

**А.Н. Потапов, М.В. Просин, А.М. Магилина, М.В. Понамарева**

## **РАЗРАБОТКА ЭКСТРАКТОРОВ ДЛЯ СИСТЕМЫ «ТВЕРДОЕ ТЕЛО – ЖИДКОСТЬ»**

С целью снижения затрат на производство и улучшения качества конечного продукта было разработано новое оборудование для проведения процесса экстрагирования в системе «твердое тело – жидкость» на основе роторно-пульсационного аппарата. Дан обзор и принцип работы роторно-пульсационных экстракторов. Экспериментально доказана их эффективность при извлечении сухих веществ из плодов черноплодной рябины и при проведении процесса затирания для пивоваренного производства. Использование направляющих лопастей позволило сократить продолжительность экстрагирования плодово-ягодного сырья в 2–4 раза и снизить количество потребляемой энергии на 10–15 %. Применение СВЧ-излучения к производству пива на стадии затирания привело к уменьшению длительности процесса в 5–8 раз, увеличению выхода сухих веществ и сокращению последующих стадий производства.

Экстрагирование, роторно-пульсационный экстрактор, плодово-ягодное сырье, затирание.

### **Введение**

В настоящее время экстрагирование является одним из основных процессов, применяемых во многих отраслях производства (фармацевтическая, косметическая, химическая и др.). Особую роль экстрагирование играет в пищевой промышленности: в сахарном, маслоэкстракционном, эфирно-масличном, ликеро-водочном, ферментном, пивоваренном, консервном, при изготовлении концентратов кофе и чая, вина, безалкогольных напитков и многих других продуктов [1]. Поэтому необходимо, чтобы процесс экстрагирования проводился высокоэффективно и экономически целесообразно.

Экстрагирование в системе «твердое тело – жидкость» в пищевой промышленности является основным процессом, определяющим дальнейшие стадии переработки сырья и получения конечных продуктов. В настоящее время отсутствует научно обоснованный подход как к проведению этих процессов, так и к выбору его аппаратурного оформления.

Разработка нового высокоэффективного оборудования и модернизация уже применяющихся аппаратов в настоящее время является актуальной задачей, поскольку позволяет интенсифицировать процесс, снизить затраты на производство и улучшить качество конечного продукта.

Анализ применяемых экстракторов и методов повышения эффективности процесса экстрагирования позволяет сделать вывод об основных путях совершенствования конструктивного оформления этого процесса. Наиболее значимые методы интенсификации процесса сводятся к увеличению поверхности контакта фаз и применению активных гидромеханических режимов ведения процесса.

Повышение поверхности массообмена традиционно достигается уменьшением размера частиц твердой фазы, участвующей в процессе. Следует отметить, что чрезмерное переизмельчение может привести к ухудшению массообмена [2]. Таким образом, первый метод непосредственно связан со вторым способом улучшения эффективности процесса. Применение активных гидродинамических режимов экс-

трагирования связано в основном с совершенствованием конструкций аппаратов. Традиционные конструкции экстракторов обеспечивают надежную работу, хоть и не отличаются высокой эффективностью и имеют ряд недостатков, к которым относятся большие габариты, высокие продолжительность обработки сырья и энергозатраты, сравнительно низкая степень извлечения компонентов [2].

Из всего многообразия используемых для процесса экстрагирования аппаратов хотелось бы выделить аппараты роторно-пульсационного типа (РПА). Аппараты этого типа хорошо себя зарекомендовали для процессов гомогенизации, диспергирования и др. В данных аппаратах происходит интенсивное воздействие на обрабатываемую среду акустической импульсной кавитацией, гидравлическими ударами, сдвиговыми напряжениями, что приводит к повышению эффективности осуществляемых процессов. От используемых на современных предприятиях экстракционных аппаратов РПА отличаются низкой удельной энерго- и металлоемкостью при высоком качестве получаемого готового продукта [3].

Экстрагирование в РПА основано на циркуляции и многократной обработке среды во внутреннем объеме аппарата. При работе РПА наблюдаются большие градиенты скоростей, происходит интенсивное механическое воздействие на частицы сырья, возникает эффективная турбулизация и пульсация потока [3].

Необходимо отметить, что использование роторно-пульсационных аппаратов позволяет исключить из технологического цикла стадию измельчения. При различных режимах работы экстракторов роторно-пульсационного типа через 70–90 с частицы твердой фазы приобретают конечный размер, не превышающий 0,05 мм (при межцилиндровом зазоре – 0,1 мм). Явления, сопровождающие работу данных экстракторов, способствуют сокращению продолжительности экстрагирования, увеличению выхода извлекаемых веществ, а также повышению качественных характеристик получаемых экстрактов.

Учитывая особенности проведения экстракционных процессов, в конструкцию вновь разработанных

устройств были внесены изменения, которые позволили интенсифицировать работу оборудования как за счет ведения процесса в активном гидродинамическом режиме, так и за счет направленного движения материальных потоков.

**Целью** работы является разработка оборудования для проведения процесса экстрагирования и экспериментально доказать его эффективность.

#### Объект и методы исследования

На кафедре ПАПП был разработан роторно-пульсационный экстрактор с направляющими лопастями (далее экстрактор 1), представленный на рис. 1 [4].

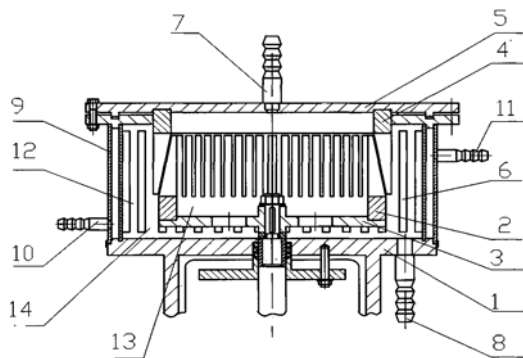


Рис. 1. Роторно-пульсационный экстрактор с направляющими лопастями

Он состоит из корпуса 1 с установленным в нем ротором 2, в ступице 3 которого имеются отверстия, и статором 4, выполненным в виде чередующихся коаксиальных цилиндров с прорезями. Статор с прорезями жестко закреплен на крышке 5. В области между зубьями ротора и внутренней стенкой корпуса расположены прямоугольные лопасти 6, изогнутые по винтовой линии в сторону вращения ротора. Патрубки 7 и 8 предназначены для ввода и вывода компонентов. Корпус аппарата снабжен тепловой рубашкой 9 со штуцерами 10 и 11 для подвода и отвода теплоносителя. В аппарате имеются рабочие полости 12 и 14, которые расположены между стенкой и зубьями, а также рабочая область 13 внутри ротора.

Аппарат работает следующим образом. Через входной патрубок 7 подаются компоненты жидкой и твердой фаз в рабочую область 13, где под действием центробежных сил поток движется через прорези зубьев ротора 2 и статора 4. Затем в рабочей полости аппарата 12 поток прямоугольными лопастями 6 направляется во внешнюю полость 14, где за счет насосного эффекта проходит через отверстия в ступице 3 ротора. При вращении ротора 2 происходит перекрытие прорезей ротора и статора, вследствие чего возникают пульсации потока и его турбулизация.

За счет закрепленных на внутренней стенке корпуса лопастей 6 происходит интенсивная, направленная и многократная циркуляция потока во внешней полости и рабочей области аппарата.

Эффективность разработанного аппарата и целесообразность установки лопастей были подтверждены в ходе проведения экспериментов по извлечению сухих веществ из плодово-ягодного сырья.

Для исследований использовались ягоды черноплодной рябины, произрастающей на территории Сибири и содержащей целый комплекс витаминов, микро- и макроэлементов. В качестве экстрагента был выбран 40 %-й водно-спиртовой раствор, который обладает максимальной экстрактивной способностью.

В ходе предварительных испытаний были определены параметры проведения экспериментов:

- коэффициент загрузки аппарата – 90 %;
- частота вращения ротора – 2000 об/мин;
- величина межцилиндрового зазора –  $0,1 \cdot 10^{-3}$  мм;
- количество лопастей – 0, 4, 8, 12;
- соотношение жидкой и твердой фаз – 1:3.

На кафедре ПАПП по аналогии с предыдущим аппаратом был разработан роторно-пульсационный экстрактор с промежуточной обработкой продукта (далее экстрактор 2), представленный на рис. 2 [5].

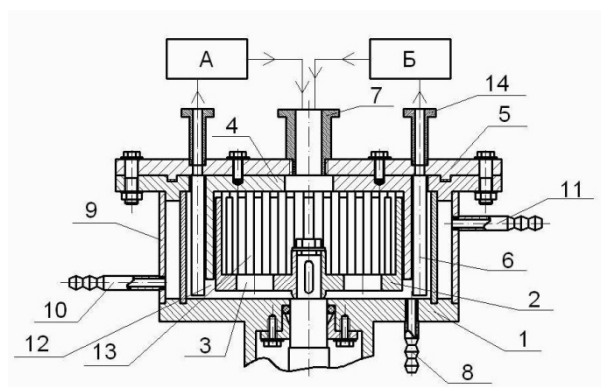


Рис. 2. Роторно-пульсационный экстрактор с промежуточной обработкой продукта

Конструкция аппарата схожа с экстрактором 1. Отличительной особенностью данного аппарата являются прямоугольные лопасти 6, расположенные в области между зубьями ротора и внутренней стенкой корпуса, изогнутые по винтовой линии в сторону, противоположную вращению ротора, и соединенные со штуцерами 14 на крышке аппарата. Лопасти предназначены для вывода части продукта из аппарата для промежуточной обработки (нагрев, центрифугирование, сепарирование и т.д.). Количество лопастей может варьироваться в зависимости от характера обработки продукта и количества необходимого оборудования.

Аппарат работает следующим образом. Через входной патрубок 7 подаются компоненты жидкой и твердой фаз в рабочую область 13, где под действием центробежных сил материальный поток движется через зубья ротора 2 и статора 4. Затем в рабочей полости аппарата 12 часть потока прямоугольными лопастями 6 через штуцер 14 направляется на промежуточную обработку в камеры А и Б. Остальная часть продукта циркулирует в рабочей области аппарата за счет насосного эффекта через отверстия 3 в ступице ротора. Прошедший обработку в камерах А и Б продукт возвращается в рабочую зону аппарата через штуцер 7. Процесс многократно повторяется, и весь продукт подвергается дополнительной обработке в камерах А и Б.

С целью проверки эффективности разработанного аппарата был проведен ряд экспериментов по обработке заторов для пивоваренного производства.

В качестве объектов исследования использовали солод ячменный пивоваренный (ГОСТ 29294-92) и воду питьевую (ГОСТ 2874). В качестве дополнительной обработки для создания необходимого температурного режима было выбрано СВЧ-излучение.

При помощи регрессионного анализа и предварительных испытаний были определены рациональные параметры для обработки заторов:

- продолжительность обработки – 10 мин;
- коэффициент загрузки аппарата – 90 %;
- частота вращения ротора – 1500 об/мин;
- величина межцилиндрового зазора –  $0,1 \cdot 10^{-3}$  мм;
- температурный диапазон – 65–75 °С;
- соотношение жидкой и твердой фаз – 1:3.

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.

Определение концентрации сухих веществ в полученных образцах осуществлялось при помощи рефрактометрического анализа на установке ИРФ-454Б2М [6].

### Результаты и их обсуждение

Эксперименты, проведенные на экстракторе 1, показали рациональность установки направляющих лопастей. В качестве выходного параметра использовали концентрацию экстрактивных веществ в экстракте. Результаты показаны на рис. 3.

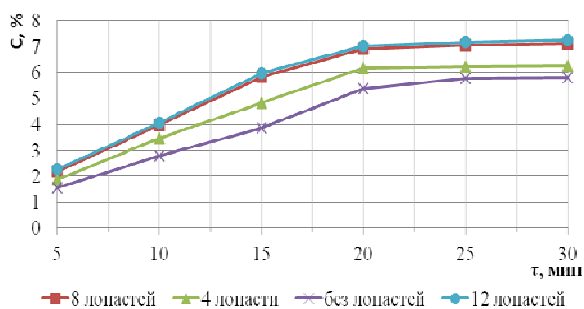


Рис. 3. Зависимость концентрации от продолжительности процесса

Анализ результатов показал, что максимальная концентрация была достигнута через 20 мин, при этом лучший результат был у аппарата с 8 и 12 лопастями. Дальнейшее проведение процесса становится нерациональным, так как наступает равновесие.

Это объясняется тем, что за счет установленных лопастей поток организованно направляется в рабочую зону аппарата, затем снова проходит через прорези ротора и статора для повторения цикла обработки. Многократное прохождение увеличивает длительность контакта экстрагируемой среды с экстрактом, резко уменьшая размер частиц твердого тела, тем самым увеличивая поверхность соприкосновения

фаз, уменьшая диффузионное сопротивление, за счет чего количество веществ, диффундирующих в единицу времени, возрастает. Неоднократное воздействие ультразвуковых волн позволяет ускорить процесс набухания материала, растворения содержимого клетки и увеличить скорость обтекания частиц сырья. Молекулярная диффузия внутри частиц материала и в пограничном диффузионном слое практически заменяется конвективной, что приводит к интенсификации массообмена.

При установке 12 лопастей результаты оказались максимально приближены к значениям, полученным экстракторе с 8 лопастями, а нагрузка на электродвигатель увеличилась, что можно увидеть на рис. 4.

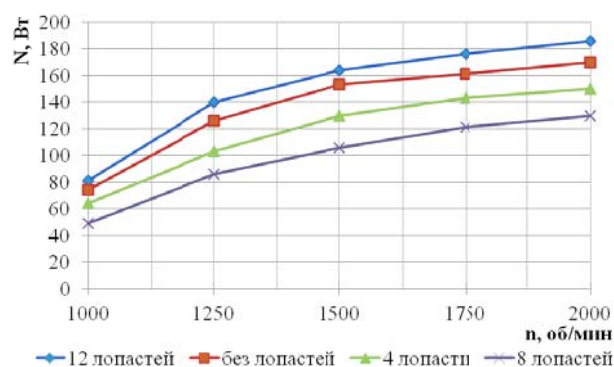


Рис. 4. Зависимость мощности от частоты вращения ротора

Анализируя представленный график, видно, что при 8 лопастях нагрузка на электродвигатель значительно меньше, чем при 12 лопастях, а значения концентраций практически одинаковы. Так как скорость потока среды велика, то движение материального потока за счет установленных лопастей становится более организованным, вследствие чего уменьшается гидравлическое сопротивление, а следовательно, и мощность. В случае же с большим количеством лопастей (в данном случае 12) поток скорее не организуется, а, наоборот, создает дополнительные вихревые потоки и флуктуации, за счет чего движение потока становится турбулентным и мощность увеличивается. В связи с этим использование более чем 8 лопастей становится нерациональным.

Для исследования экстрактора 2 были проведены эксперименты по приготовлению заторов для дальнейшего производства пива. Оценка эффективности работы экстракционного аппарата осуществлялась путем сравнения значений концентрации растворимых сухих веществ и других компонентов в сусле, полученным при помощи экстрактора 2 и приготовленным по классической настольной схеме затирания [7]. Контрольный образец сусле готовили с выдержкой затора при температурах 52, 63, 72 °С в течение 30 мин и 15 мин при температуре 78 °С.

Следует отметить, что затирание – неотъемлемая технологическая стадия производства пива, которая проводится в заторных аппаратах и длится более 1,5 ч [7].

Для оценки влияния температур были проведены исследования при следующих температурах:

опыт 1 – 65 °С; опыт 2 – 70 °С; опыт 3 – 75 °С. Результаты проведенных экспериментов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Качественный состав образцов, полученных на экстракторе 2

Показатель	Контроль	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3
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	1596	680,5	665,2	677,0
Мутность, ед. опт. плотн.	0,46	0,44	0,34	0,30

Для соблюдения технологических условий приготовления пива после проведения экспериментов бралась проба на осахаривание крахмала в полученном заторе. На всех опытах йодная проба показала полное осахаривание крахмала.

Анализируя результаты экспериментов, видно, что лучшие физико-химические показатели у сула, полученного в опыте 2. При использовании рациональных параметров обработки и температуры 70 °С в полученном сусле увеличивается содержание аминного азота на 17 %, на 43 % снижается содержание высокомолекулярной фракции белка А, количество полифенольных веществ уменьшается на 68 % и мутность снижается на 26 % по сравнению с контрольным образцом, что положительно влияет на качество конечного продукта.

Далее из полученного при помощи экстрактора 2 пивного сула готовили пиво. На стадии брожения опытный образец показал себя несколько лучше,

чем контрольный. Пиво, сваренное из опытного образца, незначительно отличалось от контрольного по содержанию спирта, кислотности и цвету, обладало чистым, полным, гармоничным вкусом и получило высокую дегустационную оценку.

Таким образом, обработка заторов в экстракторе 2 улучшает качество пивного сула, положительно влияет на процесс брожения и качество готового продукта.

Эксперименты по определению мощности, потребляемой электродвигателем на экстракторе 2, показали не такие хорошие результаты, как на экстракторе 1. Каждая установленная лопасть для дополнительной обработки повышает количество потребляемой энергии на 5–7 %. Это можно объяснить тем, что лопасть направляет часть материала в сторону от основного направления материального потока, за счет чего увеличивается сопротивление, а следовательно, и мощность. Поэтому использование большого количества лопастей нерационально и требует установки более мощного электродвигателя.

Следует отметить, что при использовании СВЧ-излучения для создания необходимого температурного режима затраты на электроэнергию гораздо меньше, чем при любом другом способе нагрева. В связи с этим на стадии обогрева и происходит значительная экономия энергии.

Анализ экспериментальных данных показал, что при использовании разработанного нами экстрактора повышается эффективность производства пива за счет большего извлечения экстрактивных веществ солода и экономии сырья, снижается время проведения процесса затирания и, как следствие, расход электроэнергии.

В качестве наиболее значимых результатов можно отметить интенсификацию процесса затирания при производстве пива. Полученные данные показывают сокращение продолжительности процесса в 5–8 раз, увеличение выхода сухих веществ, сокращение продолжительности последующих стадий производства пива. Использование аппарата при получении плодово-ягодных экстрактов также позволило сократить продолжительность экстрагирования в 2–4 раза при соответствующем качестве конечного продукта и снизить количество потребляемой энергии на 10–15 %.

Таким образом, применение разработанных аппаратов показало высокую эффективность данных устройств и перспективность их использования в различных отраслях промышленности.

#### Список литературы

1. Домарецкий, В.А. Технология экстрактов, концентратов и напитков из растительного сырья: учеб. пособие / В.А. Домарецкий. – М.: Форум, 2007. – 444 с.
2. Лысянский, В.М. Экстрагирование в пищевой промышленности / В.М. Лысянский, С.М. Гребенюк. – М.: Агропромиздат, 1987. – 188 с.
3. Промтов, М.А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика: монография / М.А. Промтов. – М.: Машиностроение-1, 2001. – 260 с.
4. Пат. 2397793 Российская Федерация. Роторно-пульсационный экстрактор с направляющими лопастями / Потапов А.Н., Светкина Е.А., Попик А.М., Просин М.В.
5. Пат. 2445143 Российская Федерация. Роторно-пульсационный экстрактор с промежуточной обработкой продукта / Потапов А.Н., Светкина Е.А., Попик А.М., Просин М.В.

6. Блиникова, А.А. Рефрактометрический метод в анализе лекарственных средств, концентратов, спирто-водных растворов: учебно-методическое пособие / А.А. Блиникова. – Томск, 2002. – 36 с.

7. Федоренко, Б.Н. Пивоваренная инженерия: технологическое оборудование отрасли: учебник для студентов вузов / Б.Н. Федоренко. – СПб.: Профессия, 2009. – 1000 с.

ФГБОУ ВПО «Кемеровский технологический институт  
пищевой промышленности»,  
650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47.  
Тел/факс: (3842) 73-40-40,  
e-mail: office@kemtipp.ru

## SUMMARY

**A.N. Potapov, M.V. Prosin, A.M. Magilina, M.V. Ponomareva**

### DEVELOPMENT OF EXTRACTORS FOR SYSTEM OF SOLID — LIQUID

In order to reduce production costs and improve the quality of the final product, new equipments for the extraction process for system solid – liquid on the basis of the rotary-pulsation machine are developed. The overview of the principle of operation of rotary-pulsating extractors is provided. Experimentally proved the effectiveness of extractors for extracting the components of chokeberry and for mashing process for the brewing industry. Use of the guide vanes has reduced the duration of extraction of fruit raw material by 2–4 times and power consumption by 10–15 %. The use microwave energy for the production of beer in the mashing step, reduced processing time by 5–8 times, increased the yield and reduced following production stages.

Extraction, rotary-pulsation extractor, fruit and berry raw materials, mashing process.

Kemerovo Institute of Food Science and Technology,  
47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia.  
Phone/fax: +7 (3842) 73-40-40,  
e-mail: office@kemtipp.ru

*Дата поступления: 01.07.2013*

