

**Определение режимов получения гидролизатов из пшеничных нарезных батонов****М. Ибрахим, Ф. Ал Юсиф**канд. техн. наук **Н.В. Баракова**, barakova@corp.ifmo.ru*Университет ИТМО**191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9*

Исследовали влияние времени хранения батона «Московский» (I сорт в нарезке в пакете с клипсой) в течение двух, четырех и шести дней на гранулометрический состав измельченного батона; степени измельчения батона на точки клейстеризации крахмала; температуры нагрева замеса, а также дробного внесения измельченного батона на количество сухих веществ в гидролизатах, приготовленных из измельченного батона. Определили, что при измельчении батона по истечении двух суток хранения модуль помола (М) равен 1,35 мм (средний помол), четырех суток – 0,90 мм (мелкий помол), шести суток – 0,81 мм (мелкий помол). Точка клейстеризации крахмала для среднего помола (2 дня хранения батона) составила 80°C, для мелкого помола (4 дня хранения) – 60°C, для мелкого помола (6 дней хранения) – 50°C. Для получения максимального количества сухих веществ в гидролизатах необходимо нагревать замесы до температуры 80°C, дробно вносить измельченный батон в замес. Замесы измельченного батона и воды готовились с гидромодулем 1:3. Сырье вносилось дробно: общее количество сырья делилось на четыре равные части, интервал внесения сырья – 10 мин. В замес вносились ферментные препараты, содержащие  $\alpha$ -амилазу, – Дистицим БА-Т Специал – доза внесения  $\alpha$ -амилазы – 2,5 ед. АС/г сырья и ферментные препараты, содержащие ксиланазу, – Дистицим GL – доза внесения ксиланазы – 1 ед. КС/г сырья. Коэффициент динамической вязкости замесов определялся в диапазоне температур 32–90°C на вискозиметре Visco Basic Plus с использованием шпинделя R2 при скорости вращения ротора 10 с<sup>-1</sup>. Влажность измельченного батона определялась на анализаторе влажности Shimadzu MOC-63u. Массовая доля сухих веществ в гидролизате определялась на рефрактометре марки PTR46 Index Instruments. Математическая обработка проводилась с помощью программы Originpro 2015 и ANOVA. Полученные результаты рекомендуется использовать при получении гидролизатов из возвратного хлеба.

**Ключевые слова:** переработка хлебобулочных изделий; возвратный хлеб; гидролизаты возвратного хлеба; пшеничные батоны в нарезке.

DOI: 10.17586/2310-1164-2018-11-4-42-48

**Determination modes of hydrolysates preparation from wheat sliced loaves****Monika Ibrahim, Fatima El Youssef**Ph. D. **Nadezhda V. Barakova**, barakova@corp.ifmo.ru*ITMO University**9, Lomonosov str., St. Petersburg, 191002, Russia*

Studying the effect of storage time on Moskovskiy loaf bread (variety 1 sliced in a packet with clips) particle size distribution after grinding and storage for 2, 4 and 6 days. Influence of loaf bread grinding degree on starch clusterization peak. Investigation effect of mixtures heating temperature and influence of ground bread fractionation on dry matter quantity in hydrolysates, prepared from ground loaf bread. The Module grind determination for ground loaf bread was equal to 1.35 mm (medium grind) after 2 days storage; 0.90 mm (fine grind) after 4 days storage and 0.81 mm (fine grind) after 6 days storage. The starch clusterization peak in medium grind (2 days storage loaf) was 80°C; in fine grind (4 days storage loaf) was 60°C and in fine grind (6 days storage loaf) was 50°C. Receiving maximum dry matter quantity in hydrolysates, prepared from ground bread and stored 4 and 6 days, by increasing hydrolyzation temperature to 80°C and adding the ground bread by fractionation. The mix of ground bread and water prepared with a ratio of 1:3. Method of raw material fraction addition by dividing the ground bread total quantity into four equal parts and adding them with 10 min interval. Hydrolysate mixtures prepared using preparations of enzymes as  $\alpha$ -amylase Dysthyme BA-T special with concentration 2.5 units AC/ 1 g bread and xylanase Dysthyme GL with concentration 1 unit KC/ 1 g bread. Measuring the dynamic changes of hydrolysates viscosity during their preparation within the temperature range of 32–90°C using viscometer Visco Basic Plus with spindle R<sub>2</sub> and rotation speed of 10 s<sup>-1</sup>. Measuring ground bread moisture content was by moisture analyzer Shimadzu MOC-63u. Analyzation of hydrolysate dry matter

was by refractometer PTR46 Index Instruments. Studying of statistical analysis was by Origin pro. 2015 and ANOVA. It was recommended to use our results in wastes bread hydrolysates preparation.

**Keywords:** recycling of bread products; breads wastes; bread wastes hydrolysate; sliced wheat loaf.

## Введение

Хлебобулочные изделия имеют, как правило, относительно небольшой срок хранения. Через несколько дней хлеб черствеет, теряет товарный вид и вкусовые качества. Ежегодно отходы хлеба составляют около 10% от мирового производства хлеба [1, 2].

Хлебобулочные изделия, не проданные в розничной сети, возвращаются на хлебозаводы и перерабатываются. Из них готовятся: хлебная мочка, доведенная до кашеобразной однородной массы и добавляемая в тесто [3]; хлебная сухарная крошка (влажность 3–10%); сухари с различными вкусовыми добавками; кормовые добавки для сельскохозяйственных животных.

Пшеничный хлеб богат питательными веществами: белок – 17%; жир – 0,5%; углеводы – 46%, из которых 80–82% составляет крахмал; минеральные вещества – около 1,68% (Ca, P, Mg, Fe) и витамины (B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, PP) [4–6], а потеря свежести хлеба в процессе хранения не снижает питательной ценности продукта, поэтому с использованием химических и ферментативных методов возможно проведение гидролиза основных компонентов хлеба до глюкозы, аминного азота и фосфата.

Гидролизат хлеба может быть использован для производства сиропа, богатого глюкозой, или в качестве питательной среды для культивирования бактерий, грибов, водорослей и производства таких ценных вторичных продуктов, как биоэтанол, метан, молочная кислота, янтарная кислота, амилаза, ароматические соединения [2, 7, 8].

Процесс гидролиза можно разделить на две основные стадии: получение гидролизатов с использованием  $\alpha$ -амилазы и осахаривание с использованием глюкоамилазы [9–12]. На параметры получения гидролизатов влияет множество факторов: гидромодуль замеса, размер частиц сырья, температура гидролиза, вязкость гидролизата, концентрация фермента, pH гидролизата [9].

Исследования показали, что наименьший размер частиц хлеба может увеличить скорость и время гидролиза, изменить скорость клейстеризации крахмала и вязкость гидролизата [13, 14]. Было также установлено, что увеличение количества субстрата снижает ферментативную атакуемость компонентов субстрата и снижает выход глюкозы. По этой причине было рекомендовано добавлять субстрат фракционированием, дробным внесением сырья или увеличивать концентрацию ферментов [9]. Исследование температуры гидролиза термостабильного фермента  $\alpha$ -амилазы, между 50–90°C для максимизации выхода сухого вещества показали, что его оптимальный температурный интервал 80–85°C [10, 12]. Влияние pH гидролизата на выход сухого вещества привело к тому, что оптимальное pH гидролизата составил 6 [10].

При хранении хлеба меняется влажность хлеба, особенно, если хлеб хранится в пластиковом пакете. Изменение данного показателя приводит к изменению параметров получения гидролизатов из возвратного хлеба. Ранее таких исследований не проводилось. В силу того, что пшеничный белый хлеб входит в потребительскую корзину почти каждого россиянина и практически все производители хлеба и хлебобулочных изделий включают в свой ассортимент производство пшеничных батончиков в нарезке, исследования по влиянию сроков хранения пшеничного батона на параметры получения гидролизатов являются актуальными.

Цель данной исследовательской работы – определить режимы получения гидролизатов из пшеничных нарезных батончиков.

## Объекты и методы исследований

Объектом исследований являлся батон «Московский» нарезной I сорта в нарезке, упакованный в полиэтиленовый пакет с клипсой, выпеченный по ГОСТ 27844-88. Производитель ООО «Хлебный дом». Химический состав: белки – 8,1%, жиры – 2,9%; углеводы – 56,2%.

Для ферментативного гидролиза крахмала и некрахмалистых полисахаридов применялись ферментные препараты, характеристика которых представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика ферментных препаратов

Название препарата	Основной фермент	Активность, ед/мл	Действие	Диапазон температур, °С	Оптим. темпер., °С	Диапазон Н
Дистицим БА-Т Специал.	α-амилаза термостабильная	950	разжижающее	30–85	60–75	5,5–8,5
Дистицим GL	термостабильная β-глюканаза ксиланаза	700	гидролиз ксилана и β-глюкана	30–90	45–70	5,0–8,0

Батон измельчали на лабораторной мельнице с роторно-ножевым рабочим органом. Степень измельчения батона оценивали по результатам ситового анализа, выполненного на решетном классификаторе, состоящем из сит диаметром 1; 2 и 3 мм. Тонкость помола определяли в соответствии с ГОСТом 8770-58. Критерием крупности помола является модуль помола (М), который является средневзвешенным размером частиц и определяется по формуле [13]:

$$M = \frac{3,5 \cdot G_3 + 2,5 \cdot G_2 + 1,5 \cdot G_1 + 0,5 \cdot G_0}{100},$$

где  $G_0$  – остаток на сборном дне (проход через сито диаметром 1 мм), г;

$G_1, G_2, G_3$  – остаток на ситах с отверстиями 1, 2, 3 мм соответственно, г;

М – модуль, мм.

Замесы измельченного батона и воды (температура 50°С) готовились с гидромодулем 1:3, вносились ферментные препараты, содержащие α-амилазу, – Дистицим БА-Т Специал – доза внесения α-амилазы 2,5 ед. АС/г сырья и ксиланазу – Дистицим GL – доза ксиланазы 1 ед. КС/г сырья.

Массовую долю влаги в батоне определяли методом высушивания до постоянной массы на анализаторе влажности Shimadzu МОС-63и.

Содержания массовой доли сухих веществ в гидролизате из возвратного хлеба осуществляли рефрактометрическим методом на рефрактометре марки PTR46 Index Instruments;

Вязкость гидролизата из хлебной крошки определяли на вискозиметре Visco Basic Plus с использованием шпинделя R2 при скорости вращения ротора 10 с<sup>-1</sup>.

### Результаты и их обсуждение

На первом этапе проведения экспериментов было исследовано влияние времени хранения батона в пластиковом пакете на изменение влажности батона. Измерение влажности хлеба осуществлялось на анализаторе влажности Shimadzu МОС-63и. Степень измельчения батона оценивали по результатам ситового анализа.

Таблица 2 – Физико-химические показатели хлебной крошки, полученной при измельчении батона «Московский» нарезной I сорта в нарезке

Время хранения батона, сут.	Показатели			
	Влажность, %	Проход через сито Ø 1 мм	Остаток на сите Ø 1 мм	Остаток на сите Ø 2 мм
2	32,9	22,7 ± 0,5	68,8 ± 0,5	8,5 ± 0,5
4	34,5	53,2 ± 1,5	41,2 ± 1,5	5,5 ± 1,5
6	35,0	58,0 ± 1	39,1 ± 1	3,96 ± 1

При хранении хлеба в пластиковом пакете влажность хлеба по истечении времени хранения, увеличивается, причем, после четырех дней хранения батона влажность увеличилась на 4,8%, после 6 дней хранения – на 6,4%.

Широко распространенным критерием крупности измельчения является модуль помола (М). Используя данные, представленные в таблице 2, по приведенной формуле были рассчитаны модули помола батона. Для батона, хранившегося в пакете в течение двух суток, модуль помола М = 1,35 мм (средний помол); для батона, хранившегося в пакете в течение четырех дней – М = 0,90 мм; для батона, хранившегося в пакете в течение шести дней М = 0,8 мм (мелкий помол).

Далее из измельченного сырья готовились замесы, в которых определялся коэффициент динамической вязкости. Замесы нагревали при температуре в диапазоне 30–90°C. Результаты измерений представлены на рисунке 1.

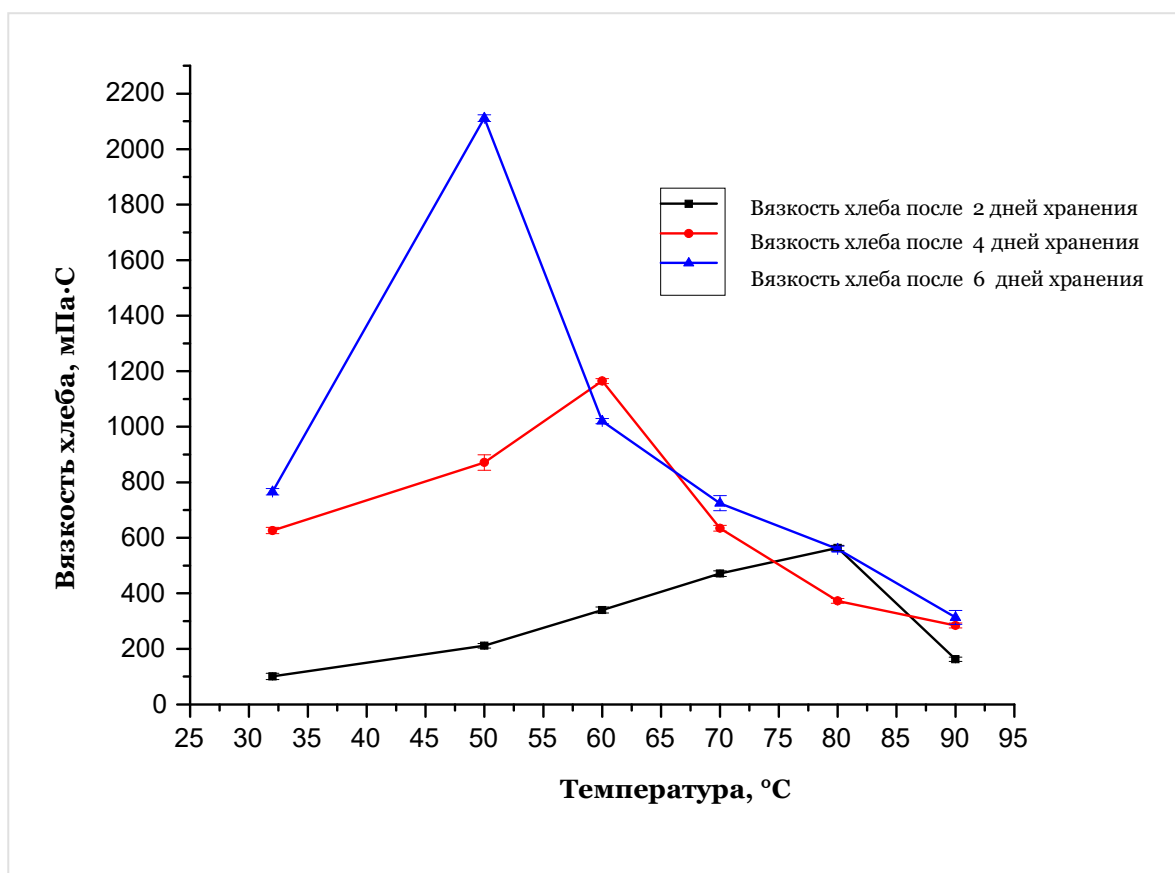


Рисунок 1 – Зависимость вязкости замесов, приготовленных из батона с разным сроком хранения в пластиковом пакете

Максимальная вязкость замесов для среднего помола (2 дня хранения батона, проход через сито с отверстием 1 мм 22 %) составила 500 мПа·с при температуре 80°C; для тонкого помола (4 дня хранения батона, проход через сито отверстием 1 мм 53%) – 1150 мПа·с при температуре 60°C и для тонкого помола (6 дней хранения батона, проход через сито отверстием 1 мм 58%) – 2150 мПа·с при температуре 50°C.

Температура, соответствующая максимальной вязкости замеса соответствует температуре клейстеризации крахмала в замесе. Из полученных результатов следует, что чем выше степень деструкции сырья, тем температура клейстеризации крахмала в замесе ниже. Что соответствует данным, полученным в работе [14].

Главной задачей при приготовлении гидролизатов является получение максимального количества сухих веществ в гидролизатах. Из литературы [15] известно, что крахмал наиболее полно растворяется, если он прошел стадию клейстеризации крахмала. Поэтому, на следующем этапе выполнения работ, в зависимости от степени деструкции батона (которая зависит от времени хранения батона в пакете), при температуре, соответствующей максимальной вязкости замесов, были приготовлены замесы.

Замес, приготовленный из измельченного батона (средний помол, 2 дня хранения батона) нагревался до температуры 80°C; замес, приготовленный из мелкого помола (4 дня хранения батона) – при температуре 60°C; замес мелкого помола (6 дней хранения) – при температуре 50°C. Замесы при данных температурах выдерживались в течение 4 часов, в фильтрах гидролизатов определялось содержание сухих веществ. Результаты представлены на рисунке 2.

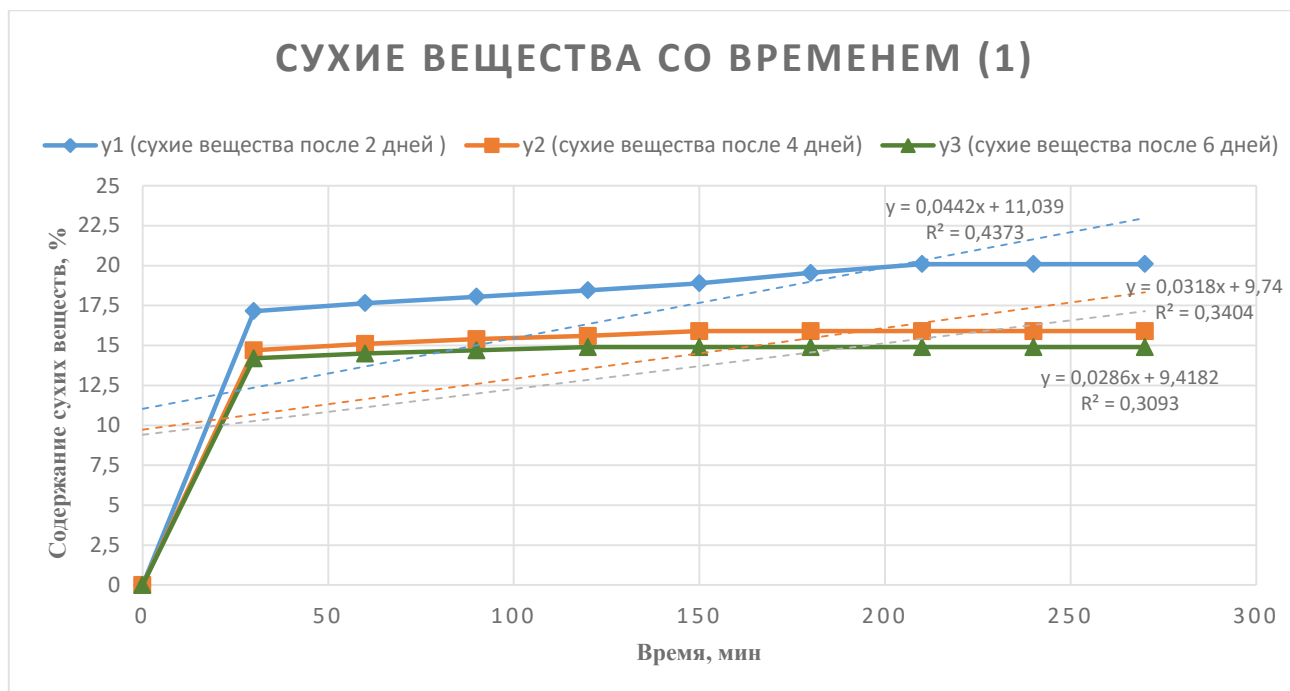


Рисунок 2 – Динамика накопления сухих веществ в гидролизатах при разных температурах нагрева замесов

В гидролизате замеса, приготовленного из среднего помола (2 дня хранения) максимальное количество сухих веществ 20% было получено через три часа выдержки замеса при этой температуре; в гидролизате замеса, приготовленного из мелкого помола (4 дня хранения) – 16% через 2,5 часа; в гидролизате замеса, приготовленного из мелкого помола (6 дней хранения) – 15 % через 1,20 часа.

Из литературы [9] известно, что для повышения степени атакуемости компонентов замеса ферментами, целесообразно сырье вносить дробно. В связи с этим на следующем этапе проведения работ сырье делилось на четыре части и вносилось частями каждые 10 мин при постоянном перемешивании. Накопление сухих веществ в гидролизате замеса представлено на рисунке 3.

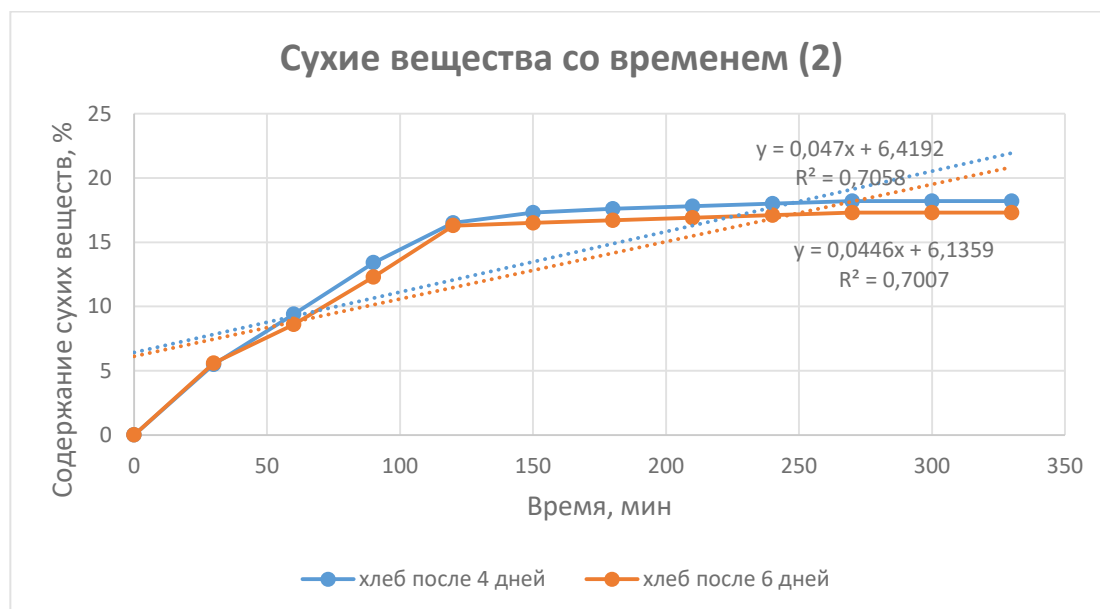


Рисунок 3 – Динамика накопления сухих веществ в гидролизатах при дробном внесении сырья и разных температурах нагрева замесов

В гидролизате замеса, приготовленного из мелкого помола (4 дня хранения батона) и нагретого при температуре 60°C, содержание сухих веществ увеличилось с 16 до 18,2%; при температуре 50°C увеличилось с 15 до 17,3%.



График показывает увеличение сухого вещества, но это не обеспечило количество сухих веществ в гидролизатах, как было получено в гидролизате, приготовленном из среднего помола батона (2 дня хранения батона в пакете) при температуре 80°C – 20%.

На следующем этапе исследований замес, приготовленный из мелкого помола (4 дня хранения батона) и замес, приготовленный из мелкого помола (6 дней хранения батона), нагревали до 80°C.

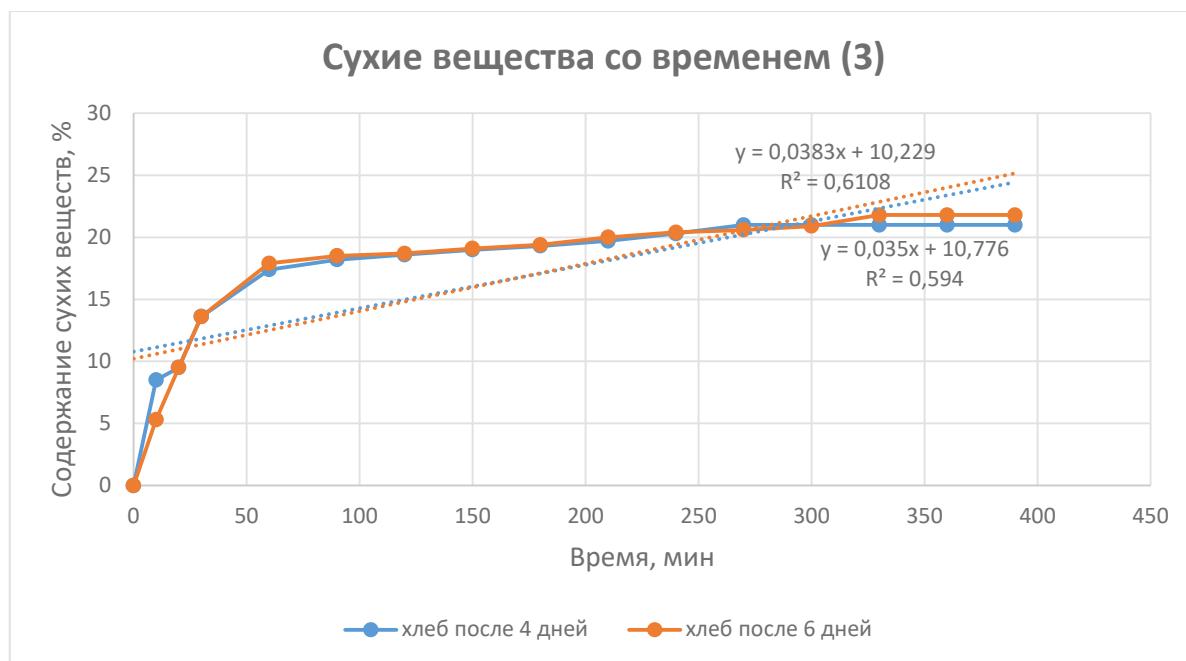


Рисунок 4 – Динамика накопления сухих веществ в гидролизатах при дробном внесении сырья и температуре нагрева замесов 80°C

График показывает увеличение сухих веществ в гидролизате, приготовленном из мелкого помола (4 дня хранения батона в пакете) до 21% и в гидролизате, приготовленном из мелкого помола (6 дней хранения батона в пакете) до 21,8%.

### Заключение

При получении гидролизатов из возвратного хлеба – батона «Московский» (I сорт в нарезке в пакете с клипсой) решающим фактором для получения наибольшего количества сухих веществ в гидролизате является температура замеса. Недостаточно нагревать замесы до температуры, соответствующей точке клейстеризации крахмала, их необходимо нагревать до температуры не менее 80°C, а для повышения эффективности действия ферментов, вносимых в замес, необходимо проводить дробное внесение сырья. Данные результаты необходимо использовать при получении сула из возвратного хлеба – как новой питательной среды для жизнедеятельности различных микроорганизмов и продуцирования ими ферментов или биологически активных веществ.

### Литература

- Oda Y., Park B.S., Moon K.H., Tonomura K. Recycling of bakery wastes using an amyolytic lactic acid bacterium. *Bioresource Technology*. 1997, V. 60, pp. 101–106.
- Demirci A.S., Palabiyik I., Gumus T. Bread wastage and recycling of waste bread by producing biotechnological products. *Journal of Biotechnology*. 2016, V. 231, pp. 13.
- Shalaby M.T., Abou-Raya M.A., EL-gammal R.E., Al-Janabi H.A.A. Effect of storage on some physical and chemical properties of Iraqi bread. *J. Food and Dairy Sci., Mansoura Univ.* 2014, V. 5, no. 12, pp. 891–904.
- Pleissner D., Lin C.S.K. Valorisation of food waste in biotechnological processes. *Pleissner and Lin Sustainable Chemical Processes*. 2013, V. 1, no. 21, pp. 1–6.
- Haroon S., Vinthan A., Negron L., Das S., Berenjian A. Biotechnological Approaches for Production of High Value Compounds from Bread Waste. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*. 2016, V. 12, no. 2, pp. 102–109.
- Demirci A.S., Palabiyik I., Gümüs T., Özalp S. Waste Bread as a Biomass Source: Optimization of Enzymatic Hydrolysis and Relation between Rheological Behavior and Glucose Yield. *Waste and Biomass Valorization*. 2017, V. 8, no. 3, pp. 775–782.

7. Hudečková H., Šupinová P., Babák L. Optimization of Enzymatic Hydrolysis of Waste Bread before Fermentation. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2017, V. 65, no. 1, pp. 35–40.
8. Ebrahimi F., Khanahmadi M., Roodpeyma S., Taherzadeh M.J. Ethanol Production from Bread Residues. *Biomass and bioenergy*. 2008, V. 32, no. 4, pp. 333–337.
9. Ačanski M., Pastor K., Razmovski R., Vučurović V., Psodorov D. Bioethanol Production from Waste Bread Samples Made from Mixtures of Wheat and Buckwheat Flours. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*. 2014, V. 18, no. 1, pp. 40–43.
10. Abebe W., Collar C., Ronda F. Impact of variety type and particle size distribution on starch enzymatic hydrolysis and functional properties of tef flours. *Carbohydrate polymers*. 2015, V. 115, pp. 260–268.
11. Viamajala S., McMillan J.D., Schell D.J., Elander R.T. Rheology of corn stover slurries at high solids concentrations – Effects of saccharification and particle size. *Bioresource Technology*. 2009, V. 100, pp. 925–934.
12. Kawa-Rygielska J., Czubaszek A., Pietrzak W. Some aspects of baking industry wastes utilization in bioethanol production. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. 2013, V. 575, pp. 71–77.
13. Глебов Л., Гамзаев Г. Гранулометрический состав измельченного зерна // Комбикормовая промышленность, 1997. № 8. С. 15.
14. Баракова Н.В., Устинова А.С. Исследование влияния степени диспергирования зерна на технологические параметры при производстве спирта из пшеницы // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: материалы 3-й Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием (Бийск, 28–30 апреля 2010 г.). Бийск, 2010. Часть 1. С. 220–222.
15. Яровенко В.Л., Маринченко В.А., Смирнов В.А., Устинников Б.А., Цыганков П.С., Швец В.Н., Белов Н.И. Технология спирта. М.: Колос. 2002. 463 с.

### References

1. Oda Y., Park B.S., Moon K.H., Tonomura K. Recycling of bakery wastes using an amyolytic lactic acid bacterium. *Bioresource Technology*. 1997, V. 60, pp. 101–106.
2. Demirci A.S., Palabiyik I., Gumus T. Bread wastage and recycling of waste bread by producing biotechnological products. *Journal of Biotechnology*. 2016, V. 231, pp. 13.
3. Shalaby M.T., Abou-Raya M.A., EL-gammal R.E., Al-Janabi H.A.A. Effect of storage on some physical and chemical properties of Iraky bread. *J. Food and Dairy Sci., Mansoura Univ*. 2014, V. 5, no. 12, pp. 891–904.
4. Pleissner D., Lin C.S.K. Valorisation of food waste in biotechnological processes. *Pleissner and Lin Sustainable Chemical Processes*. 2013, V. 1, no. 21, pp. 1–6.
5. Haroon S., Vinthan A., Negron L., Das S., Berenjian A. Biotechnological Approaches for Production of High Value Compounds from Bread Waste. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*. 2016, V. 12, no. 2, pp. 102–109.
6. Demirci A.S., Palabiyik I., Gümüs T., Özalp S. Waste Bread as a Biomass Source: Optimization of Enzymatic Hydrolysis and Relation between Rheological Behavior and Glucose Yield. *Waste and Biomass Valorization*. 2017, V. 8, no. 3, pp. 775–782.
7. Hudečková H., Šupinová P., Babák L. Optimization of Enzymatic Hydrolysis of Waste Bread before Fermentation. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2017, V. 65, no. 1, pp. 35–40.
8. Ebrahimi F., Khanahmadi M., Roodpeyma S., Taherzadeh M.J. Ethanol Production from Bread Residues. *Biomass and bioenergy*. 2008, V. 32, no. 4, pp. 333–337.
9. Ačanski M., Pastor K., Razmovski R., Vučurović V., Psodorov D. Bioethanol Production from Waste Bread Samples Made from Mixtures of Wheat and Buckwheat Flours. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*. 2014, V. 18, no. 1, pp. 40–43.
10. Abebe W., Collar C., Ronda F. Impact of variety type and particle size distribution on starch enzymatic hydrolysis and functional properties of tef flours. *Carbohydrate polymers*. 2015, V. 115, pp. 260–268.
11. Viamajala S., McMillan J.D., Schell D.J., Elander R.T. Rheology of corn stover slurries at high solids concentrations – Effects of saccharification and particle size. *Bioresource Technology*. 2009, V. 100, pp. 925–934.
12. Kawa-Rygielska J., Czubaszek A., Pietrzak W. Some aspects of baking industry wastes utilization in bioethanol production. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. 2013, V. 575, pp. 71–77.
13. Glebov L., Gamzaev G. Granulometricheskij sostav izmel'chennogo zerna [Granulometric composition of crushed grain]. *Feed Industry*. 1997, no. 8, 15 p.
14. Barakova N.V., Ustinova A.C. Issledovanie vliyaniya stepeni despergirovaniya zerna na tekhnologicheskie parametry pri proizvodstve spirta iz pshenitsy [Study the influence of the dispersion degree of grain on the technological parameters in the production of alcohol from wheat]. *Proceeding of the Conference (Biysk, 28–30 of April 2010)*. Biysk, 2010, Part 2, pp. 220–224.
15. Yarovenko. V.L., Marinchenko V.A., Smirnov V.A., Ustinnikov B.A., Tsygankov P.S., Shvets V.N., Belov N.I. *Tekhnologiya spirta* [Alcohol technology]. Moscow, Kolos Publ. 2002, 463 p.

Статья поступила в редакцию 30.11.2018