

УДК 664.64.016.8

Поступила в редакцию 14.10.2024  
Received 14.10.2024**Н. С. Лаптенюк, Т. В. Ивашкевич**

*Научно-производственное республиканское дочернее унитарное предприятие «Белтехнохлеб»  
РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»  
(Государственное предприятие «Белтехнохлеб»),  
г. Минск, Республика Беларусь*

## **ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ПОВРЕЖДЕНИЯ КРАХМАЛА НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕСТА ИЗ МУКИ ПШЕНИЧНОЙ ВЫСШЕГО СОРТА М54-28**

**Аннотация.** Количество поврежденного крахмала муки является одной из значимых характеристик ее качества, представляющих интерес для всех отраслей, связанных с производством продуктов переработки зерна. Содержание поврежденного крахмала напрямую влияет на реологические свойства муки при замесе и брожении теста и на влагоудерживающие свойства муки.

В статье представлены экспериментальные данные о степени повреждения крахмала муки пшеничной высшего сорта М54-28, результаты исследования о влиянии степени повреждения крахмала на реологические свойства теста из муки пшеничной высшего сорта М54-28.

**Ключевые слова:** мука пшеничная, поврежденный крахмал; реологические свойства теста.

**N. S. Laptsenak, T. V. Ivashkevich**

*Scientific-Industrial Republican Subsidiary Unitary Enterprise «BELTEKHNOHLEB»  
RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus”,  
Minsk, Republic of Belarus*

## **THE EFFECT OF THE DEGREE OF STARCH DAMAGE ON THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF WHEAT FLOUR DOUGH PREMIUM GRADE M54-28**

**Abstract.** The amount of damaged starch in flour is one of the significant characteristics of its quality, which is of interest to all industries related to the production of grain processing products. The content of damaged starch directly affects the rheological properties of flour during kneading and fermentation of dough, the moisture-retaining properties of flour, as well as the actual yield of bakery products and their appearance.

The article presents experimental data on the degree of starch damage to samples of wheat flour of the highest grade M54-28, the results of a study on the effect of the degree of starch damage on the rheological properties of the dough from wheat flour of the highest grade M54-28.

**Keywords:** wheat flour, damaged starch; rheological properties of the dough.

**Введение.** Одним из важнейших условий получения продукции надлежащего качества является качество используемого сырья, и в первую очередь, качество муки как основного сырья при производстве хлебобулочных изделий. Решающую роль в формировании качества хлебобулочных изделий играет пшеничная мука и ее свойства, поскольку большая часть муки, используемой на хлебопекарных предприятиях Республики Беларусь, приходится на долю пшеничной (приблизительно 69,0 %). В связи с этим изучение ее свойств и характеристик является одним из основополагающих факторов, обеспечивающих получение качественного продукта, что позволяет своевременно оценить и скорректировать технологический процесс производства.

В настоящее время для оценки качества муки пшеничной используют такие показатели как белизна, зольность, количество и качество клейковины, число падения. Однако данные параметры в большей степени отражают состояние белково-протеинозного и углеводно-а-

милазного комплекса пшеничной муки и не учитывают состояние и свойства крахмала. В то же время крахмал является основным компонентом муки (в пшеничной муке около 70 %), и формирует структуру теста, взаимодействуя с другими его компонентами. От состояния крахмальных зерен зависит водопоглотительная способность теста, процессы его брожения, структура мякиша, вкус, аромат, пористость и скорость черствения изделия [1].

Мука содержит два вида крахмала в различных пропорциях: целый и поврежденный крахмал. В зависимости от системы помола и настройки вальцов количество и текстура поврежденного крахмала варьируются. Поврежденный крахмал — это гранулы крахмала, содержащиеся в муке, подвергнутые механическому повреждению в процессе помола [2]. Использование в хлебопечении муки, содержащей в своем составе высокое количество поврежденных крахмальных зерен, не всегда приводит к положительному эффекту и оказывает влияние на качество конечного продукта [3].

На основании вышеизложенного содержание крахмала, его состояние и свойства, в частности, размеры крахмальных зерен, степень их повреждения при размоле зерна крахмала оказывают влияние на качество готовых изделий.

**Цель работы** — исследование влияния степени повреждения крахмала на реологические свойства теста из муки пшеничной высшего сорта М54-28.

**Материалы и методы исследований.** Объектом исследования является мука пшеничная высшего сорта М54-28, выпускаемая белорусскими производителями, с разной степенью повреждения крахмала.

Степень повреждения крахмала муки пшеничной высшего сорта М54-28 оценивалась на анализаторе поврежденного крахмала I-SENS. Прибор работает по принципу амперометрического метода измерения поглощения йода в разбавленной суспензии муки и показывает количество поврежденного крахмала в муке в единицах NDS (количество поврежденного крахмала NANOSENS с учетом влажности и белка) [4].

Для исследования качества муки по реологическим свойствам теста использовали измерительную систему Миксолаб. Метод определения водопоглотительной способности муки и реологических свойств теста на приборе Миксолаб заключается в измерении крутящего момента, который возникает при замесе теста из муки и воды в течение нескольких последовательных фаз замеса, обусловленных разной температурой [5].

**Результаты исследований и их обсуждение.** В испытательной лаборатории Государственного предприятия «Белтехнохлеб» проведены исследования степени повреждения крахмала 18 образцов муки пшеничной высшего сорта М54-28 амперометрическим методом на приборе I-SenS. Полученные результаты представлены в табл. 1.

Table 1. Количество поврежденного крахмала муки пшеничной высшего сорта М54-28  
Table 1. The amount of damaged starch of wheat flour of the highest grade М54-28

Наименование образца	Количество поврежденного крахмала, выраженное в единицах NDS*
Образец № 1	99,8
Образец № 2	100,8
Образец № 3	101,7
Образец № 4	99,0
Образец № 5	98,2
Образец № 6	97,7
Образец № 7	95,6
Образец № 8	100,1
Образец № 9	99,7
Образец № 10	100,3
Образец № 11	100,7
Образец № 12	100,6
Образец № 13	99,9
Образец № 14	101,5
Образец № 15	101,2
Образец № 16	101,5
Образец № 17	99,2
Образец № 18	99,7

\*NDS — единица поврежденного крахмала NANOSENS с учетом влажности и белка

Согласно данным, представленным в табл. 1, степень повреждения крахмала исследуемых образцов муки пшеничной варьировала от 95,6 единиц NDS до 101,7 единиц NDS. В результате анализа полученных результатов установлено, что образцы муки №3, №14, №15, №16 содержали максимальное количество поврежденного крахмала (101,7, 101,5, 101,2 и 101,5 единиц NDS соответственно), а образец муки №7 - минимальное (95,6 единиц NDS). Низкое количество крахмала относительно других образцов муки наблюдалось в образцах №5 и №6. Указанные образцы муки характеризовались уровнем поврежденного крахмала в 98,2 единиц NDS и 97,7 единиц NDS соответственно. Анализируя полученные результаты, установлено, что большинство образцов муки пшеничной высшего сорта М54-28 характеризовались степенью повреждения крахмала в диапазоне от 99,0 единиц NDS до 100,8 единиц NDS.

В ходе изучения научной литературы выявлено, что на реологические свойства теста оказывают влияние свойства крахмала, в частности, размеры крахмальных зерен и степень их повреждения [1, 6, 7, 8]. В связи с этим комплексное изучение реологических характеристик теста из муки пшеничной высшего сорта М54-28 проведено относительно степени повреждения крахмала исследуемых образцов муки на приборе Миксолаб согласно протоколу Chopin+. Определяли водопоглотительную способность исследуемых образцов муки и измеряли консистенцию теста по характеру изменения величины крутящего момента на приводе тестомесильной емкости в процессе замеса (С1), нагрева (С2, С3, С4) и охлаждения (С5).

Были установлены значения водопоглотительной способности исследуемых образцов муки пшеничной высшего сорта М54-28 и показателей реологических свойств теста. Результаты исследований представлены в табл. 2.

Table 2. Реологические показатели теста из муки пшеничной высшего сорта М54-28 с различной степенью повреждения крахмала  
Table 2. Rheological parameters of the dough from wheat flour of the highest grade М54-28 with varying degrees of starch damage

Наименование образцов	Водопоглотительная способность, %	Крутящий момент (Н·м)				
		С1	С2	С3	С4	С5
Образец №1	55,1	1,13	0,46	2,01	1,96	3,09
Образец №2	56,7	1,09	0,47	1,92	1,81	2,90
Образец №3	58,9	1,15	0,51	1,81	1,61	2,58
Образец №4	55,7	1,11	0,40	1,78	1,62	2,64
Образец №5	55,5	1,07	0,38	1,92	1,78	2,89
Образец №6	54,7	1,09	0,40	1,90	1,75	2,75
Образец №7	55,4	1,06	0,40	2,04	1,95	3,05
Образец №8	58,1	1,13	0,44	1,75	1,50	2,46
Образец №9	54,5	1,05	0,47	2,00	1,93	3,19
Образец №10	55,4	1,09	0,48	1,96	1,80	2,79
Образец №11	56,5	1,09	0,44	1,80	1,56	2,49
Образец №12	56,7	1,15	0,48	1,80	1,57	2,60
Образец №13	55,4	1,11	0,46	1,90	1,72	2,75
Образец №14	57,7	1,13	0,61	1,88	1,83	2,83
Образец №15	55,3	1,14	0,48	1,85	1,87	3,01
Образец №16	57,4	1,14	0,58	1,88	1,75	2,83
Образец №17	54,7	1,13	0,44	1,85	1,64	2,55
Образец №18	56,2	1,11	0,43	1,84	1,64	2,53

На основании полученных результатов установлена динамика изменения водопоглотительной способности муки от степени повреждения крахмала (рис. 1).

В соответствии с рис. 1 в группе исследуемых образцов муки с диапазоном поврежденного крахмала от 95,6 единиц NDS до 99,7 единиц NDS наблюдались более низкие показатели водопоглотительной способности муки (54,5 — 55,7) % по сравнению с другими образцами. По мере увеличения количества поврежденного крахмала водопоглотительная способность муки увеличивалась.

Оценка индекса водопоглотительной способности (ВПС) протекает в первый период времени замешивания теста и показывает количество воды, необходимое для замеса теста требуемой консистенции ( $1,1 \pm 0,05$ ) Н·м. Сопоставив значения индекса ВПС и водопоглоти-

тельной способности исследуемых образцов муки пшеничной установлено, что чем выше индекс ВПС, тем выше водопоглощительная способность муки.

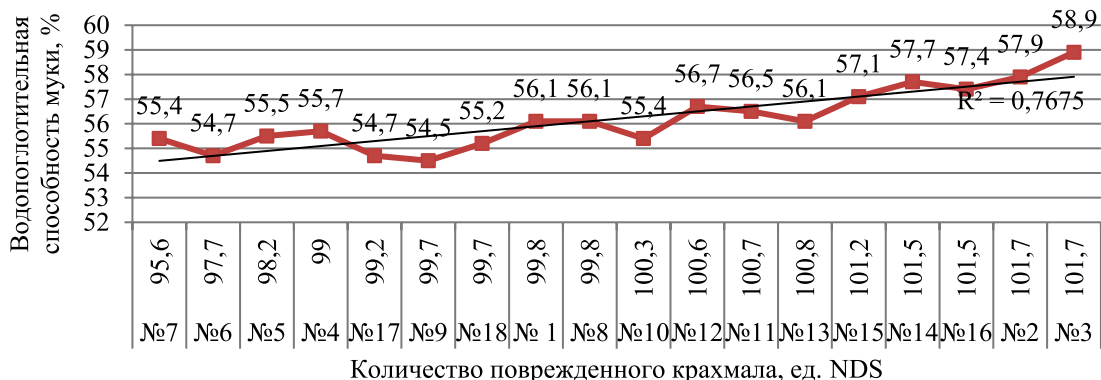


Рис. 1. Динамика изменения водопоглощительной способности муки пшеничной высшего сорта М54-28 от степени повреждения крахмала

Fig. 1. Dynamics of changes in the water absorption capacity of wheat flour of the highest grade M54-28 from the degree of starch damage

Реологическое поведение теста из исследуемых образцов муки оценивали по изменению крутящего момента в точках С2, С3, С4 и С5.

Крутящий момент в точке С2 характеризует минимальную консистенцию теста на начальном этапе нагрева. Изучена динамика изменения крутящего момента С2 и вязкости теста (по разнице С3-С2) из муки пшеничной высшего сорта М54-28 от количества поврежденного крахмала (рис. 2).

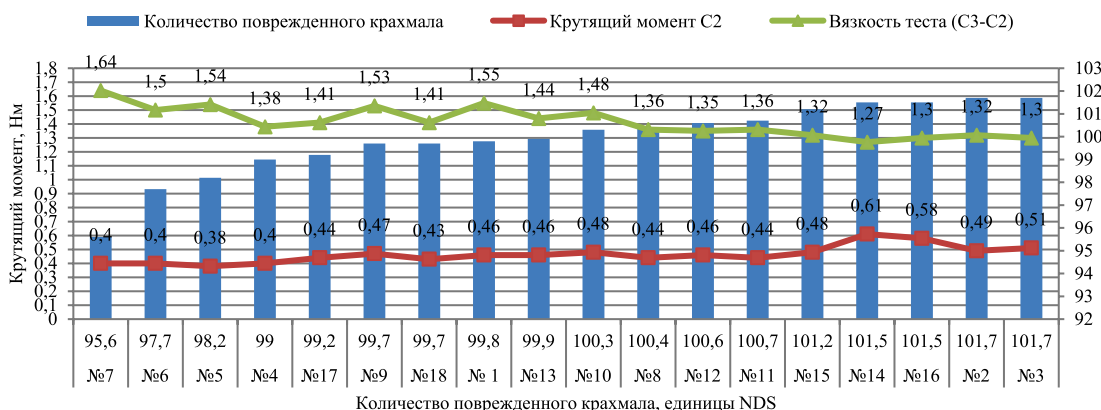


Рис.2. Динамика изменения крутящего момента С2 и вязкости теста (С3-С2) из муки пшеничной высшего сорта М54-28 от количества поврежденного крахмала

Fig.2. Dynamics of changes in torque C2 and viscosity of dough (C3-C2) from wheat flour of the highest grade M54-28 from the amount of damaged starch

В соответствии с рис. 2, более низкие значения крутящего момента С2 (0,38 — 0,4) Н·м и более высокие значения разности С3-С2 (1,5 — 1,64) Н·м характерны для образцов муки с количеством поврежденного крахмала от 95,6 единиц NDS. до 99,0 единиц NDS. В диапазоне (99,2 — 100,6) единиц NDS значения С2 составили — (0,44 — 0,48) Н·м, значения С3-С2 — (1,31 — 1,55) Н·м, свыше 100,6 единиц NDS — (0,51 — 0,61) Н·м и (1,27 — 1,35) Н·м соответственно. На основании полученных результатов установлено, что в исследуемых образцах муки пшеничной высшего сорта М54-28 с увеличением степени поврежденного крахмала значения крутящего момента С2 незначительно увеличивались, а вязкость теста снижалась (С3-С2) (рисунок 2).

Крутящий момент в точке С3 характеризует изменение консистенции теста при его нагревании от 60 °С до 90 °С. Изучена динамика изменения консистенции теста из муки пшеничной высшего сорта м54-28 на данном этапе (рис. 3).

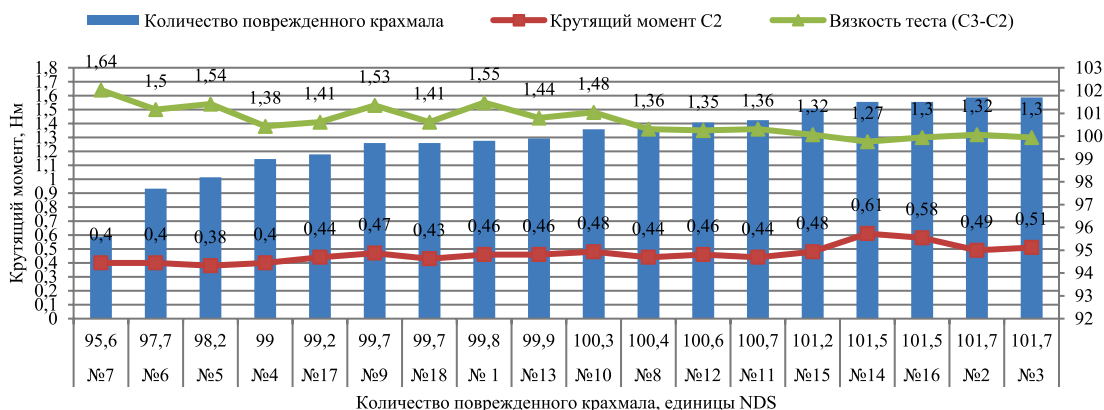


Рис. 3. Динамика изменения консистенции теста из муки пшеничной высшего сорта М54-28 при его нагреве от 60 °С до 90 °С от количества поврежденного крахмала  
 Fig. 3. Dynamics of changes in the consistency of the dough from wheat flour of the highest grade M54-28 when heated from 60 °C to 90 °C from the amount of damaged starch

В результате анализа данных, приведенных на рисунке 3, установлено отсутствие линейной зависимости крутящего момента в точке С3 от степени повреждения крахмала. Максимальная консистенция теста при нагреве от 60 °С до 90 °С с образованием вязкого клейстера выявлена для образцов муки с количеством поврежденного крахмала 95,6 ед. NDS (№7), 99,7 ед. NDS (№9) и 99,8 ед. NDS (№1) — 2,04 Н·м и 2,0 Н·м и 2,01 Н·м соответственно. Значения консистенции теста в указанном температурном интервале для большинства образцов муки имели близкие между собой значения в точках С3 — (1,82–1,89) Н·м. Консистенция теста в данной группе исследуемых образцов муки характеризовалась стабильностью крахмального клейстера в горячем состоянии. Величина вязкости теста на стадии клейстеризации крахмала образцов №3 и №4 была немного ниже (С3 1,75 и 1,78 Н·м) по сравнению с остальными образцами, что указывает на меньшую вязкость крахмального геля в нагретом состоянии.

Дальнейшее нагревание крахмального клейстера приводит к полному разрушению набухших гранул крахмала и замедлению увеличения вязкости суспензии. Одновременно с этим процессом достигает своего оптимального уровня и амилалитическая активность. Во время гидролиза крахмала альфа-амилаза снижает консистенцию теста. Точка С4 характеризует стабильность крахмального клейстера теста в нагретом состоянии. На основании полученных значений крутящего момента С4 установлена динамика изменения стабильности крахмального клейстера, приготовленного из исследуемых образцов муки пшеничной М54-28, в нагретом состоянии (рис. 4).

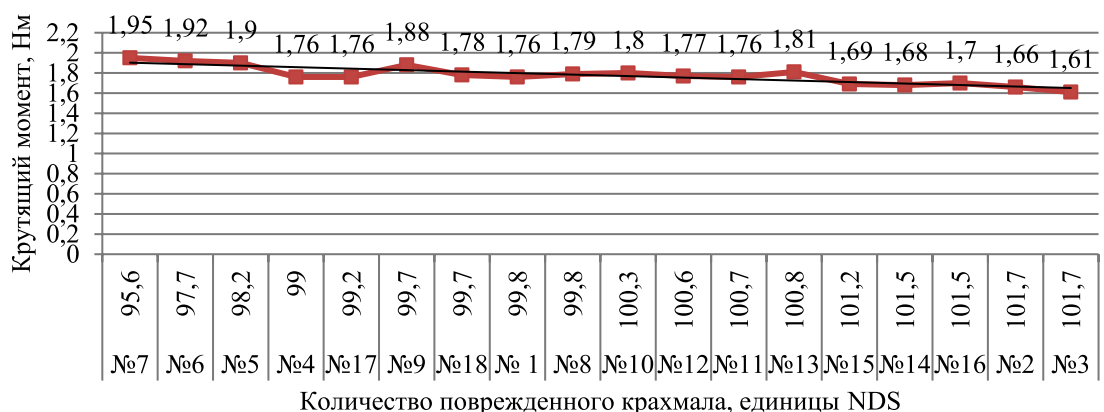


Рис. 4. Динамика изменения стабильности крахмального клейстера муки пшеничной высшего сорта М54-28 от степени поврежденного крахмала  
 Fig. 4. Dynamics of changes in the stability of starch paste of wheat flour of the highest grade M54-28 from the degree of damaged starch

Согласно представленным на рис. 4 данным, выявлено, что образцы муки пшеничной М54-28 с количеством поврежденного крахмала свыше 101,2 единиц NDS имели меньшие

значения С4 (1,61 — 1,7) Н·м по сравнению с остальными образцами. Полученные результаты указывали на низкую стабильность и вязкость крахмального клейстера в нагретом состоянии. Значения консистенции теста в точке С4 исследуемых образцов муки с количеством поврежденного крахмала от 99,0 единиц NDS до 100,8 единиц NDS близки между собой и составили (1,76 — 1,81) Н·м. Исключение составил образец муки №9 (1,88) Н·м). Консистенция теста в данной группе исследуемых образцов муки характеризовалась стабильностью крахмального клейстера в горячем состоянии относительно других образцов. Низкая степень поврежденных зерен крахмала (95,6 — 98,2 единиц NDS) муки пшеничной М54-28 в сравнении с другими образцами обуславливала повышенную вязкость крахмальной суспензии, и, как следствие, более высокие значения крутящего момента С4 — (1,9 — 1,95 Н·м).

При охлаждении теста с 90 °С до 50 °С происходит процесс ретроградации крахмала, который характеризует углеводно-амилазный комплекс муки и зависит от соотношения в молекулах крахмала амилозы и амилопектина. С данным процессом связаны сроки годности готового изделия. В процессе проведения исследования влияния степени повреждения крахмала на реологические свойства теста из муки пшеничной высшего сорта М54-28 изучена динамика ретроградации крахмала муки пшеничной высшего сорта М54-28 от степени поврежденного крахмала (рис. 5).

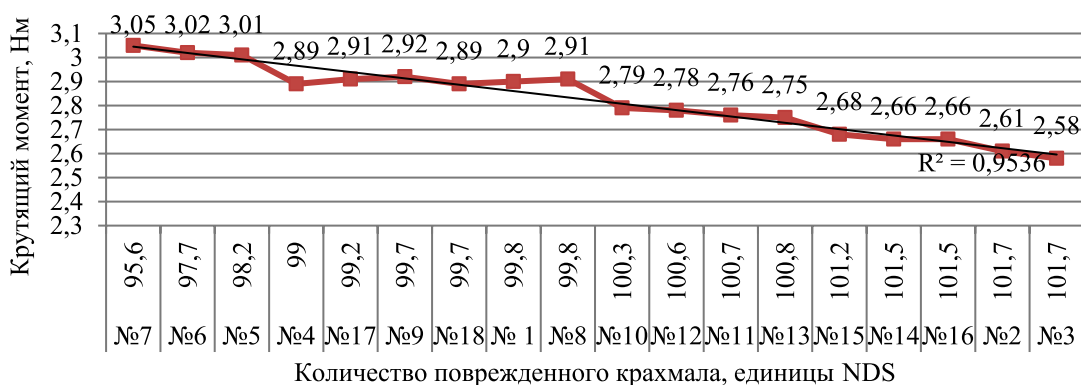


Рис. 5. Динамика ретроградации крахмала муки пшеничной высшего сорта М54-28 от степени поврежденного крахмала

Fig. 5. Dynamics of retrogradation of starch of wheat flour of the highest grade M54-28 from the degree of damaged starch

Как свидетельствуют данные рис. 5, прослеживалась ярко выраженная зависимость ретроградации крахмала от степени повреждения крахмала муки. Согласно Руководству по приложениям Миксолаба: чем выше крутящий момент С5, тем быстрее идет процесс ретроградации. Достаточно высокие значения С5 (3,05 — 2,89 Н·м) соответствовали образцам муки пшеничной с количеством поврежденного крахмала от 95,6 единиц NDS до 99,8 единиц NDS, что обусловлено высокой степенью кристаллизации крахмала, следовательно, быстрым черствением готовой продукции. В группе образцов муки с уровнем поврежденного крахмала свыше 100,3 единиц NDS наблюдалась тенденция к снижению крутящего момента С5, что указывает на замедление черствения готовой продукции. Наиболее низкие значения (2,66 — 2,58 Н·м) относительно других образцов соответствовали образцам муки с уровнем повреждения крахмала свыше 101,2 единиц NDS. Можно предположить, что готовые изделия будут сохранять свежесть более длительный период.

**Заключение.** С учетом вышеизложенного установлено, что чем выше степень повреждения крахмала муки пшеничной высшего сорта М54-28, тем выше водопоглотительная способность, ниже вязкость теста на начальном этапе нагрева, стабильность крахмального клейстера в температурном интервале от 60 °С до 90 °С. Наряду с этим установлено, что готовая продукция будет дольше сохранять свежесть.

### Список использованных источников

1. Ауэрман, Л. Я. Технология хлебопекарного производства: учебник — 9-е изд.; перераб. и доп.; под ред. Л. И. Пучковой. — СПб. Профессия, 2005. — 416 с.
2. Мелешкина Е. И., Коломиец С. Н., Жильцова Н. С. Количество поврежденного крахмала в муке лабораторного и производственного помолов / Е. И. Мелешкина, С. Н. Коломиец, Н. С. Жильцова // Вестник ВГУИТ. — 2023. — Т. 85 — №3. — С. 67–73.

3. Русяков, В. А. Влияние поврежденности крахмальных гранул и бактериальной альфа-амилазы на хлебопекарные показатели муки / В. А. Русяков // Актуальные исследования. — 2023. — 5 (135) — №2. — С. 39–44.
4. Руководство пользователя анализатора поврежденного крахмала муки I-SENS — Турция: 2020. — 51 с.
5. Руководство по приложениям Mixolab — Франция: Лаборатория приложений CHOPIN, 2009. — 79 с.
6. Цыганова Т. Б. Технология хлебопекарного производства. — Москва, 2001. — 432 с.
7. Равшанов С. С., Мирзаев Д. Д. Влияние размера частиц муки, мелких и механически поврежденных зерен крахмала на функциональные свойства муки пшеничной хлебопекарной // Universum: технические науки: электронный научный журнал. — 2023. — 1(106). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/14879/>
8. Пучкова Л. И., Поляндова Р. Д., Матвеева И. В. Технология хлеба. — СПб: «Гиорд», 2005. — 559 с.

#### 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](mailto: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](mailto:tv-ivashkevich.75@mail.ru)

#### Information about authors

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

E-mail: [laptenokn@mail.ru](mailto:laptenokn@mail.ru)

*Ivashkevich Tatiana Valer'yevna*, 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](mailto:tv-ivashkevich.75@mail.ru)