МРНТИ 65.29.31 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1061**

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ МУКИ ИЗ ЗЕРНА СОРТОВ ТРИТИКАЛЕ, ВОЗДЕЛЫВАЕМЫХ В КАЗАХСТАНЕ

Н. Онгарбаева, А.И. Изтаев, А.Т. Киябаева, М.А. Якияева, Ж.К. Нургожина

Алматинский технологический университет, г. Алматы, Казахстан

Корреспондент-автор: yamadina88@mail.ru

В условиях растущего интереса к использованию альтернативных зерновых культур, таких как тритикале, важное значение приобретает изучение их перерабатывающих свойств, в частности гранулометрического состава муки. Целью настоящего исследования является установление взаимосвязи между физическими характеристиками зерна различных сортов тритикале, возделываемых в Казахстане, и гранулометрическим составом получаемой из него муки. Работа направлена на определение параметров, влияющих на фракционную структуру муки, и разработку подходов к прогнозированию её качества в зависимости от свойств зерна. Научная и практическая значимость исследования заключается в возможности более точной оценки перерабатываемых сортов тритикале и оптимизации процессов мукомольного производства для разных направлений использования муки. Методология исследования включала физико-технический анализ зерна, определение размеров и долей фракций муки, а также проведение корреляционного анализа и построение моделей линейной регрессии. В результате установлены высокие коэффициенты корреляции между выравненностью зерна, содержанием мелких зерен и долей фракций размером 160 и 190 мкм. Построены уравнения линей

ной регрессии, позволяющие прогнозировать гранулометрический состав муки на основе параметров зерна. Наибольший вклад в хлебопекарные свойства вносят фракции 160–190 мкм, в то время как фракции 125–100 мкм обеспечивают технологическую пластичность, а ≤ 80 мкм подходят для кондитерского использования. Сорт Кожа показал наилучшую однородность по фракционному составу муки. Проведённое исследование вносит вклад в развитие технологий переработки зерна тритикале и может быть использовано при разработке рекомендаций для мукомольных предприятий, ориентированных на выпуск продукции различного назначения.

Ключевые слова: тритикале, гранулометрический состав муки, сортовой помол, хлебопекарные свойства, ситовой анализ, корреляционный анализ, размеры частиц муки.

ҚАЗАҚСТАНДА ӨСІРІЛГЕН ТРИТИКАЛЕ СҰРЫПТАРЫНЫҢ АСТЫҚТАРЫНАН АЛЫНҒАН ҰНДЫҢ ГРАНУЛОМЕТРЛІК ҚҰРАМЫ

Н. Онгарбаева, А.И. Изтаев, А.Т. Киябаева, М.А. Якияева, Ж.К. Нургожина

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

Тритикале сияқты балама дәнді дақылдарды пайдалануға қызығушылықтың артуы жағдайында олардың өңдеу қасиеттерін, атап айтқанда ұнның гранулометриялық құрамын зерттеу маңызды болып отыр. Бұл зерттеудің мақсаты – Қазақстанда өсірілетін тритикаленің әртүрлі сорттары дәндерінің физикалық сипаттамалары мен одан алынатын ұнның гранулометриялық құрамы арасындағы байланысты анықтау. Жұмыс ұнның фракциялық құрылымына әсер ететін параметрлерді анықтауға және астықтың қасиеттеріне байланысты оның сапасын болжау тәсілдерін әзірлеуге бағытталған. Зерттеудің ғылыми-практикалық маңыздылығы өңделген тритикале сорттарын дәлірек бағалау және ұнды пайдаланудың әртүрлі бағыттары үшін ұн өндіру процестерін оңтайландыру мүмкіндігінде. Зерттеу әдістемесі астықтың физикалық-техникалық талдауын, ұн фракцияларының өлшемдері мен пропорцияларын анықтауды, сонымен қатар корреляциялық талдауды

және сызықтық регрессия модельдерін құруды қамтыды. Нәтижесінде дәннің біркелкілігі, ұсақ дәндердің мөлшері және 160 және 190 мкм өлшемді фракциялардың үлесі арасында жоғары корреляциялық коэффициенттер белгіленді. Астық параметрлері негізінде ұнның гранулометриялық құрамын болжауға мүмкіндік беретін сызықтық регрессия теңдеулері құрастырылған. Нан пісіру қасиеттеріне 160–190 мкм фракциялар ең үлкен үлес қосады, ал 125–100 мкм фракциялар технологиялық икемділікті қамтамасыз етеді, ал ≤80 мкм кондитерлік өнімдерді қолдануға жарамды. Қожа сорты ұнның фракциялық құрамы бойынша ең жақсы біртектілікті көрсетті. Жүргізілген зерттеулер тритикале астық өңдеу технологияларын дамытуға ықпал етеді және әртүрлі мақсаттағы өнімдерді өндіруге бағытталған ұн диірмендері үшін ұсыныстар әзірлеуде пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: тритикале, ұнның гранулометриялық құрамы, сортты ұнтақтау, пісіру қасиеттері, елеуіштік талдау, корреляциялық талдау, ұн бөлшектерінің өлшемдері

GRANULOMETRIC COMPOSITION OF FLOUR FROM GRAIN OF TRITICALE VARIETIES CULTIVATED IN KAZAKHSTAN

N. Ongarbayeva, A.I. Iztayev, A.T. Kiyabayeva, M.A. Yakiyayeva✉, Zh.K. Nurgozhina

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

In the context of growing interest in the use of alternative grain crops such as triticale, the study of their processing properties, in particular the granulometric composition of flour, is becoming important. The purpose of this study is to establish the relationship between the physical characteristics of grain of different triticale varieties grown in Kazakhstan and the granulometric composition of flour obtained from it. The work is aimed at determining the parameters affecting the fractional structure of flour and developing approaches to predicting its quality depending on the properties of the grain. The scientific and practical significance of the study lies in the possibility of a more accurate assessment of the processed triticale varieties and optimization of flour-milling processes for different areas of flour use. The research methodology included physical and technical analysis of grain, determination of the sizes and proportions of flour fractions, as well as correlation analysis and construction of linear regression models. As a result, high correlation coefficients were established between grain uniformity, the content of small grains and the proportion of fractions of 160 and 190 μm. Linear regression equations have been constructed to predict the grain size distribution of flour based on grain parameters. Fractions of 160–190 μm make the greatest contribution to baking properties, while fractions of 125–100 μm provide technological plasticity, and ≤80 μm are suitable for confectionery use. The Kozha variety showed the best homogeneity in the grain size distribution of flour. The study contributes to the development of triticale grain processing technologies and can be used to develop recommendations for flour mills focused on the production of products for various purposes.

Key words: triticale, flour granulometric composition, varietal milling, baking properties, sieve analysis, correlation analysis, flour particle sizes.

Введение. Тритикале (× Triticosecale) - зерновая культура, полученная в результате гибридизации пшеницы (Triticum) и ржи (Secale), объединяющая в себе высокую продуктивность, стрессоустойчивость и неприхотливость ржи с хорошими хлебопекарными качествами и пищевой ценностью пшеницы [1,2]. Благодаря таким свойствам, как устойчивость к засухе, болезням, кислотности почв, а также способности формировать высокий урожай при минимальных агротехнических затратах, тритикале становится всё более перспективной культурой в условиях изменяющегося климата и дефицита продовольственного сырья [3, 4].

Зерно тритикале содержит в среднем 13–16 % белка, отличается сбалансированным аминокис-

лотным составом, содержит значительное количество макро- и микроэлементов (в том числе цинк, железо, фосфор), а также пищевых волокон. Благодаря этим характеристикам оно может служить полноценным сырьём как для производства продуктов питания, так и для комбикормовой промышленности [5, 6]. В последние годы в Республике Казахстан наблюдается устойчивый рост интереса к возделыванию тритикале, что обусловлено необходимостью расширения сырьевой базы и повышения продовольственной безопасности, особенно в регионах с ограниченными ресурсами и повышенными агроклиматическими рисками [7, 8].

Одним из ключевых направлений использования тритикале является производство муки, которая может применяться в хлебопекарной, кондитерской, макаронной и других отраслях пищевой промышленности. Однако технологические свойства такой муки во многом зависят от её гранулометрического состава — распределения частиц по размерам. Этот показатель оказывает существенное влияние на физико-химические и реологические свойства теста, такие как водопоглощение, вязкость, пластичность, ферментативная активность, белизна и другие, напрямую определяя качество и стабильность готовой продукции [9, 10]. В частности, мука с преобладанием более крупных фракций может быть предпочтительна для хлебопечения, тогда как более мелкие фракции находят применение в кондитерском производстве [11, 12].

Тем не менее, несмотря на практическую значимость, гранулометрический состав муки из зерна тритикале остаётся недостаточно изученным, особенно в аспекте сортовых различий и их взаимосвязи с физико-технологическими характеристиками исходного зерна. В научной литературе наблюдается ограниченность данных, посвящённых корреляции между параметрами зерна и свойствами конечного продукта [13, 14]. Это существенно затрудняет разработку научно обоснованных схем сортового помола, выбор оптимальных режимов переработки, а также прогнозирование технологического поведения муки при производстве различных видов продукции [15, 16].

Таким образом, выявление взаимосвязей между характеристиками зерна и гранулометрическим составом полученной из него муки представляет собой актуальную задачу, имеющую как теоретическое, так и прикладное значение. Полученные данные позволят повысить эффективность переработки тритикале, а также адаптировать технологические процессы под конкретные цели — будь то хлебопекарная, кондитерская или макаронная продукция.

Цель исследования: установить взаимосвязь между гранулометрическим составом муки, полученной из зерна тритикале казахстанских сортов, и основными показателями качества зерна и муки.

Задачи исследования.

1. Провести определение качественных характеристик зерна тритикале и осуществить обоснованный отбор сортообразцов с акцентом на выравненность, крупность и содержание мелких фракций.

2. Провести лабораторный помол отобранных образцов и оценить качество полученной муки по основным технологическим показателям.

3. Определить гранулометрический состав муки методом ситового анализа и классифицировать распределение частиц по фракциям.

4. Установить взаимосвязь между показателями качества зерна, муки и гранулометрическим составом.

5. Выделить размерные характеристики частиц муки, предопределяющие её технологическую пригодность для хлебопекарного использования.

Научная новизна. Установлены корреляционные зависимости между показателями качества зерна тритикале и гранулометрическим составом полученной муки, оказывающим ключевое влияние на её целевое назначение. Полученные результаты обеспечивают научно обоснованный подход к выбору зернового сырья для переработки в муку заданного назначения.

Практическая значимость. Результаты иссле-

дования могут быть использованы при выборе сортов тритикале, наилучшим образом подходящих для переработки в муку заданного назначения, а также при разработке и оптимизации технологических схем сортового помола с учётом выравненности зерна по крупности.

Материалы и методы. Объектами исследования являлись сортообразцы зерна озимых сортов тритикале - Таза, Азиада и Кожа, включённые в Государственный реестр селекционных достижений Республики Казахстан. Отбор образцов осуществлялся на основании предварительной оценки качества зерна, с учётом различий по крупности, что позволило использовать их в качестве репрезентативных для анализа влияния свойств исходного сырья на гранулометрический состав муки и её технологические показатели.

Методика исследования. Физико-химические характеристики зерна, включая массу 1000 зёрен, натуру, стекловидность, выравненность, крупность и содержание мелких фракций, определяли в соответствии с требованиями действующих ГОСТов: ГОСТ 10842-89, ГОСТ 13586.1-68 и ГОСТ 10940-64. Выравненность устанавливали, как суммарный процент схода с сит 2,8×20 мм и 2,5×20 мм; крупность - по содержанию зерна на сите 2,5×20 мм; содержание мелких фракций – по проходу через сита 2,0×20 и 1,8×20 мм.

Лабораторный помол зерна осуществляли на мельничной установке МЛУ-202. Показатели качества полученной муки определяли в соответствии с действующими методиками: влажность и зольность - по ГОСТ 9404-88, белизну - по ГОСТ 26361-201, клейковину и ИДК - по ГОСТ 27839-2013, число падения - по ГОСТ 30498-97. Крупность помола оценивали по сходу с сита № 43 с диаметром ячейки 160 мкм.

Гранулометрический состав муки определяли методом ситового анализа на лабораторном рассеве РЛ-3М с использованием капроновых сит размером 260, 190, 140, 125, 100, 80, 60, 50 и 40 мкм.

Результаты обрабатывали методами вариационной статистики с расчётом средних значений, стандартного отклонения и коэффициента вариации. Для установления взаимосвязей между фракционным составом муки и её технологическими характеристиками применяли корреляционный и регрессионный анализ.

В рамках проведённого исследования каждый эксперимент по ситовому анализу и лабораторному помолу выполнялся в трёх биологических и трёх технических повторах. Такая организация эксперимента позволила минимизировать случайные ошибки и обеспечить достоверность полученных данных.

Для ситового анализа использовался стандартный набор сит с размерами ячеек 80–500 мкм. Каждая проба зерна подвергалась помолу и последующему фракционированию не менее трёх раз, после чего усреднялись результаты. Для оценки воспроизводимости данных рассчитывались стандартные отклонения и коэффициенты вариации, которые составили не более 5–7% для основных показателей (массовая доля фракций 160–190 мкм и ≤ 80 мкм).

Таким образом, репликации обеспечили статистическую надёжность выводов, а приведённые показатели вариации подтверждают высокую точность методики. Это позволяет рассматривать установленные зависимости (корреляции и регрессионные уравнения) как воспроизводимые и практически значимые для дальнейшего применения в мукомольной промышленности.

Методика лабораторной выпечки опытных образцов хлеба:

1) сырьё и рецептуры (baker’s %, на 100 % муки):

- мука тритикале (фракции ≤ 80; 125- 100; 160 - 190 мкм) - 100 %.

- контроль 1 (пшеница мягкая) - 100 % пшеничной хлебопекарной муки.

- контроль 2 (рожь посевная) - 100 % ржаной обойной муки.

- прессованные дрожжи - 3,0 % (для ржи - 4,0 %).

- соль поваренная - 1,8 %.

- сахар-песок - 1,5 % (для унификации усло-

вий газообразования).

- растительное масло - 1,5 % (стабилизация крошки; для ржи не обязательно).

- вода - по поглотительной способности: до достижения 500 FU на фариографе (при его отсутствии: ориентировочно 62–64 % для пшеницы, 66-70 % для тритикале, 72-76 % для ржи). Фактическая дозировка фиксируется.

Все партии муки кондиционируют 24 ч при 20 ± 2 °C и 60 ± 5 % RH. Компоненты темперируют до 20-22 °C.

2) замес и брожение (прямая опара/прямой способ):

- машина: настольный месильник, скорость 1-я 2 мин + 2-я 6–8 мин (до развития клейковины/до однородности для ржи).

- температура теста на выходе: 26–28 °C (пшеница/тритикале), 28–30 °C (рожь).

- ферментация (bulk): 30 °C, 85 % RH, 60 мин (тритикале/пшеница), 40 мин (рожь).

- обминка (кроме ржи): 1 короткая обминка на 30-й минуте.

- деление: тестовые заготовки 450 ± 2 г; округление 10 мин отдыха.

- формование: в формы 180×110×90 мм, смазанные тонким слоем масла.

- окончательная расстойка: 30 °C, 85 % RH, до подъёма до 2/3 объёма формы (ориент.45-60 мин; для ржи 35–45 мин). Фиксируется фактическое время.

3) Для выпечки хлеба использовался печь подовая/шкафная с пароувлажнением. Температурный режим: 230 °C первые 10 мин с паром, далее 200-205 °C ещё 15-18 мин (итого 25–28 мин для 450 г заготовки). Охлаждение на решётке 60 мин при 22 ± 2 °C. Масса готового хлеба фиксируется для расчёта удельного объёма.

4) Удельный объём хлеба был определен следующим методом: рапсовое (просовидное) вытеснение по стандартной зерновой методике (аналог AACC 10-05/10-14; допускается VolScan Profiler — указать модель), объём буханки, V, см³; масса буханки, m, г (аналитические весы, 0,01 г). Удельный объём был определен по следующей формуле:

$$SV = mV \times 100 \ \text{ см}^3/100\,\text{г}$$

(здесь: каждая формула - n = 3 буханки (независимые выпечки); отчёт: среднее ± SD).

5) Оценка структуры мякиша: Визуально-сенсорная шкала: срез толщиной составлял 10 мм по центру буханки, шкала 1–5 (AACC/ГОСТ-подобная) составляла: равномерность пор, размер ячеек, тонкость стенок, эластичность. Итог - средний балл комиссии из 5-7 обученных оценщиков.

Таблица 1 – Физические показатели зерна тритикале

Сорт	Масса 1000 зерен, г	Натура, г/л	Стекловидность, %	Выравненность, %	Крупность (сход сита 2,5х20) %	Проход сита 2,2х20/ 1,7х20
Таза	37,8 ± 1,2 (CV 3,2%)	629 ± 3 (CV 0,9%)	62 ± 3 (CV 2,9%)	75,2 ± 1,8 (CV 2,2%)	81,6 ± 2,0 (CV 1,7%)	1,03 ± 0,06 (CV 3,1%)
Азиада	35,6 ± 1,0 (CV 3,1%)	612 ± 5 (CV 0,8%)	54 ± 4 (CV 2,6%)	72,2 ± 1,5 (CV 2,0%)	76,4 ± 2,3 (CV 1,5%)	1,26 ± 0,02 (CV 2,9%)
Кожа	35,4 ± 1,1 (CV 2,9%)	614 ± 4 (CV 0,8%)	32 ± 6 (CV 3,1%)	57,9 ± 1,7 (CV 1,9%)	52,0 ± 2,5 (CV 1,8%)	1,05 ± 0,07 (CV 2,8%)

Обсуждения и результаты. На первом этапе исследования была проведена оценка физико-химических характеристик, отобранных сортообразцов зерна тритикале. Полученные данные представлены в таблицах 1 и 2.

Анализ физических характеристик (табл.1) показал, что сорт Таза отличается наибольшей массой 1000 зёрен (37,8 г), высокой натурой (629 г/л) и наибольшей стекловидностью (62 %), что указывает на хорошую выполненность зерна. Сорта Азиада и Кожа имели меньшие значения массы и натуры, при этом у Кожи зарегистрирован наименьший уровень стекловидности (32 %). По показателям выравненности и крупности зерна преимущество также сохраняется за сортом Таза (75,2 % и 81,6 % соответственно), в то время как у Кожи отмечено наименьшее содержание крупной фракции (52,0 %) и наиболее выраженная неравномерность. Содержание мелких зерен, выраженное через проход сит 2,2×20 и 1,7×20 мм, оставалось на невысоком уровне у всех образцов, но было наибольшим у Азиады (1,26 %).

Таблица 2 – Химические показатели зерна тритикале

Сорт	Клейковина, % / ИДК	Белок, %	Крахмал, %	Сахара, %	Клетчатка, %	Жир, %	Зола, %
Таза	26,9 ± 0,7 (CV 1,3%) /88± 2,7 (CV 1,4%)	14,5 ± 0,8 (CV 1,2%)	54,3 ± 1,5 (CV 1,3%)	5,1 ± 0,9 (CV 0,7%)	8,6 ± 1,3 (CV 1,1%)	4,2 ± 0,5 (CV 1,0%)	2,00 ± 0,02 (CV 1,8%)
Азиада	22,8 ± 0,9 (CV 1,8%)/92 ± 2,5 (CV 1,6%)	12,8 ± 1,4 (CV 1,1%)	55,2 ± 1,2 (CV 0,9%)	4,6 ± 1,2 (CV 1,4%)	9,2 ± 1,5 (CV 0,9%)	5,6 ± 0,9 (CV 0,6%)	2,04 ± 0,05 (CV 1,6%)
Кожа	16,6 ± 0,6 (CV 1,4%)/ 103 ± 3,0 (CV 1,3%)	12,2 ± 1,0 (CV 0,5%)	53,7 ± 1,7 (CV 1,1%)	4,3 ± 1,8 (CV 1,2%)	9,2 ± 1,0 (CV 0,5%)	5,7 ± 1,0 (CV 0,4%)	2,10 ± 0,08 (CV 1,2%)

Результаты химического анализа зерна тритикале (табл.2) выявили существенные различия между сортами по содержанию клейковины и белка. Сорт Таза характеризовался наивысшей клейковиной (26,9 %) при оптимальной упругости (ИДК – 88), что свидетельствует о хорошем хлебопекарном потенциале. У сорта Азиада содержание в зерне клейковины составляло (22,8%) с удовлетворительной упругостью (ИДК - 92) у сорта Кожа наблюдалось снижение клейковины (до 16,6 %) и повышение ИДК до 103, что указывает на ослабленную клейковинную структуру. По содержанию крахмала и сахаров различия между сортами были незначительными. Повышенное содержание жира и клетчатки отмечено у сортов Азиада и Кожа, что может повлиять на технологические характеристики помола. Зольность увеличивалась от сорта Таза (2,01 %) к сорту Кожа (2,10 %), отражая нарастание количества оболочечных элементов.

В ходе исследования проведён лабораторный помол зерна отобранных сортов тритикале на мельничной установке МЛУ-202.

Чтобы объективно оценить возможности тритикалевой муки, были проведены сравнительные испытания с двумя распространенными культурами: мягкой пшеницей (Triticum aestivum L.) и рожью посевной (Secale cereale L.), которые широко применяются в мукомольном производстве.

Анализ показал, что по гранулометрическому составу мука из тритикале порой занимает промежуточную позицию между мукой пшеничной и ржаной. Например, содержание фракций раз-

мером 160–190 мкм в тритикале оказалось сходным с пшеничной мукой и превосходило таковое в ржаной муке, что указывает на ее хорошие хлебопекарные свойства. Содержание мелкодисперсных частиц размером до 80 мкм в тритикале превышало таковое в пшенице, однако оставалось ниже, чем в ржи, что благоприятно сказывается на технологических свойствах при применении в кондитерской промышленности.

Тритикале, являясь гибридом двух культур, наследует свойства обоих, при этом демонстрирует более сбалансированный гранулометрический состав, что открывает широкие перспективы его использования. Сравнительный анализ подтверждает реальный потенциал тритикалевой муки как достойной альтернативы традиционным видам муки в производстве хлебобулочных изделий, комбинированных мучных смесей и специализированных продуктов питания.

Оценка качества полученной муки также была направлена на установление взаимосвязей между физико-химическими свойствами исходного зерна и основными технологическими показателями муки. Сводные результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Показатели качества муки из зерна тритикале и контрольных образцов

№	Показатель	Контрольные образцы		Сорта тритикале		
		мягкая пшеница (Triticum aestivum L.)	посевной рожь (Secale cereale L.)	Таза	Азиада	Кожа
1.	Влажность, %	13,4 ± 0,7 (CV 0,8%)	12,8 ± 0,2 (CV 0,6%)	14,6 ± 0,5 (CV 0,4%)	14,8 ± 0,4 (CV 0,9%)	15,0 ± 0,9 (CV 0,8%)
2.	Содержание сырой клейковины, %	27,6 ± 0,9 (CV 1,2%)	7,8 ± 0,9 (CV 1,1%)	28,2 ± 1,1 (CV 1,4%)	24,3 ± 1,5 (CV 1,1%)	17,8 ± 1,9 (CV 1,7%)
3.	Качество клейковины ИДК, ед. пр.	71 ± 4 (CV 1,8%)	225 ± 11 (CV 2,4%)	86 ± 5 (CV 1,7%)	90 ± 4 (CV 1,5%)	101 ± 2 (CV 0,9%)
4.	Крупность помола (сход с сита №43)	69,42 ± 1,56 (CV 1,7%)	62,84 ± 2,13 (CV 1,5%)	6,75 ± 0,22 (CV 1,4%)	10,25 ± 0,38 (CV 1,7%)	10,75 ± 0,29 (CV 1,1%)
5.	Зольность, %	0,63 ± 0,05 (CV 0,7%)	1,76 ± 0,04 (CV 0,3%)	0,78 ± 0,07 (CV 0,6%)	0,78 ± 0,06 (CV 0,8%)	0,86 ± 0,08(CV 0,9%)
6.	Число падения, с	305 ± 1,8 (CV 2,9%)	137,5 ± 2,8 (CV 1,4%)	116,3 ± 0,7 (CV 1,7%)	106 ± 1,8 (CV 2,1%)	90,3 ± 1,5 (CV 2,6%)
7.	Белизна усл. ед. РЗ-БПЛ	59,8 ± 0,7 (CV 1,4%)	43,8 ± 0,5 (CV 1,2%)	49,5 ± 0,4 (CV 1,5%)	47,8 ± 0,8 (CV 2,1%)	46,5 ± 1,2 (CV 1,9%)

Анализ результатов оценки качества муки (табл.3), полученной из зерна сортов тритикале Таза, Азиада и Кожа, показал существенные различия между сортами. Сорт Таза характеризуется наибольшим содержанием сырой клейковины (28,2 %) и оптимальным качеством (ИДК – 86 ед.), что свидетельствует о высоком хлебопекарном потенциале. У Азиады клейковина умерен-

ного уровня (24,3 %) с ИДК 90, указывающим на допустимое качество. У Кожи зафиксировано наименьшее содержание клейковины (17,8 %) и ИДК 101, что свидетельствует о сниженной эластичности и качестве.

По крупности помола мука сорта Таза имела наименьший сход с сита №43 (6,75 %), что указывает на более тонкий помол. Зольность у Тазы и Азиады одинакова (0,78 %), а у Кожи – выше (0,86 %), что коррелирует с пониженной белизной муки (46,5 ед.). Число падения снижалось в ряду Таза → Азиада → Кожа, отражая снижение ферментативной устойчивости.

Анализ взаимосвязей между физико-химическими показателями зерна тритикале и качеством муки

Проведённый корреляционный анализ показал наличие устойчивых статистических связей между отдельными физическими показателями зерна тритикале и характеристиками муки, полученной при лабораторном помоле. Установлена высокая положительная корреляция между массой 1000 зерен и содержанием клейковины в муке (r = 0,95), что свидетельствует о том, что более крупное и выполненное зерно способствует формированию муки с высоким содержанием клейковины. Стекловидность зерна положительно связана с числом падения муки (r = 0,89), отражая повышенную амилолитическую устойчивость при большей плотности эндосперма.

Наблюдается обратная зависимость между крупностью зерна и белизной муки (r = –0,85), что обусловлено участием фракций с более высоким содержанием оболочек. Между зольностью зерна и зольностью муки зафиксирована сильная положительная связь (r = 0,92), подтверждающая, что исходное сырьё с высоким содержанием минеральных веществ ведёт к увеличению зольности продукта.

Таблица 4 - Гранулометрическое распределение муки из зерна тритикале по размерам частиц (%, CV)

Размеры частиц муки, мкм	Сорта тритикале					
	Таза		Азиада		Кожа	
	%	CV, %	%	CV, %	%	CV, %
260	11,48 ± 3,27	7,79	12,30 ± 1,42	5,88	12,25 ± 1,6	2,18
190	14,08 ± 0,12	4,31	13,50 ± 1,97	4,1	13,53 ± 1,4	3,46
160	20,25 ± 0,74	2,44	20,98 ±1,8	1,66	20,93 ± 2,3	1,13
125	11,40 ± 1,0	4,13	10,65 ± 1,97	5,09	10,73 ± 1,9	6,94
100	8,30 ± 0,55	3,62	7,75 ± 0,48	4,22	8,45 ± 0,41	4,56
80	7,33 ± 2,85	43,05	5,38 ± 0,2	32,92	5,15 ± 1,64	26,31
60	5,28 ± 1,94	10,64	6,48 ± 2,58	7,17	5,83 ± 0,35	1,63
50	13,38 ± 1,5	25,39	14,38 ± 1,6	614	15,18 ± 0,94	6,64
40	7,93 ± 0,63	8,08	8,13 ± 1,1	7,89	8,98 ± 1,43	10,34

Линейные уравнения регрессии, описывающие эти зависимости, подтверждают полученные выводы и позволяют прогнозировать показатели муки по характеристикам зерна. Например,

1. Y_1 (Клейковина, %) = $1,25 \cdot X_1$ (Масса 1000 зёрен, г) – 18,5

2. Y_2 (Число падения, с) = $1,8 \cdot X_2$ (Стекловидность, %) + 20,3

3. Y_3 (Белизна, усл. ед.) = $–0,9 \cdot X_3$ (Крупность,

%) + 60,7

Полученные зависимости могут служить основой для прогнозной оценки технологической пригодности зерна тритикале и оптимизации условий его переработки в муку различного назначения.

Следующим этапом исследования стало определение гранулометрического состава муки, полученной из зерна исследуемых сортов тритикале. Распределение частиц по размерам на основе ситового анализа отражено в таблице 4.

Анализ гранулометрического состава муки (табл.4), полученной из зерна тритикале, выявил преобладание частицы размером 160 и 190 мкм, доля которых составляет 33,6 – 34,5 %. Эти фракции соответствуют требованиям к хлебопекарной муке согласно ТНПА. Фракции 125 – 100 мкм (среднее 19,7 %) обеспечивают оптимальные реологические свойства теста. Доля частиц ≤ 80 мкм варьирует от 13,3 до 14,8 % и характерна для муки, пригодной для кондитерского производства. Наиболее равномерное распределение частиц зафиксировано у сорта Кожа, что подтверждается низкими значениями коэффициентов вариации.

На основе корреляционного анализа между физическими характеристиками зерна тритикале и гранулометрическим составом муки установлены следующие зависимости:

Высокая положительная корреляция между выравненностью зерна и содержанием фракций 160–190 мкм (r = 0,995) свидетельствует о том, что однородность зернового материала способствует формированию муки с преобладанием частиц, оптимальных для хлебопечения. В то же время отрицательная зависимость между выравненностью и долей фракции ≤ 80 мкм (r = −0,993) указывает на то, что неоднородное зерно увеличивает содержание мелких частиц, характерных для кондитерской муки.

Содержание мелких зёрен в партии положительно связано с долей фракции 160 мкм (r = 0,999) и обратно - с фракцией ≤ 80 мкм (r = -0,999), что подчёркивает влияние исходного зернового материала на распределение частиц в готовом продукте.

Крупность помола по остатку на сите № 43 обратно коррелирует с фракцией 160 мкм (r = -0,999) и прямо - с фракцией ≤ 80 мкм (r = 0,999), отражая закономерности фракционного измельчения.

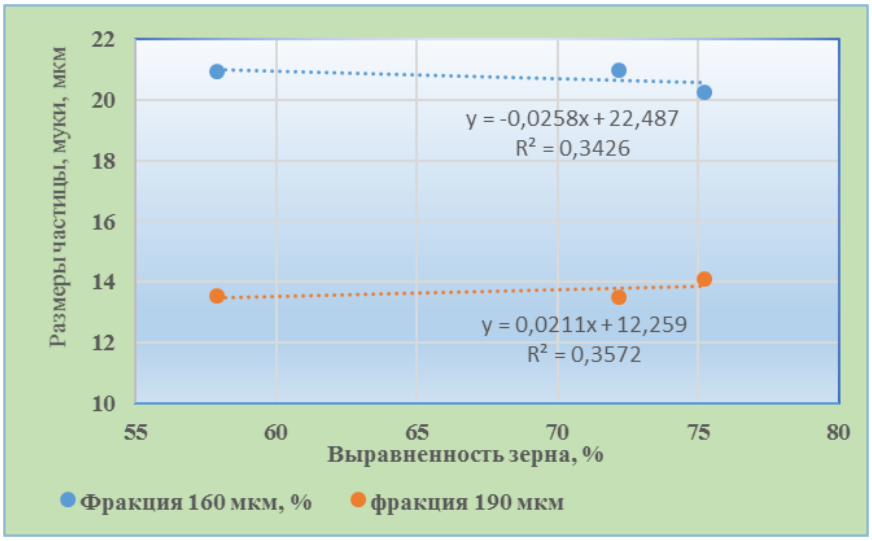


Рис.1 - Зависимость содержания в муке фракций с размером частиц 160 - 190 мкм от выравненности зерна тритикале

Графическое представление зависимости между физическими показателями зерна тритикале и гранулометрическим составом муки представлено на рисунках 1 и 2.

Рисунок 1 иллюстрирует характер связи между выравненностью зерна тритикале и содержанием фракций муки с размером частиц 160 и 190 мкм. По результатам регрессионного анализа установлены следующие зависимости:

- для фракции 160 мкм: $y = –0,0258x + 22,487$ ($R^2 = 0,3426$);

- для фракции 190 мкм: $y = 0,0211x + 12,259$ ($R^2 = 0,3572$).

Полученные модели указывают на наличие слабой линейной зависимости, отражающей тенденцию снижения доли фракции 160 мкм и роста содержания фракции 190 мкм с увеличением выравненности зерна.

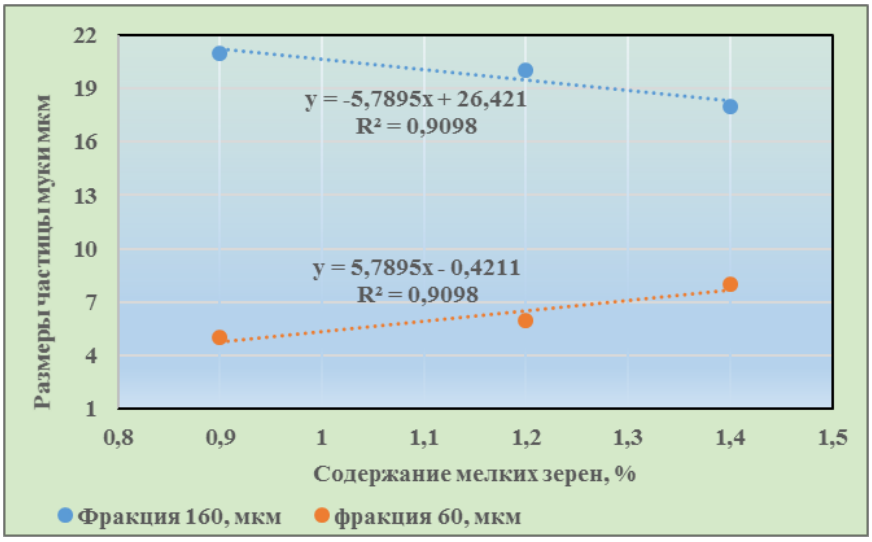


Рис.2 - Зависимость содержания фракций муки с размером частиц 160 и 60 мкм от содержания мелких зерен в исходном зерне тритикале

Таблица 5 – Влияние фракционного состава муки тритикале и контрольных образцов на хлебопекарные свойства

Фракция муки (размер, мкм)	Удельный объём хлеба, $см^3/100$ г муки	Структура мякиша	Основное назначение
Тритикале 160–190	430–450	Равномерная порис-тость, эластичность	Хлебопекарное производство
Тритикале 125–100	380–400	Мелкая пористость, умеренная пластич-ность	Диетический хлеб
Тритикале ≤ 80	300–320	Плотная структура, низкая газоудержи-вающая способность	Кондитерские изделия (печенье, пряники)
Пшеница (контроль)	480–520	Хорошо развитая пористость, эластич-ный и воздушный мякиш	Основное хлебопекарное сырьё
Рожь (контроль)	280–320	Плотная, мелкопорис-тая структура, слабая эластичность	Ржаной хлеб, хлебцы, специализированные изделия

Рисунок 2 иллюстрирует направленные зависимости между содержанием мелких зерен в исходном зерне тритикале и долей фракций муки с размером частиц 160 и 60 мкм. При увеличении доли мелких зерен наблюдается снижение содержания фракции 160 мкм (r = –0,999) и одновременное увеличение фракции 60 мкм (r = +0,999), что отражено в уравнениях линейной регрессии. Полученные зависимости указывают на существенное влияние зернового состава на формирование гранулометрических характеристик муки.

Эти зависимости могут быть использованы для прогнозирования гранулометрического состава муки на основе характеристик исходного зерна, что важно для оптимизации технологических процессов в мукомольной промышленности.

Для экспериментальной проверки влияния различных фракций муки тритикале были проведены лабораторные выпечки опытных образцов хлеба. В исследовании использовались фракции размером 160-190 мкм, 125-100 мкм и ≤ 80 мкм, выделенные из сортов Таза, Азиада и Кожа.

Из данных таблицы 5 видно, что:

- мука тритикале с преобладанием фракций 160–190 мкм обеспечивала наибольший удельный объём хлеба (в среднем 430-450 см³/100 г муки), равномерную пористость и эластичный мякиш. Эти показатели сопоставимы с контрольными значениями для пшеничной хлебопекарной муки;

- фракции муки тритикале 125-100 мкм обеспечивали формирование теста с повышенной пластичностью, однако объём хлеба был ниже (380–400 см³/100 г муки). Структура мякиша оставалась достаточно равномерной, но с более мелкой пористостью, что соответствует требованиям для производства диетических сортов хлеба;

- фракции ≤ 80 мкм характеризовались низким объёмом хлеба (300-320 см³/100 г муки) и плотной структурой мякиша. Такие образцы оказались более подходящими для кондитерских изделий (печенье, пряники), где высокая газоудерживающая способность теста не требуется;

- пшеница демонстрирует наибольший удельный объём (480-520 см³/100 г муки) и лучшую структуру мякиша, поэтому остаётся эталоном хлебопекарной муки;

- рожь характеризуется более плотным и менее эластичным мякишем, объём ниже (280–320 см³/100 г), однако она имеет высокую питательную ценность и традиционно используется для ржаного хлеба.

Таким образом подтверждается, что фракции 160-190 мкм вносят основной вклад в улучшение хлебопекарных свойств, более мелкие фракции (< 125 мкм) могут быть эффективно использованы в кондитерском производстве, а сорт Кожа показал наилучшие результаты по стабильности объёма и однородности структуры хлеба, что подтверждает выводы по его фракционному составу.

Выводы. Проведённый корреляционно-регрессионный анализ выявил значимые зависимости между качественными характеристиками зерна тритикале и гранулометрическим составом полученной из него муки. Высокая выравненность и низкое содержание мелких зерен способствуют увеличению доли фракций размером 160-190 мкм, соответствующих требованиям к хлебопекарной муке. Сорта Таза и Азиада продемонстрировали преобладание этих фракций на уровне 33,6-34,5 %, что указывает на их перспективность для хлебопечения. Доля частиц ≤ 80 мкм варьирует в пределах 13,3-14,8 % и характерна для муки, применяемой в кондитерской промышленности. Наиболее равномерное распределение частиц установлено у сорта Кожа, о чём свидетельствуют минимальные значения коэффициентов вариации. Построенные уравнения линейной регрессии позволяют прогнозировать гранулометрический состав муки на основе физико-технологических параметров исходного зерна, что важно для оптимизации процессов переработки.

Финансирование. *Исследование проведено в рамках научно-технической программы Министерства сельского хозяйства Республики Ка-*

захстан № 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. Панкратов Г.Н. Гранулометрический состав продуктов размола // Хлебопродукты.- 2015. - № 5. - С.46-49.

2. Hu X., Xu T., Bu J., Cheng L., Wang T. Impact of particle size distribution and morphology of starch on microstructural–functional changes of dough // LWT. - 2025.- Vol. 215:117251. DOI 10.1016/j.lwt.2024.117251.

3. 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. DOI 10.1071/cp13056.

4. 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.

5. Жанабаева К.К., Онгарбаева Н., Рукшан Л.В. Исследование гранулометрического состава и качества муки из тритикала казахстанской селекции. // Вестник МГУП - 2018. - №2(25) -С.65-70.

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

7. Tohver M. Quality of triticale cultivars suitable for growing and bread-making in northern conditions. // Food Chemistry.- 2005.- Vol. 89(1).- P.125-132. DOI 10.1016/j.foodchem.2004.01.079

8. Zhanabayeva K.K., Ongarbayeva N.O., Ruchkina G.A., Yesseyeva G.K., Smolyakova V.L. Features of technological properties of triticale grain of Kazakhstan’ s selection. // Journal of Engineering and Applied Sciences.-2018.-Vol.13 (10). - P.8292–829.

9. 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.

10. 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 (12). - P.5-18. DOI 10.1111/ijfs.16120.

11. Guo L., Chen H., Zhang Y., Yan S., Chen X., Gao X. Starch granules and their size distribution in wheat: Biosynthesis, physicochemical properties and their effect on flour-based food systems. // Computational and Structural Biotechnology Journal.-2023.-Vol.21.-P.4172-4186. DOI 10.1016/j.csbj.2023.08.019.

12. Ghendov-Mosanu A., Popa N., Paiu S., Boestean O., Bulgaru V., Leatamborg S., Lupascu G., Codină G.G. Breadmaking Quality Parameters of Different Varieties of Triticale Cultivars. // Foods. -2024.- Vol.13(11):1671. DOI 10.3390/foods13111671.

13. Kaszuba J., Woś H., Shchipak G. V. Bread making quality parameters of some Ukrainian and Polish triticale cultivars. // Euphytica. -2024.-Vol.220(2). 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. Dziki D., Krajewska A., Findura P. Particle Size as an Indicator of Wheat Flour Quality: A Review. // Processes.- 2024.-Vol.12(11):2480. DOI 10.3390/pr12112480.

16. 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.

References

1. Pankratov G.N. Granulometricheskij sostav produktov razmola // Hleboprodukty.- 2015. - № 5. - S.46-49.[in Russian]

2. Hu X., Xu T., Bu J., Cheng L., Wang T. Impact of particle size distribution and morphology of starch on microstructural–functional changes of dough // LWT. - 2025.- Vol. 215:117251. DOI 10.1016/j.lwt.2024.117251.

3. 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. DOI 10.1071/cp13056.

4. 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.

5. Zhanabaeva K.K., Ongarbaeva N., Rukshan L.V. Issledovanie granulometricheskogo sostava i kachestva muki iz tritikala kazahstanskoj selekcii. // Vestnik MGUP - 2018. - №2(25) -S.65-70.[in Russian]

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

7. Tohver M. Quality of triticale cultivars suitable for growing and bread-making in northern conditions. // Food Chemistry.- 2005.- Vol. 89(1).- P.125-132. DOI 10.1016/j.foodchem.2004.01.079

8. Zhanabayeva K.K., Ongarbayeva N.O., Ruchkina G.A., Yesseyeva G.K., Smolyakova V.L. Features of technological properties of triticale grain of Kazakhstan’ s selection. // Journal of Engineering and Applied Sciences.-2018.-Vol.13 (10). - P.8292–829.

9. 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.

10. 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 (12). - P.5-18. DOI 10.1111/ijfs.16120.

11. Guo L., Chen H., Zhang Y., Yan S., Chen X., Gao X. Starch granules and their size distribution in wheat: Biosynthesis, physicochemical properties and their effect on flour-based food systems. // Computational and Structural Biotechnology Journal.-2023.-Vol.21.-P.4172-4186. DOI 10.1016/j.csbj.2023.08.019.

12. Ghendov-Mosanu A., Popa N., Paiu S., Boestean O., Bulgaru V., Leatamborg S., Lupascu G., Codină G.G. Breadmaking Quality Parameters of Different Varieties of Triticale Cultivars. // Foods. -2024.-Vol.13(11):1671. DOI 10.3390/foods13111671.

13. Kaszuba J., Woś H., Shchipak G. V. Bread making quality parameters of some Ukrainian and Polish triticale cultivars. // Euphytica. -2024.-Vol.220(2). 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. Dziki D., Krajewska A., Findura P. Particle Size as an Indicator of Wheat Flour Quality: A Review. // Processes.- 2024.-Vol.12(11):2480. DOI 10.3390/pr12112480.

16. 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.

Сведения об авторах

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

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

Киябаева А.Т.- магистр, докторант, АО «Алматинский технологический университет», Алматы, Казахстан, e-mail: niipt@atu.kz;

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

Нургожина Ж. К. - доктор философии (Ph.D), АО «Алматинский технологический университет», Алматы, Казахстан, e-mail juldyz_900@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;

Kiyabayeva A.- master, doctoral student, Almaty Technological University JSC, Almaty, Kazakhstan, e-mail: niipt@atu.kz;

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

Nurgozhina Zh.- Doctor of Philosophy (Ph.D), JSC ”Almaty Technological University”, Almaty, Kazakhstan, e-mail: juldyz_900@mail.ru