

Научная статья

УДК 634.74:664.8.039.4

DOI: 10.36718/1819-4036-2022-1-165-172

Галина Сергеевна Мещерякова<sup>1</sup>, Альберт Хамед-Харисович Нугманов<sup>2✉</sup>,  
Игорь Юрьевич Алексанян<sup>3</sup>, Вера Николаевна Лысова<sup>4</sup>, Нина Витальевна Ширшова<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

<sup>1,2,4</sup> albert909@yandex.ru

<sup>3</sup>16081960igor@gmail.com

<sup>5</sup>shirshova\_nina96@mail.ru

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ГИДРОМОДУЛЯ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПЕКТИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ АРБУЗНОГО СЫРЬЯ

*Цель исследования – определение рационального гидромодуля для экстрагирования водорастворимых компонентов из арбузных корок и оценка доли пектиновых веществ в экстракте на основе построения рефрактометрической шкалы. Задачи: построить рефрактометрическую шкалу оценки доли пектиновых веществ в водном экстракте, используя эталонный раствор в зависимости от индекса рефракции на рефрактометре ИРФ-454 Б2М; выявить корреляцию концентрации пектиновых веществ в водном экстракте от полученных показаний на рефрактометре ИРФ-454 Б2М по шкале сахарозы, соотношенной с индексом рефракции; экспериментально определить рациональный гидромодуль для экстрагирования водорастворимых компонентов из арбузных корок. Объект исследования – корки арбуза (как не утилизируемые отходы переработки арбузного сырья) и пектиновые экстракты из них. Выявлен рациональный гидромодуль для экстрагирования водорастворимых компонентов из арбузных корок и проведена оценка доли пектиновых веществ в экстракте на основе построения рефрактометрической шкалы. Рациональный гидромодуль для эффективной трансформации пектиновых веществ из арбузного сырья является практически значимым параметром, влияющим на сокращение материальных и энергетических затрат при избирательном извлечении ценных компонентов из растительного сырья. Полученные в процессе исследования результаты и их практическая реализация дают возможность повысить качественные показатели извлекаемых из арбузного вторичного сырья ценных компонентов, а также скорость применяемых в технологии процессов. Для последующего анализа и расчета продолжительности экстракции пектиновых веществ из арбузной диспергированной кожуры при рациональных параметрах процесса по предлагаемой технологии необходимо выявление кинетических закономерностей протекания данной процедуры.*

**Ключевые слова:** пищевые отходы, вторичные сырьевые ресурсы, арбуз, пектиновые экстракты, рефрактометрическая шкала, экстрагирование, гидромодуль

**Для цитирования:** Определение рационального гидромодуля для эффективной трансформации пектиновых веществ из арбузного сырья / Г.С. Мещерякова [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2022. № 1. С. 165–172. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-1-165-172.

Galina Sergeevna Meshcheryakova<sup>1</sup>, Albert Hamed-Kharisovich Nugmanov<sup>2✉</sup>,  
Igor Yurievich Aleksanyan<sup>3</sup>, Vera Nikolaevna Lysova<sup>4</sup>, Nina Vitalievna Shirshova<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

<sup>1,2,4</sup> albert909@yandex.ru

<sup>3</sup>16081960igor@gmail.com

<sup>5</sup>shirshova\_nina96@mail.ru

## DETERMINING A RATIONAL HYDRAULIC MODULE TO EFFECTIVELY TRANSFORM PECTIN SUBSTANCES FROM WATERMELON RAW MATERIALS

*The aim of the study is to determine a rational hydromodule for the extraction of water-soluble components from watermelon peels and to assess the proportion of pectin substances in the extract based on the construction of a refractometric scale. Tasks: to construct a refractometric scale to assess the proportion of pectin substances in an aqueous extract using a standard solution depending on the refractive index on an IRF-454 B2M refractometer; to reveal the correlation of the concentration of pectin substances in the aqueous extract from the readings obtained on the IRF-454 B2M refractometer according to the sucrose scale correlated with the refractive index; to experimentally determine a rational hydromodule for the extraction of water-soluble components from watermelon peels. The object of research is watermelon peels (as non-recyclable waste of raw watermelon processing) and pectin extracts from them. A rational hydromodule for the extraction of water-soluble components from watermelon peels was revealed, and the proportion of pectin substances in the extract was estimated on the basis of constructing a refractometric scale. A rational hydromodule for the effective transformation of pectin substances from watermelon raw materials is a practically significant parameter that affects the reduction of material and energy costs when selectively extracting valuable components from vegetable raw materials. The results obtained in the process of research and their practical implementation make it possible to increase the quality indicators of valuable components extracted from watermelon secondary raw materials, as well as the speed of the processes used in technology. For the subsequent analysis and calculation of the duration of the extraction of pectin substances from dispersed watermelon rind with rational process parameters according to the proposed technology, it is necessary to identify the kinetic regularities of this procedure.*

**Keywords:** food waste, secondary raw materials, watermelon, pectin extracts, refractometric scale, extraction, hydromodule

**For citation:** Determining a rational hydraulic module to effectively transform pectin substances from watermelon raw materials / G.S. Meshcheryakova [et al.] // Bulliten KrasSAU. 2022;(1):165–172. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2022-1-165-172.

**Введение.** Интенсивное и бесконтрольное увеличение использования синтетических полимерных упаковочных материалов для пищевых продуктов обуславливает перманентный рост пластиковых 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 биодegradации упаковки после ее применения. Одним из максимально целесообразных 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, которые выработаны 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 сохранность показателей качества и безопасности. Следует отметить, что в условиях нарастания рыночной потребности в пленочных покрытиях определяющей становится задача выявления новых источников для их производства.

С целью контролирования течения технологических операций в пищевой индустрии и качественных параметров производимой продукции часто используют рефрактометрические способы, которые сравнительно просты, не требуют большого количества анализируемого продукта, значительных временных затрат. Данные способы применяют для определения долей углеводов, сухого остатка в пищевых материалах,

сахарозы в сладких консервированных материалах, патоке, пастах, соках, липидной фракции в сливочном масле и кондитерских изделиях, лактозы в молочной продукции, спирта в алкогольных напитках и др. Так, в частности, показатель преломления у липидов определяет их чистоту, степень насыщения и окисления. По его значению можно судить и о качественных параметрах пищевой продукции.

Следует отметить, что на эффективность осуществления операции экстрагирования, кроме температуры и давления, значительно влияет соотношение массы экстрагента и объекта экстракции (гидро модуль). Для данного исследования оценка степени влияния побочных факторов, таких как давление и температура, была проведена ранее теоретически и в постановочных опытных сериях.

**Цель исследования** – определение рационального гидро модуля для экстрагирования водорастворимых компонентов из арбузных корок и оценка доли пектиновых веществ в экстракте на основе построения рефрактометрической шкалы.

**Задачи:** построить рефрактометрическую шкалу оценки доли пектиновых веществ в водном экстракте, используя эталонный раствор в зависимости от индекса рефракции на рефрактометре ИРФ-454 Б2М; выявить корреляцию концентрации пектиновых веществ в водном экстракте от полученных показаний на рефрактометре ИРФ-454 Б2М по шкале сахарозы, соотношенной с индексом рефракции; экспериментально определить рациональный гидро модуль для экстрагирования водорастворимых компонентов из арбузных корок.

**Объект и методы.** В качестве перспективно-вторичного ресурса для производства пектиносодержащей пленки вполне может подойти арбузное сырье, так как, во-первых, в нем присутствует 13,4 % пектиновых компонентов, из которых 8,1 % приходится на протопектин, определяющий прочность плодовой ткани [2], а во-вторых, согласно данным волгоградских ученых [3], невостребованной арбузной продукции на полях остается около 150 тыс. т, 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 пектиносодержа-

щие структуры. Конкретным объектом данного исследования послужила кора арбуза, относящаяся к пищевым отходам при потреблении в пищу или переработке арбузного сырья, а также пектиновый водный экстракт из нее.

Способ рефрактометрии базируется на оценке для изучаемого объекта показателя преломления, значение которого обусловлено происхождением продукта, длиной волны светового излучения, концентрацией и температурой раствора. Данный показатель, или индекс рефракции, определяет как отношение световой скорости в вакууме и анализируемом объекте (показатель преломления абсолютный), он обусловлен температурными условиями и длиной световой волны, при которой осуществляют оценку. В растворах данный параметр к тому же обусловлен концентрацией продукта и происхождением растворителя. На практике находят относительный показатель преломления ( $n$ ), равный отношению синусов угла падения излучения ( $\alpha$ ) к углу преломления ( $\beta$ ) для 2 контактирующих сред. Нахождение данного показателя осуществляют посредством рефрактометра, который бывает различного исполнения.

Не имеет смысла останавливаться на описании рефрактометров, так как оно присутствует в курсе физики и многих других работах, посвященных рефрактометрии [4–7], следует только отметить, что для анализа массовой доли сухих веществ в водных растворах широко применяются рефрактометры, позволяющие определять преломления с относительно высокой точностью  $n \pm 0,0001$ , например рефрактометр ИРФ-454 Б2М с подсветкой и дополнительной шкалой. Это апробированный прибор для оценки показателей преломления прозрачных неагрессивных жидких сред. В основном методические подходы к использованию данного метода оценки ориентированы на данный прибор, поскольку пределы его измерения охватывают всю шкалу от 0 до 100 %, что предопределяет его универсальность.

В рефрактометрии применяют преимущественно 2 метода оценки концентрации растворенных компонентов  $C$ , %, по найденному показателю преломления. По первому методу ее оценкой производят по соотношению

$$C = \frac{n - n_0}{F}, \quad (1)$$

где  $F$  – фактор показателя преломления, который берется из рефрактометрических таблиц.

Второй способ расчета концентрации связан с рефрактометрическими графическими зависимостями или табличными данными, т. е. зафиксировав индекс рефракции, в таблице выделяют соответствующую ему величину концентрации, причем при условии, что если определенный показатель в таблице отсутствует, то осуществляется процедура его интерполяции.

Нахождение концентрации водорастворимых веществ, включая и пектиновые, в арбузном пектиносодержащем экстракте производилось по второму способу, поэтому на данном этапе исследования было необходимо построить

рефрактометрическую шкалу оценки доли пектиновых веществ в водном экстракте, используя эталонный раствор. Для построения шкалы оценки использовалась модельная пектиновая субстанция (рис. 1), выпускаемая промышленно и близкая по составу к свойствам пектиновой композиции из арбузных корок, включающая фруктозу и регулятор кислотности (Е 341 и Е 450) для регулирования уровня pH раствора.

Рациональный гидромодуль, как массовое отношение экстрагента и продукта, выявлялся опытным путем по приемлемому значению выхода водорастворимых компонентов. Опыт осуществлялся в 2 этапа.



Рис. 1. Модельный материал

На первой стадии очищенную арбузную корку диспергировали и далее подвергали экстракции дистиллированной водной средой, постоянно перемешивая 300 мин при 80 °С при различном гидромодуле, поскольку постановочные опыты позволяют заключить, что этого временного промежутка хватает для достижения равновесия между экстрактом и сырьевым материалом, после чего рафинат отделяли от экстракта путем фильтрации.

На втором этапе в полученных водных экстрактах определялась концентрация сухих веществ рефрактометрическим способом, используя основную (рис. 2) и дополнительную оценочную шкалу (рис. 3), а также формулы для пересчета (2) и (3), по которым высчитывался выход водорастворимых веществ из арбузной измельченной корки.

**Результаты и их обсуждение.** На рисунке 2 представлена оценочная шкала в виде градуировочного графика, построенного по девяти экс-

периментальным точкам для концентраций: 0,88; 1,33; 2,58; 4,22; 5,55; 6,25; 7,04; 8,12 %, – каждой из которых соответствует конкретное значение индекса рефракции  $n$ . Учитывая ли-

нейный характер полученной кривой, ее нетрудно математически аппроксимировать, как зависимость концентрации экстракта от показателя преломления.

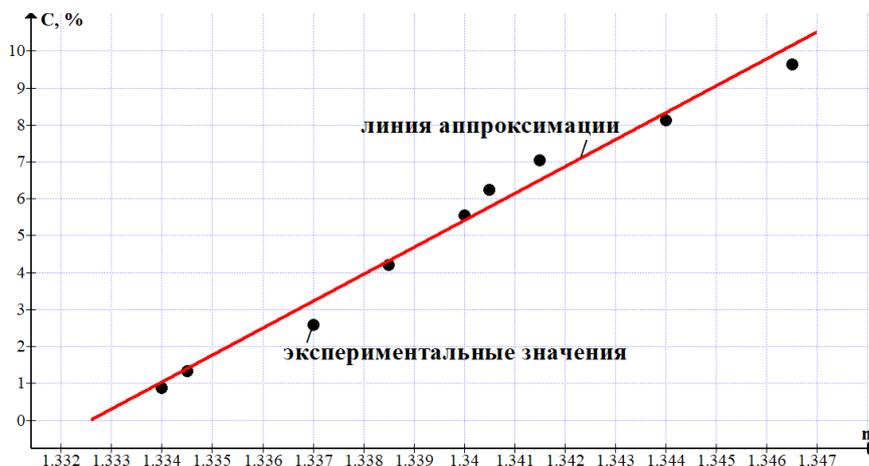


Рис. 2. Градуировочная зависимость для нахождения концентрации

Ниже приведено уравнение для нахождения концентрации экстракта  $C$ , %, в зависимости от показателя  $n$ :

$$C = 729.26n - 971.8, \quad (2)$$

где  $n$  – индекс рефракции.

Учитывая, что рефрактометр ИРФ-454 Б2М имеет дополнительную шкалу для замера процентной доли сухого остатка в растворах по сахарозной шкале, по которой визуальная оценка концентрации исследуемого образца более удобна (ввиду большего расстояния между на-

несенными на шкалу рисками) в сравнении со шкалой показателя преломления, имеет смысл построить градуировочный график и для нее.

На рисунке 3 показана градуировочная зависимость, построенная по таким же 9 эмпирическим точкам, каждой из которых соответствует конкретное значение содержания сухих веществ в растворах по шкале сахарозы. Учитывая линейный характер полученной кривой, можно также получить математическую интерпретацию зависимости концентрации экстракта от шкальных величин.

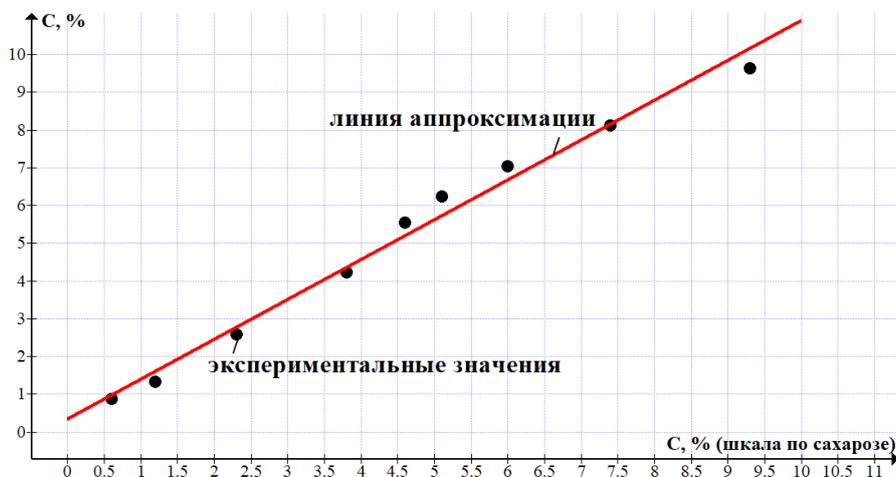


Рис. 3. Градуировочная зависимость для нахождения концентрации (дополнительный график)

Ниже приведена формула для нахождения  $C$ , %, от содержания сухих веществ в растворах по шкале сахарозы:

$$C = 1.056C_c + 0.335, \quad (3)$$

где  $C_c$  – показания по шкале сахарозы, %.

Применение градуировочных графиков является наиболее точным методом рефрактометрических измерений, но следует отметить, что основные ограничения метода связаны с трудностями визуального оценивания, т. е. если до тысячной доли еще можно провести оценку

по шкале, то до десятичных долей уже практически невозможно.

В таблице 1 сведены данные опытного определения рационального гидромодуля для эффективной трансформации пектиновых веществ в водорастворимом состоянии, на основании которых можно сделать вывод, что пятый вариант максимально целесообразен для экстракции их из арбузного сырья. Опираясь на полученные результаты, можно заключить, что на 1 г сырьевого материала приходится чуть менее 6 г дистиллированной водной среды (см. табл. 1), т. е. можно принять рациональным гидромодуль 1:6.

Таблица 1

### Опытные данные для выявления рационального гидромодуля

Вариант	Масса сырья/масса воды, г	Концентрация по дополнительной шкале, %	Индекс рефракции	Концентрация сухих веществ в экстракте, %	Выход, %
1	1,0/2,0	1,5	1,3352	1,92/1,91	3,82
2	1,0/2,5	1,3	1,3349	1,71/1,69	4,28
3	1,0/3,5	0,9	1,3343	1,29/1,25	4,52
4	1,0/5,0	0,7	1,3340	1,07/1,03	5,35
5	1,0/6,0	0,6	1,3339	0,97/0,96	5,82
6	1,0/6,5	0,5	1,3338	0,86/0,89	5,59
7	1,0/7,5	0,4	1,3337	0,77/0,81	5,78
8	1,0/9,0	0,3	1,3335	0,65/0,67	5,85
9	1,0/10,0	0,2	1,3333	0,55/0,52	5,50
10	1,0/13,0	0,1	1,3332	0,44/0,45	5,72

Сравнительная оценка соотношения приведенного в литературе количества растворимых пектиновых веществ в зрелом столовом арбузе [8], а это третья часть от 0,098 % на сырую массу сырья [2], и его массы по окончании экстракции приводят к выводу о том, что по рекомендуемой технологии экстрагируется примерно

60 % от общего количества целевой составляющей (табл. 2). За количество экстрагируемых растворимых пектиновых веществ из арбузной корки ориентировочно можно принять его выход за вычетом растворимых сахаров (5,8 г в 100 г продукта) [9].

Таблица 2

### Сравнительная оценка соотношения количества растворимых пектиновых веществ в зрелом столовом арбузе и его массы по окончании экстракции

Показатель	Значение
Кол-во растворимых в воде пектинов на 100 г кожуры [2, 8], г	$0,098/3 = 0,033 \pm 0,002$
Кол-во извлеченных пектиновых веществ по предложенной технологии в пересчете на 100 г кожуры, г	$\approx 5,82 - 5,8 = 0,02$
Процент извлечения	$\approx 60 \%$

**Заключение.** Следует отметить, что рациональный гидромодуль для эффективной трансформации пектиновых веществ из арбузного сырья является практически значимым параметром, влияющим на сокращение материальных и энергетических затрат при избирательном извлечении ценных компонентов из растительного сырья. Полученные в процессе выполнения работы результаты и их практическая реализация дают возможность повысить качественные показатели извлекаемых из арбузного вторичного сырья ценных компонентов, а также скорость применяемых в технологии процессов.

Таким образом, выявлен рациональный гидромодуль для экстрагирования водорастворимых компонентов из арбузных корок и проведена оценка доли пектиновых веществ в экстракте на основе построения рефрактометрической шкалы. При этом для последующего анализа и расчета продолжительности экстракции пектиновых веществ из арбузной диспергированной кожуры при рациональных параметрах процесса по предлагаемой технологии необходимо выявление кинетических закономерностей протекания данной процедуры.

#### Список источников

1. Хатко З.Н., Ашинова А.А. Пектиносодержащие пленочные структуры. Майкоп: Изд-во МГТУ, 2019. 110.
2. Внукова Т.Н., Влащик Л.Г. Технология функционального десерта с использованием натуральных ингредиентов // Молодой ученый. 2015. № 5-1 (85). С. 73–77.
3. Арбузы в цифрах. URL: [https://www.rbc.ru/own\\_business/24/08/2017/599c39f09a794755c7c0e49c](https://www.rbc.ru/own_business/24/08/2017/599c39f09a794755c7c0e49c) (дата обращения: 17.06.2021).
4. Рефрактометрия в анализе лекарственных средств аптечного изготовления. Контроль качества лекарственных средств, изготавливаемых в аптеках / Нижегородская государственная медицинская академия Российского федерального агентства и социального развития. Нижний Новгород, 2008. 19 с.
5. Государственная фармакопея РФ. Т. 1 / Научный центр экспертизы средств медицинского применения. М., 2015. 1470 с.

6. Фармацевтическая химия: учебник / под ред. Г.В. Раменской. М.: БИНОМ, 2015. 467 с.
7. Фармацевтическая химия: учеб. пособие / под ред. В.Г. Беликова. 3-е изд. М.: МЕДпресс-информ, 2009. 616 с.
8. Слипченко Е.В. Совершенствование технологии пектина и пектинопродуктов из кормового арбуза: дис. ... канд. техн. наук: 03.00.04. Краснодар, 1999. 198 с.
9. Калорийность арбуза. Химический состав и пищевая ценность. URL: [https://health-diet.ru/base\\_of\\_food/sostav/30.php](https://health-diet.ru/base_of_food/sostav/30.php) (дата обращения: 17.05.2021).

#### References

1. Hatko Z.N., Ashinova A.A. Pektinosoderzhaschie plenochnye struktury. Majkop: Izd-vo MGTU, 2019. 110.
2. Vnukova T.N., Vlaschik L.G. Tehnologiya funkcional'nogo deserta s ispol'zovaniem natural'nyh ingredientov // Molodoj uchenyj. 2015. № 5-1 (85). S. 73–77.
3. Arbuzy v cifrah. URL: [https://www.rbc.ru/own\\_business/24/08/2017/599c39f09a794755c7c0e49c](https://www.rbc.ru/own_business/24/08/2017/599c39f09a794755c7c0e49c) (data obrascheniya: 17.06.2021).
4. Refraktometriya v analize lekarstvennyh sredstv aptechnogo izgotovleniya. Kontrol' kachestva lekarstvennyh sredstv, izgotovlyаемых в aptekah / Nizhegorodskaya gosudarstvennaya medicinskaya akademiya Rossijskogo federal'nogo agentstva i social'nogo razvitiya. Nizhnij Novgorod, 2008. 19 s.
5. Gosudarstvennaya farmakopeya RF. T. 1 / Nauchnyj centr `ekspertizy sredstv medicinskogo primeneniya. M., 2015. 1470 s.
6. Farmaceuticheskaya himiya: uchebnyj / pod red. G.V. Ramenskoj. M.: BINOM, 2015. 467 s.
7. Farmaceuticheskaya himiya: ucheb. posobie / pod red. V.G. Bellikova. 3-e izd. M.: MEDpress-inform, 2009. 616 s.
8. Slipchenko E.V. Sovershenstvovanie tehnologii pektina i pektino-produktov iz kormovogo arbuza: dis. ... kand. tehn. nauk: 03.00.04. Krasnodar, 1999. 198 s.
9. Kalorijnost' arbuza. Himicheskiy sostav i pischevaya cennost'. URL: [https://health-diet.ru/base\\_of\\_food/sostav/30.php](https://health-diet.ru/base_of_food/sostav/30.php) (data obrascheniya: 17.05.2021).

Статья принята к публикации 09.12.2021 / The article accepted for publication 09.12.2021.

Информация об авторах:

**Галина Сергеевна Мещерякова**<sup>1</sup>, младший научный сотрудник научно-исследовательской части  
**Альберт Хамед-Харисович Нугманов**<sup>2</sup>, профессор кафедры технологических машин и оборудования, доктор технических наук, доцент

**Игорь Юрьевич Алексанян**<sup>3</sup>, профессор кафедры технологических машин и оборудования, доктор технических наук, доцент

**Вера Николаевна Лысова**<sup>4</sup>, доцент кафедры технологических машин и оборудования, кандидат технических наук, доцент

**Нина Витальевна Ширшова**<sup>5</sup>, аспирант кафедры технологических машин и оборудования

Information about the authors:

**Galina Sergeevna Meshcheryakova**<sup>1</sup>, Junior Researcher, Research Unit

**Albert Hamed-Kharisovich Nugmanov**<sup>2</sup>, Professor at the Department of Technological Machines and Equipment, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

**Igor Yurievich Aleksanyan**<sup>3</sup>, Professor at the Department of Technological Machines and Equipment, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

**Vera Nikolaevna Lysova**<sup>4</sup>, Associate Professor at the Department of Technological Machines and Equipment, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

**Nina Vitalievna Shirshova**<sup>5</sup>, Postgraduate student at the Department of Technological Machines and Equipment

