МРНТИ 65.29.31 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1096**

КРУПООБРАЗОВАНИЕ И РЕЖИМЫ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПРИ СОРТОВОМ ПОМОЛЕ ЗЕРНА ТРИТИКАЛЕ КАЗАХСТАНСКОЙ СЕЛЕКЦИИ

Н. Онгарбаева, А.И. Изтаев, М.А. Якияева✉, Р.Б. Мухтарханова, Н.Б. Батырбаева, А.Е. Әбітбек

Алматинский технологический университет, г. Алматы, Казахстан

✉*Корреспондент-автор: yamadina88@mail.ru*

В статье представлены результаты исследования формирования крупнодунстовых продуктов при измельчении зерна тритикале сортов казахстанской селекции. Определены физико-химические характеристики зерна сортов «Таза», «Азиада» и «Кожа», различающихся по степени стекловидности (62 %, 54 % и 38 % соответственно). Установлено, что стекловидность оказывает значительное влияние на формирование крупнодунстовых продуктов на I–III драных системах. Выявлены корреляционные зависимости между показателями крупообразования и исследуемыми факторами: отрицательная связь между зазором между валками и извлечением (r = –0,92), положительная зависимость между стекловидностью и зольностью промежуточных продуктов (r = 0,85), а также выраженная нелинейность в изменении зольности при варьировании зазора. Определены ориентировочные режимы измельчения для I, II и драных систем, обеспечивающие оптимальное соотношение между выходом и зольностью промежуточных продуктов. Установлено, что сорт «Таза» с высокой стекловидностью демонстрирует наибольшее извлечение при допустимом уровне зольности, в то время как сорт «Кожа» характеризуется стабильностью показателей при менее интенсивном разрушении зерна.

Ключевые слова: тритикале, крупка, зольность, извлечение, зазор между валками, режим измельчения, крупообразования, промежуточные продукты.

ҚАЗАҚСТАН СЕЛЕКЦИЯСЫНЫҢ ТРИТИКАЛЕ ДӘНІН СОРТТЫ ҰНТАҚТАУ КЕЗІНДЕ ДӘНДІ ЖӘНЕ ҰНТАҚТАУ РЕЖИМДЕРІН ҚАЛЫПТАСТЫРУ

Н. Онгарбаева, А.И. Изтаев, М.А. Якияева✉, Р.Б. Мухтарханова, Н.Б. Батырбаева, А.Е. Абитбек

Алматы технологиялық университеті, Алматы қ., Қазақстан,
e-mail: yamadina88@mail.ru

Мақалада қазақстандық селекциядағы тритикале дәнін ұнтақтау барысында жармашықтар мен дунсттардың түзілу ерекшеліктері зерттелген. Шынылығы әртүрлі «Таза», «Азиада» және «Кожа» сорттарының (тиісінше 62 %, 54 % және 38 %) дәндерінің физика-химиялық қасиеттері анықталды. Дәннің шынылығы I–III жармалау жүйелерінде жармашықтар мен дунсттардың түзілуіне айтарлықтай әсер ететіні дәлелденді. Жармашықталу көрсеткіштері мен зерттелетін факторлар арасындағы корреляциялық байланыстар анықталды: біліктер арасындағы алшақтық пен алыным арасындағы күшті теріс байланыс (r = –0,92), шынылығы мен аралық өнімдердің күлділігі арасындағы оң байланыс (r = 0,85), сондай-ақ алшақтық өзгергенде күлділіктің бейсызық сипаты. Жармашықтар мен дунст өнімдерінің шығымы мен күлділігі арасындағы оңтайлы арақатынасты қамтамасыз ететін I, II және III жармалау жүйелерінің ұнтақтау режимдері анықталды. Жоғары шынылығы бар «Таза» сорты ең жоғары алыным көрсетсе, «Кожа» сорты дән құрылымының азырақ бұзылуы жағдайында көрсеткіштердің тұрақтылығымен ерекшеленді.

Түйін сөздер: тритикале, жарма, күлділік, экстракция, шығыршықтар арасындағы саңылау, ұнтақтау режимі, жарма қалыптастыру, аралық өнімдер.

FORMATION OF GRAIN AND GRINDING MODES DURING VARIETAL GRINDING OF TRITICALE GRAIN OF KAZAKHSTAN SELECTION

N. Ongarbayeva, A.I. Iztayev, M.A. Yakiyayeva✉, R.B. Mukhtarkhanova, N.B. Batyrbayeva, A.E. Abitbek

Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan,
e-mail: yamadina88@mail.ru

The article presents the results of a study on the formation of coarse-dunst products during the milling of triticale grain from Kazakhstani varieties. The physical and chemical properties of the grain of the varieties ’ Taza’, ’ Aziada’, and ’ Kozha’, differing in vitreousness (62%, 54%, and 38%, respectively), were determined. It was established that vitreousness has a significant impact on the formation of coarse-dunst products on the I–III break systems. Correlation relationships were identified between the parameters of granulation and the studied factors: a strong negative correlation between roll gap and extraction (r = –0.92), a positive correlation between vitreousness and the ash content of intermediate products (r = 0.85), and a pronounced non-linear trend in ash variation with changing gap. Approximate grinding regimes for the I, II, and III break systems were determined, ensuring an optimal balance between yield and ash content of intermediate products. The ‘Taza’ variety with high vitreousness demonstrated the highest extraction at an acceptable ash level, while the ‘Kozha’ variety was characterized by stable performance under milder grain disintegration conditions.

Keywords: triticale, semolina, ash content, extraction, gap between rollers, grinding mode, semolina formation, intermediate products.

Введение. Тритикале (×Triticosecale Wittmack) - гибрид пшеницы и ржи, обладающий высокой урожайностью, устойчивостью к неблагоприятным условиям среды и ценными хлебопекарными свойствами. В последние годы в Казахстане наблюдается рост интереса к этой культуре, особенно в южных регионах страны, где активно ведётся селекция и районирование новых сортов [1, 2]. Несмотря на агрономические преимущества тритикале, его помол представляет определённые технологические трудности, обусловленные особенностями морфологической структуры зерна, варьирующейся в зависимости от сорта и степени стекловидности эндосперма. Эти факторы существенно влияют на процесс крупообразования, выход муки и её качественные характеристики [3, 4].

В условиях современного хлебопекарного производства особое значение приобретают параметры помола, такие как выход продуктов, зольность и эффективность извлечения муки. Оптимизация режимов измельчения с учётом сортовых особенностей тритикале позволяет повысить качество готовой продукции и рационально использовать сырьевые ресурсы [5, 6].

Настоящее исследование направлено на анализ количественных и качественных характеристик продуктов помола зерна тритикале казахстанской селекции на первых трёх драных системах. Особое внимание уделяется установлению рациональных режимов измельчения, обеспечивающих получение муки с заданными хлебопекарными свойствами [7, 8].

Развитие зернового производства в Казахстане требует эффективного использования новых культур, обладающих высокой продуктивностью и адаптацией к местным условиям. Тритикале, как гибрид пшеницы и ржи, является перспективной культурой для продовольственного и кормового использования [9, 10]. Однако технологические аспекты его помола, особенно сортов казахстанской селекции, изучены недостаточно. Учитывая технологические особенности зерна тритикале и вариации в степени его стекловидности, возникает необходимость в разработке научно обоснованных режимов измельчения, обеспечивающих высокое качество муки и стабильные технологические показатели. Это особенно важно для расширения использования тритикале в хлебопекарной промышленности [11, 12].

Цель исследования. Установление рациональных режимов измельчения зерна тритикале казахстанской селекции на первых I–III драных системах с целью получения муки с заданными хлебопекарными свойствами и высоким выходом.

Задачи исследования. Определить физико-

химические характеристики зерна тритикале различных сортов казахстанской селекции.

- Изучить особенности крупообразования на начальных стадиях сортового помола (I…III драные системы).

- Определить зависимость помольных параметров (извлечения, зольности, эффективности) от сорта, степени стекловидности зерна и

зазора между валками.

- Установить оптимальные режимы измельчения зерна тритикале казахстанских сортов на I, II и III драных системах.

Исследование ограничено начальными стадиями сортового помола (I–III драные системы), так как именно на этом этапе формируются основные круподунстовые продукты, определяющие эффективность последующего размола и качество конечной муки. Приоритетная задача работы заключалась в установлении закономерностей крупообразования и подборе оптимальных режимов измельчения на головных драных системах. Анализ дальнейших этапов переработки будет предметом последующих исследований.

Научная новизна. Впервые проведён комплексный анализ формирования промежуточных продуктов на начальных стадиях помола зерна тритикале казахстанской селекции. Установлены корреляционные зависимости между величиной зазора между валками, степенью стекловидности и показателями крупообразования. Определены ориентировочные режимы измельчения для I, II и III драных систем, обеспечивающие высокий выход крупок и дунстов при допустимом уровне зольности.

Практическая ценность. Заключается в возможности корректировки режимов работы вальцовых систем с учётом свойств зерна, что обеспечивает стабильность выхода и зольности промежуточных продуктов. Полученные рекомендации могут быть внедрены на мукомольных предприятиях для повышения эффективности сортового помола и качества готовой муки.

Материалы и методы. Объектом исследования являлось зерно тритикале (×Triticosecale Wittmack) сортов казахстанской селекции – «Таза», «Азиада» и «Кожа», районированных для условий южных регионов Республики Казахстан. Сорта подбирались с учётом различий по степени стекловидности эндосперма: «Таза» – 62 %, «Азиада» – 54 %, «Кожа» – 38 %. Исходная влажность всех образцов составляла 14,0 %. Предметом исследования являлся процесс крупообразования на начальных этапах сортового помола, с фокусом на формирование крупнодунстовых фракций при прохождении зерна через I–III драные системы вальцового измельчения.

Физико-химические свойства зерна тритикале определяли согласно действующим стандартам (ГОСТ 10846–91, 29033–91, 10845–98, 31675–2012, Р 54478–2011) с использованием приборов: диафаноскопа ДСЗ-3, сепаратора Quatuor 2, анализатора влажности Agua, ИК-анализатора INFRANEO и лабораторного рассева РЛ-1.

Плотность зерна устанавливали по ГОСТ 10840–2017 методом вытеснения толуолом. Расчёт проводили по формуле:

$$X = \left[\frac{y}{Q + y - P}\right] \times \rho$$

где y — масса зерна,

Q — масса бюретки с толуолом,

P — масса бюретки с зерном и толуолом,

ρ — плотность толуола.

Средний объём зерновки определяли по методу жидкостного вытеснения как частное от объёма вытесненной жидкости и количества зёрен в навеске:

$$V = \frac{V_1}{N}$$

где V_1 — объём вытесненной жидкости, N — число зёрен.

Выравненность и крупность зерна устанавливали ситовым методом, используя сита с продолговатыми отверстиями размером от 3,0×20 мм до 1,4×20 мм. Выравненность оценивали по наибольшей массе зерна, удержавшегося на двух соседних ситах (2,8×20 мм и 2,5×20 мм), в процентах к общей массе навески.

Химический состав зерна тритикале (белок, клейковина с ИДК, крахмал, сахар, клетчатка, жир, зола в пересчёте на сухое вещество) определяли методом ИК-спектроскопии с использованием анализатора INFRANEO. Применение прибора обеспечивало точность, воспроизводимость и оперативность комплексной оценки качественных показателей, исследуемых сортообразцов.

Перед помолом зерно каждого сорта увлажнялось до заданного уровня, соответствующего его стекловидности: для сорта «Таза» - до 16,0 %, для «Азиада» - до 15,5 %, для «Кожа» - до 14,5 %. Процедуру проводили при исходной влажности зерна 14,0 % в лабораторных условиях с последующим холодным кондиционированием в течение 4,5...9 часов. Исследование проводилось на трёх последовательных драных системах лабораторной вальцовой установки. Для каждой системы был установлен диапазон зазоров между валками: от 0,8 до 0,2 мм. Измельчённые продукты разделялись на фракции: крупка (крупная, средняя и мелкая), дунст и мука. Каждая фракция оценивалась по количественным (выход, %) и качественным (зольность, %) показателям.

Для обеспечения достоверности и воспроизводимости результатов все экспериментальные данные были получены с трёхкратной повторностью (n = 3). Обработка выполнялась с использованием общепринятых методов вариационной статистики.

1. Среднее арифметическое значение (M) определялось по формуле:

$$M = \frac{1}{n} \sum_{n-1}^{n} x_i$$

где n – число повторов эксперимента (в настоящей работе n=3);

x_i – значение показателя в i-м повторе.

2. Стандартное отклонение (SD) рассчитывалось по формуле:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (x_i - M)^2}{n-1}}$$

где M – среднее арифметическое значение показателя.

3. Доверительный интервал (95 % CI) вычислялся как:

$$CI_{95} = M \pm t \cdot \frac{SD}{\sqrt{n}}$$

где t – табличное значение критерия Стьюдента при уровне значимости $p < 0,05$.

Полученные обобщённые усреднённые значения и доверительные интервалы представлены в таблицах и графических материалах статьи. Промежуточные расчёты и полный массив исходных данных не включены в основной текст из-за ограничения объёма публикации.

Результаты и обсуждение. Крупообразование является критически важной стадией сортового помола, обеспечивающей формирование основного объёма промежуточных фракций с заданными технологическими характеристиками. Устойчивость выхода и качества крупнодунстовых продуктов напрямую влияет на эффективность последующего размола. Нарушения в этом процессе ведут к дестабилизации технологической цепи и снижению общей эффективности переработки зерна. Крупообразующая способность тритикале обусловлена физико-химическими свойствами зерна, в том числе степенью стекловидности, которая при исходной влажности 14,0 % варьировалась у исследуемых сортов. Этот показатель отражает прочность эндосперма и предопределяет особенности разрушения зерновки, а также количественный и качественный состав фракций, образующихся на первых трёх драных системах.

Крупообразующая способность зерна определяется совокупностью его физико-химических свойств, включая степень стекловидности определяющие структурно-механические свойства эндосперма. Эти характеристики предопределяют поведение зерна в процессе измельчения и

формирование промежуточных продуктов - крупок и дунстов-на первых трёх драных системах.

Для оценки технологических свойств, исследуемых сортообразцов тритикале проведён анализ исходных показателей качества зерна. Результаты представлены в табл.1.

Таблица 1 - Показатели физико-химических свойств зерна тритикале различных сортов

Показатель	№1	№2	№3
Физические свойства			
Масса 1000 зерен, г	37,8	35,6	35,4
Натура, г/л	629	612	614
Общая стекловидность, %	62	54	38
Выравненность, %	80,2	69,9	65,3
Крупность, % (сход сита 2,5×20)	97,0	75,1	68,4
Проход 2,0×20/ сход 1,8×20, %	0,5	0,4	0,4
Плотность, г/см³	1,21	1,20	1,09
Объем зерновки, мм³	32,2	32,6	31,9
Химические свойства (содержание, % на СВ)			
Клейковина, % /ИДК	26,6/85	21,1/84	16,4/95
Белок	14,5	12,5	12,2
Крахмал	54,0	55,0	53,7
Сахаров	5,0	4,8	4,2
Клетчатка	8,8	9,8	9,0
Жир	4,4	7,7	5,7
Зола	2, 02	2,01	2,09

Примечание: № 1 - образец сорта Таза; № 2 - образец сорта Азиада; № 3 - образец сорта Кожа

В исследовании использовались свежие опытные образцы тритикале казахстанской селекции, предварительно подготовленные по режимам, установленным в предыдущих наших исследованиях. Характеристика исходного зерна включала ряд физико-химических показателей (стекловидность, масса 1000 зёрен, натура, зольность, содержание белка, клейковины и др.), определяющих его поведение в процессе крупообразования. Условия хранения и влияние урожайного года в данной работе не рассматривались и могут стать предметом дальнейшего анализа.

В таблице 1 представлены физико-химические показатели трёх сортов тритикале казахстанской селекции – «Таза», «Азиада» и «Кожа», отобранных для исследования. Все образцы имели исходную влажность 14,0 %. Наиболее существенные различия между сортами зафиксированы по степени стекловидности: у сорта «Таза» – 62 %, «Азиада» – 54 %, «Кожа» – 38 %, что предопределяет характер измельчения зерна на драных системах.

Сорт «Таза» отличался высокой выравненностью (80,2 %) и максимальной долей крупной

фракции (97,0 %), что указывает на хорошую выполненность и структурную целостность зерновки. Он также характеризовался наибольшей плотностью (1,21 г/см³) и содержанием белка (14,5 %) и клейковины (26,6 % при ИДК 85), что определяет его высокую технологическую и хлебопекарную ценность. У сорта «Азиада» отмечена средняя стекловидность и наивысшее содержание крахмала (55,0 %), а также наиболее низкая зольность (2,01 %), что благоприятно влияет на выход и качество муки.

Сорт «Кожа» имел наименьшую стекловидность, плотность и уровень белка, что может ограничивать его эффективность при интенсивном измельчении, однако содержание жира (7,7 %) и клетчатки (9,0 %) указывает на потенциал в производстве функциональных продуктов. Выявленные различия в исходных свойствах зерна обусловили необходимость исследования его крупообразующей способности на первых трех I, II и III драных системах измельчения.

Сравнительный анализ в настоящем исследовании проводился между тремя сортами тритикале, с целью установления влияния стекловидности и зазора между валками на выход и качество круподунстовых продуктов. Сравнение с пшеницей как стандартом, безусловно, представляет научный интерес и планируется к включению в будущие работы, посвящённые сравнительной переработке и хлебопекарной оценке тритикале.

Таблица 2 – Количественная и качественная характеристика продуктов помола зерна тритикале на I ...III драных системах

Зазор между валками, мм	Выход /зольность, %				Общее извлечение, %	Средневзвешенная зольность, %	Эффективность помола
	Крупка		Дунст/ зольность	Мука/ зольность			
	крупная/ зольность	(сред.+ мелк.)/ зольность					
1	2	3	4	5	6	7	8
Сорт Таза							
0,8...0,6	7,5 / 1,28	7,5 / 1,20	4,7 / 0,86	5,5 / 0,85	25,2	1,08	30,0
0,5...0,4	10,5 / 1,20	12,0 / 1,08	6,7 / 0,67	7,8 / 0,69	37,0	0,90	45,0
0,3...0,2	13,5/ 1,60	16,5 / 1,55	9,0 / 0,95	11,5 / 0,85	50,5	1,20	60,0
Сорт Азиада							
0,8...0,6	6,5 / 1,30	7,0 / 1,25	4,0 / 0,88	5,0 / 0,87	22,5	1,10	27,5
0,5...0,4	8,0 / 1,18	12,0 / 1,10	6,0 / 0,70	7,0 / 0,72	33,0	0,93	40,0
0,3...0,2	11,0 / 1,65	16,5 / 1,55	8,5 / 0,98	10,0 / 0,88	46,0	1,17	55,0
Сорт Кожа							
0,8...0,6	5,5 / 1,35	6,5 / 1,25	3,5 / 0,90	4,5 / 0,89	20,0	1,12	24,5
0,5...0,4	7,0 / 1,22	11,0 / 1,15	5,5 / 0,72	6,5 / 0,74	30,0	0,95	36,5
0,3...0,2	9,5 / 1,70	15,5 / 1,60	8,0 / 1,00	9,0 / 0,90	42,0	1,25	50,0

В таблице 2 представлены количественные и качественные показатели продуктов помола сортообразцов тритикале («Таза», «Азиада» и «Кожа»), полученные в результате измельчения на

I–III драных системах при различных величинах зазора между валками.

Результаты помола зерна тритикале на I-III драных системах демонстрируют четкую зависимость технологических показателей от величины зазора между валками и сортовых особенностей сырья. Уменьшение зазора с 0,8-0,6 мм до 0,3-0,2 мм последовательно увеличивает общее извлечение: для сорта Таза с 25,2% до 50,5%, Азиада с 22,5% до 46,0%, Кожа с 20,0% до 42,0%. Качественные параметры показывают нелинейную динамику - минимальная зольность (0,90-0,95%) фиксируется при промежуточном зазоре 0,5-0,4 мм, тогда как эффективность помола монотонно возрастает при уменьшении зазора для всех сортов (Таза: 30.0→60.0, Азиада: 27.5→55.0, Кожа: 24.5→50.0). Сортовая дифференциация проявляется в стабильном лидерстве сорт Таза по выходу продукции (макс.50,5%) и отставании Кожи (макс. 42,0%) во всех величинах зазора между валками. Оптимальный баланс технологических и качественных показателей достигается при зазоре 0,5-0,4 мм, обеспечивающем извлечение 30,0-37,0% при зольности 0,90-0,95%. Полученные данные подтверждают необходимость индивидуального подбора параметров помола с учетом как конструктивных особенностей оборудования, так и физико-химических характеристик перерабатываемого зерна. Как видно из таблицы 2, уменьшение зазора между валками приводит к росту извлечения и изменению зольности.

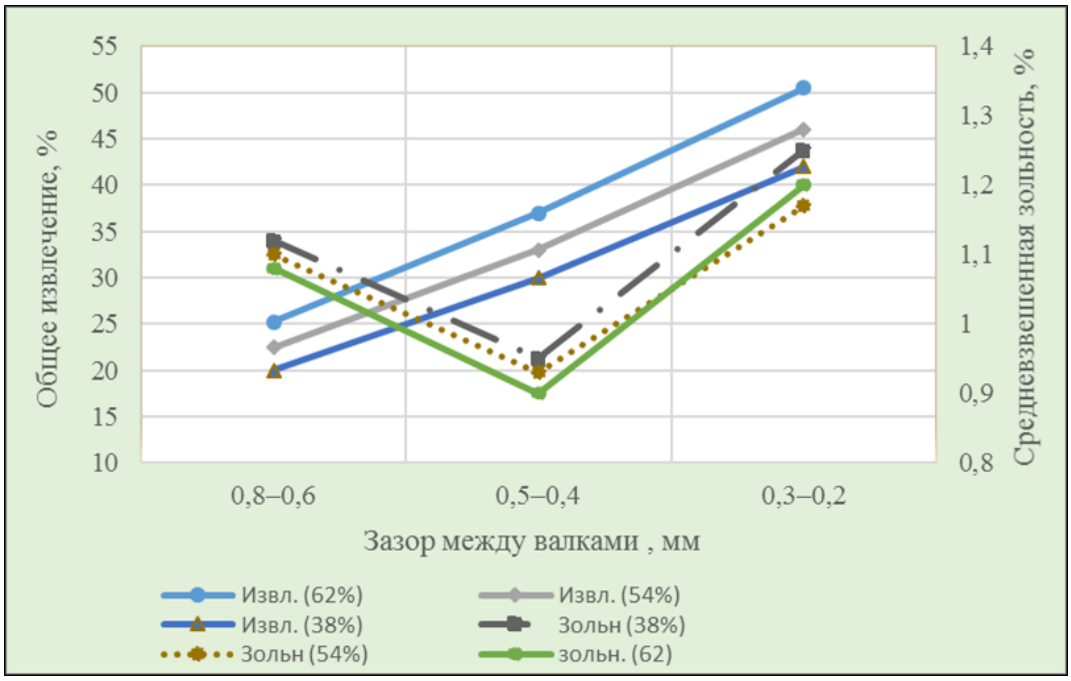


Рис.1 - Извлечение и зольность продуктов помола в зависимости от зазора между валками для сортов тритикале

Оценка качества промежуточных продуктов (крупок и дунстов) в данной работе основывается на показателях зольности и выхода, поскольку именно они являются основными технологическими критериями при классификации продуктов на первой стадии сортового помола. Хлебопекарные свойства относятся к характеристикам конечной муки и не входили в рамки поставленных задач. Их изучение запланировано на следующем этапе комплексного исследования.

Для наглядного представления этих зависимостей на рисунке 1 отображена динамика ключевых параметров в зависимости от зазора и сортовых особенностей тритикале.

Рисунок 1 иллюстрирует зависимость извле-

чения и средневзвешенной зольности промежуточных продуктов, формирующихся на I–III драных системах при измельчении зерна тритикале, от величины зазора между валками. При этом учитываются различия в степени стекловидности зерна (62 %, 54 % и 38 %), соответствующие сортам «Таза», «Азиада» и «Кожа».

Анализ данных, представленных на рисунке 1, показал, что с уменьшением зазора между валками наблюдается отчётливый рост общего извлечения круподунстовых продуктов.

Согласно результатам корреляционного анализа, между величиной зазора и извлечением установлена сильная обратная связь (r = –0,92; p <0,01), тогда как степень стекловидности положительно коррелирует с зольностью промежуточных продуктов (r = 0,85; p <0,01). Регрессионное моделирование позволило вывести уравнения прогнозирования.

Регрессионная модель для общего извлечения имеет следующий вид:

$Y_{\text{извл}} = 28.4 + 15.7 \cdot X_1 - 12.3 \cdot X_2,\ R^2 = 0.89$

где $Y_{\text{извл}}$ — общее извлечение промежуточных продуктов, %

X_1 — степень стекловидности зерна, выраженная в долях (например, 0.62)

X_2 — величина зазора между валками, мм

$R^2 = 0.89$ — коэффициент детерминации, характеризующий высокую степень соответствия модели

Для оценки взаимосвязей между переменными построены регрессионные модели:

$Y_{\text{извл}} = 28,4 + 15,7 \cdot X_1 - 12,3 \cdot X_2,\ R^2 = 0,89$ (для общего извлечения);

$Y_{\text{зольн}} = 0,68 + 0,011 \cdot X_1 + 0,25 \cdot X_2,\ R^2 = 0,83$ (для средневзвешенной зольности),

где X_1 — степень стекловидности зерна (в долях), X_2 — величина зазора между валками, мм.

Для средневзвешенной зольности получено следующее уравнение:

$Y_{\text{зольн}} = 0,68 + 0,011 \cdot X_1 + 0,25 \cdot X_2,\ R^2 = 0,83$

где $Y_{\text{зольн}}$ — средневзвешенная зольность, %,

X_1 и X_2 — те же, что и выше;

$R^2 = 0,83$ — высокая степень согласованности модели с экспериментальными данными.

Максимальные значения извлечения (52–54 %) зафиксированы при минимальных зазорах (0,3-0,2 мм) у сортов с высокой стекловидностью (62 %). Вместе с тем наилучшее сочетание производительности (45–48 %) и качества продуктов (зольность 0,9-1,1 %) достигалось при зазоре 0,5–0,4 мм. Зерно с низкой стекловидностью (38 %) характеризовалось минимальной вариабельностью зольности при варьировании условий измельчения (CV = 5,2 %), что указывает на его стабильное технологическое поведение.

Для установления ориентировочных режимов измельчения зерна тритикале казахстанских сортов «Таза», «Азиада» и «Кожа» с различными физико-химическими характеристиками помол проводили на лабораторном вальцовом станке с измельчением на I, II и III драных системах. Влажность зерна перед подачей на I драную систему регулировали с учётом степени стекловидности: для сорта «Таза» (62 %) - 16,0 %, «Азиада» (54 %) - 15,5 %, «Кожа» (38 %) - 14,5 %.

Анализ результатов I драной системы выявил статистически значимые зависимости: отрицательную корреляцию между зазором и извлечением (r = –0,92; p <0,01) и положительную между стекловидностью и зольностью промежуточных продуктов (r = 0,85; p <0,01). Построены регрессионные модели:

$Y_{\text{извл}} = 28,4 + 15,7 \cdot X_1 - 12,3 \cdot X_2,\ R^2 = 0,89$

$Y_{\text{зол}} = 0,68 + 0,011 \cdot X_1 + 0,25 \cdot X_2,\ R^2 = 0,83$

где X_1 — степень стекловидности (в долях единицы), X_2 — зазор между валками, мм.

Сорт «Таза» обеспечил извлечение 32,4 % при зольности 0,98 %, «Азиада» - 30,9 % (0,98 %), «Кожа» - 29,3 % (1,03 %). При зазоре 0,5-0,4 мм достигался выход 30-33 % и зольность 0,95-1,05 %. На этой основе установлен ориентировочный режим измельчения зерна тритикале на I драной системе обеспечивает извлечение промежуточных продуктов в пределах 30-33 %

при уровне зольности 0,95-1,05 %. Стандартная ошибка прогноза составляет ±0,5 % по извлечению и ±0,08 % по зольности.

Анализ результатов помола на II драной системе позволил установить дополнительные зависимости, характеризующие влияние степени стекловидности зерна и величины зазора между валками на извлечение и зольность промежуточных продуктов. Средние показатели извлечения составили: для сорта «Таза» (62 %) - 43,4 %, «Азиада» (54 %) - 44,3 %, «Кожа» (38 %) - 41,7 %. Минимальные значения зольности зарегистрированы у сорта «Азиада» - 1,05 %, максимальные - у сорта «Кожа» - 1,09 %. У сорта «Таза» при минимальном зазоре (0,2 мм) достигнуто наибольшее извлечение - 62,5 %.

Корреляционный анализ подтвердил наличие выраженной обратной зависимости между величиной зазора и извлечением (r = –0,89; p <0,01), а также положительной связи между стекловидностью и выходом (r = 0,82; p <0,01). Зольность демонстрировала U-образную зависимость от зазора, с наименьшими значениями при 0,5-0,4 мм. Регрессионные модели для II драной системы имеют следующий вид:

$$Y_{\text{извл}} = 35,2 + 0,25 \cdot X_1 - 18,7 \cdot X_2,\ R^2 = 0,87$$

$$Y_{\text{зол}} = 0,72 + 0,008 \cdot X_1 + 0,31 \cdot X_2,\ R^2 = 0,81$$

где X_1 — степень стекловидности (в долях единицы), X_2 — зазор между валками, мм.

Оптимальный диапазон регулирования зазора между валками на II драной системе составляет 0,4-0,3 мм, при котором обеспечивается извлечение в пределах 42-45 % и зольность 1,05-1,15 %. На этом основании ориентировочный режим измельчения для данной системы определён в указанном интервале.

Сравнительно с I системой зафиксирован прирост извлечения на 11,3 п.п. у сорта «Таза», снижение зольности на 0,07 п.п. у сорта «Азиада», а также общее повышение эффективности измельчения на 18–22 %.

Анализ результатов помола на III драной системе позволил выявить характерные зависимости извлечения и зольности промежуточных продуктов от величины зазора между валками и физико-химических свойств зерна. Среднее извлечение составило: для сорта «Таза» (62 %) - 39,5 %, «Азиада» (54 %) - 39,0 %, «Кожа» (38 %) – 39,3 %. Минимальные значения зольности отмечены у сорта «Азиада» – 1,25 %, максимальные – у сорта «Таза» – 1,34 %. Наибольшее извлечение - 55,9 % – зафиксировано у сорта «Таза» при минимальном зазоре (0,1 мм). Корреляционный анализ показал сильную положительную связь между уменьшением зазора и ростом извлечения (r = 0,91; p <0,01), а также параболическую зависимость зольности от величины зазора, с минимальными значениями при 0,3–0,2 мм. Стекловидность зерна демонстрировала обратную зависимость от качества продукта, выраженную через зольность (r = –0,76; p <0,01).

Построенные регрессионные модели для III драной системы представлены уравнениями:

$$Y_{\text{извл}} = 28,1 + 0,18 \cdot X_1 - 15,2 \cdot X_2 + 0,09 \cdot X_2^2,\ R^2 = 0,85$$

$$Y_{\text{зол}} = 0,85 + 0,012 \cdot X_1 + 0,42 \cdot X_2 - 0,11 \cdot X_2^2,\ R^2 = 0,83$$

где X_1 — степень стекловидности (в долях единицы), X_2 — зазор между валками, мм.

Оптимальный режим измельчения на III драной системе установлен при зазоре 0,3-0,2 мм, при котором достигается извлечение 38-42 % и уровень зольности в пределах 1,25-1,30 %. У сорта «Кожа» отмечена стабильность технологических показателей во всём исследованном диапазоне зазоров, в то время как для сорта «Таза» рекомендуется контроль процесса при зазорах менее 0,2 мм.

Сравнительно с II системой извлечение на III системе оказалось ниже в среднем на 4,5 п.п., а зольность – выше на 0,20–0,25 п.п. Совокупная эффективность измельчения снизилась на 15-18 %, что обусловлено исчерпанием потенциала крупообразования при глубоком разрушении структуры зерна.

На основании проведённого эксперимента установлены количественные и качественные характеристики промежуточных продуктов, формирующихся на I-III драных системах при помоле зерна тритикале сортов казахстанской

селекции.

Ориентировочный режим измельчения на I драной системе, обеспечивающий оптимальное соотношение между выходом и зольностью круподунстовых продуктов, установлен при зазоре 0,5-0,4 мм. В данных условиях достигается извлечение 30-33 % при зольности 0,95-1,05 %.

Для II драной системы оптимальный режим реализуется при зазоре 0,4-0,3 мм, при котором обеспечивается извлечение 42-45 % и зольность 1,05-1,15 %.

На III драной системе наилучшее соотношение параметров достигается при зазоре 0,3-0,2 мм, при этом извлечение составляет 38-42 %, а зольность - 1,25-1,30 %.

Следует отметить, что представленные графические и табличные материалы содержат обобщённые значения, на основе которых проведены статистические расчёты.

Таблица 3 - Сравнительный обзор зарубежных исследований по помолу зерна тритикале

Источник	Объект исследования	Основные результаты	Сопоставление с настоящей работы
Kandrokov et al., 2025	Помол тритикале и пшеницы при разной влажности	Выход муки из тритикале на 7-10 % ниже, чем у пшеницы	Подтверждает необходи-мость технологической оптимизации сортового помола тритикале
Dziki, 2025, (MDPI, Processes)	8 сортов зимнего тритикале, влияние урожайного года	Энергия измельчения от 14 до 17,8 кДж/кг; различия по сортам и химсоставу	Подтверждает влияние стекловидности и сортовых характеристик, учитываемое в настоящем исследовании
Kandrokov, 2021	Смеси пшеницы, тритикале и ржи (50:40:10)	Смеси дают лучшие показатели выхода и белизны муки, чем чистая пшеница	Подчёркивает потенциал тритикале при правильной сортовой переработке
Zuev et al., 2024	Современное состо-яние исследований по помолу тритикале в РФ	Отмечен дефицит комплексных работ по помольной технологии тритикале	Подчёркивает актуальность и новизну настоящего исследования

Примечание. *Таблица составлена на основе открытых источников. Полные библиографические ссылки приведены в списке литературы.*

Все экспериментальные данные получены с трёхкратной повторностью (n = 3). В таблицах и графических материалах представлены обобщённые результаты, рассчитанные как средние значения (M) с учётом доверительных интервалов (95 % CI). Статистическая обработка включала методы вариационного анализа (среднее, стандартное отклонение, доверительные интервалы). Подробные промежуточные расчёты в статье не приводятся из-за ограничения объёма; отражены только итоговые результаты, обладающие достаточной статистической обоснованностью и практической значимостью.

В зарубежных исследованиях отмечается, что

эффективность помола тритикале, как правило, ниже, чем у пшеницы [16]. Работа [17] Dziki показала влияние сортовых особенностей и урожайного года на энергоёмкость измельчения (14-17,8 кДж/кг) и состав продуктов. Кроме того, исследования смесей пшеницы, тритикале и ржи [18, 19] демонстрируют положительный эффект при правильной технологической настройке. Это подтверждает актуальность наших рекомендаций и подчёркивает вклад работы в развитие научных основ сортового помола тритикале. Сравнение с зарубежными данными представлено в таблице 3.

Выводы. В ходе проведённого исследования определены физико-химические характеристики зерна тритикале сортов казахстанской селекции «Таза», «Азиада» и «Кожа», различающихся по степени стекловидности. установлено, что степень стекловидности оказывает существенное влияние на формирование крупнодунстовых продуктов на первых трёх драных системах сортового помола. Выявлены статистически значимые зависимости между технологическими параметрами измельчения: между величиной зазора между валками и извлечением установлена сильная отрицательная корреляция (r = -0,92), между стекловидностью зерна и зольностью продуктов – положительная (r = 0,85). зольность изменялась по параболической зависимости от зазора с минимумом при 0,4-0,3 мм.

На основании полученных данных определены ориентировочные режимы измельчения, обеспечивающие оптимальное соотношение между выходом и зольностью круподунстовых продуктов:

- для I драной системы - 30 - 33 %;
- для II драной системы - 42 - 45 %;
- для III драной системы – 38 - 42 %.

Наибольшее извлечение при допустимом уровне зольности обеспечено у сорта «Таза» с высокой степенью стекловидности, в то время как сорт «Кожа» характеризовался более стабильными, но менее продуктивными показателями. Полученные результаты подтверждают целесообразность дифференцированного подхода к выбору режимов сортового помола в зависимости от исходных свойств зерна.

Полученные результаты имеют не только теоретическое, но и прикладное значение: они создают основу для промышленного внедрения оптимизированных режимов измельчения на первых стадиях сортового помола тритикале на мукомольных предприятиях. Установлено, что именно начальные драные системы определяют структуру круподунстовых продуктов и во многом предопределяют технологическую «логику» и эффективность последующих этапов размола. Практическое использование выявленных зависимостей позволит не только повысить эффективность переработки отечественного сырья и стабилизировать качество промежуточных продуктов, но и обеспечить устойчивое качество конечной муки, расширив её ассортимент и хлебопекарный потенциал. Экономическая оценка внедрения и производственная проверка эффективности технологических решений требуют проведения опытно-промышленных испытаний, которые запланированы в рамках последующих этапов работы. По завершении полного комплекса исследований планируется разработка нормативных материалов, в которые будут включены рекомендованные режимы измельчения.

Финансирование. *Исследование проведено в рамках научно-технической программы Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан № BR22886613 «Разработка инновационных технологий по переработке и хранению сельскохозяйственной растениеводческой продукции и сырья» (проект №9-2024/2026 «Разработка инновационной технологии хранения и переработки различных сортов тритикале в высокоэффективную продукцию зерноперерабатывающей отрасли»).*

Литература

1. Kandrokov R.K. Technological Properties of Wheat-Triticale-Rye Flour. // Biomedical Journal of Scien-

tific & Technical Research. - 2021. -Vol.39(3).-P.31372-31378. DOI 10.26717/bjstr.2021.39.006305

2. Жанабаева К.К., Онгарбаева Н., Рукшан Л.В., Ерошенко Я.И. Крупообразующая способность зерна тритикале казахстанской селекции // Механика и технологии. - 2018. - № 3. - С.105-110. URL:

3. Kandrokov R., Pankratov G., Meleshkina E., Vitol I., Tulyakov D. Effective technological scheme for processing triticale (Triticosecale L.) grain into graded flour. // Foods and Raw Materials. - 2019. -Vol.7(1) - P.107-117. DOI 10.21603/2308-4057-2019-1-107-117.

4. Чумаченко Ю.Д., Жигунов Д.А. Исследование процесса крупообразования при помолах тритикале.//Зерновые продукты и комбикорма - 2015.- №1 (57). DOI 10.15673/2313-478x.57/2015.39745.

5. Pattison A. L., Trethowan R. M. Characteristics of modern triticale quality: commercially significant flour traits and cookie quality//Crop and Pasture Science.-2013.- Vol.64(9).-P.874-880. DOI 10.1071/cp13056.

6. Zhanabayeva K.K., Zhamalova D., Ruchkina G., Chernyavskaya O., Ongarbayeva N. Biochemical characteristics of triticale flour formed from separate fractions on grinding grain of Kazakhstan selection // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems.- 2020.-Vol.12(6). - P.709-711. DOI 10.5373/JARDCS/V12I6/S20201084.

7. Жанабаева К.К., Онгарбаева Н., Рукшан Л.В. Исследование гранулометрического состава и качества муки из тритикале казахстанской селекции //Вестник МГУП.- 2018.- № 2(25) - С.65-70. URL https://scholar.google.com/citations?user=zqdwTvQAAAAJ&hl=en

8. Онгарбаева Н.О., Батырбаева Н.Б. Сапа менеджменті негізінде астық өндеу өндірістерінің технохимиялық бақылауы: Практикум.-Алматы, АТУ, 2014. -105 б. ISBN 978-601-263-240-8

9. Бадамшина Е.И., Гареева И.Т., Леонова С.А., Кощина Е.И. Влияние тритикалевой муки отрубей на показатели качества хлебных палочек// Вестник КрасГАУ.-2023.--№ 1ю-С.298-304. DOI 10.36718/1819-4036-2023-11-298-304.

10. Korzhenivska A., Danylenko S. Study of technological properties of rye and wheat flour. Human and Nation’s Health. - 2024. - Vol.2024(2). – P.17-24. DOI 10.31548/humanhealth.2.2024.16.

11. Martinek P., Vinterová M., Burešová I., Vyhnánek T. Agronomic and quality characteristics of triticale (X Triticosecale Wittmack) with HMW glutenin subunits 5+10. // Journal of Cereal Science. - 2008.- Vol.47(1). - P.68-78. DOI 10.1016/j.jcs.2007.02.003

12. Tian X., Wang X., Wang Z., Sun B., Wang F., Ma S., Gu Y., Qian X. Particle size distribution control during wheat milling: nutritional quality and functional basis of flour products-a comprehensive review // International Journal of Food Science & Technology.- 2022. -Vol.58(1). - P.7556-7572. DOI 10.1111/ijfs.16120.

13. Kaszuba J., Woś H., Shchipak G. V. Bread making quality parameters of some Ukrainian and Polish triticale cultivars. // Euphytica. - 2024. - Vol.220(2). - P.2-15. DOI 10.1007/s10681-023-03272-4.

14. Kaszuba J., Czyż M., Cebulak T., Pycia K. Assessment of the Suitability of Flour Obtained from Mountain Rye Grain Milling and the Method of Dough Fermentation for the Production of Rye Bread. // Foods. - 2024. -Vol.13(19):3035. DOI 10.3390/foods13193035.

15. Jańczak-Pieniążek M., Kaszuba J. The Influence of Agrotechnical Factors on the Yield and Quality Parameters of Winter Triticale Grain. // Agriculture. - 2024. - Vol.14(12): 2219. DOI 10.3390/agriculture14122219.

16. Кандроков Р.Х.,Катин С.А., Сивцев А.О.,Верьемьев Д.Н., Пестова Е.В. Использование цельномоловой пшенично-тритикалевой муки для производсва хлебобулочных изделийю—// Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture.- 2025.-Vol.17(1).-518-542 DOI 10.12731/2658-6649-2025-17-

1-1084.

17. Dziki D. Special Issue on “10th Anniversary of Processes: Recent Advances in Food Processing Processes.” Processes. - 2025. - Vol. 13(8):2525. DOI 10.3390/pr13082525.

18. Kandrokov R. K. Technological Properties of Wheat-Triticale-Rye Flour. // Biomedical Journal of Scientific & Technical Research.-2021.-Vol.39(3).-P.31372- 31378. DOI 10.26717/bjstr.2021.39.006305.

19. Зуев Е.В., Лебедева Т.В., Тырышкин Л.Г. Ювенильная устойчивость районированных в Российской Федерации и перспективных сортов тритикале к грибным листовым болезням//Аграрная наука Востока.-2024.- № 25(6). – С.1000-1008. DOI 10.30766/2072-9081.2024.25.6.1000-1008.

References

1. Kandrokov R.K. Technological Properties of Wheat-Triticale-Rye Flour. // Biomedical Journal of Scientific & Technical Research. - 2021. -Vol.39(3).-P.31372-31378. DOI 10.26717/bjstr.2021.39.006305

2. Zhanabaeva K.K., Ongarbaeva N., Rukshan L.V., Eroshenko Ja.I. Krupoobrazujushhaja sposobnost’ zerna tritikale kazahstanskoj selekcii // Mehanika i tehnologii. - 2018. - № 3. - S. 105-110. URL: http://journals.dulaty.kz. [in Russian]

3. Kandrokov R., Pankratov G., Meleshkina E., Vitol I., Tulyakov D. Effective technological scheme for processing triticale (Triticosecale L.) grain into graded flour. // Foods and Raw Materials. - 2019. -Vol.7(1) - P.107-117. DOI 10.21603/2308-4057-2019-1-107-117.

4. Chumachenko Ju.D., Zhigunov D.A. Issledovanie processa krupoobrazovanija pri pomolah tritikale. Zernovye produkty i kombikorma - 2015.- №1 (57). DOI 10.15673/2313-478x.57/2015.39745. [in Russian]

5. Pattison A. L., Trethowan R. M. Characteristics of modern triticale quality: commercially significant flour traits and cookie quality//Crop and Pasture Science.-2013.- Vol.64(9).-P.874-880. DOI 10.1071/cp13056.

6. Zhanabayeva K.K., Zhamalova D., Ruchkina G., Chernyavskaya O., Ongarbayeva N. Biochemical characteristics of triticale flour formed from separate fractions on grinding grain of Kazakhstan selection // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems.- 2020.-Vol.12(6). - P.709-711. DOI 10.5373/JARDCS/V12I6/S20201084.

7. Zhanabaeva K.K., Ongarbaeva N., Rukshan L.V. Issledovanie granulometricheskogo sostava i kachestva muki iz tritikale kazahstanskoj selekcii //Vestnik MGUP.- 2018.- № 2(25) - S.65-70. URL https://scholar.google.com. [in Russian]

8. Ongarbaeva N.O., Batyrbaeva N.B. Sapa menedzhmenti negizinde astyқ өndeu өndiristerinің tehnohimijalyқ bақylauy: Praktikum.-Almaty, ATU, 2014. -105 b. ISBN 978-601-263-240- 8.[in Kazakh]

9. Badamshina E.I., Gareeva I.T., Leonova S.A., Koshhina E.I. Vlijanie tritikalevoj muki otrubej na pokazateli kachestva hlebnyh palochek// Vestnik KrasGAU.-2023.--№ 1ju-S.298-304. DOI 10.36718/1819-4036-2023-11-298-304. [in Russian]

10. Korzhenivska A., Danylenko S. Study of technological properties of rye and wheat flour. Human and Nation’s Health. - 2024. - Vol.2024(2). – P.17-24. DOI 10.31548/humanhealth.2.2024.16.

11. Martinek P., Vinterová M., Burešová I., Vyhnánek T. Agronomic and quality characteristics of triticale (X Triticosecale Wittmack) with HMW glutenin subunits 5+10. // Journal of Cereal Science. - 2008.- Vol.47(1). - P.68-78. DOI 10.1016/j.jcs.2007.02.003

12. Tian X., Wang X., Wang Z., Sun B., Wang F., Ma S., Gu Y., Qian X. Particle size distribution control during wheat milling: nutritional quality and functional basis of flour products-a comprehensive

review // International Journal of Food Science & Technology.- 2022. -Vol.58(1). - P.7556-7572. DOI 10.1111/ijfs.16120.

13. Kaszuba J., Woś H., Shchipak G. V. Bread making quality parameters of some Ukrainian and Polish triticale cultivars. // Euphytica. - 2024. - Vol.220(2). - P.2-15. DOI 10.1007/s10681-023-03272-4.

14. Kaszuba J., Czyż M., Cebulak T., Pycia K. Assessment of the Suitability of Flour Obtained from Mountain Rye Grain Milling and the Method of Dough Fermentation for the Production of Rye Bread. // Foods. - 2024. -Vol.13(19):3035. DOI 10.3390/foods13193035.

15. Jańczak-Pieniążek M., Kaszuba J. The Influence of Agrotechnical Factors on the Yield and Quality Parameters of Winter Triticale Grain. // Agriculture. - 2024. - Vol.14(12): 2219. DOI 10.3390/agriculture14122219.

16. Kandrokov R.H.,Katin S.A., Sivcev A.O.,Ver' em' ev D.N., Pestova E.V. Ispol' zovanie cel' nomolovoj pshenichno-tritikalevoj muki dlja proizvodsva hlebobulochnyh izdelijju// Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture.- 2025. -Vol.17(1).-518-542 DOI 10.12731/2658-6649-2025-17-1-1084.

17. Dziki D. Special Issue on "10th Anniversary of Processes: Recent Advances in Food Processing Processes." Processes. - 2025. - Vol. 13(8):2525. DOI 10.3390/pr13082525.

18. Kandrokov R. K. Technological Properties of Wheat-Triticale-Rye Flour. // Biomedical Journal of Scientific & Technical Research.-2021.-Vol.39(3).-P.31372- 31378. DOI 10.26717/bjstr.2021.39.006305.

19. Zuev E.V., Lebedeva T.V., Tyryshkin L.G. Juvenil' naja ustojchivost' rajonirovannyh v Rossijskoj Federacii i perspektivnyh sortov tritikale k gribnym listovym boleznjam//Agrarnaja nauka Vostoka.-2024.-№ 25(6). – S.1000-1008. DOI 10.30766/2072-9081.2024.25.6.1000-1008. [in Russian]

Сведения об авторах

Онгарбаева Н.- доктор технических наук, профессор, АО «Алматинский технологический университет», Алматы, Казахстан, e-mail: o.nurlaim@mail.ru;

Изтаев А.- доктор технических наук, профессор, АО «Алматинский технологический университет», Алматы, Казахстан, e-mail: auelbekking@mail.ru;

Якияева М.А.- доктор философии (Ph.D), ассоциированный профессор, АО «Алматинский технологический университет», Алматы, Казахстан, e-mail: yamadina88@mail.ru

Мухтарханова Р.Б.- кандидат технических наук, доцент, АО «Алматинский технологический университет», Алматы, Казахстан. e-mail: rauan_78@mail.ru;

Батырбаева Н.Б.- доктор философии (Ph.D), ассоциированный профессор, АО «Алматинский технологический университет», Алматы, Казахстан, e-mail: alua_01.02.03@mail.ru;

Абитбек А.Е.- магистр, АО «Алматинский технологический университет», Алматы, Казахстан,e-mail: abitbek_ainur@mail.ru.

Information about authors

Ongarbayeva N.- Doctor of Technical Sciences, Professor, Almaty Technological University JSC, Almaty, Kazakhstan, e-mail: o.nurlaim@mail.ru;

Iztayev A.- Doctor of Technical Sciences, Professor, Almaty Technological University JSC, Almaty, Kazakhstan, e-mail: auelbekking@mail.ru;

Yakiyayeva M.- Doctor of Philosophy (PhD), associated professor, Almaty Technological University JSC, Almaty, Kazakhstan, e-mail: yamadina88@mail.ru;

Mukhtarkhanova R.- Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Almaty Technological University JSC, Almaty, Kazakhstan, e-mail: rauan_78@mail.ru;

Batyrbayeva N.- Doctor of Philosophy (Ph.D), Associate Professor, Almaty Technological University JSC, Almaty, Kazakhstan, e-mail: alua_01.02.03@mail.ru;

Abitbek A.- Master, Almaty Technological University JSC, Almaty, Kazakhstan, e-mail: abitbek_ainur@mail.ru.