

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАТИРАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПИВА

*В статье представлена усовершенствованная технология производства пива с использованием механохимической активации зернопродуктов в роторно-пульсационном аппарате на стадии затираания.*

**Ключевые слова:** производство пива, процесс затираания, механохимическая активация, роторно-пульсационный аппарат.

*V.A. Pomozova, A.N. Potanov, U.S. Potitina, M.V. Prosin*

## MASHING PROCESS IMPROVEMENT FOR BEER PRODUCTION

*The improved technology for beer production with grain products mechanical activation use in rotary pulsating apparatus at the stage of mashing is presented in the article.*

**Key words:** beer production, mashing process, mechanical activation, rotor pulsating apparatus.

**Введение.** Решить проблему повышения эффективности производства пива на современном этапе развития экономики невозможно без привлечения новых инновационных технологий и современного высокоэффективного оборудования.

В настоящее время в различных отраслях промышленности, в том числе и при переработке зерна, все большее распространение находят мельницы тонкого помола и механохимические активаторы, позволяющие обеспечить более глубокую переработку сельскохозяйственного сырья. Такие способы позволяют максимально использовать в производстве помимо крахмала белки, липиды, свободные сахара, органические кислоты, аминокислоты, витамины зерна и при этом экономить сырье, топливо, вспомогательные материалы. Механическая обработка ускоряет процессы диспергирования, экстрагирования, гидролиза компонентов зерна, сокращая время технологических операций [1].

В ряде отраслей промышленности нашли широкое применение роторно-пульсационные аппараты (РПА), которые сочетают принципы работы центробежного насоса, дисмембратора, дезинтегратора и коллоидной мельницы. РПА используют при переработке растительного сырья, в том числе и зернопродуктов. Аппараты такого типа применяют на стадии подготовки сырья в спиртовом производстве, и это направление активно развивается. РПА обеспечивает активный гидродинамический режим, эффективные турбулизации и пульсации потока, кавитационные эффекты [2, 3].

Эффективность переработки сырья с использованием РПА достигается за счет одновременного протекания процессов доизмельчения помола зерна, растворения и гидролиза крахмала. Все эти процессы проходят с высокой скоростью массообмена в условиях механокавитационного воздействия на водно-зерновую смесь [3]. Кроме того, в результате обработки происходит увеличение растворимости биополимеров зерна, что обусловлено укорачиванием цепей (снижением молекулярной массы) и появлением новых концевых групп и звеньев [4].

Установлено, что механодеструкция крахмала не только облегчает его распад под действием  $\beta$ -амилазы, но и увеличивает глубину распада, повышая примерно на 10 % границы осахаривания. Изменение устойчивости к определенному воздействию в результате механодеструктивных превращений полимеров основывается на изменении свойств субстрата в результате действия механических сил в данных условиях. К наиболее типичным изменениям, кроме снижения молекулярной массы, относятся разрыхление – аморфизация структуры, изменение химического строения и появление новых функциональных групп, изменение конформации, пластичности и растворимости [4].

**Цели исследований.** Доказать возможность замены традиционного оборудования для затираания на РПА.

**Задачи исследований:**

- исследовать влияние режимных параметров на процесс затираания;
- определить рациональные режимы ведения процесса;
- изучить процесс брожения и кинетические показатели роста дрожжей;
- исследовать качество готового напитка.

**Методы исследований.** В качестве объектов исследования использовали солод ячменный пивоваренный по ГОСТ 29294-92; пивное сусло, полученное традиционным способом и путем обработки заторов на РПА; дрожжи; готовое пиво; воду питьевую (ГОСТ 2874). При проведении экспериментов применяли современные физико-химические, биохимические и микробиологические методы исследования. Готовое пиво анализировали по ГОСТ 12787-8, ГОСТ 12788-87, ГОСТ 12789-87, ГОСТ 30060-93.

Обработка заторов осуществлялась в РПА [5]. Отличительной особенностью данного аппарата от традиционных конструкций является установка направляющих лопастей в области между зубьями ротора и внутренней стенкой корпуса. Это позволяет осуществить направленное движение материальных потоков, что увеличивает продолжительность обработки сырья в рабочей зоне за счет многократного прохождения обрабатываемого продукта через прорезы ротора и статора. Кроме этого, установка направляющих лопастей приводит к снижению потребляемой энергии (приблизительно на 5%). Это можно объяснить снижением гидравлических сопротивлений при движении потока в области между зубьями ротора и внутренней стенкой корпуса.

Таблица 1

**Техническая характеристика экспериментальной установки**

Характеристика	Значение
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	0,050–0,100
Объем РПА, м <sup>3</sup>	1,12·10 <sup>-3</sup>
Передаточное число клиноременной передачи, с <sup>-1</sup>	1,47
Частота вращения ротора	До 418,67
Межцилиндровый зазор, м	0,1·10 <sup>-3</sup> - 0,5·10 <sup>-3</sup>
Количество отверстий в ступице ротора, шт.	4
Общая площадь отверстий в ступице ротора, м <sup>2</sup>	0–0,0038465

В ходе работы было установлено влияние обработки заторов в РПА на качество пивного сусла и определены рациональные параметры технологического процесса. В качестве рациональных параметров при проведении экспериментов были приняты: частота вращения ротора – 1450 об/мин, величина межцилиндрового зазора – 0,2·10<sup>-3</sup> м, количество направляющих лопастей – 4, продолжительность обработки – 10 мин, коэффициент загрузки сырья – 0,9.

Рациональные параметры процесса были получены в ходе предварительных исследований с использованием метода планирования экспериментов.

Для выбора частоты вращения ротора и количества направляющих лопастей определяющим фактором являлась величина потребляемой энергии. При частоте вращения менее 1000 об/мин не наблюдалось ярко выраженных ультразвуковых воздействий. Также было отмечено резкое снижение интенсивности процесса, хотя затраты энергии находились на сравнительно низком уровне. Увеличение частоты вращения ротора свыше 1500 об/мин приводит к резкому возрастанию количества потребляемой энергии без существенного улучшения технологических показателей процесса затирания. Количество устанавливаемых лопастей также связано с расходом энергии. Увеличение числа лопастей до более четырех приводит к росту потребляемой энергии. Уменьшение количества лопастей до трех и менее приводит к снижению затрат энергии на осуществление процесса.

При определении величины межцилиндрового зазора в качестве основного параметра использовали степень измельчения частиц твердой фазы. Переизмельчение твердых частиц ведет к увеличению времени фильтрования сусла, что увеличивает продолжительность всего технологического процесса. Увеличение зазора между ротором и статором уменьшает степень воздействия рабочих органов аппарата на обрабатываемый продукт и в итоге снижает выход экстрактивных веществ из-за более крупного размера частиц твердой фазы.

Продолжительность обработки сырья в РПА, так же как и температурный режим процесса, определялась технологическими требованиями. Данные показатели характеризуют скорость и время проведения необходимых биохимических процессов, что влияет на качество и органолептические показатели конечного продукта. Время осахаривания лабораторного сусла в среднем составляет 15 минут. Представляло интерес выяснить, может ли обработка в РПА сократить время осахаривания до 10 минут.

Коэффициент загрузки сырья определялся технологическими показателями и связан с производительностью аппарата.

**Результаты исследований.** Затираание является важнейшим процессом производства сусла, цель которого заключается в переводе нерастворимых веществ солода в растворимые. Решающее значение при этом приобретает процесс превращения веществ. По экономическим соображениям большинство нерастворимых соединений пытаются перевести в растворимые, чтобы получить как можно больше экстракта. Однако имеет значение не только количественное содержание, но и качество экстракта, так как присутствие определенных соединений (например, дубильных веществ из оболочек) весьма нежелательно, тогда как другие соединения (например, определенные сахара или продукты расщепления белков) совершенно необходимы [6].

На процесс затираания зернопродуктов оказывают влияние различные факторы: температура, длительность процесса, концентрация затора и др. Особое значение имеет температурный режим, который и определяет ход биохимических превращений. Затвор выдерживают при различных температурах, которые являются оптимальными для действия солодовых ферментов: 62–65°C – оптимум действия β-амилазы; 72–75°C оптимум для фермента α-амилазы; 45–50°C – оптимум действия протеаз [6]. Для проведения эксперимента в РПА выбран диапазон температур 65–80°C с начальной температурой затираания 65°C, так как интервал 65–76°C является оптимальным для гидролиза крахмала амилотическими ферментами. Число Кольбаха солода, используемого в эксперименте, составляет 42%, т.е. солод растворен очень хорошо, следовательно, диапазона 65–70°C будет достаточно для гидролиза белка. При этой температуре в большей степени образуются высокомолекулярные продукты расщепления белковых веществ, которые считаются обеспечивающими пеностойкость [6].

На процесс расщепления крахмала оказывает влияние концентрация затора. В относительно жидких заторах в раствор переходит больше экстракта, однако более плотные заторы защищают ферменты от слишком быстрой термической инактивации (благодаря защитному действию коллоидных частиц затора и растворенных веществ). Благодаря этому в более плотных заторах повышается количество сбраживаемых сахаров [6]. В последнее время на пивоваренных предприятиях широко распространено высокоплотное пивоварение, суть которого заключается в переработке высококонцентрированных заторов. Этот способ намного повышает эффективность производства за счет большего накопления сухих веществ в сусле, экономии сырья и энергоресурсов. Имеются данные, что снижение гидромодуля обрабатываемого в РПА замеса в спиртовом производстве положительно влияет на процесс накопления сухих веществ [2]. Таким образом, для экспериментальных заторов выбран гидромодуль 1:3.

Параметры обработки опытных заторов в РПА приведены в таблице 2.

Таблица 2

### Параметры обработки заторов в РПА

Параметр	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3
Температура воды, подаваемой на затираание, °C	65	65	65
Температура в рубашке, °C	80	70	65
Температура затора на выходе из аппарата, °C	82	76	70
Время обработки, мин	10	10	10
Коэффициент загрузки аппарата	0,9	0,9	0,9
Частота вращения ротора, об/мин	1450	1450	1450
Величина нагрузки на двигатель, А	9	9	9

Контрольный образец сусла готовили настойным способом затираания с выдержкой затора при температурах 52, 63, 72°C в течение 30 минут и 15 минут при температуре 78°C.

Результаты экспериментов приведены в таблице 3.

Сравнительный анализ физико-химических показателей контрольного сусла и сусла, полученного путем обработки затора в РПА

Показатель	Контроль	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3
Йодная проба, цвет взаимодействия	Желтый	Желтый	Желтый	Желтый
Содержание сухих веществ, %	21,5	21,5	20,9	20,0
Содержание аминного азота, мг/100 г сухих веществ	273,3	226,5	320,3	283,1
Содержание фракции белка А, мг/100 г сухих веществ	188,6	115,4	108,3	106,0
Содержание полифенолов, мг/100 г сухих веществ	1569,8	680,5	665,2	677,0
Мутность, ед.опт. плотн.	0,46	0,44	0,34	0,30

Как видно из представленных данных, обработка заторов в РПА в течение 10 минут является достаточной для осахаривания затора и накопления необходимого количества сухих веществ, приводит к более полному расщеплению белка, снижает экстракцию полифенолов.

Анализируя полученные данные по влиянию обработки заторов в РПА на физико-химические показатели сусла, выявили, что наиболее благоприятными условиями для протекания процесса являются параметры опыта 2. При использовании таких условий обработки на 17 % увеличилось содержание аминного азота, на 43 % снизилось содержание высокомолекулярной фракции белка А и на 68 % уменьшилось количество полифенольных веществ, мутность сусла снизилась на 26 %.

С целью контроля процесса брожения готовили охмеленное сусло, полученное обработкой затора в РПА с выбранными рациональными параметрами, и сбраживали его дрожжами. Экстрактивность начального сусла контрольного и опытного образцов составила 11 %. В обоих случаях наблюдалась высокая скорость сбраживания: продолжительность процесса составила 6 суток.

Более полную информацию о брожении можно получить с помощью расчетных кинетических показателей процесса, которые приведены в таблице 4.

Таблица 4

Основные показатели роста дрожжевой культуры

Показатель	Контроль	Опыт
Удельная скорость роста, ч <sup>-1</sup>	0,0099	0,0137
Константа скорости деления, кл/ч	0,0275	0,0653
Время генерации, ч <sup>-1</sup>	36,36	15,31
Время удвоения биомассы, ч	70,0	50,6
Экономический коэффициент	0,17	0,34
Метаболический коэффициент	0,058	0,040
Урожай, млн кл.	8,5	20,1
Скорость сбраживания, ч	20,8	15,0
Скорость сбраживания, % сухого вещества/ч	0,048	0,067
Точка флокуляции, %	18,6	43,2

Удельная скорость роста характеризует прирост биомассы в единицу времени. Этот показатель в опытном образце превышает контроль на 38 %, константа скорости деления превышает контроль на 137 %.

Время генерации опыта снижено по сравнению с контролем на 58 %. Время удвоения биомассы (скорость роста) – среднее время генерации, которое соответствует времени, необходимому для удвоения популяции дрожжей. Этот показатель опытного образца ниже контрольного на 28 %.

Экономический коэффициент характеризует потребление субстрата дрожжами. Чем выше экономический коэффициент, тем меньше дрожжи потребили субстрата, т.е. тем эффективнее идет процесс. Экономический коэффициент опытного образца выше контроля на 100 %. Метаболический коэффициент характери-

зует образование спирта (чем ниже этот показатель, тем эффективнее протекает брожение) в опытном сусле на 100 % выше контрольного.

Скорость сбраживания (время, необходимое для сбраживания 1 % экстракта) опытного образца снижена по сравнению с контролем на 30 %. Точка флокуляции (сброженность сусле к моменту, когда биомасса, находящаяся в суспензии, максимальна) превосходит контрольный на 132 %.

Приведенные кинетические показатели роста дрожжевой культуры дают основание сделать вывод о том, что обработка затора в РПА положительно повлияла на процесс спиртового брожения. Показатели качества готового пива представлены в таблице 5.

Таблица 5

#### Физико-химические показатели готового пива

Показатель	Контроль	Опыт
Объемная доля спирта, %	4,0	4,2
Кислотность, к.ед.	2,3	2,2
Цвет, ц.ед.	0,9	0,7

Как видно из таблицы, опытное пиво выгодно отличается от контрольного по содержанию спирта – на 5 %, незначительно отличается по кислотности и цвету.

Дегустационная оценка готового пива показала, что опытное пиво отличается чистым, полным, гармоничным вкусом и получило высокую оценку.

Таким образом, обработка заторов в РПА повышает эффективность производства пива за счет большего извлечения экстрактивных веществ солода, экономии сырья, также улучшает качество пивного сусле, положительно влияет на процесс брожения и качество готового напитка.

**Выводы.** Показана возможность замены традиционного оборудования для проведения процесса затирания на РПА с направляющими лопастями. Определены рациональные параметры и исследовано их влияние на проведение процесса затирания. Изучены процесс брожения и кинетические показатели роста дрожжей. Получен конечный продукт и исследовано его качество.

#### Литература

1. Механохимия в решении экологических задач: анализ. обзор/ Ин-т химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосиб. гос. ун-т, Научно-образовательный центр «Молекулярный дизайн и экологически безопасные технологии». – Новосибирск, 2006. – Вып. 79.
2. 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.
3. Журба О.С., Поляков В.А., Леденев В.П. Технология этанола из целого зерна пшеницы на основе интенсивных способов обработки сырья // Производство спирта и ликероводочных изделий. – 2004. – № 1. – С. 14–17.
4. Барамбойм Н.К. Механохимия высокомолекулярных соединений. – М.: Химия, 1978. – 384 с.
5. Патент № 2397793. Роторно-пульсационный экстрактор с направляющими лопастями / А.Н. Потанов, Е.А. Светкина, А.М. Попик, М.В. Просин.
6. Кунце В., Мит Г. Технология солода и пива. – СПб.: Профессия, 2001.