

**АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫН МЕХАНИКАЛАНДЫРУ ЖӘНЕ ЭЛЕКТРЛЕНДІРУ
МЕХАНИЗАЦИЯ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
AGRICULTURE MECHANIZATION AND ELECTRIFICATION**

МРНТИ 65.09.03

DOI <https://doi.org/10.37884/4-2023/28>

Ж.Б. Калданов, Б.П. Базарбаев, М.Х. Аднабеков, А.Т. Смаилова, Т.Ж. Баймуханов*

*АО «Алматинский технологический университет», г. Алматы, Республика Казахстан,
dtm.jason@mail.ru*, bolatbazarbayev@mail.ru, adnabekov@inbox.ru, smailovayauka@mail.ru,
baimuxanov2000@mail.ru*

**СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЫЧНОГО МЕТОДА СУШКИ В
ВОЗДУШНОЙ ПЕЧИ И МЕТОДА ДОМАШНЕЙ МИКРОВОЛНОВОЙ ПЕЧИ
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ВЛАГИ В РИСЕ**

Аннотация

Стандартным методом измерения влажности зерна является обычная технология сушки в воздушной печи. Этот метод требует более длительного периода времени для определения содержания влаги. Хотя электрические влагомеры популярны в рисовой промышленности, их необходимо часто калибровать с помощью метода сушки в печи. Поэтому требуется альтернативный, но быстрый и надежный метод, особенно для отраслей, занимающихся сбытом зерна. Для этого исследования были использованы образцы риса трех различных размеров (Bg 300 - средний жирный, Bg 358 - короткий круглый и At 405 - длинный тонкий). Пять различных уровней влажности (12-20% влажной основы) были получены путем добавления известных количеств воды. Взаимосвязь между значениями влажности в микроволновой печи и духовке с горячим воздухом оценивалась с использованием методов коэффициентов корреляции Пирсона, Спирмена и Кендалла. Также была установлена линейная регрессионная зависимость между методами определения влажности в духовке с горячим воздухом и микроволновой печи. Согласно данным, за исключением 870 Вт при заданном уровне поглощенной мощности МВт, два других параметра мощности МВт (265 Вт и 550 Вт) показали значительную статистическую корреляцию ($r > 0,55$, $P < 0,01$) между значениями температуры воздушной печи и MW печи для трех образцов риса. Однако настройки МВт на 550 Вт в течение 7 минут поглощенной мощности показали значительно более высокий коэффициент регрессии определения ($r = 0,94$, $P < 0,01$) при значениях температуры в воздушной печи. Экономическая эффективность использования микроволновых печей составляет примерно 92,5% и обеспечивает заметную экономию как на первоначальных затратах, так и на общих эксплуатационных расходах. Из проведенного исследования можно сделать вывод, что бытовую микроволновую печь можно успешно использовать для определения содержания влаги в различных сортах риса в качестве альтернативного метода по сравнению с обычным методом сушки в воздушной печи. Целью данного исследования является сравнение эффективности обычного метода сушки в воздушной печи и метода домашней микроволновой печи для определения содержания влаги в рисе.

Ключевые слова: микроволновая печь, рис, влажность, воздушная печь, мощность, температура, корреляция, качество.

Введение

Содержание влаги в рисе является критическим параметром, который напрямую влияет на его качество, срок годности и пригодность для различных применений. Большая часть физических, химических, механических и термических свойств риса зависит от температуры, которая впоследствии определяет качество риса. Из-за частых колебаний относительной

влажности, а не температуры в тропиках, температуру хранящегося риса следует периодически проверять по шкале времени. Рис не зависит от количества или формы материалов, но является наиболее подходящим параметром для сбора, хранения, переработки, транспортировки и определения цены на рынке.

В целом, сравнение методов определения влаги в рисе с использованием традиционных воздушных печей и микроволновых печей представляет собой важное направление исследований, которое имеет практическое значение для сельского хозяйства, пищевой промышленности и здравоохранения. Научная новизна в данной области может привести к улучшению методов анализа и контроля качества сельскохозяйственной продукции, что оказывает положительное воздействие на общество и экономику.

На момент сбора риса влажность составляет около 20% (влажная основа), но собранный рис необходимо высушить до 12% влажности (по массе) для безопасного хранения. Если рис собирают при более высокой влажности $> 20\%$ (по массе), это может привести к механическому повреждению зерен риса во время процесса механической уборки. В результате этого зерна могут быть заражены грибами и насекомыми. Если температура хранения риса выше, чем условия хранения, то микроорганизмы и насекомые могут испортить зерна злаков, сделав их непригодными для употребления человеком и животными. Рис уникален среди других злаковых культур, потому что его употребляют в основном в виде цельного зерна. Таким образом, высокая ломкость рисовых зерен при помоле привела к значительным потерям качества риса и его рыночной стоимости. При хранении риса часто наблюдается неравномерное распределение влаги; поэтому отбор проб и определение влажности являются важной операцией для контроля послеуборочных потерь зерна [1, 2].

Применение микроволнового нагрева хорошо известно уже давно и имеет множество потенциальных применений, таких как определение влажности зерна, сушка, дезинфекция, нагрев, бланширование, экстракция, приготовление пищи и т.д. Микроволновая печь значительно экономит время, занимает меньше места и требует примерно на 25% меньше энергии, чем обычная воздушная печь. Хотя первоначальная стоимость печи выше, чем у обычной воздушной печи, эксплуатационные расходы невелики по сравнению с методом воздушной печи. Чтобы удовлетворить потребность в более быстрых и практичных методах, в данном исследовании исследуется потенциал бытовых микроволновых печей в качестве альтернативы для определения содержания влаги в рисе. Оценка научной новизны заключается в сравнении точности и надежности методов в различных условиях (разные сорта риса, влажность, температуры и др.). Это может включать в себя разработку новых методов анализа и стандартов для обеспечения точности результатов.

Методы и материалы

Подготовка образцов риса. Для этого исследования были выбраны в Алматинском технологическом университете в лаборатории «Технологические машины и оборудования» три различных сорта риса: Bg 300 (средней жирности), Bg 358 (короткий круглый) и At 405 (длинный тонкий). Образцы риса отбирали в период созревания урожая (таблица 1) и высушивали на солнце примерно до $12 \pm 1\%$ влажности по массе. Пять уровней влажности в диапазоне от 12% до 20% влажной основы были достигнуты путем добавления точного количества воды к образцам риса. Исходное содержание влаги в образцах составило $11,6 \pm 0,7\%$ (по массе), определенное методом сушки в воздушной печи. На основе исходного значения влажности были подготовлены образцы с различными уровнями влажности (прогнозируемая влажность) путем добавления необходимого количества дистиллированной воды. Каждый образец помещали в герметичную стеклянную бутылку и хранили при температуре 4°C в течение 4 недель для достижения равновесного прогнозируемого уровня влажности. В течение периода хранения бутылки регулярно встряхивали, чтобы облегчить равномерное распределение влаги по образцам риса [2, 3].

Таблица 1 - Сорты риса в зависимости от типа зерна, зрелости и содержания влаги на стадии сбора урожая

Рисовый сорт	Тип зерна	Стадия зрелости (дни)	Содержание влаги (%)
Bg 300	Средний полужирный	90	21.0 ± 1.5
Bg 358	Короткий	105	20.5 ± 1.2
At 405	Длинный тонкий	120	22.0 ± 2.1

Определение влажности с помощью печи с горячим воздухом. Содержание влаги в образцах рисовой массы определяли методом печи с горячим воздухом. Образцы измельчали с помощью лабораторной мельницы и использовали 5 г каждого измельченного образца для определения содержания влаги. Три образца размолотого риса взвешивали в емкостях для увлажнения, а затем образцы нагревали в печи с принудительным подачей при 130°C в течение 2 ч.

Калибровка микроволновой печи. Для определения влажности использовалась бытовая электрическая печь. Духовка имела емкость 25 л с вращающейся круглой стеклянной полкой диаметром 315 мм. Согласно инструкции производителя, потребляемая мощность и выходная мощность печи MW составляли 1450 Вт и 900 Вт соответственно. При 100% МВт выходная мощность равна 900 Вт тепловой энергии, излучаемой МВт частотой 2450 МГц. Печь мощностью 100 МВт была откалибрована для получения уровней потребляемой выходной мощности. Пробу деионизированной воды объемом 200 мл в стеклянном стакане объемом 250 мл нагревали в микроволновой печи в течение 120 с. Повышение температуры измеряли с помощью термопары Т-образного типа и регистратора данных. Кусок асбестового листа (диаметр 250 мм; толщина 3 мм) был помещен на вращающуюся стеклянную полку во время периода нагрева, чтобы предотвратить разрушение MW и повреждение магнетрона. Максимальная выходная мощность МВт для данного образца была определена до начала эксперимента. Выходная, поглощенная мощность МВт была рассчитана ($Q/1 = m \text{ cp AT}$) путем деления энергии, поглощенной водой и стаканом за заданное время. Средние значения поглощенной мощности МВт, соответствующие настройкам мощности 300 Вт, 500 Вт и 800 Вт, наблюдались как 265 ± 5 , 550 ± 6 и 870 ± 15 Вт соответственно [4, 5].

Определение влажности микроволновым методом. Образцы вынимали из холодильника и доводили до комнатной температуры перед определением влажности с помощью сушки в печи MW. Индивидуальный образец риса весом 5 г взвешивали и распределяли тонким слоем в стеклянной чашке объемом 50 мл (90 мм x 15 мм). Образец помещали на круглый асбестовый лист вблизи центра (на расстоянии от 2 до 3 см), а лист помещали на вращающуюся стеклянную полку микроволновой печи. Асбест использовался для защиты магнетрона и обеспечения достаточного тепла от печи MW, особенно когда образцы достигали низкого уровня влажности во время сушки. Образцы нагревали при 265 Вт, 550 Вт и 870 Вт поглощенной выходной мощности МВт в течение 20, 7 и 4 мин соответственно. Наши предварительные испытания показали, что температура образцов риса быстро повышается и может быть сожжена при непрерывной микроволновой сушке при высокой выходной мощности (> 600 Вт) в течение первых 10-15 минут. Чтобы предотвратить перегрев и неравномерную сушку риса, перед исследованием были выбраны подходящие уровни настройки выходной мощности (мощность x время) с использованием образца риса Bg 358. Уровни настройки мощности микроволновой печи также были выбраны на основе предыдущих исследований, проведенных в других странах мира для определения влажности зерновых культур. Вес каждого образца рисового риса определяли после высушивания MW, а затем образец выбрасывали. Перед получением массы высушенный образец рисового риса хранили в эксикаторе, содержащем силикагель, в течение примерно 5 мин при температуре окружающей среды, чтобы уменьшить поверхностную влажность и развитие высокой температуры в образце. Потеря веса после каждой сушки MW выражалась как кажущаяся масса образцов риса. Измерение влажности прекращали и выбрасывали пробу, если проба риса была сожжена (обжарена или зерна изменили цвет) во время процесса определения

влажности MW. Все показания были сняты в трех экземплярах после удаления поврежденных образцов. Чашку Петри сначала нагревали в микроволновой печи в течение 2 мин перед использованием, и одну и ту же чашку Петри использовали на протяжении всех экспериментов после сухой очистки.

Анализ данных. Односторонний дисперсионный анализ был выполнен для данных, полученных в результате измерений стандартной мощности воздушной печи и кажущейся мощности печи MW. Для сравнения средних значений использовался критерий наименьшей значимой разницы Фишера при $P < 0,05$. Параметрический коэффициент корреляции Пирсона и непараметрические методы коэффициента ранговой корреляции Спирмена и Кендалла были использованы для определения силы взаимосвязи содержания влаги между методом воздушной печи и методом микроволновой печи. Общая линейная модель в основном использовалась для установления характера взаимосвязи между переменными, протестированными в рамках сравнения. Процедура PROC GLM (SAS 9.1) использовалась для создания линейной модели для определения влажности микроволновым методом. Коэффициент определения r^2 , значение F, стандартная ошибка подгонки и значения P ($= 0,05$) использовались для обеспечения хорошего соответствия данных прямой линии [6, 7].

Результаты и обсуждение

Начальная влажность образцов риса составляла $11,6 \pm 0,14\%$ (по массе). Видимые значения влажности (\pm SD) были получены после различных уровней настройки мощности МВт и сушки в воздушной печи для каждой прогнозируемой температуры (таблица 2). В качестве стандартного метода определения влажности использовался метод воздушной печи. По сравнению с воздушной печью определение влажности при трех различных настройках потребляемой мощности МВт не было равномерным.

Таблица 2 - Среднее значение (\pm стандартное отклонение) пяти значений кажущейся влажности трех сортов риса, определенных методами сушки в воздушной печи и микроволновой печи

Стандартная средняя температура воздуха в печи (%)	Среднее значение микроволновой печи, (%)		
	265 Вт в течение 20 мин	550 Вт в течение 7 мин	870 Вт в течение 4 мин
$12.60 \pm 0.14^{a*}$	$12.20 \pm 0.14^{a*}$	$12.33 \pm 0.12^{a*}$	$13.80 \pm 0.11^{b*}$
14.67 ± 0.31^b	12.87 ± 0.22^a	14.13 ± 0.22^b	16.47 ± 0.22^c
17.07 ± 0.08^a	16.93 ± 0.22^a	16.87 ± 0.18^a	18.84 ± 0.21^b
18.56 ± 0.64^b	15.33 ± 0.08^a	18.33 ± 0.12^b	20.27 ± 0.16^c
19.93 ± 0.16^b	16.47 ± 0.22^a	20.47 ± 0.29^b	21.87 ± 0.29^c

Среднее значение (\pm стандартное отклонение), за которым следует общая буква в строке, достоверно не отличается ($P > 0,05$)

Результаты показывают, что не было никакой статистической разницы ($P > 0,05$) в содержании влаги между методами сушки в воздушной печи и сушки в печи МВт при 550 Вт потребляемой мощности МВт. Средняя температура образцов риса, высушенных при 870 Вт, была значительно выше ($P < 0,05$), чем температура образцов, полученных методом воздушной печи. Некоторые образцы риса взорвались в процессе нагрева/сушки при 870 Вт из-за быстрого повышения давления пара внутри семян риса. Микроволновая сушка при поглощенной мощности МВт 275 Вт показала наименьшее кажущееся содержание влаги при всех пяти прогнозируемых уровнях влажности по сравнению с двумя другими методами сушки МВт. Таким образом, сушка на МВт при 550 Вт показала более или менее сходные значения влажности ($P > 0,05$) по сравнению со значениями влажности при сушке в воздушной печи для всех трех сортов риса [8, 9].

Корреляция между методом воздушной печи и методом микроволновой печи. Кажущиеся значения, полученные из трех уровней поглощенной мощности МВт, и данные о влажности воздушной печи были выбраны для установления взаимосвязи между методами

определения т.с. микроволновой печи и воздушной печи (рис. 1). Использовались корреляции Пирсона, Спирмена и Кендалла оценить степень соответствия между измерениями температуры воздушной печи и микроволновой печи. Параметрическая корреляция Пирсона дала самое высокое значение r , равное 0,92, для сушки в воздушной печи и 550 Вт в печах MW, что установило хорошую линейную зависимость (таблица 3).

Таблица 3 - Параметрические и непараметрические коэффициенты корреляции между методами определения влажности в микроволновой печи и воздушной печи для трех сортов риса

Поглощенная микроволновая мощность	Метод	r^*	P^{**}
265 Вт в течение 20 мин	Пирсон	0.70	0.001
	Спирмен	0.68	0.006
	Кендалл	0.55	0.007
550 Вт в течение 7 мин	Пирсон	0.92	0.001
	Спирмен	0.68	0.002
	Кендалл	0.56	0.007
870 Вт в течение 4 мин	Пирсон	0.15	0.600
	Спирмен	0.20	0.483
	Кендалл	0.19	0.362

* Коэффициент корреляции

* Уровень вероятности

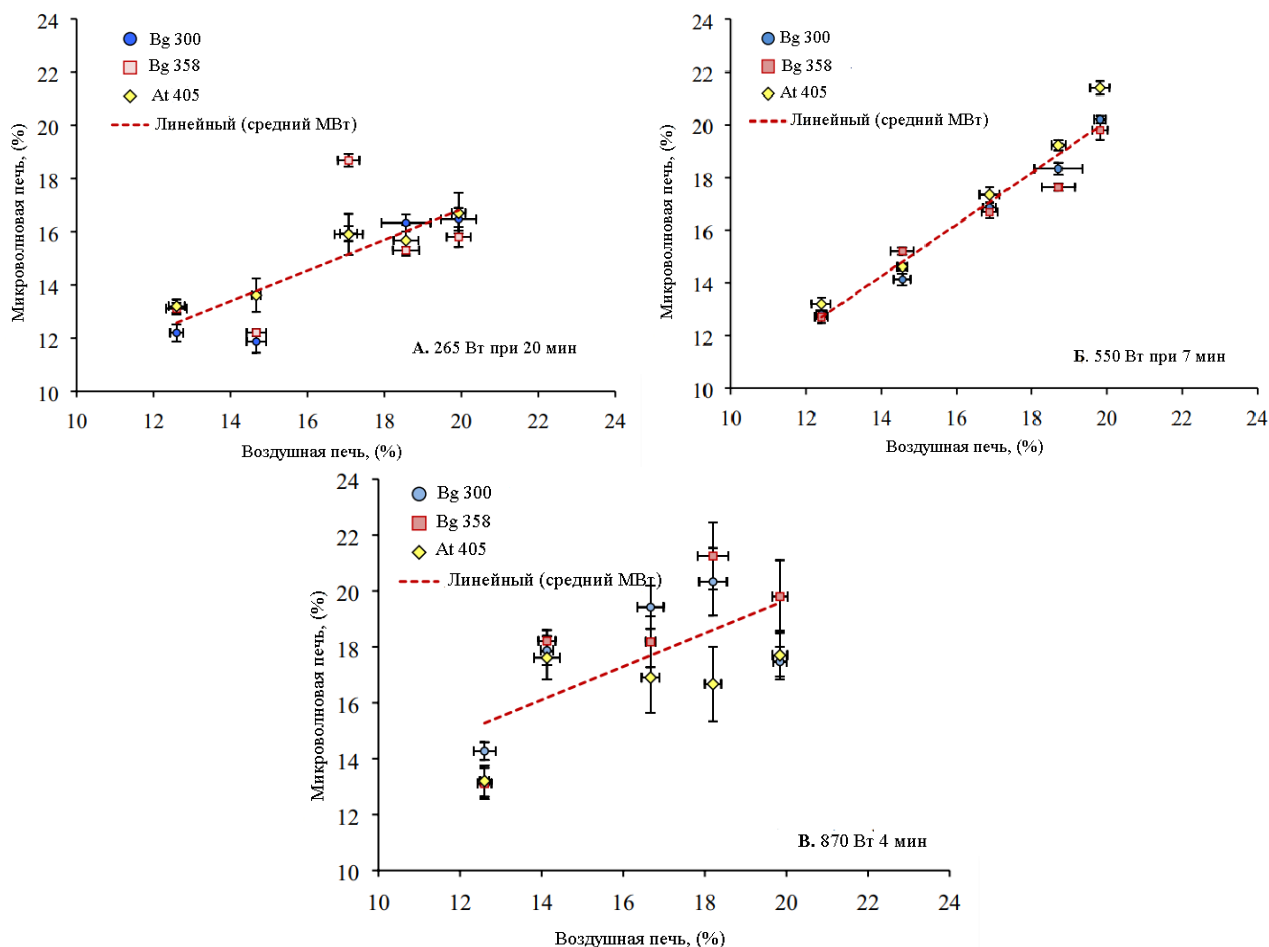


Рисунок 1 - Соотношение видимого содержания влаги (%) для трех различных сортов риса определяется методами сушки в воздушной печи и бытовой микроволновой печи: (А) 265 Вт в течение 20 минут сушки, (Б) 550 Вт в течение 7 минут сушки и В 870 Вт в течение 4 минут сушки в микроволновой печи.

Непараметрические ранговые корреляции Спирмена и Кендалла также показали значительно высокую корреляцию ($r > 0,55$, $P < 0,01$) между методами сушки в воздушной печи и МВт-печи. Это указывает на высокую степень ассоциации (ранг Спирмена) и силу зависимости (ранг Кендалла) между двумя методами сушки для определения влажности. Сушка на МВт при поглощенной мощности 870 Вт (в течение 4 мин) не показала какой-либо значимой ($P > 0,05$) взаимосвязи между двумя методами сушки. Он также имеет самые низкие корреляции Пирсона, Спирмена и Кендалла $r = 0,15$, $r = 0,2$ и $r = 0,19$ соответственно. Хотя при воздействии 265 Вт в течение 20 мин поглощалась сравнительно высокая энергия МВт, Спирмен и Кендалл показали более или менее сходные значения ранговых корреляций ($r > 0,55$) с мощностью 550 Вт МВт, но показали сравнительно более низкую линейную корреляцию Пирсона ($r = 0,70$) с уровнем мощности 550 Вт МВт. Поэтому сушка в печи МВт при 550 Вт в течение 7 мин была выбрана в качестве наилучшей альтернативы по энергетической ценности для определения влажности по сравнению с методом сушки в воздушной печи [8, 9, 10].

Самый высокий положительный коэффициент определения (таблица 4) наблюдался между сушкой в воздушной печи и сушкой в печи МВт при воздействии мощности 550 Вт (скорректированный $r^2 = 0,94$; $P < 0,001$) в течение 7 мин, но наименьшее значение коэффициента определения наблюдалось между сушкой в печи МВт при 870 Вт в течение 4 мин при воздействии энергии МВт и сушкой в воздухе способ сушки в духовке.

Таблица 4 - Прогнозируемые линейные соотношения влажности при сушке в воздушной и микроволновой печах содержание влаги (%) для трех сортов риса

Мощность СВЧ (Вт)	Время микроволновой печи (мин)	Линейное уравнение*	Скорректированный r^2	Значение f	Подходит для SE†	P**
265	20	$Y=0.87+1.06 X$	0.54	20.25	1.77	0.001
550	7	$Y=0.28+0.97 X$	0.94	255.72	0.64	0.001
870	4	$Y=3.01+0.76 X$	0.36	10.75	2.09	0.01

* Y =стандартная температура сушки в воздушной печи (% от массы тела); X =температура сушки в микроволновой печи (% от массы тела)

† Стандартная ошибка ft

** Уровень вероятности

Наибольшее значение $F_{1,13}$, равное 255,72, и наименьшее значение $F_{1,13}$, равное 10,75, было получено для уровней поглощенной мощности МВт 550 Вт и 870 Вт соответственно. Уровень поглощенной мощности МВт 265 Вт при более длительном времени воздействия мощности 20 мин также указывает на сравнительно хорошее соответствие линейной регрессии (скорректированный $r^2 = 0,54$; $F_{1,13} = 20,25$; $P < 0,001$) между воздействием в печи МВт и сушкой в воздушной печи рядом с уровнем поглощенной мощности МВт 550 Вт.

Таблица 5 - Экономическая эффективность сравнение методов сушки риса

Показатели	Обычная воздушная печь	Домашняя микроволновая печь
Первоначальные затраты(ср. знач.), тг	1 057 990	79 990
Эксплуатационные расходы, тг		
Затраты на энергию	740 593	55 593
Затраты на обслуживание	105 799	7 999
Общие эксплуатационные расходы:	846 392	63 592

$$\text{Экономическая эффективность в \%} = \left(1 - \frac{\text{Общие эксплуатационные расходы для микроволновой печи}}{\text{Общие эксплуатационные расходы для воздушной печи}}\right) \times 100$$

$$\% = \left(1 - \frac{63\,592}{846\,392}\right) \times 100$$

$$\% = 92,5\%$$

Экономическая эффективность использования домашних микроволновых печей составляет примерно 92,5% и обеспечивает заметную экономию как на первоначальных затратах, так и на общих эксплуатационных расходах.

Выводы

Из приведенных данных и результатов исследования можно сделать следующие выводы:

1. Сушка риса в микроволновой печи при мощности 550 Вт в течение 7 минут позволяет получить значения влажности, сравнимые с методом сушки в воздушной печи. Это означает, что использование микроволновой печи при этом режиме является эффективной альтернативой для определения содержания влаги в рисе.

2. Использование мощности 870 Вт в течение 4 минут при сушке в микроволновой печи показало наибольшую температуру образцов риса и не позволило получить надежные значения влажности в сравнении с методом сушки в воздушной печи. Это может быть связано с взрывоопасностью некоторых образцов риса из-за быстрого повышения давления пара внутри зерен.

3. Наблюдается высокая степень корреляции между методами сушки в воздушной и микроволновой печах для определения влажности риса. Коэффициенты корреляции (Пирсона, Спирмена и Кендалла) показывают сильную взаимосвязь и зависимость между двумя методами сушки.

4. Сушка в микроволновой печи при мощности 550 Вт в течение 7 минут показывает наилучшие результаты по энергетической ценности для определения содержания влаги в рисе по сравнению с методом сушки в воздушной печи.

5. Линейные уравнения, связывающие влажность при сушке в микроволновой печи и воздушной печи, позволяют прогнозировать влажность риса при использовании различных режимов сушки в микроволновой печи.

6. Сушка в микроволновой печи позволяет существенно сократить время сушки по сравнению с воздушной печью, что может быть важным для промышленных процессов производства риса.

7. Домашняя микроволновая печь демонстрирует заметную экономию как в первоначальных затратах, так и в общих эксплуатационных расходах.

В целом, использование микроволновой печи для определения влажности в рисе может быть эффективной и энергоэффективной альтернативой методу воздушной печи. Однако необходимо учитывать оптимальные режимы сушки и их влияние на температуру и качество образцов риса.

Благодарность. Выражаем искреннюю благодарность заведующему кафедрой «Машины и аппараты производственных процессов» к.т.н., доценту Шамбулову Е.Д., д.т.н., профессору Джингилбаеву С.С., к.т.н., ассоц. профессору Кузембаеву К.К., к.ф-м.н., ассоц. профессору Адилбекову М.А. за объёмную и непростую работу, выполненную вами, а также за ваш неоценимый вклад в исследование. Мы признаём и ценим достойными все усилия, которые вы прилагаете, чтобы помочь нам достичь наши общие поставленные цели и задачи. Ваша экспертиза и отличные способности позволяют нам с большой эффективностью преодолевать сложности и осуществлять наши исследования.

Список литературы

1 Васильев А.Н., Будников Д.А., Грачёва Н.Н., Северинов О.В. Совершенствование технологии сушки зерна в плотном слое с использованием электротехнологий, АСУ и моделирования процесса. Москва: ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2016, 176 с.

2 Васильев А.Н., Будников Д.А., Васильев А.А., Ротачёв Ю.Ю., Гусев В.Г. Модульная установка для обработки зерна // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2014 г. № 5, С. 27-30 Инженерный вестник Дона, №4 (2017).

3 Васильев А.Н., Васильев А.А., Будников Д.А. Математическое описание теплообмена в зерне при воздействии поля СВЧ/ Политематический сетевой электронный научный журнал кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №101 (07).

4 Васильев А.Н., Будников Д.А., Васильев А.А. Моделирование процессов нагрева-охлаждения зерновки при воздействии СВЧ полем / Аграрная наука, 2015, №1, С. 27-29.

5 Васильев А.Н., Северинов О.В. Модель сушки в плотном слое с использованием элементарных слоёв зерна. Теоретический и научно-практический журнал // Инновации в сельском хозяйстве. 2015, №4(14), С.71- 77.

6 Васильев А.Н., Северинов О.В., Макарова Ю.М. Разработка компьютерной модели тепло- и влагообмена в плотном слое зерна/Вестник НГЭИ (технические науки), №4(59), 2016, С.63-71.

7 Кенийз Н.В. Технология переработки зерна / Кенийз Н.В. // Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, методические рекомендации к проведению лабораторных занятий. – Краснодар:2020. – 156 с.

8 Оспанов А., Гачеу Л., Муслимов Н. Инновационные технологии переработки зерновых / Оспанов А., Гачеу Л., Муслимов Н.// Альманах Алматы:2017. – 343 с.

9 Цугленок Н.В., Манасян С.К., Демский Н.В. Техника и технология сушки зерна / Цугленок Н.В., Манасян С.К., Демский Н.В. // Международный журнал экспериментального образования. Красноярск:2013. – с. 147.

10 Дыттерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. Изд. 2-е. В 2-х кн: Часть 1. Теоретические основы процессов химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты. М.: Химия, 2014. 400 с.: ил.

References

1 Vasil`ev A.N., Budnikov D.A., Grachyova N.N., Severinov O.V. Sovershenstvovanie texnologii sushki zerna v plotnom sloe s ispol`zovaniem e`lektrotexnologij, ASU i modelirovaniya processa. Moskva: FGBNU FNACz VIM, 2016, 176 s.

2 Vasil`ev A.N., Budnikov D.A., Vasil`ev A.A., Rotachyov Yu.Yu., Gusev V.G. Modul`naya ustanovka dlya obrabotki zerna // Sel`skoxozyajstvenny`e mashiny` i texnologii. 2014 g. № 5, S. 27-30 Inzhenerny`j vestnik Dona, №4 (2017).

3 Vasil`ev A.N., Vasil`ev A.A., Budnikov D.A. Matematicheskoe opisanie teploobmena v zerne pri vozdejstvii polya SVCh/ Politematicheskij setevoy e`lektronny`j nauchny`j zhurnal kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – Krasnodar: KubGAU, 2014. – №101 (07).

4 Vasil`ev A.N., Budnikov D.A., Vasil`ev A.A. Modelirovanie processov nagreva-oxlazhdeniya zernovki pri vozdejstvii SVCh polem/ Agrarnaya nauka, 2015, №1, S. 27-29.

5 Vasil`ev A.N., Severinov O.V. Model` sushki v plotnom sloe s ispol`zovaniem e`lementarny`x slojov zerna. Teoreticheskij i nauchno-prakticheskij zhurnal // Innovacii v sel`skom xozyajstve. 2015, №4(14), S.71- 77.

6 Vasil`ev A.N., Severinov O.V., Makarova Yu.M. Razrabotka komp`yuternoj modeli teplo- i vlagoobmena v plotnom sloe zerna/Vestnik NGE`I (texnicheskie nauki), №4(59), 2016, S.63-71.

7 Kenijz N.V. Texnologiya pererabotki zerna / Kenijz N.V. // Kubanskij gosudarstvenny`j agrarny`j universitet imeni I.T. Trubilina, metodicheskie rekomendacii k provedeniyu laboratorny`x zanyatij. – Krasnodar:2020. – 156 s.

8 Ospanov A., Gacheu L., Muslimov N. Innovacionny`e texnologii pererabotki zernovy`x / Ospanov A., Gacheu L., Muslimov N.// Al`manax Almaty`:2017. – 343 s.

9 Czuglenok N.V., Manasyan S.K., Demskij N.V. Texnika i texnologiya sushki zerna / Czuglenok N.V., Manasyan S.K., Demskij N.V. // Mezhdunarodny`j zhurnal e`ksperimental`nogo obrazovaniya. Krasnoyarsk:2013. – с. 147.

10 Dy`terskij Yu.I.Processy` i apparaty` ximicheskoy texnologii: Uchebnik dlya vuzov. Izd. 2-e. V 2-x kn: Chast` 1. Teoreticheskie osnovy` processov ximicheskoy texnologii. Gidromexanicheskie i teplovye processy` i apparaty`. M.: Khimiya, 2014. 400 s.: il.

Ж.Б. Калданов*, Б.П. Базарбаев, М.Х. Аднабеков, А.Т. Смаилова, Т.Ж. Баймуханов

«Алматы технологиялық университеті» АҚ, Алматы қ., Қазақстан Республикасы,
dtm.jason@mail.ru*, bolatbazarbayev@mail.ru, adnabekov@inbox.ru, smailovayauka@mail.ru,
baimuxanov2000@mail.ru

КҮРІШТІҢ ЫЛҒАЛДЫЛЫҒЫН АНЫҚТАУ ҮШІН ӘДЕТТЕГІ АУА КЕПТІРУ ӘДІСІ МЕН ҮЙДЕГІ МИКРОТОЛҚЫНДЫ ПЕШТІҢ ТИІМДІЛІГІН САЛЫСТЫРУ

Аңдатпа

Астықтың ылғалдылығын өлшеудің стандартты әдісі-ауа пешінде кептірудің әдеттегі технологиясы. Бұл әдіс ылғалдылықты анықтау үшін ұзақ уақытты қажет етеді. Электрлік ылғал өлшегіштер күріш өнеркәсібінде танымал болғанымен, оларды пеште кептіру әдісімен жиі калибрлеу қажет. Сондықтан балама, бірақ жылдам және сенімді әдіс қажет, әсіресе астық сататын салалар үшін. Бұл зерттеу үшін үш түрлі өлшемдегі күріш үлгілері пайдаланылды (Bg 300 - орташа майлы, Bg 358 - қысқа дөңгелек және at 405 - ұзын жіңішке). Ылғалдылықтың бес түрлі деңгейі (дымқыл негіздің 12-20%) белгілі мөлшерде су қосу арқылы алынды. Микротолқынды пеш пен ыстық ауа пешінің ылғалдылық мәндері арасындағы байланыс Пирсон, Спирмен және Кендалл корреляция коэффициенттерінің әдістерін қолдану арқылы бағаланды. Сондай-ақ ыстық ауа пеші мен микротолқынды пештің ылғалдылығын анықтау әдістері арасында сызықтық регрессиялық байланыс орнатылды. Берілген сіңіру қуаты МВт деңгейінде 870 Вт-тан басқа мәліметтерге сәйкес, қалған екі МВт қуат параметрлері (265 Вт және 550 Вт) ауа пешінің температурасы мен MW арасындағы айтарлықтай статистикалық корреляцияны ($r > 0,55$, $p < 0,01$) көрсетті. Үш күріш үлгісі үшін пештер. Алайда, сіңірілген қуаттың 7 минутында 550 Ватт МВт параметрлері ауа пешіндегі температура мәндерінде анықтаманың регрессия коэффициентінің ($r = 0,94$, $p < 0,01$) айтарлықтай жоғары екенін көрсетті. Микротолқынды пештердің экономикалық тиімділігі шамамен 92,5% құрайды және бастапқы шығындарда да, жалпы пайдалану шығындарында да айтарлықтай үнемдеуге мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижесінде тұрмыстық микротолқынды пешті күріштің әртүрлі сорттарындағы ылғалдылықты анықтау үшін ауа пешінде кептірудің әдеттегі әдісімен салыстырғанда балама әдіс ретінде сәтті қолдануға болады деген қорытынды жасауға болады. Бұл зерттеудің мақсаты күріштің ылғалдылығын анықтау үшін әдеттегі ауа кептіру әдісі мен үйдегі микротолқынды пештің тиімділігін салыстыру болып табылады.

Кілт сөздер: микротолқынды пеш, күріш, ылғалдылық, ауа пеші, қуат, температура, корреляция, сапа.

Zh.B. Kaldanov*, B.P. Bazarbayev, M.Kh. Adnabekov, A.T. Smailova, T.Zh. Baimukhanov

JSC «Almaty Technological University», Almaty, Kazakhstan, dtm.jason@mail.ru*,
bolatbazarbayev@mail.ru, adnabekov@inbox.ru, smailovayauka@mail.ru,
baimuxanov2000@mail.ru

COMPARISON OF THE EFFECTIVENESS OF THE CONVENTIONAL METHOD OF DRYING IN AN AIR OVEN AND THE METHOD OF A HOME MICROWAVE OVEN FOR DETERMINING THE MOISTURE CONTENT OF RICE

Abstract

The traditional method of measuring grain moisture, involving air oven drying, is time-consuming. Electric moisture meters are widely used in the rice industry but often require calibration using the air oven drying method. Therefore, an alternative, faster, and reliable approach is essential, especially for grain marketing. This study utilized rice samples of varying sizes: Bg 300 (medium fat), Bg 358 (short round), and At 405 (long thin). Five humidity levels (12-20% wet basis) were achieved by adding known water amounts. The correlation between moisture values in a microwave oven and hot-air oven was assessed using Pearson, Spearman, and Kendall coefficients. A linear

regression relationship was established between the methods. The findings revealed a significant correlation ($r > 0.55$, $P < 0.01$) between the temperature values of the air furnace and the MW furnace for three rice samples, except at 870 watts. However, using 550 watts for 7 minutes showed a notably higher regression coefficient ($r = 0.94$, $P < 0.01$) for temperature values in the air furnace. The economic efficiency of using microwave ovens is approximately 92.5% and provides significant savings on both initial costs and overall operating costs. In conclusion, household microwave ovens can effectively determine moisture content in various rice varieties, serving as an alternative to traditional air oven drying. This research aims to compare the efficacy of the two methods for moisture determination.

Key words: microwave oven, rice, humidity, air oven, power, temperature, correlation, quality.