

<https://doi.org/10.47370/2072-0920-2021-17-5-31-42>



УДК [635.615:664.292]

© 2021

Поступила 10.08.2021

Received 10.08.2021

Принята в печать 04.10.2021

Accepted 04.10.2021

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interests*

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL ARTICLE

**ДИСПЕРГИРОВАНИЕ АРБУЗНЫХ КОРОК,  
КАК ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ,  
В ТЕХНОЛОГИЯХ ПЕКТИНОСОДЕРЖАЩИХ ЭКСТРАКТОВ  
И ПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР**

**Галина С. Мещерякова, Альберт Х.-Х. Нугманов\*, Игорь Ю. Александян,  
Юрий А. Максименко, Екатерина В. Соколова**

*ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»;  
ул. Татищева, д. 16, г. Астрахань, 414056, Российская Федерация*

**Аннотация.** Разработка защитных покрытий на базе пектиновых субстанций, служащих натуральными структурообразователями, выработанными из вторичной ресурсной базы, ориентирована на снятие комплексной проблемы при производстве готовых изделий путем глубокой обработки основных сырьевых материалов и разработки оригинального пленочного материала. При этом техническим результатом получения пектиносодержащих пленочных структур является их способность обеспечить защиту пищевым продуктам от микробиологической порчи, естественных потерь при хранении и сохранности показателей качества и безопасности. К важной подготовительной процедуре, определяющей эффективность и интенсивность процессов экстракции, можно отнести операцию диспергирования исходного сырья, т.к. она напрямую влияет на величину площади поверхности контакта фаз, участвующих в массообмене. Однако априори, чем больше степень измельчения, тем выше эффективность процесса. Но чрезмерное повышение может привести к дополнительным неоправданным энергозатратам и, как следствие, к росту стоимости реализуемой готовой продукции. В связи с этим была поставлена цель данного исследования, которая заключается в анализе существующих технологий получения пектиносодержащих экстрактов из коры арбуза и оценке возможности интенсификации процесса экстрагирования за счет проведения рациональной подготовительной процедуры по измельчению исходного сырья на базе дисперсного анализа исходного сырья после реализации процедуры его измельчения. В качестве объекта исследования были выбраны корки арбуза как не утилизируемые отходы переработки арбузного сырья. Согласно полученным графикам и учитывая высокие показатели студнеобразования полученных пектиновых экстрактов, можно рекомендовать комплексную обработку арбузной корки, включающей, кроме операций предварительной подготовки сырья, ультразвуковое воздействие и кислотный гидролиз, причем желателен применять вместо агрессивных серной и соляной – пищевые кислоты, например уксусную или лимонную. В результате изучения дисперсного

состава сделано заключение о том, что средний эквивалентный размер частиц у диспергированного сырья не выходит за рамки рекомендуемых пределов, то есть полученный результат можно признать приемлемым.

**Ключевые слова:** пищевые отходы, вторичные сырьевые ресурсы, арбуз, диспергирование, техника измельчения, интенсификация, экстрагирование, ультразвук

*Для цитирования: Диспергирование арбузных корок, как вторичного сырья, в технологиях пектиносодержащих экстрактов и пленочных структур / Мещерыкова Г.С. [и др.] // Новые технологии. 2021. Т. 17, № 5. С. 31-42. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2021-17-5-31-42>*

## DISPERSION OF WATERMELON RINDS AS SECONDARY RAW MATERIALS IN TECHNOLOGIES OF PECTIN-CONTAINING EXTRACTS AND FILM STRUCTURES

**Galina S. Meshcheryakova, Albert H.-H. Nugmanov, Igor Yu. Aleksanian,  
Yuriy A. Maksimenko, Ekaterina V. Sokolova**

*FSBEI HE «Astrakhan State Technical University»;  
16 Tatishchev str., Astrakhan, 414056, the Russian Federation*

**Abstract.** The development of protective coatings based on pectin substances that serve as natural structure-forming agents developed from a secondary resource base is focused on removing a complex problem in the production of finished products by deep processing of basic raw materials and developing an original film material. At the same time, the technical result of obtaining pectin-containing film structures is their ability to protect food products from microbiological spoilage, natural losses during storage and the preservation of quality and safety indicators. An important preparatory procedure that determines the efficiency and intensity of extraction processes can be attributed to the operation of dispersing the feedstock, since it directly affects the size of the contact surface area of the phases involved in mass transfer. However, it is clear that the greater the degree of grinding, the higher the efficiency of the process, but an excessive increase can lead to additional unjustified energy costs and, as a result, to an increase in the cost of the finished products sold. In this regard, the purpose of the research is to analyze existing technologies for producing pectin-containing extracts, in which watermelon rinds can be used as secondary resources and to intensify the extraction process by conducting a rational preparatory procedure for grinding the raw materials. The object of the research are watermelon rinds as non-recyclable waste from processing watermelon raw materials. According to the obtained graphs, and taking into account the high rates of gelatinization of the obtained pectin extracts, it is possible to recommend a complex treatment of watermelon rinds, including, in addition to the operations of preliminary preparation of raw materials, ultrasonic exposure and acid hydrolysis, and it is desirable to use food acids, for example, acetic or citric, instead of aggressive sulfuric and hydrochloric acids. As a result of the study of the dispersed composition, it has been concluded that the average equivalent particle size of the dispersed raw materials does not exceed the recommended limits, that is, the result obtained can be considered acceptable.

**Keywords:** food waste, secondary raw materials, watermelon, dispersion, grinding technique, intensification, extraction, ultrasound

*For citation: Meshcheryakova G.S. et al. Dispersion of watermelon rinds as secondary raw materials in technologies of pectin-containing extracts and film structures. New technologies. 2021; 17(5):31-42. (In Russ). <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2021-17-5-31-42>*

## **Введение**

Пристальное внимание в мире стали обращать на интенсивное увеличение использования синтетических полимерных упаковочных материалов для пищевых продуктов, что обуславливает перманентный рост отходов, которые не подвержены биоразложению. Это предопределяет актуальность решения задач по разработке и производству пищевой современной упаковки в различных секторах пищевой индустрии, которая позволит уменьшить отрицательное воздействие на внешнюю среду обитания населения, в частности посредством заметного понижения времени биodeградации упаковки после ее применения. Одним из максимально пригодных методов решения данных задач служит широкое использование в инженерной практике съедобных защитных пленок на основе пектина из возобновляемых пищевых сырьевых источников.

Разработка защитных покрытий на базе пектиновых субстанций, служащих натуральными структурообразователями, выработанными из вторичной ресурсной базы, ориентирована на снятие комплексной проблемы при производстве готовых изделий путем глубокой обработки основных сырьевых материалов и разработки оригинального пленочного материала [1]. При этом техническим результатом получения пектиносодержащих пленочных структур является их способность обеспечить защиту пищевым продуктам от микробиологической порчи, естественных потерь при хранении и сохранности показателей качества и безопасности. Следует отметить, что в условиях нарастания рыночной потребности в пленочных покрытиях определяющей становится задача выявления новых источников для их производства.

## **Цель исследования**

Проанализировать существующие технологии получения пектиносодержащих экстрактов из коры арбуза и оценить возможность интенсификации процесса экстрагирования за счет проведения

рациональной подготовительной процедуры по измельчению исходного сырья на основе дисперсного анализа исходного сырья после реализации процедуры его измельчения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- на основе теоретического анализа современного состояния энерго- и ресурсосберегающих технологий получения пектиновых экстрактов из арбузной корки обосновать целесообразность применения комплексной обработки вторичного сырья, включая, кроме операций предварительной подготовки сырья, ультразвуковое воздействие и кислотный гидролиз;

- при получении пектиновых экстрактов из арбузной корки предложить и обосновать возможность вместо агрессивных серной и соляной кислот использование пищевых кислот, например уксусной или лимонной;

- провести дисперсный анализ исходного сырья после реализации процедуры его измельчения;

- провести выбор измельчительного оборудования для рационального проведения подготовительной процедуры по его диспергированию, предложить наиболее рациональное диспергирующее устройство на основе результатов изучения дисперсного состава диспергированного сырья в рамках рекомендуемых технологических пределов.

## **Основная часть**

К важной подготовительной процедуре, определяющей эффективность и интенсивность процессов экстракции, можно отнести операцию диспергирования исходного сырья, т.к. она напрямую влияет на величину площади поверхности контакта фаз, участвующих в массообмене. Однако априори, чем больше степень измельчения, тем выше эффективность процесса, но чрезмерное повышение может привести к дополнительным неоправданным энергозатратам и, как следствие, к росту стоимости реализуемой готовой продукции.

В качестве перспективного вторичного ресурса для производства пектинодержавшей пленки вполне может подойти арбузное сырье, так как, в первую очередь, в нем присутствует 13,4% пектиновых веществ, из которых 8,1% приходится на протопектин, определяющий прочность плодовой ткани [2], а во-вторых, согласно данным волгоградских ученых, невостребованной арбузной продукции на полях остается около 150 тыс. тонн, а это выброшенные ресурсы, используя которые можно получить различные и при этом нужные на рынке пищевые продукты, в том числе и глубокой переработки, те же пленочные пектинодержавшие структуры [3]. Конкретным объектом данного исследования послужили корки арбуза как не утилизируемые отходы переработки арбузного сырья.

Операция по измельчению арбузных корок, являющихся не утилизируемыми отходами, при комплексной переработке арбузного сырья проводилась на установке, показанной на рисунке 1, использование которой дает возможность измельчать продукт для дальнейшего извлечения из него водорастворимых составляющих [4]. Данный выбор обусловлен совмещением операций измельчения и подачи водной среды для создания заданного гидромодуля, кроме того, данное устройство отличается простотой конструкции и надежностью в эксплуатации.

Предложенное устройство (рис. 1) функционирует в следующей последовательности. Диспергирование происходит при подводе водной среды, которая служит экстрагентом при дальнейшей экстракции компонентов арбузной корки, растворимых в водной среде. Исходная корка направляется в люк 2 для ее загрузки, после чего она направляется в рабочую емкость 3, где диспергируется в пространстве между наклонной стационарной дробящей поверхностью, находящейся вверху и изготовленной в форме полого конуса 4, и подвижной диспергирующей шарошки

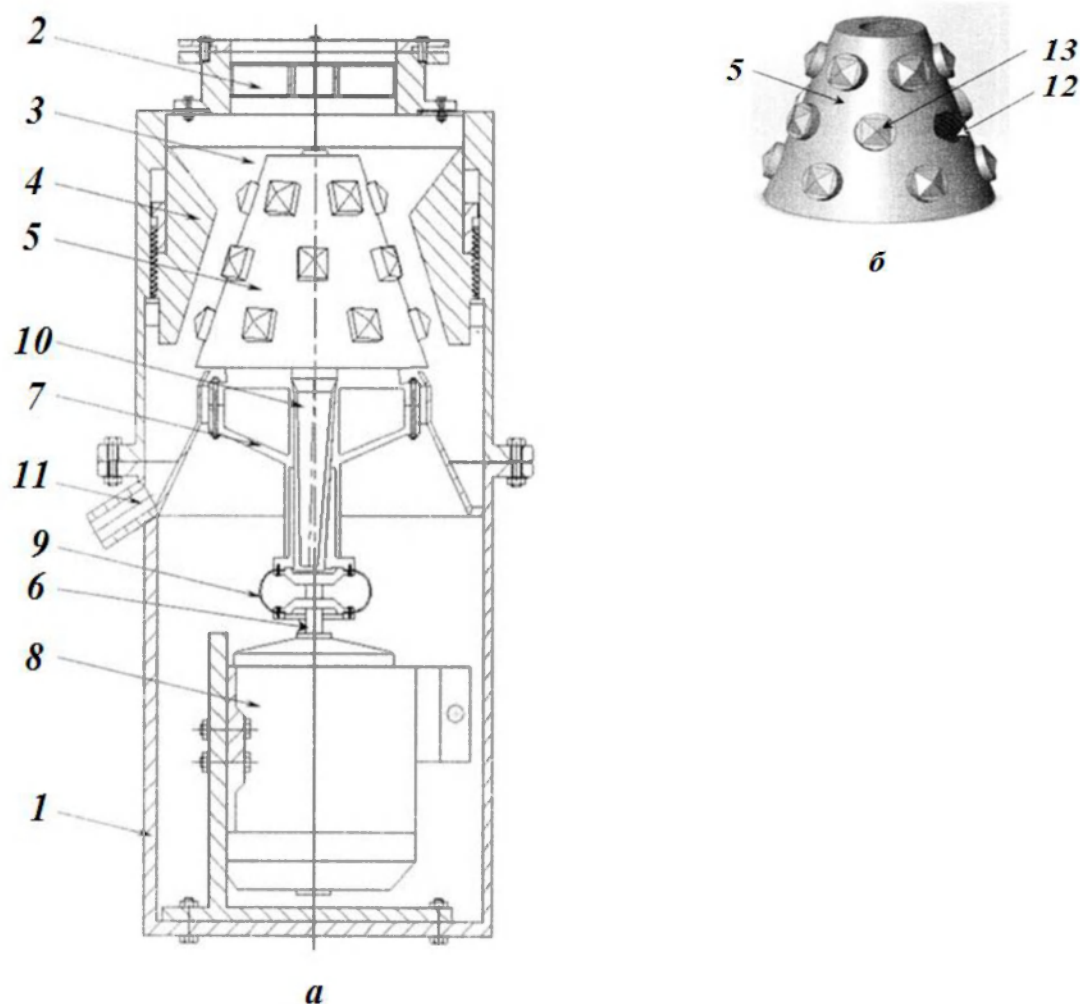
5, размещенной на валу 6 и связанной со стационарным основанием емкости 7. Шарошка 5 движется посредством электромотора 8. Следует учесть, что установка обеспечена дисбалансом 10, нужным для обработки материалов с учетом их габаритов и твердости, который изготовлен с возможностью самопроизвольной коррекции угла наклона подвижной шарошки 5.

При механической обработке корки в пространстве между полым конусом 4 и мобильной шарошкой 5 диспергируются и превращаются в пульпу. Под влиянием гравитации и наличия жидкостного потока образующаяся суспензия удаляется из установки сквозь отверстие для разгрузки 11, контактируя с экстрагентом в определенных долях и отводясь из области формирования отходов в зону для последующей обработки.

Однако для стабильной работы рекомендуемой установки (рис. 1) и обеспечения рациональных режимов экстрагирования целесообразно осуществить дисперсный анализ измельченной биомассы.

В рамках ISO 9276-1:1998 размер дисперсной частички находится как эквивалентный сферический диаметр  $d_{ЭКВ}$ , который равен диаметру сферы, имеющей такие же характеристики, как и исследуемый объект. Шарообразную частицу можно определить лишь посредством единственной величины – диаметра. На рисунке 2 представлена концепция получения данной размерной единицы, опирающейся на варьируемые физические параметры [5; 6].

С целью выявления размерной дисперсии частиц целесообразно применять способы, дающие возможность иметь информацию о размерах множества измельченных элементов сырья, обычно не меньше 200, или массе ряда фракций, и далее статистически обработать полученные результаты, что возможно путем оптического, электронного микроскопического, ситового и седиментационного



**Рис. 1.** Схема устройства для измельчения арбузных корок:

*a* – измельчитель в сборе; *b* – подвижная измельчающая шарошка; 1 – корпус; 2 – люк; 3 – рабочая емкость; 4 – полый конус; 5 – диспергирующая шарошка; 6 – вал; 7 – основание; 8 – привод; 9 – муфта; 10 – дисбаланс; 11 – отверстие для разгрузки; 12 – место коррекции угла наклона шарошки; 13 – рабочий орган шарошки

**Fig. 1.** Diagram of the device for grinding watermelon rinds:

*a* – assembled shredder; *b* – movable grinding cone; 1 – block; 2 – hatch; 3 – working capacity; 4 – hollow cone; 5 – dispersing cone; 6 – shaft; 7 – base; 8 – drive; 9 – clutch; 10 – imbalance; 11 – opening for unloading; 12 – the place of the correction of the angle of inclination of the cutter; 13 – cutter working body

анализа в поле гравитационных и центробежных сил.

За  $d_{ЭКВ}$  в нашем случае резонно взять диаметр шара с идентичной площадью внешней поверхности, что обусловлено тем, что именно она служит определяющим параметром процедуры экстрагирования, поскольку увеличение степени измельчения приводит к росту площади

поверхности взаимодействия между экстрагентом и объектом экстракции и потому обуславливает повышение скорости операции. Учтем, что размер частицы, не принимая во внимание специфику ее внутренней структурной организации, является не однозначным показателем оценки рациональной размерной характеристики экстрагируемого продукта. Поскольку



Рис. 2. Пути преобразования реальных размеров частицы в эквивалентный сферический диаметр

Fig. 2. Ways of converting the actual particle size to the equivalent spherical diameter

частицы имеют неправильную форму за характерный размер резонно взять диаметр окружности  $d_{\text{хар}}$  с площадью, идентичной площади поверхности частицы.

Итак, площадь при фазовом взаимодействии при массообмене можно представить в виде суммы идентичных поверхностей частиц, не принимая во внимание площадь боковых поверхностей, а при аппроксимации фотографии трансформировать форму частиц в окружности. Тогда эквивалентный диаметр можно рассчитать по соотношению:

$$d_{\text{экв}} = \frac{d_{\text{хар}}}{\sqrt{2}} \quad (1)$$

В связи с актуальностью проблемы экологичности производства пектиносодержащих пленочных структур в современный момент рекомендованы технологии извлечения пектиновых компонентов без применения дорогостоящих реагентов: организации кавитационного воздействия, экстракции посредством гидродинамических роторных преобразователей, применяя электроактивированную водную среду [7]. Данные методы выделения пектиновых компонентов имеют перспективу, однако сопровождаются существенными негативными сторонами, препятствующими их внедрению в инженерную практику.

Под электроактивированной водной средой понимается обычная питьевая

водопроводная вода после электролиза в агрегатах, где анодный и катодный участки разделяются непроницаемой для жидкой среды перегородкой. Вследствие такой переработки катодная вода (католит) приобретает свойства щелочи, а анодная (анолит) – кислоты, причем рН раствора можно изменять в широких пределах. Вода с рН выше 7 (щелочная) получила в обиходе название «живой», а с рН ниже 7 (кислая) – «мертвой».

Известен запатентованный способ получения пектинового экстракта с применением данного вида воды [8], который заключается в следующем. Сырьевые плодовоовощные материалы, а также фруктовые выжимки, свекловичный жом и др. 20...40 мин. промывают водой при 30...80°C. В случае применения сухих материалов в течение 20...30 мин. осуществляют водное промывание-набухание при 30...80°C. В ходе этих операций наблюдается экстракция из сырьевых материалов водорастворимых компонентов, таких как крахмал, сахара, красящие составляющие и др. и кроме того отводятся примеси минеральной природы. Далее 1,5...2,5 часа проводят гидролиз-экстрагирование сырьевых материалов при 75...95°C при непрерывном перемешивании в соотношении сырьевых материалов и гидролизующего агента 1 к 1,5...3,0, причем в качестве агента применяют электроактивированную водную среду с рН 1,2...2,5.

Следует отметить, что электроактивированная водная среда в медицинской практике официального признания не получила, однако известна информация об излечении ею ряда болезней, к примеру болезни Боткина, радикулита, гипертонии, аденомы предстательной железы и др. Противоречия в определении «живой» и «мертвой» водной среды присутствуют только в академической и прикладной научных областях. Состав материалов после электролиза зависит от условий его осуществления и преимущественно обусловлен параметрами водной среды, например ее минерализацией. Плотность тока, материал электродов, температурный режим и другие параметры, при которых осуществляется операция, служат влияющими факторами. Так, например, материалом электрода может служить нержавеющая сталь, в итоговом растворе формируются ионы никеля и железа, негативно влияющие на здоровье человека, и кроме того в водную среду переходит и токсичный хром.

Таким образом, вследствие непроверенности имеющихся сведений как с точки зрения технологии, так и в клиническом аспекте, что обуславливает отсутствие нормативных документов, реальное внедрение подобных способов в промышленную практику сомнительно и в настоящий момент необоснованно.

Под кавитационной обработкой подразумевают формирование заполненных паром и газом ячеек или пузырей при местном падении давления в жидкой среде до величины, соответствующей насыщенному пару, к тому же доли пара и газа в ячейках могут варьироваться, причем при превалировании той или иной составляющей ячейки определяют их как паровые или газовые. Деструкция клеточных мембран при кавитационной обработке наблюдается преимущественно под влиянием ударных волн и кумулятивных струй, формирующихся при схлопывании кавитационных ячеек. На поверхности твердых материалов и частиц

присутствуют концентраторы напряжений в форме микроскопических трещин, неровностей и т.п., где и формируются кавитационные зародыши. Под влиянием звукокапиллярного воздействия и высокоскоростных микроскопических потоков жидкая среда проникает в трещины и поры, где в процессе схлопывания ячеек появляется мощная ударная волна, обуславливающая деструкцию продуктов. Кумулятивные струи приводят к деструкции поверхность материала за счет кинетической энергии жидкой среды. Маленькие частички с размерами, соизмеримыми с поперечным сечением струй, захватываются ими и усугубляют процедуру деструкции частиц в жидкой среде.

Следует отметить, что основным «узким» местом такого метода выделения пектиновых компонентов служит чрезмерно агрессивное влияние на пектиновые молекулы [9; 10], в результате чего часть молекул подвергается полной деструкции или деградации до более простых полимеров, что приводит к падению выхода и снижению качественных показателей пектиновых веществ [7].

Более рациональным можно считать экстрагирование пектиновых веществ под влиянием кислот в комплексе с ультразвуковым воздействием на исходный материал, что обосновывается в результатах исследований, осуществленных в Оренбургском государственном университете, которые позволили разработать технологию кислотно-кавитационной экстракции пектиновых веществ из тыквы, кормового арбуза, свекловичного жома и корзинки подсолнечника.

В данной технологии использовалась ультразвуковая кавитационная обработка, дающая возможность контроля и регулировки параметров операции, причем ультразвуковым источником кавитации является устройство с пьезокерамическими пластинами. Гидролиз осуществляли при воздействии соляной и серной кислот. В процессе выявления рациональных параметров гидролиз-экстрагирования

меняли длительность воздействия, pH, температуру и интенсивность, а также частоту ультразвуковых волн.

Авторами [7] был сделан вывод о том, что использование ультразвуковой обработки не приводит к наибольшему выходу искомого материала. К тому же, чрезмерно агрессивное влияние ультразвука на материал приводит не только к деструкции клеточных мембран, но и к деполимеризации пектиновых молекулярных структур, что отрицательно сказывается на их желеобразующей способности. Однако в результате применения ультразвукового воздействия на сырье одновременно с его гидролизом соляной кислотой, удельный выход пектиновых веществ равнялся 94,7% от теоретически возможного при pH = 4 (рис. 3а). При использовании серной кислоты выход пектиновых компонентов равнялся 94,6% (рис. 3б). При этом студнеобразующая способность двухпроцентного пектинового экстракта, определяемая по методу Сосновского [11], в основе которой лежит измерение усилия, требуемое для пробивания студня толщиной 10 мм, и регистрация показаний манометра, была не ниже 50 кПа, что гарантирует его высокие потребительские свойства. Данный вариант апробирован в лабораторных и промышленных условиях и может служить базой для проведения дальнейших исследований.

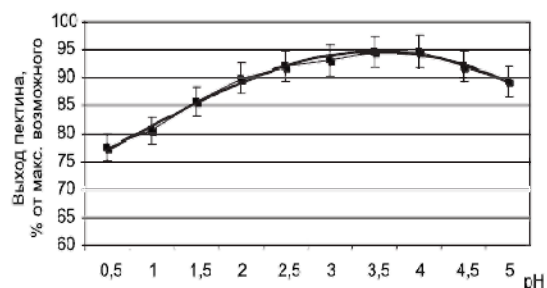
На рисунке 4, в качестве примера, показан фотоснимок полученных фрагментов частиц корки арбуза после ее диспергирования на установке, представленной на рисунке 1. В итоге было обработано более 10 таких снимков для получения объективной оценки конечных размеров у измельченных частиц.

На рисунке 5 показаны микроснимки и схематичные изображения измельченных частиц с учетом вышеописанных допущений.

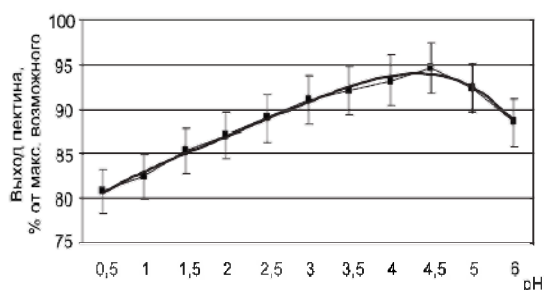
Анализ фотоснимков приводит к выводу о том, что в изучаемом объекте наблюдаются четыре основные фракции с малозаметными отличиями в размерах частиц, в связи с чем они схематично (рис. 5) показаны в форме кругов с усредненными для каждой фракции диаметрами, что упрощает математическую аппроксимацию дисперсного состава изучаемых объектов. Результаты изучения дисперсного состава сведены в таблице 1.

Из полученных данных следует, что при дисперсном анализе и получении расчетных соотношений можно опираться на три фракции заметной доли в общем количестве частиц, а наиболее крупной фракцией с малозначительным содержанием можно пренебречь, т.к. это практически не влияет на расчетную погрешность.

Данные по величинам эквивалентных диаметров частиц для выделенных 3-х фракций приводят к выводу, что в



а



б

Рис. 3. Выход пектиновых веществ при кислотно-ультразвуковом способе экстрагирования: а – при кислотном гидролизе соляной кислотой; б – при кислотном гидролизе серной кислотой [7]

Fig. 3. The output of pectin substances in the acid-ultrasonic extraction method: а – in acid hydrolysis with hydrochloric acid; б – with acid hydrolysis with sulfuric acid [7]





Рис. 4. Фотоснимок диспергированных фрагментов частиц арбузной корки

Fig. 4. Picture of dispersed fragments of watermelon rind particles

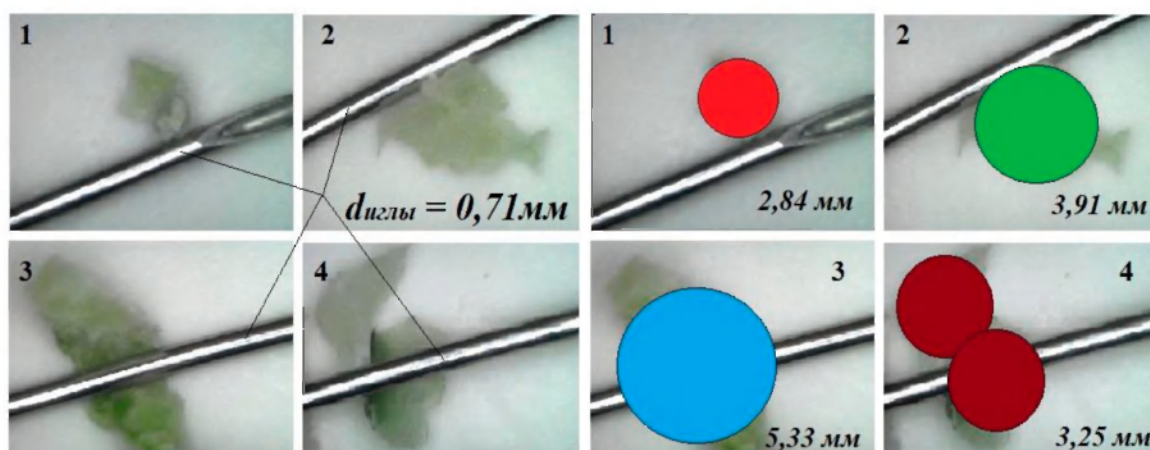


Рис. 5. Микрофотографии и схематичные иллюстрации фрагментов поверхности измельченных частиц

Fig. 5. Micrographs and schematic illustrations of fragments of the surface of crushed particles

Дисперсный анализ объекта изучения

Таблица 1

Dispersive analysis of the object of study

Table 1

| Цвет круга | $d_{\text{свр}}$ , мм | $d_{\text{эке}}$ , мм | Соотношение количества частиц по фракциям, % |
|------------|-----------------------|-----------------------|--|
| красный    | 2,84                  | 2,01                  | 45   |
| зеленый    | 3,91                  | 2,76                  | 23   |
| синий      | 5,33                  | 3,77                  | 12   |
| коричневый | 3,25                  | 2,30                  | 20   |

основном они имеют значения  $d_{\text{эке}}$  от 2,01 до 2,76 мм, вследствие чего с приемлемой точностью за размер для данной дисперсной системы можно взять

среднее значение между фракциями. Однако приемлемы и иные методы усреднения, использование которых обусловливает различия в средних размерах

частпц. В нашем варианте целесообразно провести сравнительный анализ сфер по площади их поверхности, которая напрямую влияет на скорость массообмена при экстрагировании. Площадь поверхности шара составляет  $\pi d^2$ , и по этой

причине для сравнения эквивалентных диаметров для 3-х фракций возведем их во вторую степень, сложим, разделим на число фракций и извлечем квадратный корень.

В результате имеем средний  $d_{\text{экв ср}}$ , мм.

$$d_{\text{экв ср}} = \sqrt{\frac{d_{1\text{хар}}^2 + d_{2\text{хар}}^2 + d_{3\text{хар}}^2}{3}} = \sqrt{\frac{2,01^2 + 2,76^2 + 2,30^2}{3}} = 2,37 \quad (2)$$

В рамках опубликованных статей Государственной фармакопеи РФ [12], растительные сырьевые материалы необходимо диспергировать до определенных рациональных размерных параметров. Данные статьи служат нормативной документацией, включающей стандарты и положения, обуславливающие качественные параметры производимых в РФ лекарственных компонентов и произведенных на их основе препаратов. Рекомендуемыми пределами варьирования размеров для растительных сырьевых материалов являются значения 0,5...3 мм [12].

Выводы:

1. При получении пектиновых экстрактов из арбузной корки целесообразно применять комплексную обработку вторичного

сырья, включающую, кроме операций предварительной подготовки сырья, ультразвуковое воздействие и кислотный гидролиз.

2. При получении пектиновых экстрактов из арбузной корки желательно использовать вместо агрессивных серной и соляной кислот – пищевые кислоты, например уксусную или лимонную.

3. При проведении операций предварительной подготовки сырья, включающей процедуру его измельчения, в качестве диспергирующего устройства можно предложить измельчитель, т.к. средний эквивалентный размер частиц у диспергированного сырья не выходит за рамки рекомендуемых пределов ( $d_{\text{экв ср}} = 2,91$  мм), то есть полученный результат можно признать приемлемым.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Хатко З.Н., Ашинова А.А. Пектиносодержащие пленочные структуры: монография. Майкоп: МГТУ, 2019. 110 с.
2. Внукова Т.Н., Влащик Л.Г. Технология функционального десерта с использованием натуральных ингредиентов // Молодой ученый. 2015. № 5–1 (85). С. 73–77.
3. Inhibition of galectin-3 mediated cellular interactions by pectic polysaccharides from dietary sources / Sathisha U.V., Jayaram Smitha, Harish Nayaka M.A., Dharmesh Shylaja M. // Glycoconjugate Journal. 2007; 24:497–507.
4. Измельчитель пищевых отходов: патент 2606831 Рос. Федерация МПК В02С 2/00/ Гонопольский А.М., Зинякина Е.В.; патентообладатели: ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет»; заявл. 2015.09.09, опубл. 2017.01.10.
5. Домкин К.И., Трусов В.А., Гусев А.М. Физические основы измерения размера частиц // Надежность и качество: труды международного симпозиума. 2011. Т. 2. С. 376–379.
6. Левин А.С. Основные принципы анализа размера частиц [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.studmed.ru/levin-as-osnovnye-principy-analiza-razmerov-chastic\\_c47b89a557c.html](https://www.studmed.ru/levin-as-osnovnye-principy-analiza-razmerov-chastic_c47b89a557c.html) (Дата обращения: 17.05.2021).
7. Тыщенко В.М. Влияние кислотно-кавитационного гидролиза растительного сырья на выход и качество пектина // Известия вузов. Пищевая технология. 2011. № 2–3. С. 50–52.
8. Способ получения сухого пектинового экстракта из растительного сырья и способ получения пектина из растительного сырья: патент 2080081 Рос. Федерация МПК А23L

1/0524/ Нелина В.В., Донченко Л.В.; патентообладатели: Нелина В.В., Донченко Л.В.; заявл. 1994.02.08., опубл. 1997.05.27. (In Russ).

9. Sousa António G., Nielsen Heidi L., Armagan Ibrahim The impact of rhamnogalacturonan-I side chain monosaccharides on the rheological properties of citrus pectin. *Food Hydrocolloids*. 2015; 47:130–139.

10. Einhorn-Stoll Ulrike Pectin-water interactions in foods – From powder to gel. *Food Hydrocolloids*. 2018; 78:109–119.

11. Донченко Л.В., Родионова Л.Я., Инюкина Т.А. Определение студнеобразующей способности пектинового концентрата // *Известия вузов. Пищевая технология*. 2000. № 2–3. С. 31–33. (In Russ).

12. ОФС.1.5.3.0004.15 Определение подлинности, измельченности и содержания примесей в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://pharmacopoeia.ru/ofs-1-5-3-0004-15-opredelenie-podlinnosti-izmelchennosti-i-soderzhaniya-primesej-v-lekarstvennom-rastitelnom-syre-i-lekarstvennyh-rastitelnyh-preparatah/> (Дата обращения: 28.06.2021).

#### REFERENCES:

1. Khatko Z.N., Ashinova A.A. Pectin-containing film structures: a monograph. Maykop: Publishing house of MSTU; 2019; 110 p. (In Russ).

2. Vnukova T.N., Vlashchik L.G. Functional dessert technology using natural ingredients. *A Young scientist*. 2015; 5-1(85):73–77. (In Russ).

3. Sathisha U.V., Jayaram Smitha, Harish Nayaka M.A., Dharmesh Shylaja M. Inhibition of galectin-3 mediated cellular interactions by pectic polysaccharides from dietary sources. *Glycoconjugate Journal*. 2007; 24:497–507.

4. Patent RUS № 2606831/ 2017.01.10. Gonopolsky A.M., Zinyakina E.V. Food waste shredder. (In Russ).

5. Domkin K.I., Trusov V.A., Gusev A.M. Physical foundations of particle size measurement. *Proceedings of the International Symposium «Reliability and Quality»*. 2011; 2:376–379. (In Russ).

6. Levin A.S. Basic principles of particle size analysis [Electronic resource]. Access mode: [https://www.studmed.ru/levin-as-osnovnye-principy-analiza-razmerov-chastic\\_c47b89a557c.html](https://www.studmed.ru/levin-as-osnovnye-principy-analiza-razmerov-chastic_c47b89a557c.html) (Date of access: 05/17/2021). (In Russ).

7. Tyschenko V.M. Influence of acid-cavitation hydrolysis of plant raw materials on the yield and quality of pectin. *Izvestiya vuzov. Food technology*. 2011; 2–3:50–52. (In Russ).

8. Patent RUS № 2080081/ 1997.05.27. Nelina V.V., Donchenko L.V. A method of obtaining a dry pectin extract from vegetable raw materials and a method of obtaining pectin from vegetable raw materials. (In Russ).

9. Sousa António G., Nielsen Heidi L., Armagan Ibrahim The impact of rhamnogalacturonan-I side chain monosaccharides on the rheological properties of citrus pectin. *Food Hydrocolloids*. 2015; 47:130–139.

10. Einhorn-Stoll Ulrike Pectin-water interactions in foods – From powder to gel. *Food Hydrocolloids*. 2018; 78:109–119.

11. Donchenko L.V., Rodionova L.Ya., Inyukina T.A. Determination of the gel-forming ability of pectin concentrate. *Izvestiya vuzov. Food technology*. 2000; 2–3:31–33. (In Russ).

12. OFS.1.5.3.0004.15 Determination of authenticity, grinding and content of impurities in medicinal plant raw materials and herbal medicinal preparations [Electronic resource]. Access mode: <http://pharmacopoeia.ru/ofs-1-5-3-0004-15-opredelenie-podlinnosti-izmelchennosti-i-soderzhaniya-primesej-v-lekarstvennom-rastitelnom-syre-i-lekarstvennyh-rastitelnyh-preparatah/> (Date of access: 28.06.2021). (In Russ).

**Информация об авторах / Information about the authors**

**Галина Сергеевна Мещерякова**, младший научный сотрудник научно-исследовательской части ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»

albert909@yandex.ru

**Альберт Хамед-Харисович Нугманов**, профессор кафедры «Технологические машины и оборудование» ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», доктор технических наук, доцент

albert909@yandex.ru

**Игорь Юрьевич Алексанян**, профессор кафедры «Технологические машины и оборудование» ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», доктор технических наук, профессор

16081960igor@gmail.com

**Юрий Александрович Максименко**, проректор по научной работе и инновациям, заведующий кафедрой «Технологические машины и оборудование» ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», доктор технических наук, доцент

amxs1@yandex.ru

**Екатерина Владимировна Соколова**, аспирант кафедры «Технологические машины и оборудование» ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»

k\_sokolova93@mail.ru

**Galina S. Meshcheryakova**, a junior researcher of The Research part of FSBEI HE «Astrakhan State Technical University»  
albert909@yandex.ru

**Albert H.-H. Nugmanov**, a professor of the Department of Technological Machines and Machinery of FSBEI HE «Astrakhan State Technical University», Doctor of Technical Sciences, an assistant professor  
albert909@yandex.ru

**Igor Yu. Aleksanian**, a professor of the Department of Technological Machines and Machinery of FSBEI HE «Astrakhan State Technical University», Doctor of Technical Sciences, a professor  
16081960igor@gmail.com

**Yuriy A. Maksimenko**, a vice rector for scientific work and innovations, head of the Department of Technological Machines and Machinery of FSBEI HE «Astrakhan State Technical University», Doctor of Technical Sciences, an assistant professor  
amxs1@yandex.ru

**Ekaterina V. Sokolova**, a post graduate student of the Department of Technological Machines and Machinery of FSBEI HE «Astrakhan State Technical University»  
k\_sokolova93@mail.ru