

**ПЕРАПРАЦОЎКА І ЗАХАВАННЕ СЕЛЬСКАГАСПАДАРЧАЙ ПРАДУКЦЫІ**  
**PROCESSING AND STORAGE OF AGRICULTURAL PRODUCTION**

УДК 663.531.02  
<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2019-57-2-238-251>

Поступила в редакцию 25.01.2019  
Received 25.01.2019

**А. А. Пушкаръ, Д. В. Хлиманков, В. И. Соловей, Ю. С. Пусовская**

*Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию, Минск, Беларусь*

**ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ**  
**СУСЛА СПИРТОВОГО ПРОИЗВОДСТВА**  
**НА СТАДИЯХ МЕХАНИКО-ФЕРМЕНТАТИВНОЙ ОБРАБОТКИ**  
**ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ КОНЦЕНТРАЦИИ ЗЕРНОВЫХ ЗАМЕСОВ**

**Аннотация:** Спиртовое производство характеризуется высоким водопотреблением и расходом топливно-энергетических ресурсов, это сказывается на стоимости конечного продукта и его конкурентоспособности на рынке. Поэтому одной из актуальных задач спиртовой отрасли является совершенствование существующих и разработка новых технологий, направленных на сокращение энерго- и материалоемкости производства и оптимизацию биотехнологических процессов. Одним из перспективных направлений совершенствования технологии производства этилового спирта является внедрение низкотемпературных схем обработки зернового сырья и увеличение концентрации зерновых замесов сусла. Однако чрезмерное повышение содержания зернового сырья приводит к ухудшению реологических характеристик замесов и замедлению процессов ферментативной деструкции крахмалсодержащего сырья. Поэтому исследования, направленные на поиск оптимальных технологических приемов, позволяющих снизить вязкость высококонцентрированного зернового сусла, являются актуальными. В статье приведены результаты исследований по изучению динамики физико-химических показателей сусла спиртового из зерна ржи и тритикале в процессе механико-ферментативной обработки при увеличении концентрации зернового замеса и изменении гидромодуля соотношения зерна и воды от 1:3,0 до 1:2,2. С целью повышения текучести сусла были использованы ферментные препараты, гидролизующие некрахмалистые полисахариды, которые вносили двумя способами: одноступенчатым (все расчетное количество ферментов вносится на стадии приготовления замеса) и комбинированным (внесение 70 % ферментных препаратов на стадии приготовления замеса и 30 % – на стадии осахаривания). Проведен сравнительный анализ эффективности производственного процесса при каждом из указанных способов внесения ферментных препаратов на примере сусла из ржи и тритикале. Предложены эффективные способы снижения вязкости сусла из зерна тритикале, поступающего на брожение, показана неэффективность повышения концентрации сусла при переработке ржи. Полученные результаты могут быть использованы на предприятиях спиртовой отрасли, применяющих низкотемпературные схемы производства, с целью снижения материало- и энергоемкости процесса, а также служить основой для дальнейшего совершенствования биотехнологий. **Благодарности.** Работа выполнена в рамках государственной программы научных исследований «Качество и эффективность агропромышленного производства», подпрограмма «Продовольственная безопасность», задание 3.5. «Исследование биосинтеза этилового спирта путем направленного метаболизма дрожжевых клеток и процессов производства выдержанных крепких спиртных напитков на основе зерновых дистиллятов» (республиканский бюджет).

**Ключевые слова:** спиртовая отрасль, механико-ферментативная обработка ферментация, рожь, тритикале, зерновые замесы, брожение, сусло спиртовое, текучесть, концентрация сусла, вязкость сусла, крахмал, некрахмалистые полисахариды

**Для цитирования:** Изучение динамики изменения физико-химических показателей сусла спиртового производства на стадиях механико-ферментативной обработки при увеличении концентрации зерновых замесов / А. А. Пушкаръ, Д. В. Хлиманков, В. И. Соловей, Ю. С. Пусовская // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2019. – Т. 57, № 2. – С. 238–251. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2019-57-2-238-251>

A.A. Pushkar, D.V. Khlimankov, V.I. Solovei, Y.S. Pusovskay

*The Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus***DYNAMICS OF CHANGES OF PHYSICAL AND CHEMICAL INDICATORS OF THE WORT AT ALCOHOL PRODUCTION AND STAGES OF MECHANICAL AND ENZYMATIC TREATMENT AT INCREASE OF GRAIN CONCENTRATION**

**Abstract:** The article presents the results of studies on the dynamics of changes in the physicochemical parameters of wort at the stages of mechano-enzymatic treatment with increasing concentration of grain mixtures. The influence of physicochemical indices of wort on the stages of mechano-enzymatic treatment with an increase in the concentration of grain mixtures is established. Increasing the concentration of rye mixtures significantly worsens the conditions of enzymatic degradation of starch-containing raw materials in the process of mechanical and enzymatic processing. It has been established that rye processing at wort concentrations of more than 22.5 % is possible only in a mixture with triticale, which will contribute to a decrease in the yield strength of grain mixtures and wort both at the stage of mechanical and enzymatic processing and at the stage of fermentation. At the same time, the key element in the possibility of efficient processing of highly concentrated wort with a concentration of 23.5–26.9 %, both in the case of rye processing and triticale processing, is the need to develop technological methods to reduce the viscosity of the wort entering the fermentation. Combined use enzyme preparation, hydrolyzing non-starch polysaccharides, at the stages of batch preparation and saccharification showed a high perspective of this technological method, since wola get more mobile environment, entering the fermentation, providing further reduce the viscosity of the wort during fermentation. **Acknowledgments.** The work was carried out within the framework of the state program of scientific research “Quality and efficiency of agro-industrial production”, sub-programme “food security”, task 3.5. “Study of the biosynthesis of ethanol metabolism by directional yeast cells and processes for the production of aged spirits based on grain distillates” (Republican budget).

**Keywords:** batch, wort, enzyme, rye, triticale, fluidity, concentration, viscosity, starch, batch, research

**For citation:** Pushkar A. A., Khlimankov D. V., Solovei V. I., Pusovskaya Y. S. Dynamics of changes of physical and chemical indicators of the wort at alcohol production and stages of mechanical and enzymatic treatment at increase of grain concentration. *Vesti Natsyonal'nyay akademii nauk Belarusi. Seriya agrarnykh nauk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2019, vol. 57, no 2, pp. 238–251 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2019-57-2-238-251>

**Введение.** Характерной особенностью производства этилового спирта из пищевого сырья является высокая энерго- и материалоёмкость, поэтому одним из приоритетных направлений развития спиртовой отрасли является разработка прогрессивных ресурсосберегающих технологий, направленных на снижение расхода теплоэнергетических и сырьевых ресурсов, оптимизацию и интенсификацию протекания биотехнологических процессов, повышающих качество и конкурентоспособность конечной продукции.

Повышение концентрации сухих веществ зернового суслу на спиртовых предприятиях является одним из перспективных способов совершенствования существующих технологий, который позволяет снизить расход воды и топливно-энергетических ресурсов на стадиях водно-тепловой и ферментативной обработки сырья и брагоректификации, увеличить производительность предприятия без существенных капитальных затрат, уменьшить количество образующейся после-спиртовой барды [1–4].

Существует ряд факторов в спиртовом производстве, которые отрицательно влияют на возможность работы предприятий на повышенных концентрациях. В первую очередь, это значительное возрастание вязкости зерновых замесов и суслу на их основе. Вязкость технологических сред играет решающую роль в перемешивании и перекачивании зернового суслу, ее повышение препятствует эффективному ферментативному воздействию энзимов на биополимеры зернового сырья, осложняет тепло- и массообменные процессы, ухудшает сбраживание высококонцентрированной массы за счет высокого осмоса бродильного суслу [5–7]. Повышенное осмотическое давление в бродящем сусле затрудняет ассимиляцию питательных веществ дрожжами [8–10].

Проведенный мониторинг спиртовых предприятий Республики Беларусь показал, что в настоящее время более 90,0 % этилового спирта из пищевого сырья вырабатывается на концентрациях суслу до 21,0 % сухих веществ. Следует отметить, что в отрасли наметилась устойчивая тенденция к росту объема выпуска этилового спирта на повышенных концентрациях технологических сред. Так, при концентрациях суслу до 19,5 % сухих веществ объем произведенного этилового спирта в 2015–2017 гг. по сравнению с 2014 г. снизился с 72 до 50 %, в диапазоне концентраций 19,5–21,0 % возрос от 24 до 45 %, а на концентрациях свыше 21,0 % сухих веществ отмечен рост объема выпуска спирта от 4 до 6 %.

Растущий интерес отечественных производителей к возможности развития технологий, направленных на повышение концентраций перерабатываемого сусла, еще раз подчеркивает тот факт, что проведение научных изысканий в данном направлении, несомненно, является перспективным и актуальным.

Цель работы – изучение динамики изменения физико-химических показателей сусла спиртового производства на различных стадиях механико-ферментативной обработки при увеличении доли зернового сырья в зерновых замесах.

**Материалы и методы исследования.** Исследование влияния повышения содержания зернового сырья при приготовлении зерновых замесов на изменения физико-химических показателей сусла в процессе механико-ферментативной обработки проводили в лаборатории отдела технологий алкогольной и безалкогольной продукции Научно-практического центра Национальной академии наук Беларуси по продовольствию в 2018 г.

Объектами исследования являлось зерновое сырье – рожь и тритикале как основные зерновые культуры, перерабатываемые в спиртовой отрасли промышленности Республики Беларусь, ферментные препараты амилолитического, целлюлолитического спектра действия (Вискоферм и Ликвафло), активно использующиеся и хорошо себя зарекомендовавшие на спиртовых предприятиях республики. Следует отметить, что, как показывают результаты исследований ряда ученых [11–18], ферментные препараты в значительной степени обуславливают эффективность протекания биотехнологического процесса и влияют как на показатели зернового сусла, так и на процесс спиртового брожения.

На данном этапе исследований в качестве фермента, гидролизующего некрахмалистые полисахариды, применен Вискоферм в дозировке 0,20 дм<sup>3</sup>/т сухих веществ зерна (дм<sup>3</sup>/т СВ), в качестве источника термостабильной  $\alpha$ -амилазы – Ликвафло в дозировке 0,3 ед. АС/г условного крахмала ржи (ед. АС/г усл. кр.) и 0,24 ед. АС/г усл. кр. тритикале.

Процесс подготовки декстринизированного сусла осуществляли по технологическим режимам, широко используемым спиртовыми предприятиями республики: степень помола зерна – 94–95 % (проход через сито, диаметр отверстий 1 мм); механико-ферментативную обработку сырья проводили при температуре  $66 \pm 1$  °С в течение 30 мин с последующим прогревом замеса до 86 °С, далее осуществляли ферментативный гидролиз при температуре  $86 \pm 1$  °С в течение 2,5 ч; при комбинированном применении целлюлолитического ферментного препарата дополнительно проводили расхолаживание массы до  $60 \pm 1$  °С и выдержку при данной температуре в течение 30 мин (моделирование стадии осахаривания); корректировку активной кислотности (рН) в процессе механико-ферментативной обработки не проводили.

Полученное после механико-ферментативной обработки сусло охлаждали до  $35 \pm 0,5$  °С для контроля его параметров при подаче на брожение.

Процессы водно-тепловой и ферментативной обработки сырья проводили с использованием жидкостного термостата ВТ18-3, верхнеприводных перемешивающих устройств ES-8400 и лабораторной стеклянной посуды.

В ходе постановки экспериментальных образцов соотношение зерна и воды (гидромодуль) при приготовлении замесов варьировали от 1,0 : 3,0 до 1,0 : 2,2.

В Республики Беларусь работа по низкотемпературным схемам обработки зернового сырья в настоящее время ведется с применением осахаривателя, так и без него, когда процессы осахаривания совмещены с брожением и проходят непосредственно в бродильном чане. При отсутствии осахаривателя введение препарата, гидролизующего некрахмалистые полисахариды, осуществляется в количестве 100 % на стадии приготовления замеса. В случае наличия стадии осахаривания спиртовые предприятия, как правило, используют комбинированный способ задачи целлюлолитического ферментного препарата, при котором 70–90 % расчетного количества энзима вносится на стадии приготовления замеса, а оставшиеся 10–30 % на стадии осахаривания параллельно с источником глюкоамилазы.

Учитывая вышеизложенное, при проведении исследовательских работ ферментный препарат, гидролизующий некрахмалистые полисахариды, задавали двумя способами:

1) одноступенчатым способом: в образцах № 1–№ 4 (рожь) и № 9–№ 12 (тритикале) 100 % от расчетного количества фермента вносили на стадии приготовления замеса;

2) комбинированным способом: в образцах №5–№8 (рожь) и №13–№16 (тритикале) 70 % от расчетного количества фермента вносили на стадии приготовления замеса, а оставшиеся 30 % – на стадии осахаривания.

Текучесть суслу (время истечения 100 см<sup>3</sup> массы из через отверстие диаметром 8 мм) определяли на Вискозиметре ВЗ-246.

Физико-химические показатели (начальную и конечную активную кислотность (рН), концентрацию растворимых сухих веществ (СВ, %), концентрацию редуцирующих веществ по окончании процесса (РВ, %), окрашивание суслу по йодной пробе) определяли согласно инструкции технохимического контроля спиртового производства<sup>1</sup>.

**Результаты и их обсуждение.** Результаты по контролю изменения концентрации растворимых сухих веществ суслу в процессе механико-ферментативной обработки в зависимости от используемого сырья и гидромодуля зернового замеса при различных способах внесения целлюлолитического ферментного препарата представлены в табл. 1. В таблице также отражено изменение активной кислотности в процессе механико-ферментативной обработки и концентрация РВ по окончании процесса, изменение окраски суслу с йодом.

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о том, что с понижением соотношения зерна и воды при приготовлении замеса с 1,0:3,0 до 1,0:2,2 к концу процесса механико-ферментативной обработки концентрация сухих веществ ржаного суслу возрастает от 20,5–20,7 до 26,3–26,6 %, концентрация сухих веществ тритикалевого суслу – от 21,2–21,3 до 26,8–26,9. Комбинированное применение ферментного препарата, гидролизующего некрахмалистые полисахариды, не приводит к существенному изменению концентрации суслу по окончании механико-ферментативной обработки.

Для всех исследованных образцов динамика накопления сухих веществ показывает, что наиболее интенсивный переход компонентов сырья в растворимое состояние происходит в первые 160 мин водно-тепловой и ферментативной обработки, далее процесс замедляется – прирост концентрации не превышает 0,1–0,3 %. Вместе с этим контроль глубины гидролиза крахмала с йодом показал, что при переработке зерна ржи к 160 мин экспозиции в образцах №1, №2, №5, №6 при концентрации суслу 20,3–22,6 % окрашивание фильтрата было коричневым, что свидетельствовало о глубоком гидролизе крахмала сырья до низкомолекулярных декстринов. В образцах №3, №7 с гидромодулем 1,0:2,4 при окрашивании фильтрата суслу йодом было зафиксирован темно-коричневый цвет, что свидетельствовало о незначительном ухудшении условий протекания ферментативной деструкции крахмала зерна ржи. Повышение гидромодуля в образцах №4, №8 до 1,0:2,2 еще больше усугубляло глубину протекания процесса механико-ферментативной обработки – проба с йодом давала серо-синее окрашивание с темно-коричневыми оттенками.

По окончании механико-ферментативной обработки в образцах №1–№3, №5–№7 окрашивание было светло-коричневым и коричневым, а в образцах №4, №8 при концентрации сухих веществ суслу 26,3–26,6 % – темно-коричневым.

Таким образом, можно констатировать, что повышение концентрации ржаных замесов ухудшает условия ферментативной деструкции крахмалсодержащего сырья в процессе механико-ферментативной обработки.

В случае переработки тритикале при пробе фильтрата декстринизированного суслу с йодом отмечена менее выраженная тенденция к ухудшению глубины ферментативной деструкции крахмала зерна. Для образцов №9–№11, №13–№15 к 160 мин механико-ферментативной обработки при концентрации суслу 21,1–25,2 % проба с йодом давала коричневое окрашивание, при этом в образцах №12, №16 при гидромодуле 1,0:2,2 окрашивание фильтрата было темно-коричневым. По окончании процесса обработки (к 220 мин гидролиза) во всех образцах отмечалось коричневое и светло-коричневое окрашивание.

Контроль активной кислотности до и после водно-тепловой и ферментативной обработки показал минимальное изменение рН: при переработки зерна ржи активная кислотность снижалась с 6,49–6,51 до 6,42–6,45 ед., при переработки зерна тритикале – с 6,54–6,57 до 6,47–6,51 ед.

<sup>1</sup> Рухлядева А. П. Технохимический контроль спиртового производства. – М. : Пищевая пром-сть, 1974. – 355 с.

Т а б л и ц а 1. Изменение физико-химических показателей суслу в процессе механико-ферментативной обработки при увеличении концентрации зерновых замесов  
 Table 1. Changes of physical and chemical indicators of the wort during mechanical and enzymatic treatment at increase of grain batch concentration

Вариант опыта	Гидромодуль (соотношения зерна и воды при притовлении)	Дозировка целлюлозного фермента на стадии притовления замеса, дм <sup>3</sup> /т СВ	Стадии технологического процесса												Показатели суслу по окончании эксперимента		
			Приготовление замеса при температуре 65–67 °С			Механико-ферментативная обработка зернового сырья при температуре 85–87 °С			Обработка (осахаривание) при 60 °С			250 мин экспозиции			СВ, %	РВ, %	рН
			10 мин экспозиции	30 мин экспозиции	70 мин экспозиции	160 мин экспозиции	220 мин экспозиции	дозировка целлюлозного фермента, дм <sup>3</sup> /т СВ	СВ, %	окрашивание с йодом	СВ, %	окрашивание с йодом	СВ, %				
Замесы из ржи																	
1	1,0:3,0	0,20	19,2	Ф	19,5	Ф	19,9	СС	20,3	К	20,5	СК	–	–	20,5	7,1	6,42±0,02
2	1,0:2,7	0,20	20,3	Ф	20,8	Ф	21,9	СС	22,4	К	22,5	К	–	–	22,5	7,2	6,43±0,02
3	1,0:2,4	0,20	22,3	Ф	22,6	Ф	24,3	СС	24,3	ТК	24,5	К	–	–	24,5	7,5	6,45±0,02
4	1,0:2,2	0,20	22,7	Ф	24,4	Ф	25,9	СС	26,5	СС-ТК	26,6	ТК	–	–	26,6	7,8	6,43±0,02
5	1,0:3,0	0,14	19,4	Ф	19,9	Ф	20,5	СС	20,6	К	20,7	СК	0,06	20,7	20,7	5,2	6,45±0,02
6	1,0:2,7	0,14	21,1	Ф	21,5	Ф	22,3	СС	22,6	К	22,6	К	0,06	22,7	22,7	6,0	6,44±0,02
7	1,0:2,4	0,14	23,2	Ф	23,4	Ф	24,5	Ф	24,7	ТК	24,7	К	0,06	24,8	24,8	6,4	6,43±0,02
8	1,0:2,2	0,14	23,3	Ф	24,6	Ф	25,7	Ф	26,2	СС-ТК	26,3	ТК	0,06	26,5	26,5	6,8	6,45±0,02
Замесы из тритикале																	
9	1,0:3,0	0,20	17,9	Ф	19,7	СС	20,8	СС	21,1	К	21,2	СК	–	–	21,2	8,2	6,50±0,02
10	1,0:2,7	0,20	19,5	Ф	21,4	Ф	22,9	СС	23,3	К	23,4	СК	–	–	23,4	9,0	6,50±0,02
11	1,0:2,4	0,20	21,3	Ф	23,0	Ф	24,7	СС	25,0	К	25,1	К	–	–	25,1	9,6	6,48±0,02
12	1,0:2,2	0,20	23,7	Ф	25,1	Ф	26,3	СС	26,6	ТК	26,9	К	–	–	26,9	9,8	6,47±0,02
13	1,0:3,0	0,14	18,7	Ф	19,6	Ф	20,7	СС	21,3	К	21,3	СК	0,06	21,4	21,4	7,0	6,49±0,02
14	1,0:2,7	0,14	20,6	Ф	21,1	Ф	22,4	СС	22,9	К	23,0	К	0,06	23,2	23,2	7,6	6,50±0,02
15	1,0:2,4	0,14	22,4	Ф	23,4	Ф	24,9	СС	25,2	К	25,2	К	0,06	25,3	25,3	8,6	6,51±0,02
16	1,0:2,2	0,14	23,3	Ф	25,1	Ф	26,4	Ф	26,8	ТК	26,8	К	0,06	26,9	26,9	9,2	6,51±0,02

У с л о в н ы е о б о з н а ч е н и я. Оценка глубины ферментативного гидролиза крахмала зернового сырья по йодной пробе: Ф – фиолетовое окрашивание; СС – серое с синеватым оттенком окрашивание; К – коричневое окрашивание; ТК – темно-коричневое окрашивание; СК – светло-коричневое окрашивание.

Незначительное изменение рН свидетельствовало о высокой чистоте протекания процесса механико-ферментативной обработки, проводимого в лабораторных условиях.

Изучение концентрации редуцирующих веществ по окончании процесса механико-ферментативной обработки показывает, что как при переработке ржи, так и при переработке тритикале при снижении гидромодуля с 1,0:3,0 до 1,0:2,2 растет содержание веществ, обладающих редуцирующими свойствами, а комбинированная задача целлюлолитического ферментного препарата уменьшает накопление последних в сусле.

Так, при переработке зерна ржи с уменьшением соотношения зерна и воды с 1,0:3,0 до 1:2,2 отмечено, что при 100%-ной задаче на стадию приготовления замеса фермента, гидролизующего некрахмалистые полисахариды, содержание редуцирующих веществ суслу возрастает от 7,1 до 7,8 %; при комбинированном применении фермента, гидролизующего некрахмалистые полисахариды, содержание редуцирующих веществ суслу – от 5,2 до 6,8 %.

При переработке зерна тритикале с уменьшением гидромодуля с 1,0:3,0 до 1,0:2,2 отмечено, что при 100%-ной задаче на стадию приготовления замеса фермента, гидролизующего некрахмалистые полисахариды, содержание редуцирующих веществ суслу возрастает от 8,2 до 9,8 %; при комбинированном применении фермента, гидролизующего некрахмалистые полисахариды, содержание редуцирующих веществ суслу – от 7,0 до 9,2 %.

Повышение концентрации редуцирующих веществ в сусле может быть обусловлено ростом удельного веса в замесах свободных редуцирующих углеводов зерна параллельно с увеличением доли сырья при понижении гидромодуля.

Уменьшение накопления редуцирующих веществ при комбинированной задаче ферментного препарата может быть связано со снижением подвижности технологической среды на стадии приготовления замеса при сокращении дозировки энзима и, как следствие, ухудшения условий протекания ферментативного гидролиза крахмала,  $\beta$ -глюканов, арабосиланов на стадии приготовления замеса и последующей стадии механико-ферментативной обработке (МФО).

Для наиболее полной оценки изменения физико-химических свойств суслу в процессе механико-ферментативной обработки при уменьшении гидромодуля зерновых замесов в лабораторных условиях были проведены работы по изучению динамики изменения реологических характеристик зерновой массы. Оценку подвижности технологических сред проводили по измерению ее текучести.

Результаты по изучению изменения текучести замесов из ржи в процессе их механико-ферментативной обработки в зависимости от исходного соотношения зерна и воды представлены на рис. 1, 2. Дополнительно на рисунках приведена текучесть суслу при его охлаждении до температуры брожения  $35 \pm 0,5$  °С и после 2 ч экспозиции при данной температуре.

Анализ данных рис. 1 показывает, что с понижением гидромодуля с 1,0:3,0 до 1,0:2,2 текучесть в начале технологического процесса возрастает от 17 до 135 с, достигая максимума при соотношении зерна и воды 1,0:2,2.

В настоящее время на большинстве спиртовых предприятиях республики гидромодуль при приготовлении замесов колеблется в пределах (1,0:3,0)–(1,0:2,7), тем самым обеспечивая накопление сухих веществ в декстринизированном (осахаренном сусле) на уровне 19,0–22,5 %. Поэтому показатели текучести при таком соотношении зерна и воды нужно использовать в качестве базовых (контрольных) при оценке изменения реологических свойств технологических средств с увеличением в замесах зерновой составляющей. Так, в образцах с гидромодулем 1,0:3,0 и 1,0:2,7 текучесть зернового замеса в начале эксперимента составляла 17 и 25 с, при уменьшении гидромодуля до 1,0:2,4 текучесть возрастала до 50 с, дальнейшее уменьшение удельного веса воды приводило к возрастанию текучести до 135 с.

В ходе водно-тепловой и ферментативной обработки текучесть ржаных замесов снижалась для всех образцов. Значительное улучшение подвижности среды было достигнуто к 30–40 мин обработки, при этом минимальные значения текучести были зафиксированы к 70–80 мин механико-ферментативной обработки. В образцах при гидромодулях 1,0:3,0 и 1,0:2,7 текучесть находилась в пределах 4–5 с и не изменялась до конца обработки (220 мин). В образцах при гидромодулях 1,0:2,4 и 1:2,2 после 80 мин водно-тепловой

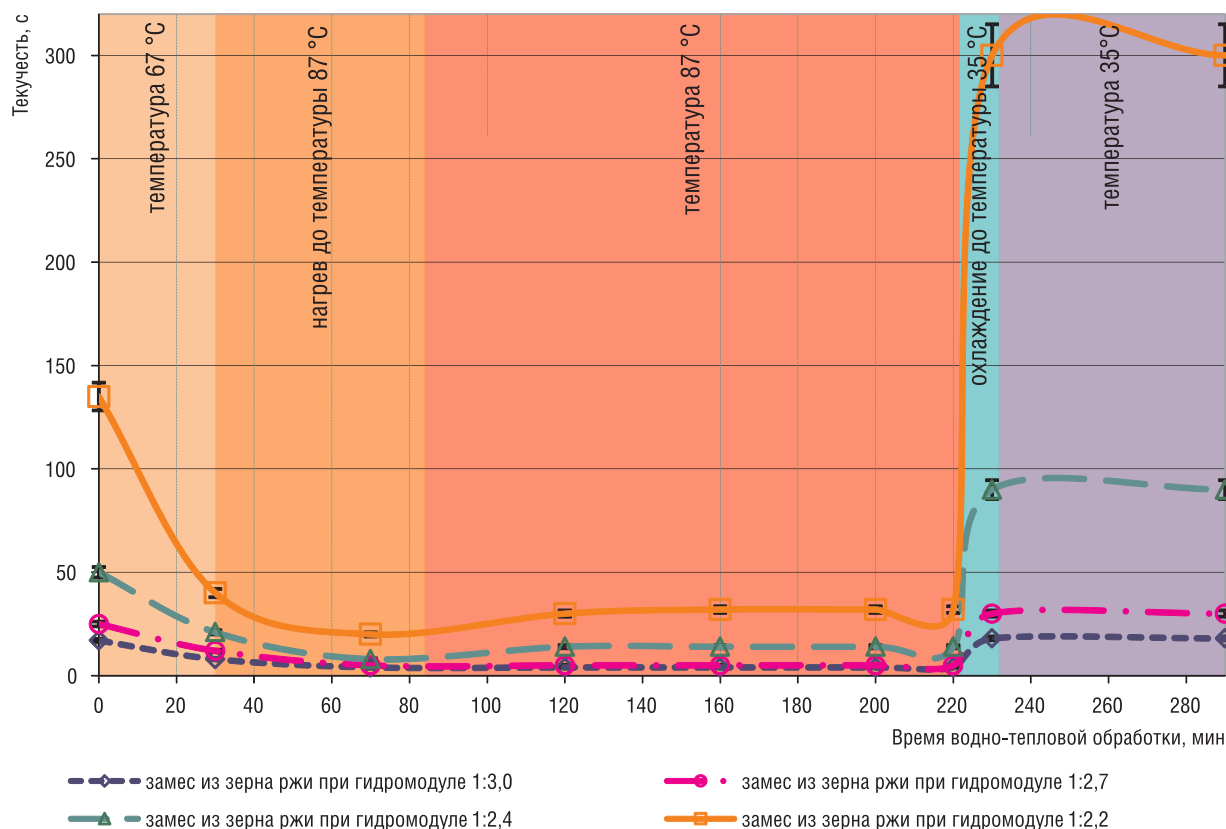


Рис. 1. Динамика изменения текучести замеса из зерна ржи в процессе водно-тепловой и ферментативной обработки в зависимости от исходного гидромодуля при одноступенчатой задаче целлюлолитического фермента

Fig. 1. Dynamics of changes in fluidity of rye grain batch during water-heat and enzymatic treatment depending on the initial hydromodule with a single-stage task of cellulolytic enzyme

и ферментативной обработки наметилась тенденция к росту вязкости суслу, при этом после 120 мин гидролиза изменение реологических свойств сред практически прекращалось. Рост вязкости среды в интервале между 80 и 120 мин обработки может быть обусловлен набуханием части биополимеров зерна, не подвергающейся на данной стадии ферментативному гидролизу (белки, клетчатка и др.).

По окончании процесса МФО текучесть зернового замеса при исходном гидромодуле 1,0 : 2,4 составила 14 с, превышая контрольные образцы в 2,8–3,5 раза, при исходном гидромодуле 1,0 : 2,2 подвижность суслу упала до 32 с, превышая контрольные образцы в 6,4–8,0 раз.

Контроль текучести технологических сред при их охлаждении до температуры проведения процесса сбраживания еще больше усугубил окончательные параметры высококонцентрированных замесов. Если в контрольных образцах текучесть возросла до 18–30 с, то в образцах с гидромодулем 1,0 : 2,4 и 1,0 : 2,2 она увеличилась до 90 и 300 с соответственно.

Данные результаты подчеркивают бесперспективность переработки 100 % ржи при концентрациях перерабатываемого суслу 24,0–26,6 %, так как существующие на спиртовых предприятиях режимы (условия) проведения МФО, осахаривания и брожения не обеспечат необходимую подвижность технологических сред. Рост вязкости суслу в 5–10 раз будет провоцировать ухудшение ферментативных процессов на данных стадиях производства спирта и прогнозируемо замедлять метаболическую активность дрожжевых клеток, подвергнутых осмотической нагрузке при переработке суслу повышенных концентраций.

Анализ данных графика, представленного на рис. 2, показывает, что с понижением гидромодуля с 1 : 3,0 до 1 : 2,2 при комбинированном (70 % на замес и 30 % на осахаривание) применении фермента, гидролизующего некрахмалистые полисахариды, изменение текучести коррелировало с текучестью зерновых замесов, приготовленных с разовым внесением расчетного количества энзима на стадии приготовления замеса, при этом понижение дозировки

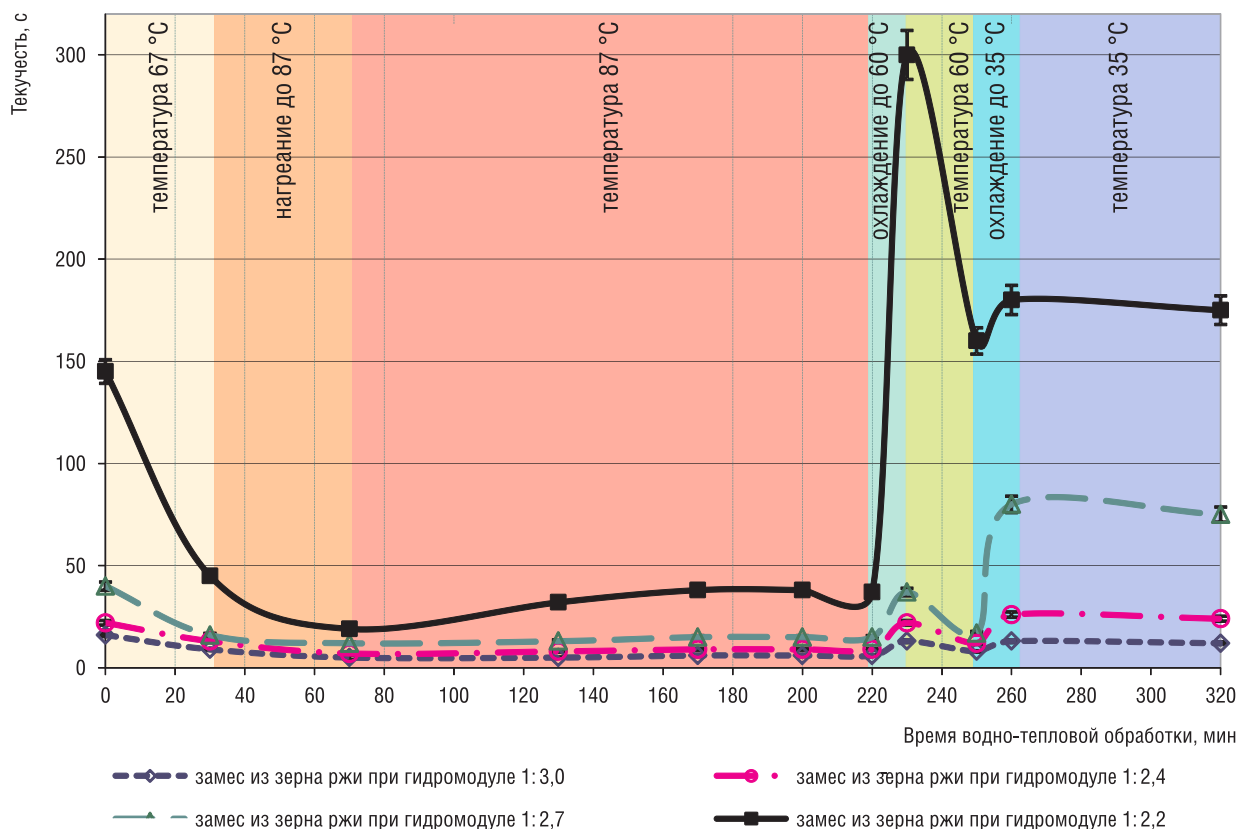


Рис. 2. Динамика изменения текучести замеса из зерна ржи в процессе водно-тепловой и ферментативной обработки в зависимости от исходного гидромодуля при комбинированной задаче целлюлолитического фермента

Fig. 2. Dynamics of changes in fluidity of rye grain batch during water-heat and enzymatic treatment depending on the initial hydromodule with a combined task of cellulolytic enzyme

целлюлолитического ферментного препарата прогнозируемо привело к незначительному росту текучести.

В начале МФО текучесть замесов при контрольных гидромодулях 1,0:3,0 и 1,0:2,7 составила 16 и 22 с, после чего (к 70–80 мин обработки) достигала минимальных значений – 5 и 7 с соответственно. По окончании МФО незначительно выростала – до 6 и 9 с соответственно, при этом концентрация декстринизированного сусла составила 20,7 и 22,6 %. Сравнивая полученные результаты с ранее зафиксированными данными при разовом внесении фермента, гидролизующего некрахмалистые полисахариды, можно констатировать рост текучести в 1,5–1,8 раза.

При МФО замеса с гидромодулем 1,0:2,4 минимальное значение текучести 12 с отмечено также к 70–80 мин обработки, к 220 мин текучесть незначительно увеличивалась до 15 с, превышая контрольные образцы в 1,7–2,5 раза. При МФО замеса с гидромодулем 1,0:2,2 минимальное значение текучести 19 с отмечено также к 70–80 мин обработки, к 220 мин текучесть возрастала до 37 с, превышая контрольные образцы в 4,1–6,1 раза.

По окончании МФО в образцах, приготовленных из зерна ржи при гидромодуле замеса 1,0:2,4 и 1,0:2,2, концентрация сусла составила 24,7 и 26,3 %.

Комбинированное применение целлюлолитического фермента с уменьшением его дозировки на стадии приготовления замеса до 70 % от установленной нормы расхода привело к незначительному росту текучести во всех экспериментальных образцах на 1–5 с.

Охлаждение до температуры осахаривания  $60 \pm 1$  °C привело к ухудшению подвижности технологической среды, при этом внесение 30 % целлюлолитического ферментного препарата способствовало снижению текучести:

1) в контрольных образцах при гидромодулях 1,0:3,0 и 1,0:2,7 текучесть после охлаждения возросла до 13 и 22 с, или в 2,1–2,4 раза, а после 30 мин гидролиза при температуре



$60 \pm 1$  °C снизилась до 8 и 12 с соответственно. При охлаждении данного суслу до температуры сбраживания текучесть составила 13–26 с;

2) в образце с гидромодулем 1,0:2,4 текучесть замеса с концентрацией 24,7 % после охлаждения возросла до 37 с, или в 2,5 раза, а после 30 мин гидролиза снизилась до 17 с. При охлаждении данного суслу до температуры сбраживания текучесть составила 80 с;

3) в образце с гидромодулем 1,0:2,2 текучесть замеса с концентрацией 26,3 % после охлаждения возросла до 300 с, или в 8,1 раза, а после 30 мин гидролиза снизилась до 160 с. При охлаждении суслу до температуры сбраживания текучесть составила 180 с.

Ферментативный гидролиз данных образцов в течение 2 ч при  $35 \pm 1$  °C позволил улучшить подвижность технологических сред на 1–5 с, что обусловлено работой целлюлолитического фермента, введенного на стадии осахаривания.

Комбинированное использование целлюлолитического ферментного препарата позволило улучшить реологические свойства суслу, поступающего на брожение, при этом текучесть для исследованных гидромодулей зерновых замесов снизилась в 1,1–1,7 раза, достигнув максимальных значений при соотношении зерна и воды 1,0:2,2 (концентрация суслу 26,5 %).

Результаты по изучению изменения текучести замесов из тритикале в процессе их механико-ферментативной обработки в зависимости от исходного соотношения зерна и воды представлены на рис. 3, 4. Дополнительно на рисунках приведена текучесть суслу при его охлаждении до температуры брожения  $35 \pm 0,5$  °C и после 2 ч экспозиции при данной температуре.

Анализ данных графика, представленного на рис. 3, показывает, что при переработке тритикале значения текучести зерновых замесов в целом значительно ниже, чем при переработке ржи, что обусловлено различным химическим составом данных зерновых культур. Понижение гидромодуля с 1:3,0 до 1:2,2 в начале МФО приводит к росту текучести замеса от 7 до 18 с, до-

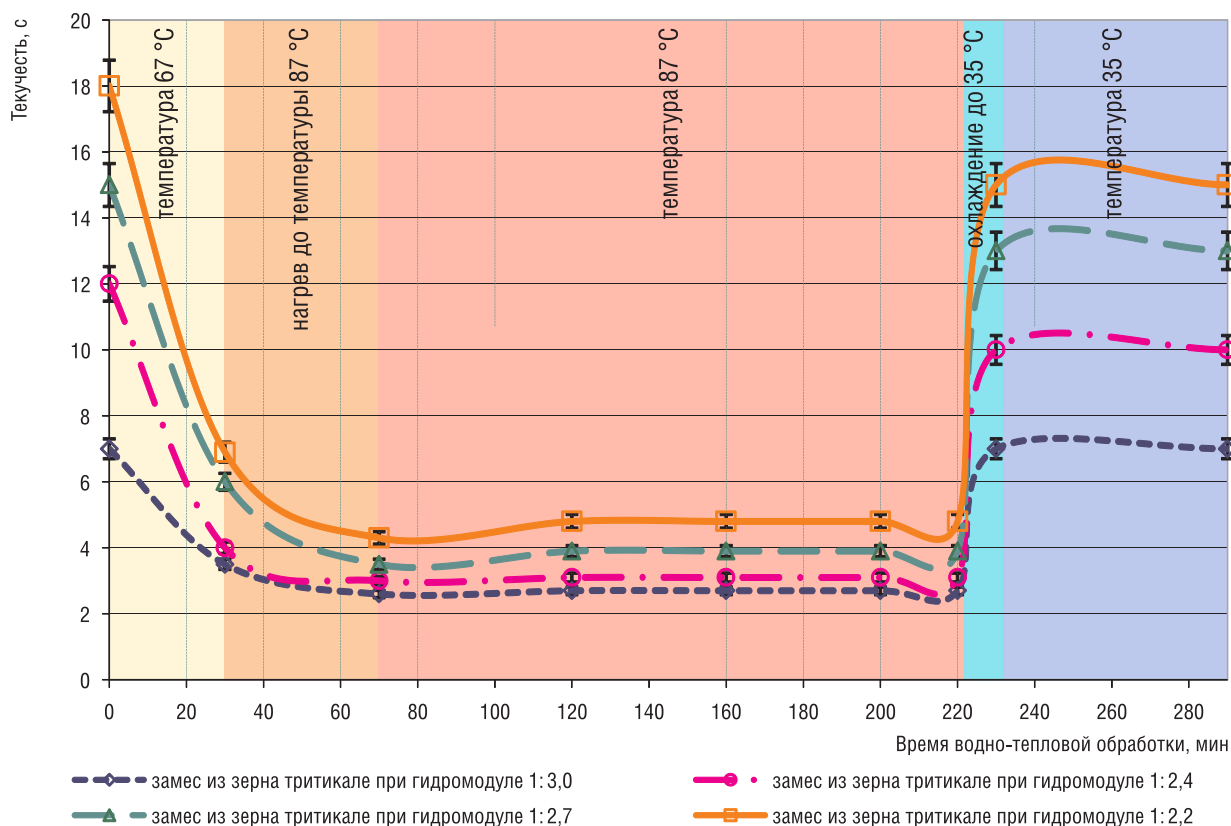


Рис. 3. Динамика изменения текучести замеса из зерна тритикале в процессе водно-тепловой и ферментативной обработки в зависимости от исходного гидромодуля при одноступенчатой задаче целлюлолитического фермента

Fig. 3. Dynamics of changes in fluidity of triticale grain batch during water-heat and enzymatic treatment depending on the initial hydromodule with a single-stage task of cellulolytic enzyme

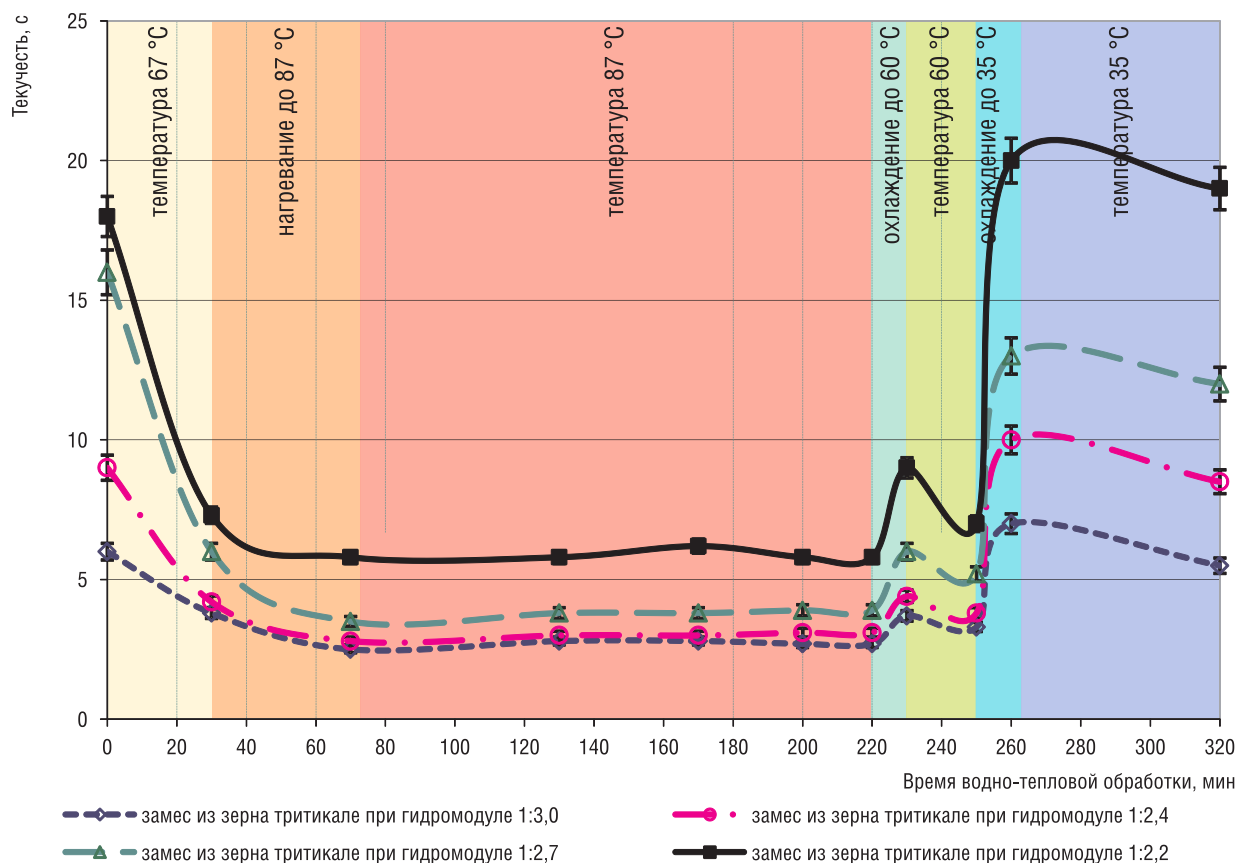


Рис. 4. Динамика изменения текучести замеса из зерна тритикале в процессе водно-тепловой и ферментативной обработки в зависимости от исходного гидромодуля при комбинированной задаче целлюлолитического фермента  
 Fig. 4. Dynamics of changes in fluidity of triticale grain batch during water-heat and enzymatic treatment depending on the initial hydromodule with a combined task of cellulolytic enzyme

стигая максимума при соотношении зерна и воды 1,0:2,2. Вместе с этим при переработке ржи данный показатель при гидромодуле 1,0:2,2 достигает 135 с, что в 7,5 раза больше. Данный факт подчеркивает нетехнологичность зерновых замесов, приготовленных на 100 % ржи с конечной концентрацией сухих веществ суслу 24,5–26,6 %.

Минимальные значения текучести для всех экспериментальных образцов, как и при переработке ржи, отмечены для тритикалевых замесов к 70–80 мин экспозиции. По окончании МФО зафиксированы следующие реологические характеристики зерновых замесов из тритикале:

1) в контрольных образцах с гидромодулями 1,0:3,0 и 1:2,7 при концентрации суслу 21,2–23,4 % текучесть колебалась в пределах 2,7–3,1 с. Охлаждение замесов до температуры брожения привело к росту текучести до 7–10 с, или в 2,6–3,2 раза.

2) в образце с гидромодулем 1,0:2,4 текучесть замеса с концентрацией 25,1 % составила 3,9 с, что превышает контрольные образцы в 1,3–1,4 раза. Охлаждение замесов до температуры брожения привело к увеличению текучести до 13 с, или в 3,3 раза;

3) в образце с гидромодулем 1,0:2,2 текучесть замеса с концентрацией 26,9 % составила 4,8 с, что превышает контрольные образцы в 1,5–1,8 раза. Охлаждение замесов до температуры брожения привело к увеличению текучести до 15 с, или в 3,1 раза.

Анализ данных рис. 4 показал, что при комбинированном применении фермента, гидролизующего некрахмалистые полисахариды, динамика изменения текучести зерновых замесов в рассматриваемом диапазоне гидромодулей оставалась схожей, при этом отмечен минимальный рост текучести в образце с гидромодулем зернового замеса 1,0:2,2. В данном образце по окончании МФО зафиксировано значение текучести, равное 5,8 с, что превышало контрольные

образцы в 1,9–2,1 раза. По окончании процесса МФО в контрольных образцах при гидромодулях 1,0 : 3,0 и 1,0 : 2,7 текучесть составила 2,7 и 3,1 с; в образце с гидромодулем 1,0 : 2,4 – 3,9 с.

Внесение целлюлолитического ферментного препарата на стадии осахаривания способствовало снижению текучести во всех экспериментальных образцах. Наиболее ярко данный факт выражен при переработке замесов при гидромодулях 1,0 : 2,2 и 1,0 : 2,4.

Комбинирование применения целлюлолитического ферментного препарата позволило снизить текучесть поступающих на брожение замесов из тритикале, обеспечив данную тенденцию снижения вязкости в ходе последующей экспозиции образцов при температуре  $35 \pm 0,5$  °С.

Текучесть тритикалевого сусла, поступающего на брожение, для контрольных образцов с концентрацией сухих веществ 21,4–23,2 % составила 7 и 10 с; для образцов с исходным гидромодулем 1,0 : 2,4 и 1,0 : 2,2 при концентрации сусла 25,3 и 26,9 % – 13 и 20 с соответственно.

Комбинированное применение целлюлолитического ферментного препарата показало высокую перспективность, так как позволяет получить более подвижные среды, поступающие на брожение, способствует снижению вязкости сусла в ходе биосинтеза этилового спирта.

### Выводы

1. В результате проведенных исследований установлено, что с понижением гидромодуля при приготовлении замеса с 1 : 3,0 до 1 : 2,2 к концу процесса механико-ферментативной обработки концентрация сухих веществ ржаного сусла возрастает от 20,5–20,7 до 26,3–26,6 %, концентрация сухих веществ тритикалевого сусла – от 21,2–21,3 до 26,8–26,9. Комбинированное применение ферментного препарата, гидролизующего некрахмалистые полисахариды, не приводило к существенному изменению концентрации сусла по окончании механико-ферментативной обработки. Отмечено, что повышение концентрации ржаных замесов существенно ухудшало условия ферментативной деструкции крахмалсодержащего сырья в процессе механико-ферментативной обработки.

2. Изучение изменения концентрации редуцирующих веществ по окончании процесса механико-ферментативной обработки показало, что как при переработке ржи, так и при переработке тритикале при снижении гидромодуля с 1,0 : 3,0 до 1,0 : 2,2 растет содержание веществ, обладающих редуцирующими свойствами, а комбинированная задача целлюлолитического ферментного препарата уменьшает их накопление в сусле. Уменьшение накопления редуцирующих веществ при комбинированной задаче ферментного препарата может быть связано со снижением подвижности технологической среды на стадии приготовления замеса при сокращении дозировки энзима и, как следствие, ухудшения условий протекания ферментативного гидролиза крахмала, некрахмалистых полисахаридов при МФО.

3. Изучение динамики изменения физико-химических показателей сусла на стадиях механико-ферментативной обработки при увеличении концентрации зерновых замесов позволило установить существенные различия при переработке зерна ржи и тритикале. В случае переработки зерна ржи при повышении гидромодулей зерновых замесов до (1,0 : 2,4) – (1,0 : 2,2) отмечается значительное увеличение вязкости технологических сред, что исключает возможность переработки ржи как единственной зерновой культуры. Предполагаем, что понижения текучести зерновых замесов и ржаного сусла концентрацией более 22,5 % как на стадии МФО, так и на стадии брожения можно достичь путем добавления зерна тритикале.

При этом ключевым элементом в возможности эффективной переработки высококонцентрированного сусла концентрацией 23,5–26,9 % как в случае переработки ржи, так и в случае переработки тритикале является необходимость разработки технологических приемов (способов), позволяющих снизить вязкость сусла, поступающего на брожение.

4. Комбинированное применение ферментного препарата, гидролизующего некрахмалистые полисахариды, на стадиях приготовления замеса и осахаривания показало высокую перспективность данного технологического приема, так как позволяет получить более подвижные среды, поступающие на брожение, обеспечив дальнейшее снижения вязкости сусла в ходе ферментации.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках государственной программы научных исследований «Качество и эффективность агропромышленного производства», подпрограмма «Продовольственная безопасность», задание 3.5. «Исследование биосинтеза этилового спирта путем направленного метаболизма дрожжевых клеток и процессов производства выдержанных крепких спиртных напитков на основе зерновых дистиллятов» (республиканский бюджет).

### Список использованных источников

1. Казаков, Е. Д. Изменение структуры и текстуры тканей зерна при гидротермической обработке / Е. Д. Казаков // Изв. высш. учеб. заведений. Пищевая технология. – 1997. – №2–3. – С. 8–10.
2. Крикунова, Л. Н. Низкотемпературный способ получения ржаного суслу / Л. Н. Крикунова, С. М. Рябова // Пр-во спирта и ликероводоч. изделий. – 2011. – №4. – С. 14–16.
3. Римарева, Л. В. Повышение эффективности биотехнологических процессов спиртового производства / Л. В. Римарева // Пр-во спирта и ликероводоч. изделий. – 2003. – №4. – С. 13–18.
4. Жиров, В. М. Приготовление зернового суслу без температурного разваривания сырья / В. М. Жиров, С. Ю. Макаров, О. П. Преснякова // Хранение и перераб. сельхозсырья. – 2014. – №11. – С. 11–14.
5. Снижение вязкости при сбраживании суслу высокой концентрации / Э. Йенсер [и др.] // Пр-во спирта и ликероводоч. изделий. – 2007. – №4. – С. 23–26.
6. Production of fuel alcohol from hull-less barley by very high gravity technology / K. C. Thomas [et al.] // Cereal Chemistry. – 1995. – Vol. 72, №4. – P. 360–364.
7. Мальцев, П. М. Технология бродильных производств. Общий курс / П. М. Мальцев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Пищевая пром-сть, 1980. – 560 с.
8. Римарева, Л. В. Теоретические и практические основы биотехнологии дрожжей / Л. В. Римарева. – М. : ДеЛи принт, 2010. – 251 с.
9. Casey, G. P. Ethanol tolerance in yeasts / G. P. Casey, W. M. Ingledew // Crit. Rev. in Microbiology. – 1986. – Vol. 13, №3. – P. 219–280. <https://doi.org/10.3109/10408418609108739>
10. A study of ethanol tolerance in yeast / T. D'Amore [et al.] // Crit. Rev. in Biotechnology. – 1990. – Vol. 9, N 4. – P. 287–304. <https://doi.org/10.3109/07388558909036740>
11. Исследование ферментов фитолитического действия на показатели зернового суслу и процесс спиртового брожения / Л. В. Римарева [и др.] // Актуальные вопросы индустрии напитков : сб. науч. тр. / Всерос. науч.-исслед. ин-т пивовар., безалкогол. и винодел. пром-сти. – М., 2018. – Вып. 2. – С. 136–140.
12. Ферментные препараты и их влияние на биокаталитические процессы глубокой переработки зернового сырья, технологические показатели зернового суслу, процессы генерации дрожжей и спиртовое брожение / Л. В. Римарева [и др.] // Современные биотехнологические процессы, оборудование и методы контроля в производстве спирта и ликероводочных изделий : сб. науч. тр. / Всерос. науч.-исслед. ин-т пищевой биотехнологии ; науч. ред.: В. А. Поляков, Л. В. Римарева. – М., 2015. – С. 10–27.
13. Влияние протеолитических ферментных препаратов на перераспределение белковых фракций в ходе усовершенствования технологии получения концентрированного суслу / М. В. Корчагина [и др.] // Инновационные решения при производстве продуктов питания из растительного сырья : сб. науч. ст. и докл. II Междунар. науч.-практ. конф., Воронеж, 26–27 окт. 2016 г. / Воронеж. гос. ун-т инженер. технологий ; редкол.: Г. В. Агафонов и др. – Воронеж, 2016. – С. 151–157.
14. Шиян, П. Л. Влияние температуры и pH на гидролиз биополимеров зерновых замесов при использовании кислотостойких ферментных препаратов в спиртовом производстве / П. Л. Шиян, Т. О. Мудрак, Я. А. Боярчук // Перспективные ферментные препараты и биотехнологические процессы в технологиях продуктов питания и кормов : сб. науч. тр. / Всерос. науч.-исслед. ин-т пищевой биотехнологии ; под ред. В. А. Полякова, Л. В. Римаревой. – М., 2014. – С. 220–229.
15. Востриков, С. В. Эффективность брожения осветленного и традиционного зернового суслу при использовании протосубтилина Г10х на стадии приготовления замеса / С. В. Востриков, М. В. Боднар // Изв. высш. учеб. заведений. Пищевая технология. – 1999. – №1. – С. 43–45.
16. Сабиров, А. А. Повышение биологической ценности зернового суслу с помощью внесения препаративных протеолитических ферментов / А. А. Сабиров // Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции : сб. ст. по материалам междунар. науч.-практ. конф., 19 марта 2018 г. / Кург. гос. с.-х. акад. им. Т. С. Мальцева ; под общ. ред. С. Ф. Сухановой. – Курган, 2018. – С. 284–288.
17. Ковалева, Т. С. Влияние мультиэнзимного комплекса на реологические характеристики ячменных замесов / Т. С. Ковалева, Г. В. Агафонов, А. Н. Яковлев // Актуал. биотехнология. – 2016. – №3 (18). – С. 179.
18. Влияние комплекса ферментов на вязкость ячменных замесов / А. Н. Яковлев [и др.] // Производство и переработка сельскохозяйственной продукции: менеджмент качества и безопасности : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Воронеж, 17–18 мая 2016 г. / Воронеж. гос. аграр. ун-т им. императора Петра I ; редкол.: Н. И. Бухтояров [и др.]. – Воронеж, 2016. – С. 111–113.

## References

1. Kazakov E. D. Structural and textural changes in grain tissues during hydrothermal processing. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Pishchevaya tekhnologiya = New of Institutes of Higher Education. Food Technology*, 1997, no. 2–3, pp. 8–10 (in Russian).
2. Krikunova L. N., Ryabova S. M. A low temperature method of obtaining rye wort. *Proizvodstvo spirta i likerovodochnykh izdelii = Manufacture of Alcohol Liqueur & Vodka Products*, 2011, no. 4, pp. 14–16 (in Russian).
3. Rimareva L. V. Improving the efficiency of biotechnological processes of alcohol production. *Proizvodstvo spirta i likerovodochnykh izdelii = Manufacture of Alcohol Liqueur & Vodka Products*, 2003, no. 4, pp. 13–18 (in Russian).
4. Zhirov V. M., Makarov S. Yu., Presnyakova O. P. Preparation of grain mash without raw temperature cooking. *Хранение и переработка сельхозсырья = Storage and Processing of Farm Products*, 2014, no. 11, pp. 11–14 (in Russian).
5. Ienser E., Andersen E., Chechnev R., Kadieva A. Reduction of viscosity during fermentation of wort of high concentration. *Proizvodstvo spirta i likerovodochnykh izdelii = Manufacture of Alcohol Liqueur & Vodka Products*, 2007, no. 4, pp. 23–26 (in Russian).
6. Thomas K. C., Ingledew W. M., Rosnagel B. G., Dhas A. Production of fuel alcohol from hull-less barley by very high gravity technology. *Cereal Chemistry*, 1995, vol. 72, no. 4, pp. 360–364.
7. Mal'tsev P. M. *Technology of fermentation manufacture. A general course*. 2nd ed. Moscow, Pishchevaya promyshlennost' Publ., 1980. 560 p. (in Russian).
8. Rimareva L. V. *Theoretical and practical bases of yeast biotechnology*. Moscow, DeLi Print Publ., 2010. 251 p. (in Russian).
9. Casey G. P., Ingledew W. M. Ethanol tolerance in yeasts. *Critical Reviews in Microbiology*, 1986, vol. 13, no. 3, pp. 219–280. <https://doi.org/10.3109/10408418609108739>
10. D'Amore T., Stewart G. G., Russell I., Panchal C. J. A study of ethanol tolerance in yeast. *Critical Reviews in Biotechnology*, 1990, vol. 9, no. 4, pp. 287–304. <https://doi.org/10.3109/07388558909036740>
11. Rimareva L. V., Ignatova N. I., Overchenko M. B., Antonova A. A., Serba E. M. Research of phytolith activity on grain wort indices and alcohol fermentation process. *Aktual'nye voprosy industrii napitkov: sbornik nauchnykh trudov* [Current issues in the beverage industry: a collection of scientific papers]. Moscow, 2018, iss. 2, pp. 136–140 (in Russian).
12. Rimareva L. V., Overchenko M. B., Serba E. M., Ignatova N. I. Enzyme preparations and their influence on the biocatalytic processes of deep processing of grain raw materials, technological indicators of grain wort, yeast generation processes and alcoholic fermentation. *Sovremennye biotekhnologicheskie protsessy, oborudovanie i metody kontrolya v proizvodstve spirta i likerovodochnykh izdelii: sbornik nauchnykh trudov* [Modern biotechnological processes, equipment and methods of control in the production of alcohol and alcoholic beverages: a collection of scientific papers]. Moscow, 2015, pp. 10–27 (in Russian).
13. Korchagina M. V., Zueva N. V., Dolgov G. V., Agafonov G. V. The effect of proteolytic enzyme preparations on the redistribution of protein fractions in course of improving the technology of concentrated wort production. *Innovatsionnye resheniya pri proizvodstve produktov pitaniya iz rastitel'nogo syr'ya: sbornik nauchnykh statei i dokladov II Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Voronezh, 26–27 oktyabrya 2016 g.* [Innovative solutions in the production of food from vegetable raw materials: a collection of scientific articles and reports of the II International scientific and practical conference, Voronezh, October 26–27, 2016]. Voronezh, 2016, pp. 151–157 (in Russian).
14. Shiyani P. L., Mudrak T. O., Boyarchuk Ya. A. Influence of temperature and pH on the hydrolysis of biopolymers of grain mixes while using acid-resistant enzyme preparations in alcohol production. *Perspektivnye fermentnyye preparaty i biotekhnologicheskie protsessy v tekhnologiyakh produktov pitaniya i kormov: sbornik nauchnykh trudov* [Advanced enzyme preparations and biotechnological processes in food and feed technology: a collection of scientific papers]. Moscow, 2014, pp. 220–229 (in Russian).
15. Vostrikov S. V., Bodnar' M. V. The efficiency of fermentation of clarified and traditional grain wort when using protosubtilin G10x at the stage of batch preparation. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Pishchevaya tekhnologiya = New of Institutes of Higher Education. Food Technology*, 1999, no. 1, pp. 43–45 (in Russian).
16. Sabirov A. A. Increasing the biological value of grain outside by preparation of preparative proteolytic enzymes. *Resursosberegayushchie ekologicheski bezopasnye tekhnologii khraneniya i pererabotki sel'skokhozyaistvennoi produktsii: sbornik statei po materialam mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, 19 marta 2018 g.* [Resource-saving, environmentally friendly technologies for the storage and processing of agricultural products: a collection of articles on the materials of the international scientific-practical conference, March 19, 2018]. Kurgan, 2018, pp. 284–288 (in Russian).
17. Kovaleva T. S., Agafonov G. V., Yakovlev A. N. Influence of multienzyme complex on the rheological properties of mixtures of barley. *Aktual'naya biotekhnologiya* [Current Biotechnology], 2016, no. 3 (18), pp. 179 (in Russian).
18. Yakovlev A. N., Yakovleva S. F., Kovaleva T. S., Tertychnaya T. N. The effect of enzyme complexes on the viscosity of barley kneading. *Proizvodstvo i pererabotka sel'skokhozyaistvennoi produktsii: menedzhment kachestva i bezopasnosti: materialy IV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Voronezh, 17–18 maya 2016 g.* [Production and processing of agricultural products: quality and safety management: proceedings of the IV International scientific and practical conference, Voronezh, May 17–18, 2016]. Voronezh, 2016, pp. 111–113 (in Russian).

### Информация об авторах

*Пушкарь Александр Александрович* – кандидат технических наук, начальник отдела технологий алкогольной и безалкогольной продукции, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию (ул. Козлова, 29, 220037, Минск, Республика Беларусь). E-mail: vodka@belproduct.com

*Хлиманков Дмитрий Валерьевич* – кандидат технических наук, старший научный сотрудник – руководитель группы по спиртовой и ликеро-водочной отрасли отдела технологий алкогольной и безалкогольной продукции, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию (ул. Козлова, 29, 220037, Минск, Республика Беларусь). E-mail: vodka@belproduct.com

*Соловей Вадим Иванович* – научный сотрудник отдела технологий алкогольной и безалкогольной продукции, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию (ул. Козлова, 29, 220037, Минск, Республика Беларусь). E-mail: vodka@belproduct.com

*Пусовская Юлия Сергеевна* – младший научный сотрудник отдела технологий алкогольной и безалкогольной продукции, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию (ул. Козлова, 29, 220037, Минск, Республика Беларусь). E-mail: vodka@belproduct.com

### Information about the authors

*Pushkar Alexander A.* – Ph.D. (Engineering). The Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus (29 Kozlova Str., Minsk 220037, Republic of Belarus). E-mail: vodka@belproduct.com

*Khlimankov Dmitry V.* – Ph.D. (Engineering). The Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus (29 Kozlova Str., Minsk 220037, Republic of Belarus). E-mail: vodka@belproduct.com

*Solovei Vadim I.* – The Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus (29 Kozlova Str., Minsk 220037, Republic of Belarus). E-mail: vodka@belproduct.com

*Pusovskaya Yuliya S.* – The Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus (29 Kozlova Str., Minsk 220037, Republic of Belarus). E-mail: vodka@belproduct.com