Нефтегазовое дело. 2021. Т. 19, № 5. С. 141–148. ISSN 2073-0128 (print)

Petroleum Engineering. 2021. Vol. 19, No. 5, P. 141–148. ISSN 2073-0128 (print)

Научная статья

УДК 678.8

doi: 10.17122/ngdelo-2021-5-141-148

НАПОЛНИТЕЛИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ ДЛЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНЫХ СМОЛ

Виктория Александровна Гафарова¹, Алина Фидусовна Хамидуллина¹,

Ангелина Евгеньевна Сыртланова¹, Ирина Евгеньевна Дубовик²,

Луиза Загитовна Тельцова², Артем Максимович Кузеев²

¹Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

²Башкирский государственный университет, Уфа, Россия

Автор, ответственный за переписку

Гафарова Виктория Александровна, gafarova.vika@bk.ru

Аннотация. Исследования посвящены экспериментальной оценке возможности применения биологических наполнителей в качестве компонента композиционных материалов на основе эпоксидных смол. В данной статье приведены результаты изучения свойств композиционных материалов с добавлением шелухи гречихи различной дисперсности. В качестве второго наполнителя применяли магнитные наночастицы оксида железа. Показано, что шелуха гречихи может быть использована в качестве наполнителя, поскольку композиты обладают текучестью в жидком состоянии, достаточной для заполнения трещин в конструкциях, и прочностными свойствами (по результатам измерения твердости), отвечающими требованиям. Добавление наночастиц оксида железа существенно изменяет не только структуру композиционного материала, но и зависимости текучести, усадки и твердости от размера частиц дисперсной фазы. Особый интерес вызывает зависимость твердости от размера частиц дисперсной фазы при участии нанокompонента, когда пластичность композита сохраняется на всем изученном диапазоне размеров.

Ключевые слова

биокомпозиты,
гибридные композиционные
материалы,
механические характеристики,
структура

Для цитирования

Гафарова В.А., Хамидуллина А.Ф., Сыртланова А.Е., Дубовик И.Е., Тельцова Л.З., Кузеев А.М. Наполнители растительного происхождения в качестве дисперсной фазы для композиционных материалов на основе эпоксидных смол // Нефтегазовое дело. 2021. Т. 19, № 5. С. 141–148. <https://doi.org/10.17122/ngdelo-2021-5-141-148>.

Original article

FILLERS OF PHYTOGENIC ORIGIN AS A DISPERSED PHASE FOR COMPOSITE MATERIALS BASED ON EPOXY RESINS

Victoria A. Gafarova¹, Alina F. Khamidullina¹, Angelina E. Syrtlanova¹,

Irina E. Dubovik², Luiza Z. Teltsova², Artem M. Kuzeev²

¹Ufa State Petroleum Technological University Ufa, Russia

²Bashkir State University, Ufa, Russia

Corresponding author

Victoria A. Gafarova, gafarova.vika@bk.ru

© Гафарова В.А., Хамидуллина А.Ф., Сыртланова А.Е., Дубовик И.Е., Тельцова Л.З., Кузеев А.М., 2021

Abstract. The studies are devoted to the experimental assessment of the possibility of using biological fillers as a component of composite materials based on epoxy resins. This article presents the results of studying the properties of composite materials with the addition of buckwheat husks of various dispersion. Magnetic iron oxide nanoparticles are used as the second filler. It has been shown that buckwheat husks can be used as filler. This is possible because composites have fluidity in a liquid state sufficient to fill cracks in structures, and strength properties (as measured by hardness measurements). These parameters meet the requirements. When adding iron oxide nanoparticles, the composite material structure changes significantly, as well as the dependence of fluidity, shrinkage and hardness on the particle size of the disperse phase. It is particularly interesting how the hardness depends on the disperse phase particle size when there is a nanocomponent and a composite plasticity is maintained over the entire size range studied.

For citation

Gafarova V.A., Khamidullina A.F., Syrtlanova A.E., Dubovik I.E., Teltsova L.Z., Kuzeev A.M. Napolniteli rastitel'nogo proiskhozhdeniya v kachestve dispersnoi fazy dlya kompozitsionnykh materialov na osnove epoksidnykh smol [Fillers of Phytogenic Origin as a Dispersed Phase for Composite Materials Based on Epoxy Resins]. *Neftegazovoe delo — Petroleum Engineering*, 2021, Vol. 19, No. 5, pp. 1441–148 [in Russian]. <https://doi.org/10.17122/ngdelo-2021-5-141-148>.

Keywords

biocomposites,
hybrid composites, mechanical
characteristics, structure

Эксплуатация оборудования для нефтегазовых технологий в агрессивных средах и при наличии трещин и трещиноподобных дефектов требует защиты поверхности конструкционных материалов [1, 2].

В настоящее время в связи с увеличением антропогенного воздействия на природные системы особую актуальность имеет разработка биокompозитов на основе биополимерных связующих, армированных растительными волокнами. Для этих целей используются отходы таких растений, как рис, подсолнечник, лен, конопля, гречиха [3–6].

Основное вещество волокон — лигнин — полимерный материал, содержащийся в оболочке растительной клетки. Лигнин связывает молекулы целлюлозы между собой, сообщая структурную жесткость, вызывая одревеснение растительных тканей, составляющих клетки сосудистых растений и некоторых водорослей. Лигнин нетоксичен и обладает универсальными качественными характеристиками, что делает его весьма важным соединением, использование которого ценится во многих отраслях промышленности. Одревесневшие клеточные оболочки обладают ультраструктурой, которую можно сравнить со структурой железобетона: микрофибриллы целлюлозы по своим свойствам соответствуют арматуре, а лигнин, обладающий высокой прочностью на сжатие, — бетону. Это уникальный природный полимер, занимающий второе место по распространенности среди растительной биомассы [7].

Расширение применения растительных наполнителей для композитов связано с их использованием в автомобилестроении [8]. Во многих случаях соотношение прочность/стоимость наполнителей указывает на преимущество растительных компонентов [9]. Кроме этого, изделия получаются более легкими, что уменьшает вес автомобиля и расход топлива.

В работе [10] сравниваются показатели прочности волокон льна и стекловолокон. Так, пределы прочности на растяжение 44,6 МПа и 40 МПа, пределы прочности на изгиб 25,4 МПа и 29,2 МПа соответственно для волокон льна и стекловолокна.

С точки зрения конкурентоспособности волокон растительного происхождения обращает на себя внимание гречиха. Гречиха посевная (*Fagopyrum esculentum*) — вид травянистых растений рода Гречиха (*Fagopyrum*) семейства Гречишные (*Polygonaceae*), хлебное и медоносное растение. Это крупная хлебная культура, которая широко используется в пищу. Кроме этого, растение используют для производства биологически активных веществ [11], пищевых красителей [12], сорбентов для очистки сточных вод от ионов меди [13] и т.д. Также рассматривается возможность применения отходов ее производства при создании биокompозитов различного назначения [14, 15].

Образующаяся при подготовке гречихи как пищевого продукта шелуха не имеет целевого применения, хотя с точки зрения наполнителя композиционных материалов (КМ) имеет при-

влекательные свойства. Прежде всего, шелуха имеет пластинчатое строение, что может усилить ее армирующие свойства. Гидрофобные свойства также могут быть полезны при формировании защитных покрытий.

Нами проведены эксперименты по использованию шелухи гречихи в качестве армирующего компонента при изготовлении композиционного материала на основе эпоксидной смолы. Эксперименты проводили в два этапа. На первом этапе формировали трехкомпонентный композиционный материал: эпоксидная смола, отвердитель и наполнитель. На втором этапе формировали гибридный композиционный материал и в качестве четвертого компонента вводили наноразмерные магнитные частицы оксида железа по методике, изложенной в [1]. Шелуха подвергалась измельчению с формированием трех фракций со средним размером 0,1; 0,5 и 0,9 мм (рисунок 1).

При подборе оптимального соотношения компонентов композиционного материала с точки зрения текучести использовали результаты исследований [1]. Состав компонентов приведен в таблице 1. Компоненты смешивали

путем механического перемешивания. Как правило, эпоксидная смола при добавлении отвердителя полностью полимеризуется в течение 24 ч. При создании композиционного материала стабильные свойства достигались после выдержки 4 сут.

Текучесть оценивали сразу после смешивания компонентов. Твердость композиционного материала определяли по методу Роквелла с использованием твердомера Wilson Hardness 574T (Instron). При измерении твердости этим методом в соответствии с [16] под действием последовательно прикладываемых предварительной и основной нагрузок в наши образцы вдавливался индентор — стальной шарик. Общая нагрузка составляет 18 кг. Время воздействия нагрузки 2 с.

Для определения усадки композиционного материала использовали принцип, заложенный [17]. Суть использованного метода заключается в том, что мы заливали сформированные композиционные материалы в металлическую форму с ячейками и при помощи штангенциркуля, а именно линейки глубиномера, измеряли усадку.

Рисунок 1. Шелуха гречихи после измельчения и фракционирования

Figure 1. Buckwheat husk after grinding and fractionation

Таблица 1. Компонентный состав композиционных материалов

Table 1. Component composition of composite materials

КМ 1	Основа: эпоксидная смола — 83 % Отвердитель: 16 % Наполнитель: шелуха гречихи с размером дисперсной фазы 0,9 мм — 0,05 г на 1 мл жидкой фазы
КМ 2	Основа: эпоксидная смола — 83 % Отвердитель: 16 % Наполнитель: шелуха гречихи с размером дисперсной фазы 0,5 мм — 0,05 г на 1 мл жидкой фазы
КМ 3	Основа: эпоксидная смола — 83 % Отвердитель: 16 % Наполнитель: шелуха гречихи с размером дисперсной фазы 0,1 мм — 0,05 г на 1 мл жидкой фазы

Для 3-компонентного КМ зависимость твердости от среднего размера дисперсной фазы имеет минимум (рисунок 2). При добавлении наноразмерных частиц зависимость кардинально изменилась. Композиты с дисперсными фазами 0,9 и 0,5 мм сохранили пластические свойства на всем интервале принятого времени отверждения. Твердость КМ с

дисперсными частицами размером 0,1 мм в три раза меньше, чем у КМ без добавления нано компонента.

Эксперименты показывают, что добавление наноразмерных частиц в композит существенно изменяет объемную структуру (рисунок 3).

Рисунок 2. Твердость композиционных материалов (HR15T)

Figure 2. Composite materials hardness (HR15T)

а)

б)

Рисунок 3. Структуры 3-компонентных композиционных материалов без добавления наночастиц (а) и с добавлением наночастиц (б)

Figure 3. 3-component composites structures without nanoparticles (a) and with nanoparticles (b)

Зависимость усадки КМ после отверждения (рисунок 4) от размера дисперсной фазы с добавлением наночастиц и без добавления носит противоположный характер. Аналогично и зависимость текучести носит антибатный характер (рисунок 5).

Сохранение текучести и пластических свойств композиционных материалов с шелухой гречки в качестве наполнителя при добавлении наночастиц указывает на перспективу их применения при заделке узких трещин, как это показано в работе [1].

Рисунок 4. Измерение усадки композиционных материалов в результате отверждения

Figure 4. Measurement of composites shrinkage as a result of curing

Рисунок 5. Реологические свойства композиционных материалов

Figure 5. Rheological properties of composite materials

Вывод

Исследования показали возможность применения шелухи гречки в качестве наполнителя в композиционных материалах на основе эпоксидной смолы. Изучение структуры ком-

позитов с различным сочетанием наполнителей с помощью оптической микроскопии позволило установить факт измельчения структуры при добавлении наночастиц.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гафарова В.А. Материалы и способ заделки трещин в нефтегазовом оборудовании в межремонтный период эксплуатации: дис. ... канд. техн. наук. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2019. 145 с.
2. Гафарова В.А., Кравцов В.В., Кузеев И.Р. Анализ способов и обзор композиционных материалов для заделки трещин в конструкциях // Актуальные проблемы науки и техники: матер. VII междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2014. С. 104-106.
3. Земнухова Л.А., Шкорина Е.Д., Филиппова И.А. Изучение сорбционных свойств шелухи риса и гречихи по отношению к нефтепродуктам // Химия растительного сырья. 2005. № 2. С. 51-54.
4. Верхуша В.А., Патрушева О.В., Земнухова Л.А., Данько Е.Т. Изучение функционального состава лигнинов полученных из отходов шелухи риса, гречихи, подсолнечника // Химия и химическое образование: матер. VII междунар. симпозиума. Владивосток: Изд-во ДФУ, 2017. С. 109-110.
5. Новикова М.А., Куликова М.Г. Использование композиционных материалов из костры льна и конопли применительно к промышленному потенциалу смоленской области // Техника и технология. Актуальные научные проблемы. Рассмотрение, решение, практика: сб. науч. ст. Варшава: Дيامант Трейдинг тур, 2016. С. 30-32.
6. Севастьянов Д.В., Сутубалов И.В., Дасковский М.И., Шеин Е.А. Полимерные биокompозиты на основе биоразлагаемых связующих, армированных натуральными волокнами (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2017. № 4 (49). С. 42-50. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-4-42-50.
7. Феофилова Е.П., Мысякина И.С. Лигнин: химическое строение, биodeградация, практическое использование (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. 2016. Т. 52. № 6. С. 559-569. DOI: 10.7868/S0555109916060052.
8. Mohanty A.K., Misra M., Hinrichsen G. Biofibres, Biodegradable Polymers and Biocomposites: an Overview // Macromolecular Materials and Engineering. 2000. Vol. 276-277. Issue 1. P. 1-24. DOI: 10.1002/(SICI)1439-2054(20000301)276:1<::AID-MAME1>3.0.CO;2-W.
9. Mohanty A.K., Tummala P., Liu W., Misra M., Mulukutla P.V., Drzal L.T. Injection Molded Biocomposites from Soy Protein Based Bioplastic and Short Industrial Hemp Fiber // Journal of Polymers and the Environment. 2005. Vol. 13. P. 279-285. DOI: 10.1007/s10924-005-4762-6.
10. Донецкий К.И., Хрульков А.В. Применение натуральных волокон при изготовлении полимерных композиционных материалов // Труды ВИАМ. 2015. № 2. С. 9. URL: http://viam-works.ru/ru/articles?art_id=779 (дата обращения: 16.08.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-2-9-9.
11. Горькова И.В., Павловская Н.Е. Использование композиционных материалов из костры льна и конопли применительно к промышленному потенциалу Смоленской области // Биотехнология — состояние и перспективы развития: матер. I междунар. конгресса. М.: Изд-во Максима, 2002. С. 374.
12. Горькова И.В., Вороширина Н.Н. Пищевые красители из отходов переработки гречихи // Общество биотехнологов России: матер. II съезда. М.: МАКС Пресс, 2004. С. 89-90.
13. Митракова Т.Н., Лозинская Е.Ф., Хоанг Ким Бонг, Темкин О.Н. Использование сорбентов из растительных отходов для очистки сточных вод от ионов меди (II) // Вода: химия и экология. 2015. № 12 (90). С. 56-63.
14. Маслова К.С. Инновационная технология получения биокompозитов для оборудования нефтяной промышленности // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: матер. междунар. науч.-технич. конф. молодых ученых. Могилев: Изд-во Белорусско-Российский университет, 2019. С. 84.
15. Роговина С.З., Прут Э.В., Берлин А.А. Композиционные материалы на основе синтетических полимеров, армированных волокнами природного происхождения // Высокомолекулярные соединения. Серия А. 2019. Т. 61. № 4. С. 291-315. DOI: 10.1134/S2308112019040084.
16. ГОСТ 22975-78. Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Роквеллу при малых нагрузках (по Супер-Роквеллу). М.: Госстандарт России, 1992. 12 с.
17. ГОСТ 18616-80. Пластмассы. Метод определения усадки. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1980. 15 с.

REFERENCES

1. Gafarova V.A. *Materialy i sposob zadelki treshchin v neftegazovom oborudovanii v mezhremontnyi period ekspluatatsii: dis. kand. tekhn. nauk* [Materials and Method for Sealing Cracks in Oil and Gas Equipment During the Overhaul Period: Cand. Engin. Sci. Diss.]. Ufa, UGNTU Publ., 2019. 145 p. [in Russian].
2. Gafarova V.A., Kravtsov V.V., Kuzeev I.R. Analiz sposobov i obzor kompozitsionnykh materialov dlya zadelki treshchin v konstruktsiyakh [Analysis of Methods and Review of Composite Materials for Sealing Cracks in Structures]. *Materialy VII mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchennykh «Aktual'nye problemy nauki i tekhniki»* [Materials of the VII International Scientific and Practical Conference of Young Scientists «Actual Problems of Science and Technology»]. Ufa, UGNTU Publ., 2014, pp. 104-106. [in Russian].
3. Zemnukhova L.A., Shkorina E.D., Filippova I.A. Izuchenie sorbtionnykh svoystv shelukhi risa i grechikhi po otnosheniyu k nefteproduktam [Study of the Sorption Properties of Rice Husks and Buckwheat in Relation to Oil Products]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya — Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2005, No. 2, pp. 51-54. [in Russian].
4. Verkhusha V.A., Patrusheva O.V., Zemnukhova L.A., Danko E.T. Izuchenie funktsional'nogo sostava ligninov poluchennykh iz otkhodov shelukhi risa, grechikhi, podsolnechnika [Study of the Functional Composition of Lignins Obtained from Wastes of Rice Husk, Buckwheat, Sunflower]. *Materialy VII mezhdunarodnogo simpoziuma «Khimiya i khimicheskoe obrazovanie»* [Materials of the VII International Symposium «Chemistry and Chemical Education»]. Vladivostok, DFU Publ., 2017, pp. 109-110. [in Russian].
5. Novikova M.A., Kulikova M.G. Ispol'zovaniya kompozitsionnykh materialov iz kostry l'na i konopli primenitel'no k promyshlennomu potentsialu smolenskoj oblasti [The Use of Composite Materials from Flax and Hemp Bonfires in Relation to the Industrial Potential of the

Smolensk Region]. *Sbornik nauchnykh statei «Tekhnika i tekhnologiya. Aktual'nye nauchnye problemy. Rassmotrenie, reshenie, praktika»* [Collection of Scientific Articles «Technique and Technology. Actual Scientific Problems. Consideration, Decision, Practice»]. Warsaw, Diamand Treiding tur Publ., 2016, pp. 30-32. [in Russian].

6. Sevastyanov D.V., Sutubalov I.V., Daskovskii M.I., Shein E.A. Polimernye biokompozity na osnove biorazлагаемых связывающих, армированных натуральными волокнами (obzor) [Polymer Biocomposites Based on Biodegradable Binders Reinforced by Natural Fibers (Review)]. *Aviatsionnye materialy i tekhnologii — Aviatsionnye Materialy and Tehnologii*, 2017, No. 4 (49), pp. 42-50. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-4-42-50. [in Russian].

7. Feofilova E.P., Mysyakina I.S. Lignin: khimicheskoe stroenie, biodegradatsiya, prakticheskoe ispol'zovanie (obzor) [Lignin: Chemical Structure, Biodegradation, and Practical Application (a Review)]. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya — Applied Biochemistry and Microbiology*, 2016, Vol. 52, No. 6, pp. 559-569. DOI: 10.7868/S0555109916060052. [in Russian].

8. Mohanty A.K., Misra M., Hinrichsen G. Biofibres, Biodegradable Polymers and Biocomposites: an Overview. *Macromolecular Materials and Engineering*, 2000, Vol. 276-277, Issue 1, pp. 1-24. DOI: 10.1002/(SICI)1439-2054(20000301)276:1<1::AID-MAME1>3.0.CO;2-W.

9. Mohanty A.K., Tummala P., Liu W., Misra M., Mulukutla P.V., Drzal L.T. Injection Molded Biocomposites from Soy Protein Based Bioplastic and Short Industrial Hemp Fiber. *Journal of Polymers and the Environment*, 2005, Vol. 13, pp. 279-285. DOI: 10.1007/s10924-005-4762-6.

10. Donetskii K.I., Khrulkov A.V. Primenenie natural'nykh volokon pri izgotovlenii polimernykh kompozitsionnykh materialov [Application of Natural Fibers for Manufacturing of Polymer Composite Materials]. *Trudy VIAM — Proceedings of VIAM*, 2015, No. 2, pp. 9. Available at: http://viam-works.ru/ru/articles?art_id=779 (accessed 16.08.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-2-9-9. [in Russian].

11. Gorkova I.V., Pavlovskaya N.E. Ispol'zovaniya kompozitsionnykh materialov iz kosty l'na i konopli primenitel'no k promyshlennomu potentsialu Smolenskoi oblasti [The Use of Composite Materials from Flax and Hemp Bonfires in Relation to the Industrial Potential of the Smolensk Region]. *Materialy I mezhdunarodnogo kongressa*

«Biotehnologiya — sostoyanie i perspektivy razvitiya» [Materials of the I International Congress «Biotechnology — State and Development Prospects»]. Moscow, Maksima Publ., 2002, pp. 374. [in Russian].

12. Gorkova I.V., Voroshirina N.N. Pishchevye krasiteli iz otkhodov pererabotki grechikhi [Food Colors from Buckwheat Processing Waste]. *Materialy II s'ezda «Obshchestvo biotekhnologov Rossii»* [Materials of the II Congress «Society of Biotechnologists of Russia»]. Moscow, MAKSS Press Publ., 2004, pp. 89-90. [in Russian].

13. Mitrakova T.N., Lozinskaya E.F., Khoang Kim Bong, Temkin O.N. Ispol'zovanie sorbentov iz rastitel'nykh otkhodov dlya ochistki stochnykh vod ot ionov medi (II) [Using of Sorbents from Plant Wastes for Sewage Treatment from Ions of Copper (II)]. *Voda: khimiya i ekologiya — Water: Chemistry and Ecology*, 2015, No. 12 (90), pp. 56-63. [in Russian].

14. Maslova K.S. Innovatsionnaya tekhnologiya polucheniya biokompozitov dlya oborudovaniya neftyanoi promyshlennosti [Innovative Technology for Producing Biocomposites for Oil Industry Equipment]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii molodykh uchenykh «Novye materialy, oborudovanie i tekhnologii v promyshlennosti»* [Materials of the International Scientific and Technical Conference of Young Scientists «New Materials, Equipment and Technologies in Industry»]. Mogilev, Belorussko-Rossiiskii universitet Publ., 2019, pp. 84. [in Russian].

15. Rogovina S.Z., Prut E.V., Berlin A.A. Kompozitsionnye materialy na osnove sinteticheskikh polimerov, armirovannykh voloknami prirodnogo proiskhozhdeniya [Composite Materials Based on Synthetic Polymers Reinforced with Natural Fibers]. *Vysokomolekulyarnye soedineniya. Seriya A — Vysokomolekulyarnye Soedineniya. Seriya A*, 2019, Vol. 61, No. 4, pp. 291-315. DOI: 10.1134/S2308112019040084. [in Russian].

16. GOST 22975-78. Metally i splavy. Metod izmereniya tverdsti po Rokvellu pri malykh nagruzkakh (po Super-Rokvellu) [State Standard 22975-78. Metals and Alloys. Rockwell Hardness Test under Low Loads (Using Super-Rockwell Test)]. Moscow, Gosstandart Rossii Publ., 1992. 12 p. [in Russian].

17. GOST 18616-80. Plastmassy. Metod opredeleniya usadki [State Standard 18616-80. Plastics. Method of Determination of Shrinkage]. Moscow, Gosudarstvennyi komitet SSSR po standartam Publ., 1980. 15 p. [in Russian].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Гафарова Виктория Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологические машины и оборудование», УГНТУ, Уфа, Россия

Victoria A. Gafarova, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Technological Machines and Equipment Department, USPTU, Ufa, Russia

gafarova.vika@bk.ru

Хамидуллина Алина Фидусовна, студент кафедры «Технологические машины и оборудование», УГНТУ, Уфа, Россия

Alina F. Khamidullina, Student of Technological Machines and Equipment Department, USPTU, Ufa, Russia

khamidullina02@gmail.com

Сырланова Ангелина Евгеньевна, студент кафедры «Технологические машины и оборудование», УГНТУ, Уфа, Россия

Angelina E. Syrtlanova, Student of Technological Machines and Equipment Department, USPTU, Ufa, Russia
an.sirtlanowa2015@mail.ru

Дубовик Ирина Евгеньевна, доктор биологических наук, профессор кафедры «Физиология и общая биология», БашГУ, Уфа, Россия

Irina E. Dubovik, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Physiology and General Biology Department, BashSU, Ufa, Russia
dubovikie@mail.ru

Тельцова Луиза Загитовна, кандидат биологических наук, доцент кафедры «Экология и безопасность жизнедеятельности», БашГУ, Уфа, Россия

Luiza Z. Teltsova, Candidate of Biological Sciences, Assistant Professor of Ecology and Life Safety Department, BashSU, Ufa, Russia
aluisa@mail.ru

Кузеев Артем Максимович, студент кафедры «Экология и безопасность жизнедеятельности», БашГУ, Уфа, Россия

Artem M. Kuzeev, Student of Ecology and Life Safety Department, BashSU, Ufa, Russia
bizon.kuzeev@mail.ru

Статья поступила в редакцию 18.05.2021; одобрена после рецензирования 12.08.2021; принята к публикации 03.09.2021.

The article was submitted 18.05.2021; approved after reviewing 12.08.2021; accepted for publication 03.09.2021.