

Научная статья
УДК 621.86:582.26-119.2
<https://doi.org/10.24143/1812-9498-2022-2-48-53>
EDN POBGOD

Перспективы получения альгината натрия из бурых водорослей Каспийского моря

Екатерина Юрьевна Запорожец[✉], Альберт Хамед-Харисович Нугманов

Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, mail_legato@mail.ru[✉]

Аннотация. Основное внимание ученых и технологов уделяется изучению традиционных технологий переработки наземных растений. Современные тенденции развития биотехнологий требуют расширения сырьевой базы. Увеличение потребностей медицины, пищевой и кормовой промышленности в биологически активных веществах обуславливает повышенное внимание к новым нетрадиционным источникам возобновляемого сырья. В частности, бурые водоросли Каспийского бассейна возможно рассматривать как перспективный объект благодаря высокому содержанию в них уникальных биологически активных веществ. Рассматриваются перспективы и возможности получения альгиновой кислоты и ее производных из водорослей Волго-Каспия. Выявлена определяющая роль полисахаридов водорослей. Обоснована целесообразность использования водных растений Волго-Каспийского бассейна в качестве нетрадиционного малоизученного сырья для дальнейшей переработки с целью получения продуктов различного назначения. Проведенный анализ свидетельствует о том, что возникла необходимость в расширении перечня растений, используемых для выделения альгината или альгинатсодержащей продукции.

Ключевые слова: альгофлора Волго-Каспия, бурые водоросли, альгинат натрия, эктокарпус, биологически активные вещества

Для цитирования: Запорожец Е. Ю., Нугманов А. Х.-Х. Перспективы получения альгината натрия из бурых водорослей Каспийского моря // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2022. № 2 (74). С. 48–53. <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2022-2-48-53>. EDN POBGOD.

Original article

Prospects of obtaining sodium alginate from brown algae of Caspian Sea

Ekaterina Yu. Zaporozhec[✉], Albert Kh.-Kh. Nugmanov

Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, mail_legato@mail.ru[✉]

Abstract. The scientists and technologists focus on studying the traditional technologies of processing geophytes. Modern development trends in biotechnology demand the expansion of the raw material base. The growing needs of medicine, food and feed industries in biologically active substances call for increased attention to new unconventional sources of renewable raw materials. For example, the brown algae of the Caspian Sea can be considered as a perspective object due to a high concentration of the unique biologically active substances. There are discussed the prospects and possibilities of obtaining the alginic acid and its derivatives from the algae of the Volga-Caspian basin. The decisive role of polysaccharides of the algae has been defined. Expediency of using aquatic plants of the Volga-Caspian basin as alternative little-studied raw materials for further processing and obtaining the products of different uses is substantiated. Analysis shows that the list of plants used to isolate alginate or alginate-containing products should be expanded.

Keywords: algoflora of the Volga-Caspian basin, brown algae, sodium alginate, ectocarpus, biologically active substances

For citation: Zaporozhec E. Yu., Nugmanov A. Kh.-Kh. Prospects of obtaining sodium alginate from brown algae of Caspian Sea. *Vestnik of Astrakhan State Technical University*. 2022;2(74):48-53. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2022-2-48-53>. EDN POBGOD.

Введение

Согласно концепции развития рыбного хозяйства Российской Федерации на период до 2030 г. недостаточность сырьевой базы в настоящее время не позволяет наращивать объемы производства очень ценных пищевых и кормовых продуктов, медицинских и лечебно-профилактических препаратов, источником которых, как известно, являются многие организмы водного происхождения, как животные, так и растения [1].

В то же время наблюдается тенденция к зарастаемости Волго-Каспийского бассейна прибрежной и водной растительностью, что приводит к заболачиваемости акватории дельты Волги, снижению кормовой базы в местах нагула осетровых и частиковых видов рыб, затруднению прохода рыбы на нерестилища, ухудшению гидрологического режима.

В связи с наличием обозначенных проблем возникает необходимость изъятия части водных растений без нарушения экологического равновесия реки Волги и Северного Каспия, которые могут быть рационально переработаны с целью получения новых продуктов различного назначения.

С другой стороны, уникальный состав и комплекс биологически активных веществ прибрежных и водных растений Волго-Каспийского бассейна определяет широкий спектр их применения и вызывает особый интерес ученых [2].

Известно, что многие виды водорослей и морских трав имеют сбалансированный макро- и микроэлементный состав и являются важнейшими источниками маннита, альгиновой кислоты и ее солей, витаминов и пектиновых веществ. Уникальный состав и комплекс биологически активных веществ определяет широкий спектр их применения и вызывает особый интерес ученых.

Весьма актуальным и перспективным направлением является получение экстрактов водных растений, обогащенных биологически активными веществами с антиоксидантными и антибактериальными свойствами, высокой адсорбирующей способностью.

На основании вышеизложенного целью настоящей работы является изучение состава, биологической активности и возможности применения бурых водорослей Каспийского моря с целью получения альгината натрия.

Материал и методы исследования

Объектом настоящего исследования являются представители низших растений – морские водоросли Волго-Каспийского бассейна. Исследование проводилось с помощью поисково-информационных (eLibrary, Google Scholar, CyberLeninka, ResearchGate) и библиотечных баз данных методом анализа и интерпретации материала.

Современная технология получения альгиновой кислоты и ее солей

Выбор технологических условий для извлечения альгиновой кислоты предопределяется химическим составом бурых водорослей, поступающих на переработку. Основным показателем возможности их применения для получения альгината считается содержание альгиновой кислоты в интервале 20–40 % от сухой массы водорослей [3]. Основная задача в процессе производства альгината из водорослей заключается в получении очищенного продукта без цвета и запаха, имеющего высокую вязкость водных растворов.

В разных странах производство альгинатов осуществляется по собственным технологиям, однако принципиальная схема выделения альгинатов из водорослей остается неизменной и состоит из следующих основных операций: предварительная обработка водорослей, экстракция альгината, осаждение альгиновой кислоты и получение из нее необходимых солей натрия.

В производстве альгината натрия существенной проблемой является получение неокрашенного продукта без вкуса и запаха. Цвет альгинатов и их водных растворов, а также другие показатели являются важными качественными характеристиками, поэтому исследователи особое внимание уделяют вопросу обесцвечивания и в технологическую схему часто включают процесс отбеливания альгинатов хлорной известью, гипохлоритом, перекисью водорода и др.

В России исследования бурых водорослей и разработка технологии получения альгината были начаты еще в 1930-е гг. В интенсивный исследовательский процесс были включены бурые водоросли Черного, Белого, Баренцева и дальневосточных морей: ламинария пальчаторассеченная (*L. digitata*) и ламинария сахарина (*L. saccharina*) для получения маннита и альгината, а также четыре вида фукусовых водорослей (*F. vesiculosus*, *F. distichus*, *F. serratus*, *A. nodosum*) для получения технического альгината и биологически активных экстрактов [4].

В качестве примера приведем производство альгинатов из *Costaria costata*, однолетней бурой водоросли семейства ламинариевых, в больших количествах произрастающей в Японском море у побережья Приморского края, у юго-западного побережья острова Сахалин, у Курильских островов. Добывают водоросли на мелководье (глубина от 3 до 6 м) и на глубинах более 10 м. Ламинарию, собранную в естественных зарослях, доставляют наземным транспортом к месту переработки и изготовлению мороженой, соленой и сушеной продукции. В процессе заготовки водоросли сортируют. От слоевищ отделяют черешки и ризоиды, откладывая их для получения альгинатов с повышенным содержанием гиалуроновой кислоты. Эти со-

единения используют для синтеза высокоактивных сорбентов радионуклидов и тяжелых металлов [4].

Зрелая, двухлетняя пластина ламинарии достигает в длину 2,5–4,0 м, имеет ширину в нижней части слоевища 20–25 см, края слоевища слегка волнистые, срединная полоса утолщенная: ширина – 10–12 см, толщина – 3–5 мм. Масса слоевищ составляет 1,5–2,0 кг. Коэффициент пересчета выхода сушеной продукции из сырья (степень уменьшения массы после высушивания) – не более 7. Поверхность зрелой пластины блестящая, без обрастаний, цвет темно-оливковый, консистенция упруго-жесткая (после высушивания она становится жесткой и приобретает буро-оливковый цвет).

Периоды сбора двухлетних водорослей, применяемых для производства пищевых продуктов и альгинатов или других биологически активных веществ, различны. Для производства пищевых продуктов наилучшее время сбора урожая – конец мая или июня, для получения альгинатов, маннита и других биологически активных веществ – июль–сентябрь [4].

Способы консервирования водорослей. Бурые водоросли отличаются высоким содержанием воды, растворимых белков, углеводов и минеральных веществ, которые являются субстратом для развития микроорганизмов и бактерий. В этой связи после извлечения из морской воды водоросли консервируют для ингибирования деятельности бактерий, ферментов и сохранения природных веществ. Как правило, применяют сушку, заморозку или обработку химическими реагентами. Сушка – наиболее распространенный способ консервирования. Ее проводят разными способами: естественным (на воздухе), искусственным (в сушильных аппаратах), комбинированным (в ясную погоду – на воздухе, в сырую – в сушилках). Снижение содержания воды в тканях водорослей позволяет длительное время хранить их без изменения качества сырья. При консервировании водорослей сушкой в них наиболее полно сохраняются химические компоненты без потери технологических качеств. Сушку слоевищ заканчивают при содержании воды 18 %. Выход воздушно-сухой водоросли при естественной сушке составляет 14–20 % от массы заготовленного сырья.

Сушеные водоросли формуют или в виде целых кусков слоевищ, или шинкуя их на кусочки, или измельчая в крупку. Хорошо высушенные водоросли хранятся в течение трех лет без изменения качества и свойств биологически активных компонентов при соблюдении условий, установленных в нормативно-технических документах на продукцию.

Замораживание – современный, широко распространенный метод хранения бурых водорослей, при котором температура тканей сырья становится ниже температуры замерзания клеточной жидкости. Существуют различные способы и установки

для промышленного замораживания морепродуктов, но наиболее приемлемо замораживание в виде брикетов или блоков, чаще из шинкованных слоевищ, размером 0,5 × 3 см. Замораживание происходит в морозильных аппаратах и установках интенсивного действия. Такой способ очень эффективен, если процесс протекает быстро и равномерно. Мороженую ламинарию хранят при $t = -18\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 10–12 месяцев [4].

Химические способы консервирования основаны на введении в ткани обрабатываемого сырья консервантов, ингибирующих активность ферментов и угнетающих жизнедеятельность микроорганизмов. При заготовке бурых водорослей для технических целей или глубокой переработки в качестве консерванта применяют 0,5–1,5 %-й раствор формалина. При этом в раствор переходят растворимые в воде соли и органические вещества, поэтому после хранения относительная масса альгиновой кислоты увеличивается на 15–20 %. Обработанные водоросли в течение 3 месяцев хранят в чанах или укуренных бочках при температуре окружающей среды.

Консервированные таким образом водоросли используют исключительно для производства альгината из-за высокой токсичности формалина. Подобный способ консервирования оказывает положительное влияние на качество альгинатов вследствие связывания пигментов водоросли в белково-целлюлозный комплекс, что приводит к получению неокрашенных продуктов. Бурые водоросли можно засаливать, используя хлорид натрия или смесь хлорида натрия и хлорида кальция. Заготавливают соленую ламинарию в слоевищах, кусках слоевищ или шинкованную на кусочки размером 0,5 × 3,0 см. Консервированные таким образом водоросли хранятся без снижения качества и без искусственно создаваемых условий в течение года и более [5].

Таким образом, в настоящее время ламинария и фукус являются единственным промышленным источником альгинатов, широко применяемых в пищевой промышленности и других направлениях.

Альгофлора планктона Волго-Каспийского бассейна

Растительный мир Волго-Каспия богат и разнообразен, насчитывает более 700 видов и подвидов низших и 5 видов высших растений [6]. К низшим растениям относятся водоросли. Они представлены одноклеточными, колониальными и многоклеточными (иногда тканевого строения) организмами. Водоросли содержат в своих клетках хлорофилл и другие пигменты и вырабатывают органические вещества в процессе фотосинтеза.

Пониженная соленость, относительная мелководность, хорошая прогреваемость воды, илистые грунты – все эти факторы формируют естественную высокую биологическую продуктивность

Каспийского моря. Обитающие здесь водоросли входят в мезо- и полисапробную группы и представлены однолетними или сезонными видами небольших размеров (до 5–10 см в высоту) с высокой удельной поверхностью таллома. Они быстро растут, производят много спор, дают низкую биомассу и относительно высокую продуктивность.

В Каспийском море доминирующее положение занимают диатомовые водоросли (292 вида), зеленые (139 видов), обитающие в основном в пресных водах, но встречающиеся и в солоноватых и морских водоемах, и сине-зеленые (203 вида). Остальные типы водорослей представлены значительно меньшим числом видов. Так, в Каспийском море наблюдается 39 видов пиропитовых водорослей, обитающих в основном в планктоне, 10 видов харовых, развивающихся главным образом в районе мелководных, заиленных, защищенных от волнений заливов, встречается 13 видов бурых водорослей и 25 видов красных водорослей [2].

Морские водоросли в процессе роста и развития накапливают уникальные, часто несвойственные растениям суши, органические и минеральные вещества. Содержание минеральных веществ в водорослях зависит от их таксономической принадлежности и условий обитания. Более всего металлов, например, накапливают красные водоросли, менее всего – бурые. Однако последние содержат самые высокие концентрации галогенов, в частности йода и брома. Органические вещества водорослей представлены углеводами, белками, липидами, низкомолекулярными соединениями, такими как свободные аминокислоты, маннит, фенолы и другие метаболиты. Основная масса органических веществ водорослей приходится на углеводы, которые состоят главным образом из полисахаридов (Percival, Dowell, 1967). Особый интерес для изучения представляют бурые водоросли вследствие присутствия трех типов полисахаридов – альгината, ламинарана, фукоидана. Среди бурых водорослей Каспийского моря широко распространен эктокарпус *Ectocarpus confervoides* (Roth) Le Jol.

Биология и морфология порядка Эктокарповые

Слоевища эктокарповых водорослей построены из однорядных нитей. Нити могут ветвиться и образовывать кусты высотой до 30–60 см или развиваться в виде микроскопического налета на скалах и других водорослях, могут расти в теле крупных водорослей и только в период размножения выходить на поверхность и образовывать органы размножения. Клетки вегетативных нитей эктокарповых имеют окрашенные хлоропласты, содержащие пиреноиды.

Органами размножения у рассматриваемых водорослей служат одногнездные спорангии и многогнездные вместилища, последние могут быть

спорангиями или гаметангиями. Половой процесс изогамный или гетерогамный.

Эктокарповые обитают в литорали и в сублиторали, на твердых и мягких грунтах и на более крупных водорослях, часто участвуют в обрастании морских судов [7].

Род Эктокарпус имеет кустистые слоевища высотой 0,1–30 см, крайне редко до 60 см, образованные тонкими нитями толщиной 50–150 мкм. Основанием служат стелющиеся ризоиды; у некоторых видов, растущих на водорослях, они могут проникать внутрь растений.

Крупные вертикальные побеги в основании бывают покрыты корой из ризоидов. Ветви слоевища сужаются к концам и оканчиваются длинными бесцветными клетками. Вертикальные побеги растут за счет деления большого числа клеток, особых зон роста нет. Клетки имеют пластинчатые хлоропласты.

Спорангии, гаметангии располагаются как боковые выросты ветвей. Цикл развития может быть изоморфным или гетероморфным. Половой процесс всегда изогамный.

Эктокарпус конфервообразный. Слоевище в виде мягких спутанных или скрученных у основания кустиков желтоватого или темно-бурого цвета высотой до 5 см. Ветвление боковое очередное или неправильно дихотомическое. Ветви длинные плетевидные, постепенно меняющие свою толщину в каждом следующем порядке ветвления, на вершине заканчиваются волоском. Прикрепляется короткими ризоидами, образующими подобие лопастной подошвы.

Вегетирует круглогодично. За период вегетации сменяется несколько поколений. Цикл развития изоморфный. Размножение вегетативное, бесполое и половое. Многогнездные спорангии развиваются с мая по август на боковых веточках; одногнездные, как правило, на верхинках ветвей.

Обитает на литорали и в литоральных ваннах на каменистом и скалистом грунтах, а также встречается в сублиторали до глубины 8 м на илисто-песчаном грунте. В защищенных прогреваемых бухтах имеет максимальные размеры и развивается в массовом количестве, образуя бурые комки на дне. У открытых побережий растения мелкие (длинной 2–2,5 см) с тонкими осевыми и боковыми побегами. Часто опутывает крупные водоросли или прикрепляется к раковинам моллюсков. Иногда встречается как эпифит красных водорослей и на антропогенных субстратах. Хорошо переносит загрязнения [5].

Среди эктокарпусов были идентифицированы ферменты, участвующие в выделении йода, включая некоторые дегалогеназы и галоалкандегалогеназы. Эти ферменты могут также помочь в защите эктокарпуса как эпифита от галогенированной защиты его хозяина [8].

В настоящее время в технологической литературе нет данных, касающихся содержания полисахаридов в каспийских видах бурых водорослей. Подобная информация изложена в большинстве литературных источников для дальневосточных и беломорских видов бурых водорослей. Однако бурые водоросли Каспийского моря – ценное сырье для производства пищевого альгината натрия.

Исследования химического состава морских водорослей подтвердили, что они представляют собой богатый источник белков, липидов, углеводов, минералов и микроэлементов. Содержание белка в бурых водорослях обычно обнаруживается в пределах от 5 до 15 % сухого веса. Было замечено, что содержание белка в водорослях зависит от сезона, условий роста и окружающей среды. Кроме того, бурые водоросли обладают незаменимыми аминокислотами. Альгинаты образуют основной структурный полисахарид бурых водорослей (40 % сухого веса).

Заключение

Таким образом, использование альгинатов и альгинатсодержащих препаратов из бурых водорослей – это перспективное направление в биотехнологии. При этом применение комплексной технологии переработки водорослей необходимо для

выделения растворимых в воде биологически активных веществ и разработки рекомендации их целенаправленного использования. В настоящее время как перспективные источники биологически активных веществ рассматриваются бурые водоросли семейств *Laminariales* и *Fucales* (класс *Phaeophyceae*), при этом практически не используемые бурые водоросли *Ectocarpaceae* Каспийского моря. В связи с систематическими исследованиями в последние десятилетия значительно возросло число открытых биокомпонентов из водорослей с определенной биологической активностью. Однако, несмотря на интенсивные исследовательские усилия академических и прикладных учреждений, еще очень мало продуктов с реальным потенциалом было выявлено, выделено и реализовано в виде продукции. Альгофлора Каспийского рыбохозяйственного бассейна в настоящее время не осваивается из-за отсутствия производителей продукции, заинтересованных в их сборе и переработке. Тем не менее существующая необходимость очистки береговой линии от водорослей и морских трав, наличие в макрофитах ценных нутриентов (альгиновых кислот, клетчатки, минеральных элементов) свидетельствует о перспективности изготовления из них различной продукции и актуальности данного направления.

Список источников

1. Об утверждении стратегии развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года: Распоряжение Правительства РФ от 26.11.2019 № 2798-р. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72972854/> (дата обращения: 01.09.2022).
2. Мукатова М. Д., Привезенцев А. В., Киричко Н. А., Утеушев Р. Р. Водные растения Волго-Каспия и возможность их переработки // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыбное хозяйство. 2005. № 3 (26). С. 158–166.
3. Подкорытова А. В., Рощина А. Н. Морские бурые водоросли – перспективный источник БАВ для медицинского, фармацевтического и пищевого применения // Тр. ВНИРО. 2021. Т. 186. № 4. С. 156–172.
4. Чмыхалова В. Б. Совершенствование технологии получения альгината натрия из Камчатской бурой водоросли *F. evanescens* // Вестн. Камчат. гос. техн. ун-та. 2011. № 15. С. 72–77.
5. Пржеменецкая (Макиенко) В. Ф., Шапошникова Т. В., Кулепанов В. Н., Аминина Н. М. Морские водоросли побережья Приморья (Японское море): учеб. пособие. Владивосток: Изд-во ДВФУ, 2017. URL: <https://www.dvfu.ru/science/publishingactivities/catalogue-of-books-fefu/> (дата обращения: 01.09.2022).
6. Подкорытова А. В. Морские водоросли-макрофиты и травы. М.: Изд-во ВНИРО, 2005. 175 с.
7. Янина Т. А., Болиховская Н. С., Полякова Е. И., Свиточ А. А., Бадюкова Е. Н., Макшаев Р. Р., Лобачева Д. М., Штыркова Е. И. Дельта Волги. Эволюция природной среды в условиях изменений климата. М.: Изд-во МГУ; Красногор. тип., 2019. 168 с.
8. Charrier B., Coelho S., Le Bail A., Tonon T., Michel G., Potin Ph., Kloareg B., Boyen C., Peters A., Cock M. Development and physiology of the brown alga *Ectocarpus siliculosus*: two centuries of research // *New Phytologist*. 2008. N. 177 (2). P. 319–332.

References

1. *Ob utverzhdenii strategii razvitiia rybokhoziaistvennogo kompleksa Rossiiskoi Federatsii na period do 2030 goda: Rasporiashenie Pravitel'stva RF ot 26.11.2019 № 2798-r* [On approval of the strategy for the development of the fishery complex of the Russian Federation for the period up to 2030: Decree of the Government of the Russian Federation of November 26, 2019 No. 2798-r]. Available at: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72972854/> (accessed: 01.09.2022).
2. Mukatova M. D., Privezentsev A. V., Kirichko N. A., Uteushev R. R. Vodnye rasteniia Volgo-Kaspiia i vozmozhnost' ikh pererabotki [Aquatic plants of Volga-Caspian and possibility of their processing]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Serii: Rybnoe khoziaistvo*, 2005, no. 3 (26), pp. 158–166.
3. Podkorytova A. V., Roshchina A. N. Morskie burye vodorosli – perspektivnyi istochnik BAV dlia meditsinskogo, farmatsevticheskogo i pishchevogo primeneniia [Sea brown algae: promising source of biologically active substances for medical, pharmaceutical and food applications]. *Trudy VNIRO*, 2021, vol. 186, no. 4, pp. 156–172.
4. Chmykhalova V. B. Sovershenstvovanie tekhnologii polucheniia alginata natriia iz Kamchatskoi buroi vodorosli *F. evanescens* [Improving technology of obtaining sodium alginate from Kamchatka brown algae *F. evanescens*]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Serii: Rybnoe khoziaistvo*, 2005, no. 3 (26), pp. 158–166.

nik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2011, no. 15, pp. 72-77.

5. Przhemenetskaia (Makienko) V. F., Shaposhnikova T. V., Kulepanov V. N., Aminina N. M. *Morskie vodorosli pribrezh'ia Primor'ia (Iaponskoe more): uchebnoe posobie* [Seaweeds of Primorye Coast (Sea of Japan): textbook]. Vladivostok, Izd-vo DVFU, 2017. Available at: <https://www.dvfu.ru/science/publishingactivities/catalogue-of-books-fefu/> (accessed: 01.09.2022).

6. Podkorytova A. V. *Morskie vodorosli-makrofity i travy* [Seaweeds-macrophytes and grasses]. Moscow, Izd-vo VNIRO, 2005. 175 p.

7. Ianina T. A., Bolikhovskaia N. S., Poliakova E. I., Svitoch A. A., Badiukova E. N., Makshaev R. R., Lobacheva D. M., Shtyrkova E. I. *Del'ta Volgi. Evoliutsiia prirodnoi sredy v usloviakh izmenenii klimata* [Evolution of natural environment under climate change]. Moscow, Izd-vo MGU; Krasnogorskaia tipografiia, 2019. 168 p.

8. Charrier B., Coelho S., Le Bail A., Tonon T., Michel G., Potin Ph., Kloareg B., Boyen C., Peters A., Cock M. Development and physiology of the brown alga *Ectocarpus siliculosus*: two centuries of research. *New Phytologist*, 2008, no. 177 (2), pp. 319-332.

Статья поступила в редакцию 17.10.2022; одобрена после рецензирования 10.11.2022; принята к публикации 23.11.2022
The article was submitted 17.10.2022; approved after reviewing 10.11.2022; accepted for publication 23.11.2022

Информация об авторах / Information about the authors

Екатерина Юрьевна Запорожец — ассистент кафедры технологических машин и оборудования; Астраханский государственный технический университет; mail_legato@mail.ru

Ekaterina Yu. Zaporozhiec — Lecturer of the Department of Technological Machines and Equipment; Astrakhan State Technical University; mail_legato@mail.ru

Альберт Хамед-Харисович Нугманов — доктор технических наук, профессор; профессор кафедры технологических машин и оборудования; Астраханский государственный технический университет; albert909@yandex.ru

Albert Kh.-Kh. Nugmanov — Doctor of Sciences in Technology, Professor; Professor of the Department of Technological Machines and Equipment; Astrakhan State Technical University; albert909@yandex.ru

