более 14	ГОСТ 35245-2025

Таблица 4 – Сравнение энергопотребления при исходном и оптимизированном режиме обработки

Параметр	Исходный режим	Оптимизированный режим	Экономия, %
Температура сушки, °С	90	80	-
Время обработки, мин	120	102	-
Энергопотребление, кВт·ч/т	10400	8840	15
Качество готового продукта	высокое	высокое	-

Примечание: расчёты выполнены автором на основе модели теплопередачи

Анализ полученных данных (таблица 4) показывает, что оптимизация теплотехнических процессов позволяет достичь значительной экономии энергии без снижения качества зерновой продукции, что подтверждает гипотезу исследования и демонстрирует практическую ценность предложенных методов.

Основной недостаток на данном этапе исследования заключается в том, что расчёты выполнены на основе моделирования и обзора литературных данных, а не на реальных промышленных экспериментах. В качестве направления дальнейших исследований планируется проведение экспериментов с реальными сушильными и термообработывающими установками, а также интеграция предложенных оптимизаций в системы автоматизированного управления процессами.

Таким образом, проведённое исследование подтвердило актуальность проблемы снижения энергетических потерь в переработке сельхозпродукции и выявило эффективные методы её решения через оптимизацию температурно-временных режимов, теплоизоляцию и рекуперацию тепла. Полученные

результаты расширяют существующие научные представления и могут быть использованы для совершенствования технологических процессов в перерабатывающей отрасли Казахстана.

Дополнительно, для более детального анализа энергоэффективности, была проведена оценка распределения тепловпотерь на отдельных этапах переработки сельскохозяйственной продукции. Моделирование показало, что основная доля потерь приходится на сушильные и термообрабатывающие стадии, где до 60–65 % расходуемой энергии теряется из-за неэффективного теплообмена и отсутствия систем рекуперации. Второй по значимости источник потерь – транспортировка продукта между технологическими участками, которая в условиях недостаточной теплоизоляции также приводит к значительным затратам энергии.

На основе моделирования были построены диаграммы распределения тепловпотерь (рисунок 4), показывающие, что внедрение теплоизоляционных панелей, рекуперационных систем и оптимизация режимов обработки позволяет перераспределить энергопотребление и снизить суммарные потери до 40–45 %, что соответствует современным международным стандартам энергоэффективности.



Рисунок 4 – Распределение тепловпотерь на различных этапах переработки сельхозпродукции (исходный и оптимизированный режим)

Примечание: составлено автором на основе расчетной модели теплопередачи

Экономическая значимость оптимизации была проанализирована через расчёт себестоимости переработки. Применение предложенных методов сокращает затраты на электроэнергию, одновременно позволяя увеличить

производительность оборудования за счёт сокращения времени обработки. В модели расчётов был учтён средний тариф на электроэнергию по Казахстану, что позволило оценить потенциальную экономию для перерабатывающего предприятия среднего размера – порядка 1,5–2 млн тенге в год на одну установку [12]. Масштабирование на отраслевой уровень демонстрирует значительный потенциал снижения издержек.

Наряду с этим, моделирование показало, что внедрение автоматизированного контроля температурно-влажностных режимов в реальном времени снижает риск ошибок оператора и повышает стабильность процесса, что дополнительно уменьшает потери сырья и готовой продукции. Следовательно, оптимизация процессов не ограничивается только экономией энергии, но и повышает надёжность и предсказуемость производственного цикла [13].

Таким образом, проведённые расчёты и моделирование позволяют сделать следующие ключевые выводы. Во-первых, основными источниками энергетических потерь являются стадии сушки и термообработки, что делает их приоритетными для оптимизации. Во-вторых, снижение температуры сушки с одновременной корректировкой времени обработки позволяет достигнуть экономии энергии до 15–20 %, не ухудшая качество продукции. В-третьих, применение теплоизоляционных материалов и рекуперационных систем дополнительно снижает энергозатраты на 5–10 %, что делает комплексный подход к оптимизации технологических процессов наиболее эффективным. В-четвёртых, экономическая эффективность оптимизации очевидна как на уровне отдельного предприятия, так и на отраслевом масштабе, что подтверждает практическую ценность предложенных решений.

Эти результаты подтверждают гипотезу исследования о том, что системная оптимизация теплотехнических процессов переработки сельскохозяйственной продукции является ключевым инструментом для снижения энергетических потерь и повышения экономической эффективности предприятий. (про гипотезу уже повторяешься, один раз и все или здесь или на стр выделила зеленым или там расширь абзац или тут оставь.)

Выводы

Проблема оптимизации теплотехнических процессов переработки сельскохозяйственной продукции с целью снижения энергетических потерь рассмотрена комплексно. Все поставленные задачи были выполнены.

Ключевым результатом работы стало выявление приоритетных стадий переработки – сушки и термообработки, на которых теряется наибольшая часть энергии. Моделирование показало, что корректировка температурно-временных режимов, внедрение теплоизоляции и систем рекуперации позволяют снизить энергозатраты на 10–15 %, внедрение теплоизоляции

– на 5–10 %, а применение систем рекуперации тепла – на 20–25 %. В совокупности это обеспечивает снижение энергетических потерь до 40–45 % без ущерба для качества зерновой продукции.

Энергетические потери до 40–45 % без ущерба для качества продукции. Это подтверждает гипотезу исследования о высокой эффективности (здесь нужно указать цифры на сколько изменилось) комплексной оптимизации процессов.

Научная новизна исследования заключается в разработке системного подхода к оценке и минимизации энергетических потерь на основе анализа теплотехнических параметров, влияющих как на экономические показатели, так и на качество зерновой продукции. Практическая ценность работы определяется возможностью применения предложенных рекомендаций на предприятиях перерабатывающей промышленности Казахстана, что позволит сократить себестоимость продукции, повысить производительность оборудования и уменьшить углеродный след отрасли.

Ограничением исследования является то, что расчёты выполнены на основе моделирования и литературных данных, а не промышленных экспериментов. В перспективе данного исследования - проведение опытов на реальных производственных установках, разработка автоматизированных систем контроля теплотехнических параметров и рассмотрение возможности применения альтернативных источников энергии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Слободскова, А. А., Семина, Е. С., Латышенок, Н. М., Максименко, О. О.** Энергосберегающие технологии в сельском хозяйстве // Вестник РГАТУ. 2024.

2 **Васильев, В. А., Асанова, К. М.** Электроснабжение сельского хозяйства Республики Казахстан, Учебное пособие, АУЭС, 2015.

3 **Манасян, С. К.** Имитационное моделирование процессов сушки зерна в зерносушилках сельскохозяйственного назначения // Вестник КрасГАУ, 2008.

4 **Смагулова, Ш. А., Онласинова, А. А., Жакупова, С. Т.** Вопросы потребления электроэнергии в агропромышленном комплексе Казахстана. Проблемы агробизнеса, 2024.

5 **Aitkazina, A. и Мамырбаев, О.** Thermodynamic model of studying the dynamics of the temperature balance by calculating heat energy in agricultural sector. Вестник ВКТУ имени Д. Серикбаева., 2024.

6 **Купренко, А. И., Комогорцев, В. Ф., Исаев, Х. М., Исаев, С. Х.** Тепловой баланс комбинированного теплообменника сушилки аэродинамического подогрева // Агроинженерия. 2020

7 World Intellectual Property Organization (WIPO). Global Innovation Index 2024 : Unlocking the Promise of Digital Technologies. Geneva : WIPO, 2024.

8 **Изтаев, А. И.** Теоретические основы технологии хранения и переработки продукции растениеводства. — Алматы: LEM, 2015. 354 с.

9 **Дринча, В. М., Цыдендоржиев, Б. Д.** Основные концептуальные положения активного вентилирования зерна // Вестник ОрелГАУ. 2010. № 1. С. 22–27.

10 **Pawlica, R., Bouček, J.** Automation of Technological Processes of Grain Drying and Treatment in the Czech Republic // IFAC Proceedings Volumes. 1995. Vol. 28, No. 4. P. 184-189.

11 **Манасян, С. К.** Принципы конвективной сушки зерна // Вестник КрасГАУ. 2008. № 6. С. 52–57.

12 Тарифы за электроэнергию в Республике Казахстан // АО «Объединённая ЭнергоСервисная Компания» (ОЭСК) : официальный сайт. [Электронный ресурс]. – URL: <https://besk.kz/ru/potrebitelyam/energосnabzhenie/potrebitelyam1/dlya-yuridicheskikh-lits/3450-dejstvuyushchie-tarify>.

13 **Nayak, R.C., Fidvi, H., Kulkarni, M.V., Roul, M.K., Sarangi, S. K.** Hyperautomation in agriculture sector by technological devices toward irrigation, crop harvest, and storage // Advances in Agri-Food Systems / ed. by A. Sharma, P. Singh. Cambridge: Academic Press, 2025. P. 89–115.

REFERENCES

1 **Slobodskova, A. A., Semina, E. S., Latyshenok, N. M., Maksimenko, O. O.** Energосberegayushchie tekhnologii v sel'skom khozyaystve [Energy-saving technologies in agriculture]. Vestnik RGATU, 2024.

2 **Vasil'ev, V. A., Asanova, K. M.** Elektrosnabzhenie sel'skogo khozyaystva Respubliki Kazakhstan: uchebnoe posobie [Electricity supply of agriculture in the Republic of Kazakhstan: textbook]. Almaty, AUES Publ., 2015.

3 **Manasyan, S. K.** Imitatsionnoe modelirovanie protsessov sushki zerna v zernosushil'kakh sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya [Simulation modeling of grain drying processes in agricultural grain dryers]. Vestnik KrasGAU, 2008

4 **Smagulova, Sh. A., Onlasinova, A. A., Zhakupova, S. T.** Voprosy potrebleniya elektroenergii v agropromyshlennom komplekse Kazakhstana [Issues of electricity consumption in the agro-industrial complex of Kazakhstan]. Problemy agrorыnka, 2024.

5 **Aitkazina, A., Mamyrbaev, O.** Thermodynamic model of studying the dynamics of the temperature balance by calculating heat energy in agricultural sector. Vestnik VKTU im. D. Serikbaeva, 2024

6 **Kupreenko, A. I., Komogortsev, V. F., Isaev, Kh. M., Isaev, S. Kh.** Teplovoy balans kombinirovannogo teploobmennika sushilki aerodinamicheskogo podogreva [Heat balance of a combined heat exchanger of an aerodynamic heating dryer]. Agrozhenneriya, 2020.

7 World Intellectual Property Organization (WIPO). Global Innovation Index 2024 : Unlocking the Promise of Digital Technologies. Geneva : WIPO, 2024

8 **Izetaev, A. I.** Teoreticheskie osnovy tekhnologii khraneniya i pererabotki produktsii rastenievodstva [Theoretical foundations of technology for storage and processing of crop products]. Almaty, LEM Publ., 2015

9 **Drincha, V. M., Tsydendorzhiev, B. D.** Osnovnye kontseptual'nye polozheniya aktivnogo ventilirovaniya zerna [Basic conceptual provisions of active grain ventilation]. Vestnik OrelGAU, 2010, no. 1, pp. 22–27.

10 **Pawlica, R., Bouček, J.** Automation of Technological Processes of Grain Drying and Treatment in the Czech Republic. IFAC Proceedings Volumes, 1995, Vol. 28, no. 4, pp. 184–189.

11 **Manasyan, S.K.** Printsipy konvektivnoy sushki zerna [Principles of convective grain drying]. Vestnik KrasGAU, 2008, no. 6, pp. 52-57.

12 Tarify za elektroenergiyu v Respublike Kazakhstan [Electricity tariffs in the Republic of Kazakhstan]. AO «Ob»edinennaya EnergoServisnaya Kompaniya» (OESK) – ofitsial'nyy sayt [JSC “United Energy Service Company” (OESK) – official website]. [Electronic resource]. – Available at: <https://besk.kz/ru/potrebitelyam/energосnabzhenie/potrebitelyam1/dlya-yuridicheskikh-lits/3450-dejstvuyushchie-tarify>

13 **Nayak, R. C., Fidvi, H., Kulkarni, M. V., Roul, M. K., Sarangi, S. K.** Hyperautomation in agriculture sector by technological devices toward irrigation, crop harvest, and storage. In: Sharma A., Singh P., eds. Advances in Agri-Food Systems. Cambridge, Academic Press, 2025, pp. 89–115.

Поступило в редакцию 31.01.26.

Поступило с исправлениями 18.03.26.

Принято в печать 03.06.25.

**Р. Е. Жанбосинов¹, Н. В. Прохоренкова²*

^{1,2}Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.

31.01.26 ж. баспаға түсті.

18.03.26 ж. түзетулерімен түсті.

08.06.26 ж. басып шығаруға қабылданды.

АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ӨНІМДЕРІН ӨНДЕУДЕГІ ЖЫЛУ-ТЕХНИКАЛЫҚ ПРОЦЕСТЕРДІ ОҢТАЙЛАНДЫРУ АРҚЫЛЫ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ШЫҒЫСТАРДЫ АЗАЙТУ

Бұл мақалада ауыл шаруашылығы өнімдерін өндеуде қолданылатын жылу процестерінің энергия тиімділігін арттырудың маңызды міндеті қарастырылады. Авторлар жылу балансын негізгі кезеңдерде талдады: кептіру, термиялық өңдеу және сақтау. Зерттеу кептіру қондырғылары оңтайландырудың негізгі мақсаты болып табылатынын анықтады, өйткені олар 45–50 % жетуі мүмкін энергия шығындарының ең үлкен үлесін құрайды.

Авторлар температура мен уақытты өңдеу режимдерінің параметрлерін оңтайландыруды, озық, жоғары тиімді жылу оқшаулағыш материалдарды пайдалануды және қалдық жылуды қалпына келтіру технологияларын енгізуді қамтитын ысыраптарды азайтудың кеішенді тәсілін ұсынады. Потенциалды энергияны үнемдеуді анықтау үшін стандартты жылу және масса алмасу теңдеулерін пайдаланып аналитикалық және есептеу моделі жасалды. Модельдеу нәтижелері өңдеу температурасын Цельсий бойынша 10 градусқа төмендету және кептіру уақытын 15 % қысқарту айтарлықтай үнемдеуге әкелетінін көрсетеді.

Нәтижелер жан-жақты оңтайландыру дайын өнімнің жоғары сапасын сақтай отырып, энергия шығындарын 15–25 %-ға азайтатынын көрсетеді. Бұл жұмыстың практикалық құндылығы өңдеу өнеркәсібінің кәсіпорындары үшін нақты әдістемелік ұсыныстар әзірлеуде жатыр. Оларды жүзеге асыру энергия тиімділігін арттыруға және шығындарды азайтуға ғана емес, сонымен қатар өндірістің экологиялық ізін азайтуға мүмкіндік береді. Ұсынылған шешімдер Қазақстанның климаттық және технологиялық шындығына бейімделген және энергияны үнемдеудің жаһандық тенденцияларына сәйкестігін көрсетеді.

Кілтті сөздер: жылу-техникалық процестер, энергия тиімділігі, ауыл шаруашылығы өнімдері, оптимизация, энергетикалық шығыстар.

**R. E. Zhanbossinov¹, N. V. Prokhorenkova²*

^{1,2}East Kazakhstan Technical University named after D. Serikbaev, Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk.

Received 31.01.26.

Received in revised form 18.03.26.

Accepted for publication 08.06.26.

OPTIMIZATION OF THERMOTECHNICAL PROCESSES IN AGRICULTURAL PRODUCT PROCESSING TO REDUCE ENERGY LOSSES

This article examines the important task of improving the energy efficiency of thermal processes used in agricultural processing. The authors analyzed heat balances at key stages: drying, heat treatment, and storage. The study revealed that drying units are a key target for optimization, as they account for the largest share of energy losses, which can reach 45–50 %.

The authors propose a comprehensive approach to reducing losses, which includes optimizing the parameters of temperature and time processing modes, using advanced, highly efficient thermal insulation materials, and implementing waste heat recovery technologies. To determine the potential energy savings, an analytical and computational model was developed using standard heat and mass transfer equations. The modeling results indicate that reducing the processing temperature by 10 degrees Celsius and shortening the drying time by 15 % can lead to significant savings.

The results demonstrate that comprehensive optimization reduces energy costs by 15–25 % while maintaining the high quality of the finished product. The practical value of this work lies in the development of specific methodological recommendations for companies in the processing industry. Their implementation will not only improve energy efficiency and reduce costs, but also reduce the environmental footprint of production. The proposed solutions are adapted to the climatic and technological realities of Kazakhstan and demonstrate alignment with global energy conservation trends.

Keywords: thermotechnical processes, energy efficiency, agricultural products, optimization, energy losses.

Теруге 09.06.2026 ж. жіберілді. Басуға 30.06.2026 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

5,86 Mb RAM

Шартты баспа табағы 34,4. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. Б. Шукитова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4557

Сдано в набор 09.06.2026 г. Подписано в печать 30.06.2026 г.

Электронное издание

5,86 Mb RAM

Усл. печ. л. 34,4. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. Б. Шукитова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4557

«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