

УДК 664.64.016.8

[https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-3\(57\)-55-61](https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-3(57)-55-61)

Поступила в редакцию 24.08.2022

Received 24.08.2022

Н. С. Лаптенок, Т. В. Ивашкевич, В. А. Козловская

Научно-производственное республиканское дочернее унитарное предприятие «Белтехнохлеб» Республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию», г. Минск, Республика Беларусь

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ КОНСИСТЕНЦИИ ТЕСТА В ПРОЦЕССЕ НАГРЕВА, ПОВЕДЕНИЯ КРАХМАЛА, ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ МУКИ РЖАНОЙ ОБДИРНОЙ

Аннотация. В статье представлены результаты исследований по реологическим свойствам теста из муки ржаной обдирной на приборе Миксолаб. Изучены этапы изменения консистенции теста из представленных образцов муки ржаной обдирной в процессе замеса и нагревания, проанализировано влияние ферментативной активности муки на реологические показатели теста. Установлена водопоглощительная способность муки и получены индексы профайлера Миксолаб.

Ключевые слова: мука ржаная обдирная, тесто, измерительная система Миксолаб, реологические показатели, водопоглощительная способность

N. S. Laptенок, T. V. Ivashkevich, V. A. Kozlovskaya

Research and production republican subsidiary unitary Enterprise “Beltechnokhleb” RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus”, Minsk, Republic of Belarus

ANALYSIS OF CHANGES IN DOUGH CONSISTENCY DURING HEATING, STARCH BEHAVIOR, ENZYMATIC ACTIVITY OF RYE FLOUR

Abstract. The article presents the results of research on the rheological properties of rye flour dough on the Mixolab device. The stages of changing the consistency of the dough from the presented samples of rye flour during kneading and heating were studied, the influence of the enzymatic activity of flour on the rheological parameters of the dough was analyzed. The water absorption capacity of flour was established and the indices of the Mixolab profiler were obtained.

Key words: peeled rye flour, dough, Mixolab measuring system, rheological parameters, water absorption capacity

Введение. В Республике Беларусь в широком ассортименте представлены в корзине потребителя хлебобулочные изделия, вырабатываемые с использованием ржаной муки. Основными факторами, формирующими качество хлебобулочных изделий, являются качество используемого сырья и технологический процесс производства [1]. Поскольку ржаная обдирная мука по уровню потребления занимает второе место после пшеничной, то актуальным является проведение исследований хлебопекарных свойств ржаной обдирной муки, которые предопределяют качественные показатели хлебобулочных изделий. На сегодняшний день одним из прогрессивных методов оценки качества муки являются исследования реологических свойств полуфабрикатов (теста) из данных видов муки. Реологические показатели теста — это комплекс показателей, который описывает состояние и поведение теста при замесе и в течение всего технологического процесса. Форма, объем, структура пористости, а значит, и качество хлебобулочных изделий во многом определяются реологическими свойствами теста [2].

Исследовать реологические свойства ржаной муки (теста) в едином анализе позволяет измерительная система Миксолаб, которая предоставляет возможность анализировать каче-

ство белковых связей (водопоглотительная способность муки, время образования теста, стабильность теста при замесе, эластичность теста, скорость разжижения теста при нагреве), поведение крахмала (клейстеризацию и температуру клейстеризации), анализировать ферментативную активность муки, позволяет оценить консистенцию и реологические свойства теста на основании анализа динамики изменения крутящего момента, возникающего при замесе теста из муки и воды в течение нескольких последовательных фаз замеса, обусловленных разной температурой [3– 6].

В рамках выполнения программы ГПНИ «Качество и эффективность агропромышленного производства» на 2016–2020 годы (заключительный отчет «Исследование хлебопекарных свойств ржаной муки по состоянию углеводно-амилазного комплекса, газообразующей и газоудерживающей способности теста, активности ферментов с целью оптимизации технологического процесса производства ржаных и ржано-пшеничных хлебобулочных изделий и установление оптимального уровня содержания соли» от 28.12.2018) образцы муки ржаной обдирной по значениям автолитической активности разделили на три группы:

- ♦ пониженная — до 35 %;
- ♦ нормальная — от 35,1 % до 50 %;
- ♦ повышенная — свыше 50,0 %.

Цель исследований — изучить влияние ферментативной активности муки на реологические свойства теста из муки ржаной обдирной и изменение консистенции теста в процессе замеса и нагревания.

Объект исследований. Объектом исследований являются образцы муки ржаной обдирной белорусских производителей с нормальным показателем автолитической активности (35,1 % — 50, 0 %).

Результаты исследований и их обсуждение. В испытательной лаборатории Государственного предприятия «Белтехнохлеб» проведены исследования на приборе Миксолаб (Франция) реологических показателей теста из муки ржаной обдирной с нормальной автолитической активностью (протокол «Chopin +»). Тесто из исследуемых образцов муки замешивали в специальной тестомесилке при температуре 30 °С для образования требуемой консистенции, равной 1,1 Н·м ± 0,05 Н·м [7].

Были установлены значения водопоглотительной способности исследуемых образцов муки ржаной обдирной и показателей реологических свойств теста. Полученные результаты представлены в табл. 1 и на рис. 1.

Т а б л и ц а 1. Реологические показатели теста, полученные из исследуемых образцов муки ржаной обдирной

Table 1. Rheological parameters of the dough obtained from the studied samples of peeled rye flour

Наименование образцов	ВПС, %	Время образования теста, мин	Стабильность, мин	Крутящий момент (Н·м)				
				С1	С2	С3	С4	С5
Образец №1 (автолитическая активность 39,1 %)	66,4	0,78	1,55	1,05	0,50	1,72	0,71	1,19
Образец №2 (автолитическая активность 38,3 %)	68,0	0,93	1,92	1,10	0,50	1,50	0,64	1,41
Образец №3 (автолитическая активность 38,7 %)	64,1	1,08	2,23	1,10	0,49	1,81	0,78	1,37
Образец №4 (автолитическая активность 41,0 %)	66,7	1,00	2,05	1,11	0,44	0,68	0,50	0,00
Образец №5 (автолитическая активность 47,9 %)	74,3	1,03	2,07	1,08	0,48	0,69	0,50	0
Образец №6 (автолитическая активность 40,1 %)	70,3	0,88	1,78	1,08	0,51	1,72	0,72	1,15
Образец №7 (автолитическая активность 39,6 %)	65,7	1,27	2,27	1,13	0,53	1,60	0,60	0,95

Таблица 1

Наименование образцов	ВПС, %	Время образования теста, мин	Стабильность, мин	Крутящий момент (Н·м)				
				C1	C2	C3	C4	C5
Образец №8 (автолитическая активность 40,2 %)	68,0	1,40	2,75	1,06	0,54	1,79	0,74	1,20
Образец №9 (автолитическая активность 38,6 %)	67,1	0,98	3,27	1,07	0,53	1,59	0,54	0,81
Образец №10 (автолитическая активность 47,8 %)	59,7	0,82	1,77	1,10	0,50	1,59	0,55	0,83
Образец №11 (автолитическая активность 42,7 %)	60,5	0,68	1,37	1,15	0,50	2,10	0,86	1,29
Образец №12 (автолитическая активность 49,2 %)	60,7	0,92	2,0	1,15	0,48	1,58	0,62	1,38
Образец №13 (автолитическая активность 38,1%)	60,0	0,95	2,28	1,06	0,54	2,12	1,11	1,68
Образец №14 (автолитическая активность 49,5 %)	73,6	1,08	1,75	1,07	0,46	0,69	0,46	0,83
Образец №15 (автолитическая активность 47,3 %)	72,5	1,0	1,33	1,13	0,49	0,77	0,49	1,29
Образец №16 (автолитическая активность 46,9 %)	65,5	0,77	0,97	1,12	0,50	1,71	0,76	1,29
Образец №17 (автолитическая активность 47,1 %)	65,6	0,93	2,07	1,05	0,50	1,68	0,56	0,89
Образец №18 (автолитическая активность 49,4 %)	66,1	0,93	2,07	1,07	0,48	1,58	0,66	1,01
Образец №19 (автолитическая активность 47,6 %)	74,3	0,93	2,03	1,07	0,50	1,58	0,66	1,01
Образец №20 (автолитическая активность 48,8 %)	71,5	1,02	1,33	1,07	0,50	1,57	0,62	1,01
Образец №21 (автолитическая активность 49,2 %)	71,8	0,97	1,42	1,09	0,49	1,57	0,61	1,03
Образец №22 (автолитическая активность 43,6 %)	68,5	0,95	2,82	1,13	0,57	1,60	0,68	1,06
Образец №23 (автолитическая активность 42,8 %)	69,3	0,97	1,65	1,08	0,50	1,78	0,75	1,14

Результат реологических показателей исследуемых образцов муки ржаной обдирной представлен на рис. 1 в виде шести последовательных индексов качества муки целевого профиля Миксолаб.

Сопоставив значения индексов ВПС прибора «Миксолаб» и значения водопоглотительной способности исследуемых образцов муки ржаной обдирной, установили, что исследуемые образцы муки ржаной обдирной незначительно отличаются по потенциалу водопоглотительной способности (индексу ВПС). Большинство исследуемых образцов муки ржаной обдир-

ной характеризовались индексом ВПС равным 9 баллов, что соответствовало значениям водопоглотительной способности от 66,1 % до 74,3 %. Образцы муки с водопоглотительной способностью в диапазоне (61,7– 65,8) % имели индекс ВПС равный 8 баллов, в диапазоне (59,7–60,7) % — 7 баллов. Таким образом, индекс ВПС коррелирует со значениями водопоглотительной способности: чем выше индекс водопоглотительной способности, тем выше значения водопоглотительной способности муки.



Рис. 1. Целевой профиль муки ржаной обдирной с нормальной автолитической активностью
 Fig 1. Target profile of peeled rye flour with normal autolytic activity

Оценка реологического поведения теста из исследуемых образцов муки ржаной обдирной по результатам данных табл. 1 показала, что все образцы в процессе замеса вели себя примерно одинаково. Точка С1, отражающая момент наступления максимальной вязкости в течение 8 минут, свидетельствует об образовании гомогенной структуры теста при его замесе. Время образования теста из исследуемых образцов муки ржаной обдирной составило от 0,68 мин до 1,40 мин. Полученные данные указывают на то, что образование теста из исследуемых образцов муки закончилось ранее полного его замеса (т.е. 8 минут).

Точка С2 характеризует минимальную консистенцию теста на начальном этапе нагрева. Продолжительность второй фазы составила 15 мин. На втором этапе испытаний при повышении температуры от 30 °С до 60 °С консистенция теста, достигнув своего максимума еще до полного промеса, быстро начала падать и, соответственно, наблюдалось снижение крутящего момента в точке С2 (0,42–0,57 Н·м). Отсутствие клейковинного каркаса в образцах теста из муки ржаной обдирной обуславливало значительное снижение консистенции теста, что подтверждалось низкими индексами Замеса (0–1) балл. Тесто не сохраняло своих физических свойств в течение 8 минут — образцы характеризовались пониженным показателем стабильности теста, который находился в диапазоне от 0,97 мин до 3,27 мин.

На основании полученных результатов установлена также динамика изменения консистенции теста по разнице в величине крутящего момента между С1 и С2 в зависимости от автолитической активности исследуемых образцов муки ржаной обдирной (рис. 2).

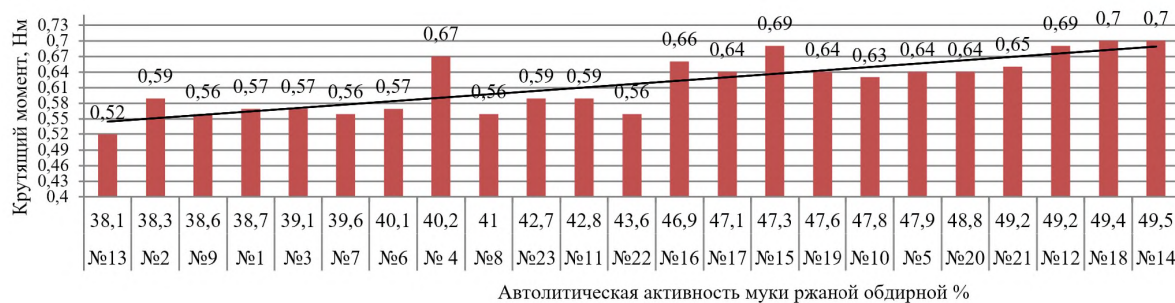


Рис. 2. Изменение консистенции теста из муки ржаной обдирной с нормальной автолитической активностью на начальном этапе нагрева температуры от 30 °С до 60 °С
 Fig 2. Dynamics of changes in the consistency of dough from peeled rye flour with normal autolytic activity at the initial stage of heating the temperature from 30 °С to 60 °С

Анализ данных рис. 2 показал, что в группе исследуемых образцов муки с нормальной автолитической активностью наблюдался разброс по значениям разности $C1-C2$: от 0,52 Н·м до 0,7 Н·м. Установлено, что чем больше разница в величине крутящего момента между $C1$ и $C2$, тем больше падение консистенции теста в процессе замеса и нагревания. Отмечено, что значения крутящего момента по разнице $C1-C2$ для теста из муки с автолитической активностью от 38,3 % до 43,6 % находились на одном уровне (0,56 — 0,59) Н·м и соответствовали меньшему разжижению теста при увеличении температуры нагрева от 30 °С до 60 °С. Исключение составил образец муки №4 (0,67 Н·м). Для остальных образцов муки ржаной обдирной падение крутящего момента между $C1$ и $C2$ находилось в диапазоне (0,63– 0,70) Н·м. Следует отметить образцы муки №7, №8, №9, №13 и №22, которые характеризовались меньшей разностью $C1-C2$ — (0,52–0,56) Н·м. Указанные образцы имели более высокие значения минимальной консистенции теста в точке $C2$ (0,53 Н·м — 0,57 Н·м) относительно других исследуемых образцов муки, совместно с повышением показателя стабильности теста (2,27–3,27) мин, что указывало на меньшее разжижение теста под действием увеличения температуры до 60 °С. По мере повышения автолитической активности муки (свыше 43,6 %) наблюдалось снижение консистенции теста. Наибольшая разница значений $C2-C1$ (0,69 Н·м и 0,7 Н·м) и, соответственно, снижение консистенции теста наблюдалось для исследуемых образцов муки ржаной обдирной с автолитической активностью 49,2 %, 49,4 % и 49,5 % (образцы №12, №14 и №18). Как видно из ранее приведенных данных, указанные образцы муки характеризовались быстрым и резким разжижением теста (значения $C2$ 0,48 Н·м, 0,48 Н·м и 0,46 Н·м соответственно), что привело к увеличению жидкой фазы теста.

На третьей фазе реологического поведения теста регистрировали изменение консистенции теста при его нагревании от 60 °С до 90 °С. Общая продолжительность третьей фазы — 7 минут. Индекс Вязкости характеризует фазу, при которой температура теста составляет (60–90) °С и наиболее активно протекают все физико-химические и биохимические процессы. Точка $C3$ характеризует максимальную консистенцию теста в процессе клейстеризации крахмала. Выявлено, что значения крутящего момента $C3$ в указанном температурном интервале находились в достаточно широком диапазоне от 0,68 Н·м до 2,12 Н·м. Индекс Вязкости исследуемых образцов муки варьировал от 1 до 8 баллов. Точка $C4$ характеризует стабильность крахмального клейстера теста в нагретом состоянии. На основании полученных значений крутящего момента $C4$ установлена динамика изменения стабильности крахмального клейстера, приготовленного из муки ржаной обдирной с разной автолитической активностью в нагретом состоянии (рис. 3).

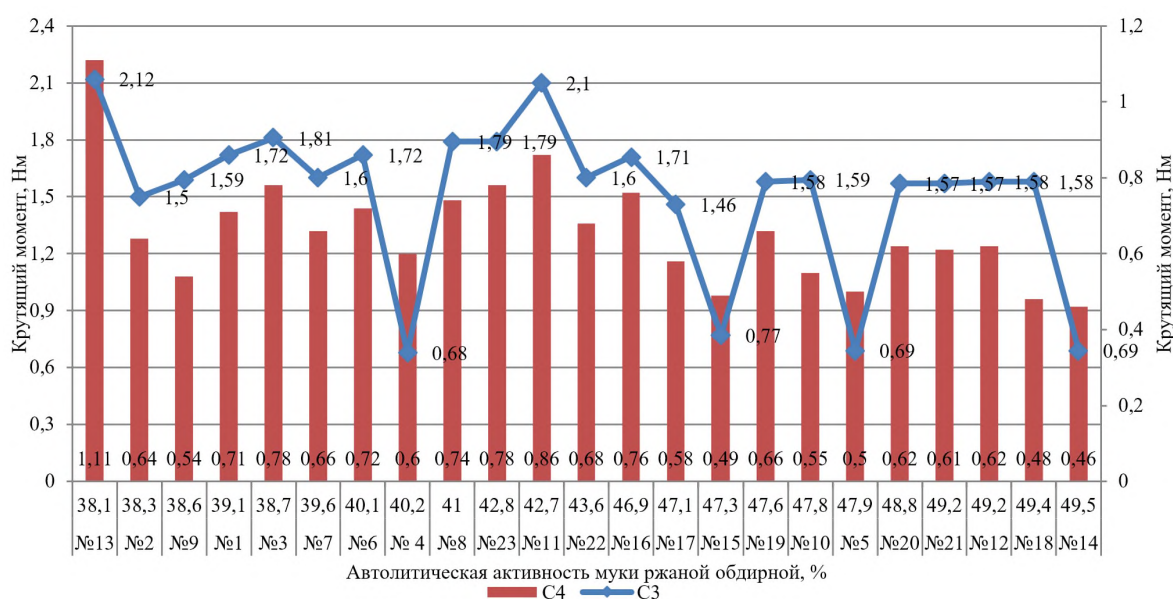


Рис. 3. Динамика изменения стабильности крахмального клейстера в нагретом состоянии из муки ржаной обдирной с нормальной автолитической активностью

Fig 3. Dynamics of changes in the stability of starch paste in a heated state from peeled rye flour with normal autolytic activity

Максимальная консистенция теста при увеличении температуры до 90 °С в точке С3 была отмечена для образцов муки №11 и №13 — 2,10 Н·м и 2,12 Н·м соответственно. Консистенция вязкости данных образцов муки характеризовалась образованием вязкого клейстера, что подтверждалось индексом Вязкости в 8 баллов.

Значения консистенции теста с повышением температуры от 60 °С до 90 °С образцов муки с автолитической активностью (38,3 — 46,9) % имели близкие между собой значения в точках С3 (1,77– 1,86) Н·м и С4 (0,74–0,78) Н·м. Консистенция теста в данной группе исследуемых образцов муки ржаной обдирной характеризовалась стабильностью крахмального клейстера в горячем состоянии. Индекс Вязкости указанных образцов — (5 — 6 баллов). Величина вязкости теста на стадии клейстеризации крахмала образцов №1, №6 и №16 была немного ниже (С3 1,70–1,72 Н·м, С4 0,70–0,76 Н·м), что соответствовало индексу вязкости, равным 4 балла. Наряду с этим, в указанном интервале образцов муки по автолитической активности были выявлены образцы муки №2, №7 и №9, которые имели более низкие значения С3 (1,50 Н·м, 1,60 Н·м и 1,59 Н·м), а также низкие значения С4 (0,61 Н·м, 0,60 Н·м и 0,54 Н·м) по сравнению с остальными образцами, что указывает на меньшую стабильность и вязкость крахмального геля в нагретом состоянии и соответствует низкому индексу Вязкости равным 2–3 балла.

В соответствии с рисунком 3, образцы муки ржаной обдирной с более высокими значениями автолитической активности (свыше 47,0 %) имели меньшие значения крутящего момента в точках С3 (0,69–1,60) Н·м и С4 (0,46–0,68) Н·м, указывающие на меньшую стабильность и вязкость крахмального клейстера в нагретом состоянии, и, как следствие, индексы Вязкости и Амилолитической активности составили 1–2 балла.

Влияние автолитической активности на реологические показатели теста особенно прослеживалось в образцах муки №5, №14 и №15. Низкие значения крутящего момента в точках С3 (0,69 Н·м — 0,77 Н·м) и С4 (0,46 Н·м — 0,50 Н·м) обуславливали разжижение теста в температурном интервале от 60 °С до 90 °С. Индекс Вязкости составил 1 балл.

После выпечки крахмал муки начинает постепенно затвердевать, что непосредственно влияет на срок годности готового продукта и напрямую связано с процессом ретроградации крахмала [8]. Миксолаб позволяет анализировать этот процесс путем охлаждения теста с 90 °С до 50 °С, при котором выдается оценка ретроградации крахмала. Этот индекс указывает на способность готового продукта противостоять черствению и сохранять товарный вид. Индексы Ретроградации крахмала исследуемых образцов муки ржаной обдирной находились в пределах от 0 до 3 баллов. В соответствии с Руководством по приложениям Миксолаб высокое значение индекса Ретроградации соответствует низкому сроку хранения конечной продукции.

Заключение. На основании проведенных исследований по реологическим свойствам теста из муки ржаной обдирной установлено, что тесто из всех исследуемых образцов муки характеризовалось коротким временем образования и стабильности теста, хорошей водопоглотительной способностью, что подтверждается максимальным индексом ВПС, равным (7– 9) баллов. Минимальные индексы Замеса свидетельствовали о нестабильности теста во время замеса. Анализируя полученные данные в группе образцов муки ржаной хлебопекарной обдирной с автолитической активностью от 38,1 % до 43,6 %, можно сделать вывод, что исследуемые образцы муки близки между собой по реологическим свойствам теста. Консистенция теста на начальном этапе нагрева характеризуется незначительным разжижением теста, высоким пиком вязкости на стадии клейстеризации крахмала и стабильностью крахмального клейстера в горячем состоянии.

Установлено, что показатели реологических свойств теста (степень разжижения, максимальная вязкость) характеризуются корреляционной связью с автолитической активностью муки в интервале (47,1 — 49,5) %: чем выше автолитическая активность муки, тем ниже вязкость крахмального клейстера и, как следствие, снижение консистенции теста.

Список использованных источников

1. *Андреев, А. Н.* Контроль качества сырья в хлебопекарном производстве: учебное пособие / А. Н. Андреев. — СПб.: СПбГУниПТ, 2006. — 180 с.
2. *Ауэрман, Л. Я.* Технология хлебопекарного производства: учебник. — 9-е изд.; перераб. и доп.; под ред. Л. И. Пучковой / Л. Я. Ауэрман. — СПб.: Профессия, 2005. — 416 с.
3. *Черных, В. Я.* Многопараметрический метод контроля технологических свойств ржаной хлебопекарной муки / В. Я. Черных, Н. Ю. Быкова // Хлебопродукты. — 2015. — №12. — С. 44–49.

4. *Богатырева, Т. Г.* Лабораторное оборудование для оценки качества сырья и полуфабрикатов / *Е. Г. Богатырева* // Кондитерское и хлебопекарное производство. — 2010. — №12. — С. 40–43.
5. *Мелешкина, Е. П.* Анализ хлебопекарного качества зерна и муки из ржи с использованием приборов, применяемых для оценки свойств теста // Хлебопродукты. — 2008. — №6. — С. 35–39.
6. Оценка муки из зерна тритикале на основе реологических свойств с использованием системы Миксолаб / *Д. Г. Туляков [и др.]* // Хранение и переработка сельхозсырья. — 2017. — №1 — С. 20–23.
7. Руководство по приложениям Mixolab. Реологический и ферментный анализ (Manuel d'applications Mixolab). — 2009. — №28. — 79 с.
8. *Калинина, И. В.* Исследование качества обогащенных видов хлеба в процессе хранения хлеба / *И. В. Калинина, Н. В. Наumenко, И. В. Фекличева* // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Пищевые биотехнологии». — 2015. — Т.3, №1. — С. 36–44.

Информация об авторах

Лаптенок Наталья Сергеевна — кандидат технических наук, директор Государственного предприятия «Белтехнохлеб», (ул. Раковская, 30, 220004, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: laptenokn@mail.ru

Ивашкевич Татьяна Валерьевна — ведущий инженер-химик испытательной лаборатории Государственного предприятия «Белтехнохлеб» (ул. Раковская, 30, 220004, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: tv-ivashkevich.75@mail.ru

Козловская Валерия Андреевна — инженер-технолог 2 категории отдела технологии и стандартизации Государственного предприятия «Белтехнохлеб» (ул. Раковская, 30, 220004, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: valeria989@tut.by

Information about authors

Laptenok Natalia Sergeevna — PhD (Engineering), Director of the State Enterprise Beltechnohleb, (30, Rakovskaya St., 220004, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: laptenokn@mail.ru

Ivashkevich Tatiana Valerievna — leading specialist (chemist) testing laboratory of the State Enterprise Beltechnohleb (30, Rakovskaya St., 220004, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: tv-ivashkevich.75@mail.ru

Kozlovskaya Valeria Andreevna — engineer-technologist of the 2nd category of Department of Technology and Standardization of the State Enterprise «Beltechnohleb» (30, Rakovskaya St., 220004, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: valeria989@tut.by