

УДК 663.531.4

## Влияние ударно-активаторно-дезинтеграторной обработки на технологические параметры гидролизатов из ржи

**А.А. Сабиров**, alfa@sibbio.ru

канд. техн. наук **Н.В. Баракова**, n.barakova@mail.ru

*Университет ИТМО*

*191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9*

**Е.А. Самоделкин**, mail@crism.ru

*Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» 191015  
191015, Россия, Санкт-Петербург, ул. Шпалерная, 49*

Исследовали влияние процесса ударно-активаторно-дезинтеграторной обработки (УДА обработка) ржи на реологические характеристики замесов, полученных из измельченного зерна, и выход сухих веществ с целью определения температуры и длительности водно-тепловой обработки замесов при получении зерновых гидролизатов. Проведен анализ способов, обеспечивающих интенсификацию процесса водно-тепловой обработки зерновых замесов, и определен перспективный способ подготовки зерна к экстракции – ударно-активаторно-дезинтеграторная обработка. Определить преимущества УДА обработки возможно на основании исследований по определению вязкости замесов, что даст научное обоснование влияния подготовки исходного материала, используемого в процессе гидролиза крахмалсодержащего сырья на температуру водно-тепловой обработки замесов, приготовленных из зерна, прошедшего обработку на дезинтеграторной установке. Эксперимент проводился с использованием дезинтегратора ДЕЗИ-15 с разными рабочими органами – трех- и пятирядными роторами, вращающимися с частотой 120 с<sup>-1</sup>, для сравнения способов обработки зерна проводилось измельчение ржи на лабораторной мельнице с роторно-ножевым рабочим органом. Для проведения экспериментов использовалась рожь урожая 2016 года с массовой долей влаги 8%, крахмалистостью 65%, содержанием сахаров 5,5%, сорных примесей до 1%, что соответствует ГОСТ Р 53049-2008. Гранулометрический состав помолов определялся на дифракционном анализаторе размера частиц Malvern Mastersizer 2000. Средний размер частиц в помолке, полученном на трехрядном роторном дезинтеграторе, составлял 167,5 мкм, на пятирядном – 158,1 мкм, на мельнице с роторно-ножевым рабочим органом – 384,278 мкм. Реологические характеристики замесов определялись на вискозиметре Visco Basic Plus при шпинделе R4 и количестве оборотов 100 в минуту, при нагревании замесов в диапазоне температур от 0 до 90°C. Установлено, что в результате УДА обработки за счет глубокой деструкции структуры зернового сырья точка клейстеризации крахмала отсутствует, что послужило обоснованием для определения температуры водно-тепловой обработки ржаных замесов. Определена возможность проведения водно-тепловой обработки без применения ферментного препарата гемицеллюлазного действия. Показана целесообразность сокращения времени получения гидролизатов. Полученные результаты могут быть использованы в технологиях производства этилового спирта, сахаристых продуктов, сухих белковых гидролизатов и др.

**Ключевые слова:** водно-тепловая обработка замеса; рожь; ударно-активаторно-дезинтеграторная обработка; гидролизат; вязкость; точка клейстеризации крахмала, ферментные препараты.

DOI: 10.17586/2310-1164-2017-10-3-43-52

## The effect of shock activator-disintegrating processing (UDA-processing) on the technological parameters of rye hydrolysates

**Alfir A. Sabirov**, alfa@sibbio.ru

Ph.D. **Nadezhda V. Barakova**, n.barakova@mail.ru

*ITMO University*

*9, Lomonosov str., St. Petersburg, 191002, Russia*

**Eugene A. Samodelkin**, mail@crism.ru

*Central Research Institute of Structural Materials "Prometey"  
49, Shpalernaya str., St. Petersburg, 191015, Russia*

The article deals with the influence of shock-activator-disintegrating processing (UDA treatment) of rye on the rheological characteristics of the batches obtained from the crushed grain and the yield of dry

substances to determine the parameters of water-thermal processing of mixtures while receiving grain hydrolysates. The analysis of the methods intensifying the process of water-thermal processing of grain mixtures is carried out and a promising method for preparation the grain for extraction i.e. shock activate-disintegratory treatment is demonstrated. To determine the advantages of UDA-treatment is possible on the basis of studies concerning the determination of the batch viscosity, which will substantiate the influence of the preparation of the starch-containing raw materials used in the process of hydrolysis on the temperature of water-heat treatment for the grain batches processed by disintegrating unit. The experiment was conducted using DESI-15 disintegrator with different working bodies: three- and five-row rotors rotating with frequency of 120 s<sup>-1</sup>. To compare the methods of grain processing the grinding of rye by a laboratory rotary knife mill was carried out. For the experiments the rye crop of 2016 with 8% mass fraction of moisture, starch content of 65%, sugar content of 5.5%, impurities of up to 1%, which corresponds to R 53049-2008 GOST was used. Granulometric composition of grinding was determined by Malvern Mastersizer 2000 diffraction particle size analyzer. The average particle size obtained by three-row rotary disintegrator was 167.5 mm, by five-row one – 158.1 mm, by rotary knife mill– 384.278 microns. Rheological characteristics of the batches were determined by Visco Basic Plus viscometer with R4spindle and the number of revolutions was 100 per minute when mixtures were heated in the temperature range of from 0 to 90°C. It was established that as a result of UDA treatment due to the deep destruction of the grain structure the point of starch gelatinization is missed, that justifies determining the temperature of water-heat treatment for rye batches. The possibility of water-heat treatment without the use of an enzymic preparation with hemicellulase action was demonstrated. The expediency of reducing the time of obtaining the hydrolysates is shown. The obtained results can be used in technologies for the production of ethanol, sugar products, dried protein hydrolysates, etc.

**Keywords:** water-heat treatment of batch; rye; shock-activator-disintegratory treatment; hydrolyzate; viscosity; point of starch gelatinization, enzymic preparation.

## Введение

Получение гидролизатов из зерна злаковых культур является основной технологической стадией для таких отраслей промышленности, как спиртовая, крахмалопаточная и другие. Зерновые гидролизаты готовят путем смешения измельченного зерна с водой. При этом главная цель – максимальное накопление массовой доли сухих веществ в образовавшемся сусле путем диффузии компонентов зерна в раствор. На растворение компонентов зерна оказывают влияние способ измельчения сырья, комплекс ферментов гидролитического действия, особенности химического состава зернового сырья, технологические режимы процесса – температура и длительность, реологические характеристики замесов – их вязкость.

В настоящее время наиболее распространенной схемой получения зерновых гидролизатов является механико-ферментативная схема, реализуемая следующим образом: измельчение зерна до состояния, обеспечивающего проход измельченного материала через сито диаметром отверстий 1 мм – 90–100%; смешивание измельченного зерна с водой при температуре 50°C; внесение ферментных препаратов гидролитического действия и выдержкой замеса в течение 30 минут; нагрев замеса до 70°C и выдержка его при этой температуре в течение трех часов; дальнейшее повышение температуры до 90–100°C и выдержка замеса в течение часа. Общее время приготовления гидролизатов занимает более четырех часов [1].

Для повышения эффективности процесса получения гидролизатов ведутся работы по интенсификации процессов экстракции компонентов зернового сырья, применяют различные способы его предварительной обработки: экструзионная обработка [2] обработка зерна ИК излучением [3]. В ряде работ показано, что гидродинамическая [4] или ультразвуковая обработка замесов [5], или применение мокрого помола на виброкавитационной мельнице [6, 7], или более глубокая деструкция зерна [8] позволяют получать положительные результаты по интенсификации процесса экстрагирования.

Для более глубокой деструкции зерна применяют следующие типы устройств: мельницы – шаровые, вибрационные, шаровые электромагнитные, дезинтеграторы и дизмембраторы, ролико-

маятниковые, струйные, ультразвуковые, бисерные, аппараты с вихревым слоем ферромагнитных частиц и др.

Особый интерес представляют устройства ударного действия – дезинтеграторы. Одной из важных особенностей работы дезинтегратора является то, что обрабатываемый в них материал подвергается механической активации. Активация веществ посредством большой механической энергии является новым прогрессивным видом совершенствования технологических процессов в различных отраслях промышленности [9].

Дезинтеграторы – это устройства работа, которых основана на принципе свободного удара (поэтому в названии метода на первом месте стоит ударная обработка). В 80-х годах прошлого столетия специалистами конструкторско-технологического бюро «Дезинтегратор» (Таллин) были разработаны усовершенствованные конструкции дезинтеграторов, с помощью которых возможно получать высокодисперсные помолы. Измельчаемый материал непрерывно подается в рабочую камеру в центр между двумя высокоскоростными вращающимися в противоположных направлениях роторами. Ударные органы расположены на каждом роторе по концентрическим окружностям. Роторы входят друг в друга таким образом, что концентрические окружности с пальцами одного ротора размещаются внутри концентрических окружностей с пальцами другого ротора.

Частицы измельчаемого материала сначала сталкиваются с одним из пальцев первого (внутреннего) ряда и разрушаются при столкновении. Получившиеся осколки отбрасываются по касательной к окружности вращения этого ряда пальцев и сталкиваются с идущими им навстречу пальцами второго ряда. После вторичного разрушения осколки отбрасываются по касательной к окружности вращения второго ряда пальцев и сталкиваются с пальцами третьего ряда и так далее. Измельченный таким образом материал ссыпается в приемный бункер через разгрузочный патрубок в нижней части рабочей камеры.

Особенностью и преимуществом дезинтеграторов по сравнению с другими мелющими агрегатами является быстротечность процессов измельчения, когда за интервал времени порядка  $10\text{ с}^{-2}$  обрабатываемый в этих установках материал получает от 2 до 7 высокоинтенсивных ударов.

В работе [10–12] показана эффективность применения УДА обработки в технологии спиртового производства. Были проведены исследования по получению зерновых замесов и осахаренного суслу из пшеницы, подвергавшейся УДА обработке, но не были проведены исследования реологических характеристик замесов, которые позволяют обосновать выбор температурного режима обработки.

Реологические характеристики, в частности, вязкость замесов – важный параметр при переработке зерновых культур. От вязкости зависит качество работы перемешивающих и перекачивающих устройств [13], степень экстракции компонентов ржи. Одним из способов, позволяющим снизить вязкость зерновых замесов и тем самым способствовать интенсификации процесса экстракции является применение комплекса ферментных препаратов амилолитического и гемицеллюлазного действия [14,15]. Особенно это необходимо при переработке ржи, сложной зерновой культуры, содержащей высокое количество некрахмалистых полисахаридов  $\beta$ -глюканов, пентозанов, слизей [16].

Учитывая изложенное, актуально оценить реологические параметры гидролизатов, полученных из ржи, прошедшей УДА обработку. Также известно, что гидролиз крахмалсодержащего сырья эффективнее проводить выше точки клейстеризации крахмала, которую можно установить путем измерения коэффициента динамической вязкости водно-мучной суспензии. Это позволит подобрать новые технологические режимы (температура, длительность процесса) приготовления зерновых гидролизатов с максимальным растворением компонентов сырья. Поэтому целью работы является исследовать влияние ударно-активаторно-дезинтеграторной обработки ржи на вязкость ржаных замесов, температуры и длительности получения ржаных гидролизатов.

### **Объекты и методы исследований**

Объектом исследований являлись ржаные гидролизаты, полученные из ржи, измельченной на мельницах с разными рабочими органами. Сырьем служила рожь первого класса урожая 2016 года. Массовая доля влаги 8%, условная крахмалистость 53%, содержание сорных примесей до 1%, что соответствует ГОСТ Р 53049-2008. Массовую долю влаги в зерне определяли на анализаторе влажности

Shimadzu MOC-120H. Определение условной крахмалистости зерна проводили поляриметрическим методом с применением концентрированной соляной кислоты на поляриметре марки PolAAG FF-55 фирмы Optikal Aktivty.

Для проведения эксперимента использовалось зерно, измельченное на ударно-активаторно-дезинтеграторной установке ДЕЗИ-15 с трех- и пятирядными роторами (НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей») и зерно, измельченное на лабораторной мельнице ЛЗМ-1 с роторно-ножевым рабочим органом. Полученные образцы помолов ржи исследовались с использованием лазерного дифракционного анализатора Malvern Mastersizer 2000. Средний интегральный размер частиц в помол, полученном на дезинтеграторе с трехрядным ротором, составил 167,5 мкм, с пятирядным – 158,1 мкм, на мельнице с роторно-ножевым рабочим органом – 384,278 мкм.

Для приготовления ржаных замесов использовалась вода ГОСТ Р 51232-98 «Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества». Зерновые замесы готовились с гидромодулем 1:3. Водно-тепловую обработку замесов проводили на водяной бане LOIP LB-163 со скоростью нагрева 1°C/минуту при постоянном перемешивании.

Для частичного гидролиза крахмала и разжижения замеса использовался ферментный препарат термостабильной  $\alpha$ -амилазы «АмилуЛюкс-АТС», полученный путем глубинного культивирования бактерий *Bacillus subtilis* согласно ТУ 9291-025-13684916-09. Доза внесения ферментного препарата в ржаную суспензию – 0,3 единиц АС/гр. крахмала.

Измерение коэффициента динамической вязкости ржаных замесов проводили на ротационном вискозиметре Visco Basic Plus при шпинделе R4, 100 оборотах в минуту, в диапазоне температур 0–90°C. Номер шпинделя R 4 и количество  $n = 800$  оборотов в минуту были подобраны таким образом, чтобы при этих параметрах возможно было измерить коэффициент динамической вязкости во всех исследуемых замесах.

Измерение мутности гидролизатов проводили фотоэлектроколориметрическим методом на КФК-3 [17]. В кювету с толщиной светопоглощающего слоя 0,5 см вносили испытуемую суспензию гидролизата. В зеленой части спектра при длине волны  $\lambda = 590$  нм измеряли оптическую плотность.

Накопление сухих веществ в ржаных гидролизатах определяли на рефрактометре. Определение массовой доли сухих веществ в гидролизатах осуществляли в их фильтрах рефрактометрическим методом на рефрактометре марки PTR46 Index Instruments диапазоне температур 60–70°C.

Для определения максимально возможного накопления массовой доли сухих веществ в замесе с гидромодулем 1:3 провели автоклавирование зернового замеса при температуре 140°C в течение 10 минут.

### Результаты и обсуждение

Главной задачей при получении зерновых гидролизатов является создание условий, обеспечивающих максимальное растворение компонентов зернового сырья. Эффективность процесса экстракции в значительной мере будет зависеть от таких факторов, как гидромодуль замеса, температура, скорость нагрева, доза внесения ферментных препаратов гидролитического действия, степень деструкции зерна. С точки зрения деструкции зерна одним из таких способов является механическое измельчение сырья на установках ударно-активаторно-дезинтеграторного действия. Обработка на таких установках приводит к глубокой деструкции компонентов зерна, что влечет за собой изменение реологических показателей и технологических параметров получения гидролизатов. Более полное растворение компонентов зерна осуществляется после того, как крахмал прошел стадию клейстеризации. С целью установления диапазона клейстеризации для ржи, прошедшей стадию обработки на дезинтеграторе с разными рабочими органами – трех- и пятирядными роторными, провели измерение коэффициента динамической вязкости замесов в интервале температур от 30 до 90°C. Результаты исследований представлены в рисунке 1.

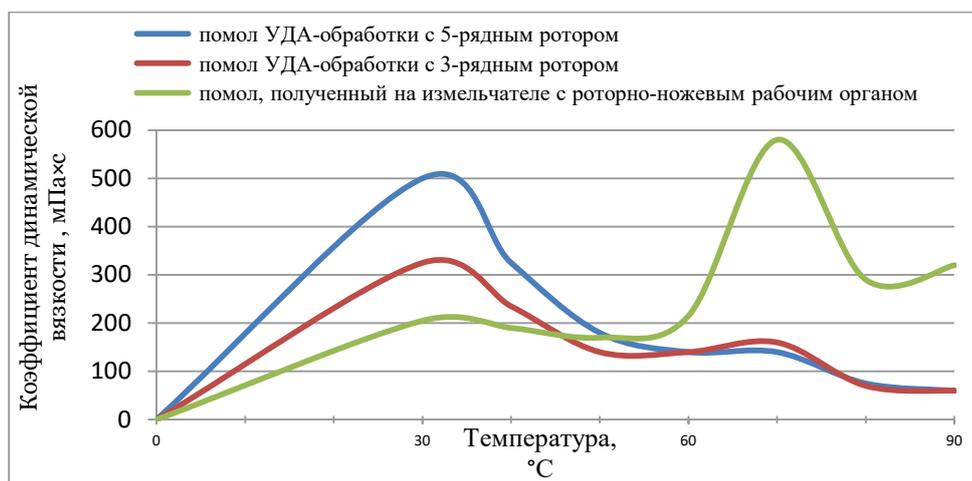


Рисунок 1– Изменение вязкости ржаных замесов в зависимости от способа измельчения ржи

Исходя из полученных данных (рисунок 1) следует, что максимальное значение коэффициента динамической вязкости (или просто вязкости) в замесе, приготовленном из ржаного помола, полученного на мельнице с роторно-ножевым рабочим органом, наступает при температуре 70°C. При повышении температуры выше 70°C значение коэффициента динамической вязкости резко снижается. В замесах, приготовленных из ржаных помолов, полученных в результате ударно-активаторно-дезинтеграторной обработки, возрастание коэффициента динамической вязкости замесов при повышении температуры не наблюдается, точка клейстеризации отсутствует.

Исходя из приведенных данных, можно предположить, что после УДА обработки зерна ржи такие полимерные соединения, как крахмал, некрахмалистые полисахариды и слизи, влияющие на вязкость замесов, претерпели существенные изменения.

Также из графиков, представленных на рисунке 1, следует, что при температуре 30°C вязкость замеса зависит от вида механического воздействия на зерно. Начальная вязкость замеса, приготовленного из ржи, измельченной на мельнице с роторно-ножевым рабочим органом, на 35–60% ниже, чем начальная вязкость замесов, приготовленных из ржи, измельченной на дезинтеграторе. Полученные данные необходимо учитывать в процессе приготовления замесов, обработанных на установке ударно-активаторно-дезинтеграторного действия. Воздействия, приложенные на рабочий орган перемешивающего устройства в начальный момент приготовления замесов, будут выше.

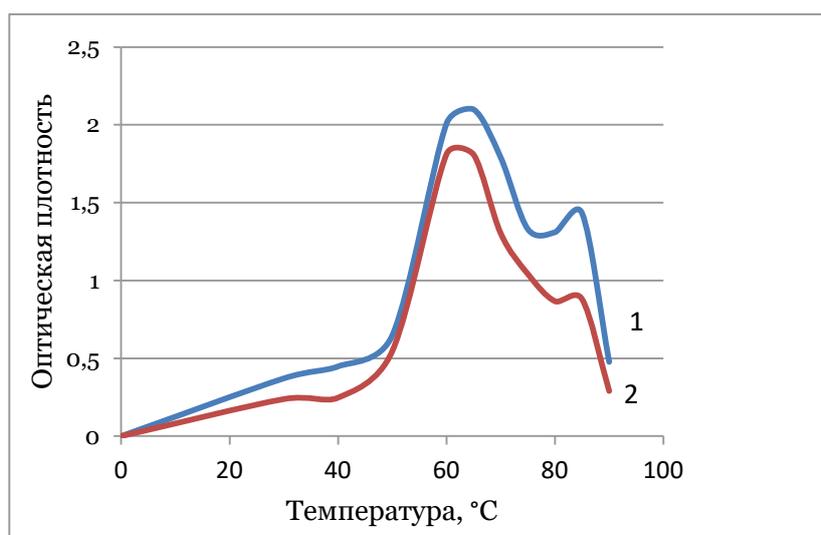


Рисунок 2 – Изменение мутности зерновых замесов, полученных при обработке ржи на установке ударно-активаторного действия при нагревании: 1 – помол с пятирядным ротором; 2 – помол с трехрядным ротором

В технологии получения зерновых гидролизатов процесс клейстеризации крахмала – это процесс, который определяет температурные параметры получения гидролизатов. И хотя ярко выраженного увеличения вязкости замесов, полученных из ржаных помолов, обработанных на установке ударно-

активаторного типа, в процессе нагрева не было обнаружено, проведены исследования состояния коллоидная система–зерновой замес в диапазоне температур 30–90°C при нагревании. Состояние коллоидной системы оценивали по изменению мутности, выраженной посредством измерения оптической плотности.

Согласно данным, представленным на рисунке 2, при повышении температуры выше 50°C оптическая плотность в зерновых замесах, полученных из ржи, обработанной на установке ударно-активаторно-дезинтеграторного типа, резко возрастает и достигает максимума при температурах 60–65°C. При этом мутность в замесе, полученном из ржи, обработанной на пятирядном роторе на 15% выше, чем на трехрядном. При повышении температуры выше 65–70°C значение оптической плотности в гидролизатах резко снижается, что свидетельствует об изменениях состояния коллоидной системы.

На основании полученных результатов, температуры 60; 65 и 70°C в дальнейшем были выбраны для проведения исследований по накоплению массовой доли растворимых сухих веществ в гидролизатах, полученных из ржи, обработанной на установке ударно-активаторно-дезинтеграторного типа. Данные по накоплению массовой доли сухих веществ в зависимости от времени экспозиции при температурах 60; 65 и 70°C приведены ниже в рисунках 5–7 соответственно.

Для определения максимально возможного растворения сухих веществ в исследуемых гидролизатах замесы автоклавировали при температуре 140°C в течение 15 минут. В результате было получено, что максимально возможное растворение сухих веществ составляет 21,6%.

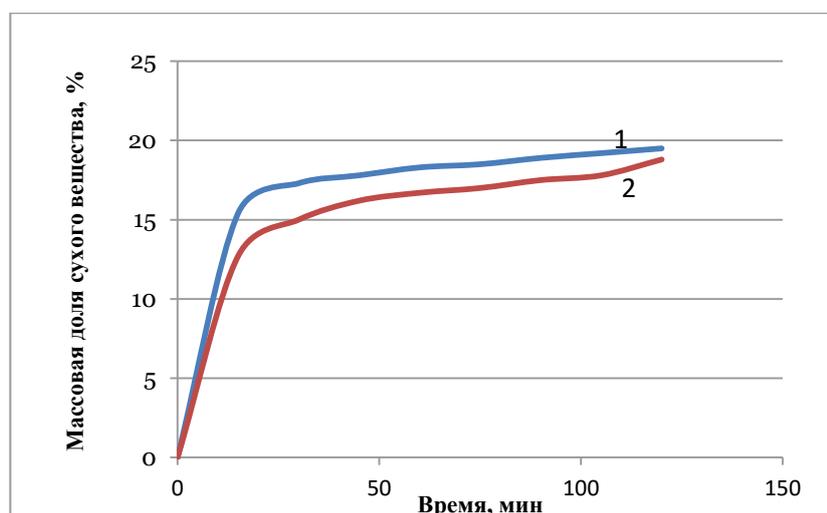


Рисунок 3 – Динамика накопления сухих веществ в гидролизатах при температуре 60°C:  
1 – помол УДА-обработки с пятирядным ротором; 2 – помол УДА-обработки с трехрядным ротором

Как следует из представленных данных (рисунок 3), ведение процесса водно-тепловой обработки замеса при температуре 60°C не позволяет накопить максимальный выход сухих веществ при приведенных условиях. Наиболее высокая скорость диффузии сухих веществ в суспензию наблюдалась в течение первых 20–30 минут ведения процесса. При этом для замеса из помола УДА обработки с пятирядным ротором доля растворенных компонентов составляет 17–17,5%, а с трехрядным – 15%. При дальнейшей экспозиции замесов до 2 часов увеличение доли сухих веществ из помола УДА обработки с пятирядным ротором составляет до 19,5%, что соответствует увеличению растворенных веществ на 9%; с трехрядным ротором – до 18,8%, что соответствует увеличению на 20%. Это свидетельствует о том, что УДА обработка зернового сырья с пятирядным ротором приводит к более интенсивной механохимической дезагрегации, чем при использовании дезинтегратора с трех рядным ротором.

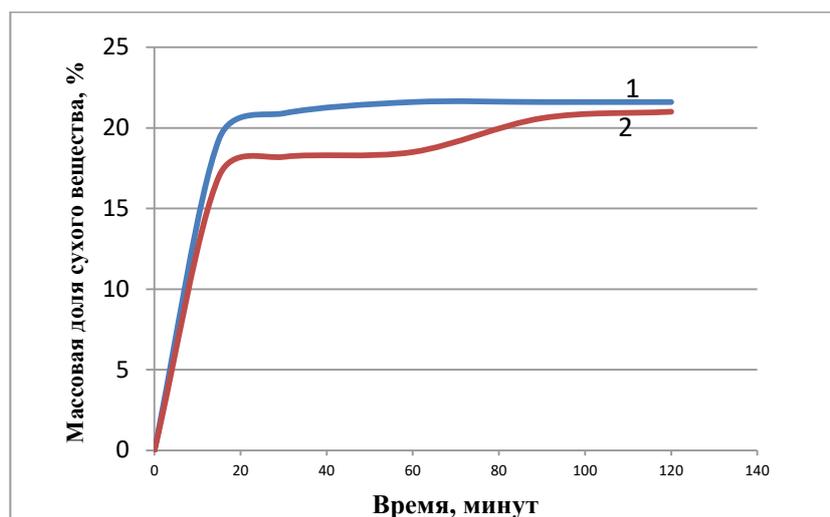


Рисунок 4 – Динамика накопления сухих веществ в гидролизатах при температуре 65°C:  
 1 – помол УДА-обработки с пятирядным ротором; 2 – помол УДА-обработки с трехрядным ротором

Из представленных данных (рисунок 4) видно, что в процессе водно-тепловой обработки замесов при температуре 65°C максимальное накопление сухих веществ достигается только при использовании помола УДА обработки с пятирядным ротором по истечении часа. Помол УДА обработки с трехрядным ротором при данных условиях не позволяет получить замес с максимальным растворением сухих компонентов. Наряду с этим, наиболее высокая скорость диффузии сухих веществ в раствор наблюдается в течение первых 20 минут ведения процесса. При этом, для замеса из помола УДА обработки с пятирядным ротором доля растворенных компонентов составляет до 21%, а с трехрядным – 18%. При экспозиции замеса с помолом УДА обработки с пятирядным ротором до 1 часа увеличение растворенных веществ наблюдается на 2–3%. Дальнейшая экспозиция замеса из помола УДА обработки с трехрядным ротором: до 1 часа составляет 18,5%, что соответствует увеличению растворенных веществ на 2–3%; до 2 часов составляет 21%, что соответственно отвечает увеличению доли сухих веществ на 12%.

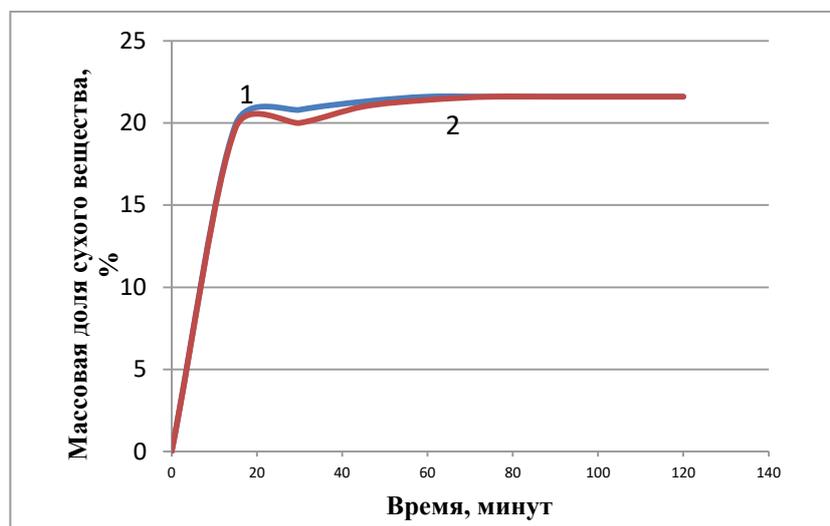


Рисунок 5 – Динамика накопления сухих веществ в гидролизатах при температуре 70°C:  
 1 – помол УДА-обработки с пятирядным ротором; 2 – помол УДА-обработки с трехрядным ротором

Максимальное накопление массовой доли сухих веществ при температуре 70°C устанавливается в течение часа для замесов, приготовленных из помолов зерна ржи, прошедших УДА обработку как с пяти-, так и с трехрядными роторами (рисунок 5). В течение первых 15–20 минут ведения процесса водно-тепловой обработки наблюдается наиболее высокая скорость растворения сухих веществ. При этом для замеса из помола УДА обработки с пятирядным ротором доля растворенных компонентов составляет 21%, а с трехрядным – 20%. При выдержке замесов до одного часа доля сухих веществ увеличивается до максимально возможного значения на 2–3 и 7% соответственно. Предварительная

УДА обработка зерна способствует деградации таких полимерных соединений сырья, как крахмал, некрахмалистые полисахариды и приводит к глубоким механохимическим преобразованиям, что позволяет значительно сократить температуру и длительность процесса.

### Заключение

В настоящей работе показано, что применение установок ударно-активаторно-дезинтеграторного типа для получения исходного материала, используемого в процессе гидролиза крахмалсодержащего сырья, по сравнению с применяемыми в настоящее время устройствами обеспечивает повышение эффективности гидролиза за счет:

- ✓ глубокой деструкции крахмала, обеспечивающей снижение значений температурного интервала клейстеризации;
- ✓ высокой скорости растворения сухих компонентов сырья в замесе в течение первых 20–30 минут экспозиции;
- ✓ снижения температуры до 65°C и времени до 1 часа на водно-тепловую обработку замесов ржи;
- ✓ снижения вязкости ржаных замесов позволяющей снизить использование ферментных препаратов, применяемых при получении зерновых гидролизатов.

Полученные результаты могут быть использованы для совершенствования промышленной технологии гидролиза крахмалсодержащего сырья в направлении оптимизации процесса получения зерновых гидролизатов.

### Литература

1. Крикунова Л.Н., Рябова С.М. Низкотемпературные способы получения ржаного суслу // Производство спирта и ликероводочных изделий. 2011. № 4. С. 14–16.
2. Начетова М.А., Баракова Н.В. Выбор и обоснование температуры водно-тепловой обработки замесов из экструдированной пшеницы // Производство спирта и ликероводочных изделий. 2013. № 3. С. 29–32.
3. Андриенко Т.В., Поляков В.А., Крикунова Л.Н. Получение осахаренного суслу из ИК-обработанного зерна ржи // Хранение и переработка сельхозсырья. 2007. № 7. С. 59–62.
4. Лихтенберг Л.А., Поляница А.С., Алексеева Л.А., Федосеев Ю.В., Парфенникова Н.П. Внедрение линий приготовления суслу с гидродинамической обработкой зернового замеса на спиртовых заводах // Производство спирта и ликероводочных изделий. 2007. № 4. С. 13–18.
5. Смирнова И.В., Кречетникова А.Н. Влияние ультразвуковой обработки на компоненты химического состава пшеницы при производстве спирта // Производство спирта и ликероводочных изделий. 2005. №3. С. 27–29.
6. Калинина О.А., Леденев В.П., Крикунова Л.Н. Разработка высокоэффективной, малоотходной технологии этанола из зерна ржи на основе механокавитационной обработки. I. Стадия приготовления замеса // Хранение и переработка сельхозсырья. 2002. № 6. С. 35–40.
7. Сотников В.А., Федоров А.Д., Гамаюрова В.С., Котельникова Н.И., Котельников М.В. Способ низкотемпературного разваривания крахмалсодержащего сырья в производстве спирта // Производство спирта и ликероводочных изделий. 2002. № 1. С. 13–15.
8. 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: сб. науч. тр. Бийск. 2010. Часть 2. С. 220–224.
9. Болдырев В.В. Механохимия и механохимическая активация твердых веществ // Успехи химии. 2006. № 75 (3). С. 203–212.
10. Алимова Д.С., Баракова Н.В., Начетова М.А., Самоделькин Е.А. Водно-тепловая обработка ржаных замесов с пониженным гидромодулем и сохранением активности нативной альфа-амилазы // Хранение и переработка сельхозсырья. 2014. № 11. С. 18–21.
11. Устинников Б.А. Эффективность применения УДА-технологии для измельчения при подготовке сырья к осахариванию в спиртовом производстве // Тезисы докладов III семинара УДА-технологии (Тамбов, 3–6 сентября 1984). Тамбов, 1984. 126 с.
12. Самоделькин Е.А., Баракова Н.В., Дегтяренко Я.И., Мартыненко В.Е. Применение ударно-активаторно-дезинтеграторной обработки (УДА-обработки) для подготовки зернового сырья при конструировании продуктов питания с повышенной усвояемостью // Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке: сб. тр. Санкт-Петербург. 2015. С. 247–250.
13. Новоселов А.Г., Гуляева Ю.Н., Малахов Ю.Л., Смирнов А.А., Чеботарь А.В. Рео- и гидродинамика зерновых суспензий. Научное обоснование выбора метода исследований и разработка экспериментального стенда // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2017. № 2. С. 40–49.

14. Баракова Н.В., Тишин В.Б. Исследование влияния ферментных препаратов на вязкость высококонцентрированных замесов из ячменя при производстве этилового спирта // Производство спирта и ликероводочных изделий. 2010. №4. С. 24–26.
15. Востриков С.В., Яковлев А.Н., Бушин М.А., Солонинов Д.А. Факторы, влияющие на вязкость пшеничных замесов // Производство спирта и ликероводочных изделий. 2006. № 1. С. 32–33.
16. Аллахвердиев Т.И. Химический состав зерна коллекционных образцов ржи (*Secale L.*) // Аграрная наука. 2012. № 6. С. 21–23.
17. Яровенко В.Л., Белов Н.И., Даниловцева А.Б., Щелкунова Л.Ф. Определение цветности и мутности напитков // Известия вузов. Пищевая технология. 1990. № 2–3. С.116–119.

### References

1. Krikunova L.N., Ryabova S.M. Nizkotemperaturnye sposoby polucheniya rzhanogo susla [Low-temperature methods for producing rye wort]. *Manufacture of alcohol liqueur & vodka products*. 2011, no. 4, pp. 14–16.
2. Nachetova M.A., Barakova N.V. Vybora i obosnovanie temperatury vodno-teplovoy obrabotki zamesov iz ekstrudirovannoi pshenitsy [Selection and justification of the temperature of the water-heat treatment of mixtures of extruded wheat]. *Manufacture of alcohol liqueur & vodka products*. 2013, no. 3, pp. 29–32.
3. Andrienko T.V., Poljakov V.A., Krikunova L.N. Poluchenie osaharenogo susla iz IK-obrabotannogo zerna rzhii [Obtaining saccharified wort from IR-treated rye grain]. *Storage and processing of farm products*. 2007, no. 7, pp. 59–62.
4. Lihtenberg L.A., Poljanica A.S., Alekseeva L.A., Fedoseev Ju.V., Parfenninkova N.P. Vnedrenie linij prigotovleniya susla s gidrodinamicheskoy obrabotkoj zernovogo zamesa na spirtovykh zavodakh [The introduction of lines of cooking wort with hydrodynamic treatment of the grain batch at distilleries]. *Manufacture of alcohol liqueur & vodka products*. 2007, no. 4, pp. 13–18.
5. Smirnova I.V., Krechetnikova A.N. Vlijanie ul'trazvukovoj obrabotki na komponenty himicheskogo sostava pshenicy pri proizvodstve spirta [The effect of ultrasonic treatment on the components of the chemical composition of wheat alcohol production]. *Manufacture of alcohol liqueur & vodka products*. 2005, no. 3, pp. 27–29.
6. Kalinina O.A., Ledenev V.P., Krikunova L.N. Razrabotka vysokoeffektivnoj, maloottvodnoj tehnologii jetanola iz zerna rzhii na osnove mehanokavitacionnoj obrabotki. I. Stadija prigotovleniya zamesa [Development of highly efficient, low-waste technology of ethanol from rye grain on the basis of mechanochemically processing. I. Stage cooking the batch]. *Storage and processing of farm products*. 2002, no. 6, pp. 35–40.
7. Sotnikov V.A., Fedorov A.D., Gamajurova B.C., Kotel'nikova N.I., Kotel'nikov M.V. Sposob nizkotemperaturnogo razvarivaniya krahmalsoderzhashhego syr'ja v proizvodstve spirta [Low-temperature Method of cooking starch-containing raw materials in the production of alcohol]. *Manufacture of alcohol liqueur & vodka products*. 2002, no. 1, pp. 13–15.
8. Barakova N.V., Ustinova A.S. Issledovanie vlijaniya stepeni dispergirovaniya zerna na tehnologicheskie parametry pri proizvodstve spirta iz pshenicy [Study of the effect of the degree of dispergirovaniya grain technological parameters in the production of alcohol from wheat]. *Technologies and equipment for chemical, biotechnological and food industries. Collection of scientific papers*. Biysk. 2010, Part 2, pp. 220–224.
9. Boldyrev V.V. Mehanohimija i mehanohimicheskaja aktivacija tverdykh veshhestv [Mechanochemistry and mechanical activation of solids]. *Russian Chemical Reviews*. 2006, no. 75(3), pp. 203–212.
10. Alimova D.S., Barakova N.V., Nachetova M.A., Samodelkin E.A. Vodno-teplovaja obrabotka rzhanykh zamesov s ponizhennym gidromodulem i sohraneniem aktivnosti nativnojal'fa-amilazy [Water-heat treatment of rye mixtures with reduced water duty and conservation activity native  $\alpha$ -amylase]. *Storage and processing of farm products*. 2014, no. 11, pp. 18–21.
11. Ustinnikov B.A. Effektivnost' primeneniya UDA-tehnologii dlya izmel'cheniya pri podgotovke syr'ja k osakharivaniyu v spirtovom proizvodstve [The Efficacy of UDA-technology for grinding in preparing the raw material for saccharification in ethanol production]. *Abstracts of papers of the III workshop of UDA technologies* (Tambov, 3–6 September, 1984). Tambov, 1984, 126 p.
12. Samodelkin E.A., Barakova N.V., Degtyarenko Ya.I., Martynenko V.E. Primenenie udarno-aktivatorno-dezintegratornoi obrabotki (UDA-obrabotki) dlya podgotovki zernovogo syr'ja pri konstruirovanii produktov pitaniya s povyshennoi usvoyaemost'yu [The use of shock - activator - disintegrating processing (UDA-processing) for the preparation of grain raw materials in the design of foods with improved digestibility]. *Low-temperature and food technologies in the 21st century. Collection of scientific papers*. Saint-Petersburg, 2015, pp. 247–250.
13. Novoselov A.G., Gulyaeva Yu.N., Malakhov Yu.L., Smirnov A.A., Chebotar' A.V. Reo- i gidrodinamika zernovykh suspenzii. Nauchnoe obosnovanie vybora metoda issledovaniya i razrabotka eksperimental'nogo stenda [Rheo- and hydrodynamics of water-grain suspensions. Experimental study of the grain suspensions flow in pipes]. *Processes and Food Production Equipment*. 2017, no. 2, pp. 40–49.
14. Barakova N.V., Tishin V.B. Issledovanie vliyaniya fermentnykh preparatov na vyazkost' vysokokontsentririrovannykh zamesov iz yachmenya pri proizvodstve etilovogo spirta [The study of the influence of enzyme preparations on the viscosity of highly concentrated mixtures of malted barley at the production of ethyl alcohol].

- on viscosity of highly concentrated mixtures of barley in the production of ethyl alcohol]. *Manufacture of alcohol liqueur & vodka products*. 2010, no. 4, pp. 24–26.
15. Vostrikov S.V., Yakovlev A.N., Bushin M.A., Soloninov D.A. Faktory, vliyayushchie na vyazkost' pshenichnykh zamesov [Factors affecting the viscosity of the mixtures of wheat]. *Manufacture of alcohol liqueur & vodka products*. 2006, no. 1, pp. 32–33.
  16. Allakhverdiev T.I. Khimicheskii sostav zerna kolleksionnykh obraztsov rzhi (Secale L.) [Chemical composition of the grain collection samples of rye (Secale L.)]. *Agrarian science*. 2012, no. 6, pp. 21–23.
  17. Yarovenko V.L., Belov N.I., Danilovtseva A.B., Shchelkunova L.F. Opredelenie tsvetnosti i mutnosti napitkov [Definition of chromaticity and turbidity of drinks]. *Proceedings of high schools. Food technology*. 1990, no. 2–3, pp. 116–119.

Статья поступила в редакцию 28.08.2017