

**ВЛИЯНИЕ ВЫБРАННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ БИОМАССЫ НА БРИКЕТИРОВАННУЮ СМЕСЬ**
INFLUENCE OF THE SELECTED MATERIALS AND TECHNOLOGICAL
PARAMETERS OF BIOMASS ON THE BRIQUETTED MIXTURE



УДК 631.6

DOI:10.24411/2588-0209-2021-10343

Приходько Игорь Александрович

кандидат техн. наук, доцент, кафедра «Строительства и эксплуатации водохозяйственных объектов», Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар

Бандурин Михаил Александрович

доктор техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Сопротивления материалов», Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар

Вербицкий Артем Юрьевич

Обучающийся факультета гидромелиорации, Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар

Prikhodko Igor Alexandrovich

Candidate of Tech. Sciences, Associate Professor, Department of Construction and Operation of Water Management Facilities, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin

Bandurin Mikhail Alexandrovich

Doctor Tech. Tech. Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Resistance of Materials, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar

Verbitsky Artyom Yurievich

Student of the Faculty of Hydromelioration, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar

Аннотация.

Биомасса занимает шестое место по доступным источникам энергии. Однако использование биомассы приводит к загрязнению окружающей среды. Альтернативой растительной биомассе различного происхождения являются лесозаготовительные остатки. Они значительно отличаются от других, ранее используемых растительных материалов. Это различие обусловлено неоднородным составом и относительно большим размером отдельных частиц. Неоднородные физические свойства сырья в виде измельченных лесозаготовительных остатков и его состав могут вызвать серьезные проблемы при его дальнейшем использовании. В результате проведенных исследований было установлено, что элементный состав лесозаготовительных остатков (низкое содержание азота и золы) подходит для сырья, предназначенного для использования в энергетике. Также была определена возможность использования этого сырья для производства брикетов и установлена корреляция между физическими свойствами конечного продукта, параметрами сырья и процесса брикетирования. Материалом для испытаний служила древесная щепа влажностью 10 %, 15 %, 20 %, спрессованная в закрытой камере при температурах 22, 73 и 103 °С при удельном давлении 65 МПа. Наилучшие результаты были получены при влажности материала 10 %. Установлено, что температура древесной щепы при агломерации влияет на степень уплотнения и механическую прочность полученных брикетов. Уплотнение выгоднее проводить при более высокой температуре. Исследованием также определено

влияние фракционного состава брикетированной смеси, разделенной на размерные группы 0–1, 1–4, 4–8 и 8–16 мм, ее влажности и температуры процесса на механическую прочность продукта. На основании полученных результатов определен наиболее благоприятный фракционный состав брикетированной смеси, ее влажность и температура процесса уплотнения.

Summary.

Biomass ranks sixth in terms of available energy sources. However, the use of biomass leads to environmental pollution. Logging residues are an alternative to plant biomass of various origins. They differ significantly from other previously used plant materials. This difference is due to the heterogeneous composition and relatively large size of individual particles. The inhomogeneous physical properties of the raw material in the form of crushed logging residues and its composition can cause serious problems in its further use. As a result of the research, it was found that the elemental composition of logging residues (low nitrogen and ash content) is suitable for raw materials intended for use in the energy sector. The possibility of using this raw material for the production of briquettes was also determined and a correlation was established between the physical properties of the final product, parameters of raw materials and briquetting process. The material for testing was wood chips with a moisture content of 10%, 15%, 20%, pressed in a closed chamber at temperatures of 22, 73, and 103 ° C at a specific pressure of 65 MPa. The best results were obtained with a material moisture content of 10%. It was found that the temperature of wood chips during agglomeration affects the degree of compaction and mechanical strength of the resulting briquettes. Compaction is more profitable at a higher temperature. The study also determined the effect of the fractional composition of the briquetted mixture, divided into size groups of 0–1, 1–4, 4–8 and 8–16 mm, its humidity and process temperature on the mechanical strength of the product. Based on the results obtained, the most favorable fractional composition of the briquetted mixture, its moisture content and the temperature of the compaction process were determined.

Ключевые слова: твердое биотопливо, механическая прочность пеллет и брикетов, лес, биомасса, давление, агломерация, лесозаготовительные остатки.

Key words: solid biofuels, mechanical strength of pellets and briquettes, timber, biomass, pressure, agglomeration, logging residues.

Введение.

В последние годы наблюдается рост спроса на биомассу, используемую в качестве сырья для производства топлива, предназначенного для прямого сжигания или для производства очищенного топлива в виде брикетов, гранул или пеллет. Это напрямую связано с предотвращением изменения климата, которое на протяжении многих лет является предметом исследований и разработок новых методов генерации тепла и электроэнергии [1-4]. Одним из видов биомассы, которая до сих пор не использовалась в полной мере, являются лесозаготовительные отходы и побочные продукты процессов лесохозяйственного производства [5-7]. Отходы лесозаготовок – это материал, который образуется при заготовке древесины, а также при уходе и очистке лесных насаждений. По санитарным и противопожарным соображениям это сырье не должно оставаться в своем естественном виде в лесах. Оно должно быть очищено до начала работ, связанных с восстановлением насаждений. Некоторые исследователи также подчеркивают важность лесных остатков для качества лесных почв [8-10]. Однако следует обратить внимание на то, что за несколько десятилетий развития древостоя в почве накопилось значительное количество веществ, обогащающих среду обитания (опавшие листья, отмирающие растения подлеска 1-го этажа и т.д.). Решением, которое также снижает риск возникновения пожара, очищает поверхность, подготавливая ее к облесению, и в то же время не обедняет почву, является измельчение остатков и смешивание их с верхним слоем почвы [11-13]. Однако это решение влечет за собой значительные затраты. В литературе этот материал определяется как хвосты/отходы лесозаготовок. Характерной особенностью этого вида биомассы является ее неоднородность. Помимо чистой древесины, она содержит большое количество коры, сосновых игл, шишек и одревесневших молодых побегов [14].

Полезность биомассы в качестве энергетического сырья подтверждается, в частности, ее элементным составом. Содержание С,Н,О,К, кислорода и золы относительно хорошо известно для древесины различных пород и древесных отходов, отдельных частей деревьев [15], которые могут быть обнаружены в древесной щепе, таких как: древесина, пни, корни, кора, шишки, семена [16].

Материалы и методы.

Материалом исследования служили древесные остатки, полученные в процессе заготовки древесины в 60-летнем сосновом древостое (*Pinussilvestris* / Сосна обыкновенная), измельченные молотковым измельчителем (BT 13HP-90 мм, REDMET) на щепу размером не более 16 мм. Древесная щепа, кроме элементов из чистой древесины, содержала значительное количество игл и не древесных побегов небольшого диаметра. Из-за природы полученного материала исследуемая биомасса не содержала коры и основной части дерева, а только внешние, слабо развитые части побегов.

Образцы массой $50 \pm 0,5$ г взвешивали на электронных весах RADWAG WTC 600 с точностью $\pm 0,01$ г, а затем помещали в сушильный шкаф Memmert UF55 plus при 105 °C в течение 24 ч. Содержание влаги ($W_g, \%$) определяли по формуле 1:

$$W_g = \frac{m_g - m_c}{m_c} \cdot 100 \%. \quad (1)$$

где m_b – масса влажной пробы (г), m_c – масса сухой пробы (г).

Щепу с влажностью 10 %, 15 %, 20 % прессовали в закрытой камере при удельном давлении около 65 МПа при температурах 22 и 73 °C [6–8]. Каждый тест проводился в 3-кратной повторности.

Влияние фракционного состава брикетированной смеси, ее влажности и температуры процесса уплотнения на качество пеллета было оценено для древесной щепы, полученной путем смешивания отделенных фракций по размеру в различных пропорциях. Анализ содержания углерода, водорода, азота и серы (CHNS) проводился с использованием анализатора Elementar Vario (Elementar Americas Inc) в соответствии с процедурой, описанной в протоколе [9].

Затем образец сырья сжигали, определяя содержание золы и кислорода. Доля кислорода определялась на основе содержания других элементов и золы в анализируемом материале. Механическая прочность брикетов определялась в соответствии с ГОСТ 34090.2–2017с использованием испытательного барабана для определения механической прочности. Механическую прочность брикетов на рабочее состояние определяли по безразмерному коэффициенту (Ψ) как отношение массы, оставшейся после анализа на сите, к общей массе анализируемых брикетов (формула 2):

$$\Psi = \frac{m_A}{m_E} \cdot 100. \quad (2)$$

где m_A – масса пробы после обработки во вращающемся барабане и рассева, оставшаяся на сите (г), m_E – масса порции пробы, отобранная для испытания, до обработки во вращающемся барабане, (г).

Результаты.

Подробные результаты исследования элементного состава анализируемой биомассы представлены в таблице 1. Процентное содержание элементов и минеральных соединений относится к среднему значению, полученному в результате измерений.

Таблица 1 – Доля элементов и минеральных соединений в исследуемом сырье и сравнительных материалах (\pm – стандартное отклонение; для $CF_{(2,11)} = 1127,9$, $p = 1 \times 10^{-5}$; для $HF_{(2,11)} = 0,02$, $p = 1 \times 10^{-3}$, для $NF_{(2,11)} = 155,15$, $p = 8 \times 10^{-6}$, для $SF_{(2,11)} = 6,69$, $p = 0,01$, для $OF_{(2,11)} = 0,02$, $p = 0,17$, для золы $F_{(2,11)} = 178,56$, $p = 4 \times 10^{-10}$).

Исходный материал	<i>C</i>	<i>H</i>	<i>N</i>	<i>S</i>	<i>O</i>	<i>Зола</i>
	Среднее значение \pm - стандартного отклонения, %					
Отходы лесозаготовок	50.84 (± 0.07)	5.72 (± 0.16)	0.66 (± 0.06)	0.25 (± 0.13)	41.46 (± 0.07)	1.07 (± 0.09)
Топливная щепа	49.95 (± 0.08)	5.76 (± 0.05)	0.27 (± 0.02)	0.12 (± 0.01)	41.99 (± 0.05)	1.91 (± 0.11)
Древесная стружка	48.42 (± 0.08)	5.64 (± 0.06)	0.41 (± 0.02)	0.10 (± 0.01)	43.01 (± 0.03)	2.42 (± 0.11)

Низкое содержание азота и серы (0,66 % и 0,25 %) и значительная доля углерода (более 50 %) подтверждают возможность использования отходов сосновых лесозаготовок в качестве энергетического сырья. Учитывая низкое содержание азота и серы, можно ожидать низкого выброса вредных веществ, таких как оксиды азота, бензол и формальдегид, в процессе горения. Содержание углерода определяет теплотворную способность этой биомассы, что способствует дальнейшим исследованиям.

Предварительные исследования по уплотнению были проведены для неизменного фракционного состава уплотненной биомассы. Были выделены четыре фракции уплотненных частиц (0–1 мм), (1–4) мм, (4–8 мм) и (8–16 мм). Их «естественная» доля в древесной щепе составила 6,32 %, 32,52 %, 36,14 % и 25,02 % соответственно. Проведенные исследования позволили установить, что наиболее высокие, хотя и неудовлетворительные, значения механической прочности (Ψ) были получены в случае уплотнения биомассы влажностью 10 % (таблица 2). Эти исследования также позволили отклонить температуру 22 °C как слишком низкую для обеспечения правильного хода возникновения явлений, желаемых в процессе агломерации.

Таблица 2 – Средние значения механической прочности для брикетов, изготовленных из материала с «природным фракционным составом» ($F_{(2, 6)} = 17,132; p = 0,003$).

Влажность, %	Температура, °С	Механическая прочность (± стандартное отклонение)
10	22	16.5 (±3.2)
	73	22.4 (±2.6)
15	22	16.7 (±1.8)
	73	17.3 (±1.9)
20	22	8.4 (±2.7)
	73	12.3 (±1.1)

Результаты основной серии испытаний (для материала с модифицированным фракционным составом) представлены в таблице 3. Брикетирование проводилось при двух температурах (73 и 103 °С) и влажности, равной 10%. Во всех случаях коэффициент механической прочности брикета в диапазоне от 42% до 72,5% был неудовлетворительным и ниже 80-98%, полученных для брикетов из опилок, измельченных растений или измельченных шишек. Однако другие авторы не изучали брикет, изготовленный из этого типа материала. Поэтому большая часть исследователей получала значения механической прочности [10] 87–97%, [11] > 90 %, [12] 84–97 %, [12] 80–94 % для брикетов из опилок различных пород древесины и их смесей. Полученные результаты механической прочности брикета подтверждают также утверждения, что в целом прочность брикета обратно пропорциональна размеру частиц, поскольку более мелкие частицы имеют большую общую поверхность, что приводит к лучшему сцеплению. В обсуждаемом исследовании, наибольшее значение механической прочности было получено для смеси 50% фракции 0–1 мм, 25 % фракции 1–4 мм, 25 % фракции 4–8 мм, смешанной и уплотненной при температуре 103 °С.

Таблица 3 – Механическая прочность для различного фракционного состава биомассы, уплотненной при двух температурах 73 и 103 °С ($F_{(2, 24)} = 7,34; p = 0,0033$).

Доля фракции, %				Температура, °С	Механическая прочность (± стандартное отклонение)
0–1 мм	1–4 мм	4–8 мм	8–16 мм		
75	0	0	25	73	42.0(±2.9)
				103	67.4(±5.2)
75	0	25	0	73	64.2(±5.9)
				103	50.9(±5.3)
75	25	0	0	73	51.1(±1.04)
				103	66.1(±2.7)
50	25	25	0	73	68.1(±6.2)

				103	72.5(±3.0)
--	--	--	--	-----	------------

Приведенное выше утверждение подтверждает литературные данные, которые показывают, что брикеты, полученные из мелких фракций, обладают большей прочностью. Это связано с большей возможностью подгонки частиц и образования связей между ними. Аналогичным образом, повышенная температура (до 103 °С) положительно влияет на прочность брикетов. Это вызывает пластификацию веществ, содержащихся в биомассе, выделение адгезивных смол и, как следствие, лучшее связывание уплотненного материала.

Проведенные исследования доказывают пригодность измельченных лесозаготовительных остатков для производства твердого топлива в виде брикетов. Дальнейшие исследования следует вести в направлении накопления фактических данных, подтверждающих репрезентативность выявленных значений в оценке механической прочности для других видов материалов, используемых в производстве твердого биотоплива.

Выводы.

На основании проведенных исследований было установлено, что элементный состав испытываемой биомассы отличается от состава традиционно сравниваемого сырья (топливная щепка и древесная стружка). Однако он выгоден в качестве сырья для производства твердого топлива. Наиболее благоприятное, хотя и неудовлетворительное значение механической прочности было получено для уплотнения древесной щепы влажностью 10 % и температурой 103 °С. Фракционный состав уплотненной биомассы влияет на величину механической прочности. Наиболее благоприятные результаты среди испытанных смесей были получены для состава 50 % фракции 0–1 мм, 25 % фракции 1–4 мм, 25 % фракции 4–8 мм.

Список использованной литературы

1. Владимиров, С. А. Методика оценки сбалансированного земельного использования ресурсов и устойчивости агроландшафтов / С.А. Владимиров, И.А. Приходько, Т.И. Сафронова // International Agricultural Journal. 2020. Т. 63. № 2. С. 13.
2. Владимиров, С. А. Вероятностная модель процесса управления мелиоративными мероприятиями / С. А. Владимиров, Т. И. Сафронова, И. А. Приходько // International Agricultural Journal. 2019. Т. 62. № 4. С. 18.
3. Чеботарев, М. И. Способ мелиорации почвы рисовой оросительной системы к посеву риса / М. И. Чеботарев, Приходько И. А. // Патент на изобретение RU 2482663 С2, 27.05.2013. Заявка № 2011123829/13 от 10.06.2011.

4. Сафронова, Т. И Математическая модель режима функционирования рисовой оросительной системы на примере рисовых полей Кубани / Т. И. Сафронова, И. А. Приходько // International Agricultural Journal. 2020. Т. 63. № 2. С. 30.
5. Вербицкий, А. Ю. Экологические аспекты использования биоразлагаемой мульчирующей пленки в сельском хозяйстве / А.Ю. Вербицкий, И. А. Приходько // В сборнике: Научное обеспечение агропромышленного комплекса. Сборник статей по материалам 74-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2018 год. Ответственный за выпуск А.Г. Коцаев. 2019. С. 177-180.
6. Сафронова, Т. И. Математическая модель выбора эколого-адаптивных мелиоративных мероприятий / Сафронова Т. И., Приходько И. А. // Фундаментальные исследования. 2019. № 9. С. 64-68.
7. Kruzhilin, I.P., Ganiev, M.A., Melikhov V.V., Rodin, K.A., Fomin, S.D. & Dubenok N.N. Water saving eco-friendly technology of rice irrigation. Conference on Innovations in Agricultural and Rural development. IOP Publishing IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 341 012100 (2019) doi:10.1088/1755-1315/341/1/012100/
8. Kruzhilin, I. P., Ovchinnikov, A. S., Kuznetsova, N. V., Kozinskaya, O. V., Fomin, S. D., Bocharnikov, V. S. & Vorontsova, E.S. Water pressure monitoring in irrigation piping as quality management tools of sprinkler irrigation. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. vol. 13, no. 13, pp. 4181-4184 (2018) https://arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2018/jeas_0718_7186.pdf.
9. Kruzhilin, I.P., Ganiev, M.A., Melikhov, V.V., Rodin, K.A., Dubenok, N.N., Ovchinnikov, A.S., Fomin, S.D. & Abdou, N.M. Mode of rice drip irrigation. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, vol. 12, no. 24. pp. 7118-7123 (2017.). https://www.researchgate.net/publication/322418563_Mode_of_rice_drip_irrigation
10. Vladimirov, S. A. Justification of rice watering methods and crop cultures / S. A. Vladimirov, I. A. Prikhodko, A. Y. Verbitsky // Journal of Agriculture and Environment. 2019. № 1 (9). С. 15.
11. Safronova, T. I. Price characteristics of the project to construct the precipitation runoff system regulation / T. I. Safronova, O. G. Degtyareva, S. A. Vladimirov, I. A. Prikhodko // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. Т. 9. № 6. С. 1845-1852.
12. Кузнецов Е. В. Способ определения агресурсного состояния почв по мелиоративной шкале рисовой оросительной системы / Е. В. Кузнецов, А. Е. Хаджиди, И. А. Приходько // Патент на изобретение RU 2466522 С1, 20.11.2012. Заявка № 2011112267/13 от 30.03.2011.

13. Bandurin, M.A. The efficiency of impervious protection of hydraulic structures of irrigation systems / M. A. Bandurin, V. A. Volosukhin, I. F. Yurchenko // В сборнике: Advances in Engineering Research. 2018. С. 56-61.

14. Волосухин, В. А. Необходимость многофакторной диагностики донской шлюзованной системы в условиях роста дефицита водных ресурсов и безопасности сооружений / В. А. Волосухин, М. А. Бандурин // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2017. Т. 9. № 2. С. 346-354.

15. Bandurin, M. A. Computer technology to assess the capacity reserve of the irrigation facilities of the agro-industrial complex / M. A. Bandurin, I. F. Yurchenko, I. P. Bandurina // В сборнике: 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2019. 2019. С. 8933970.

16. Приходько, И. А. Экспериментальное определение механических характеристик при изгибе сэндвич-конструкций для разработки новых строительных решений при производстве и хранении сельскохозяйственной продукции / И. А. Приходько, А. Ю. Верbitsкий, Бандурин М. А. // International Agricultural Journal. 2020. Т. 63. № 6. С. 29.

Spisok ispol'zovannoi literatury

1. Vladimirov, S. A. Metodika otsenki sbalansirovannogo zemel'nogo ispol'zovaniya resursov i ustoichivosti agrolandshaftov / S.A. Vladimirov, I.A. Prikhod'ko, T.I. Safronova // International Agricultural Journal. 2020. Т. 63. № 2. S. 13.

2. Vladimirov, S. A. Veroyatnostnaya model' protsessa upravleniya meliorativny-mi meropriyatiyami / S. A. Vladimirov, T. I. Safronova, I. A. Prikhod'ko // International Agricultural Journal. 2019. Т. 62. № 4. S. 18.

3. Chebotarev, M. I. Sposob melioratsii pochvy risovoi orositel'noi sistemy k posevu risa / M. I. Chebotarev, Prikhod'ko I. A. // Patent na izobrenie RU 2482663 C2, 27.05.2013. Zayavka № 2011123829/13 ot 10.06.2011.

4. Safronova, T. I. Matematicheskaya model' rezhima funktsionirovaniya risovoi orositel'noi sistemy na primere risovykh polei Kubani / T. I. Safronova, I. A. Prikhod'ko // International Agricultural Journal. 2020. Т. 63. № 2. S. 30.

5. Verbitskii, A. YU. Ehkologicheskie aspekty ispol'zovaniya biorazlagaemoi mul'chiruyushchei plenki v sel'skom khozyaistve / A.YU. Verbitskii, I. A. Prikhod'ko // V sbornike: Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa. Sbornik statei po materialam 74-i nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov po itogam NIR za 2018 god. Otvetstvennyi za vypusk A.G. Koshchaev. 2019. S. 177-180.

6. Safronova, T. I. Matematicheskaya model' vybora ehkologo-adaptivnykh meliorativnykh meropriyatii / Safronova T. I., Prikhod'ko I. A. // Fundamental'nye issledova-niya. 2019. № 9. S. 64-68.
7. Kruzhilin, I.P., Ganiev, M.A., Melikhov V.V., Rodin, K.A., Fomin, S.D. & Dubenok N.N. Water saving eco-friendly technology of rice irrigation. Conference on Innovations in Agricultural and Rural development. IOP Publishing IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 341 012100 (2019) doi:10.1088/1755-1315/341/1/012100/
8. Kruzhilin, I. P., Ovchinnikov, A. S., Kuznetsova, N. V., Kozinskaya, O. V., Fomin, S. D., Bocharnikov, V. S. & Vorontsova, E.S. Water pressure monitoring in irrigation piping as quality management tools of sprinkler irrigation. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. vol. 13, no. 13, pp. 4181-4184 (2018) https://arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2018/jeas_0718_7186.pdf.
9. Kruzhilin, I.P., Ganiev, M.A., Melikhov, V.V., Rodin, K.A., Dubenok, N.N., Ovchinnikov, A.S., Fomin, S.D. & Abdou, N.M. Mode of rice drip irrigation. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, vol. 12, no. 24. pp. 7118-7123 (2017.). https://www.researchgate.net/publication/322418563_Mode_of_rice_drip_irrigation
10. Vladimirov, S. A. Justification of rice watering methods and crop cultures / S. A. Vladimirov, I. A. Prikhodko, A. Y. Verbitsky // Journal of Agriculture and Environment. 2019. № 1 (9). S. 15.
11. Safronova, T. I. Price characteristics of the project to construct the precipitation runoff system regulation / T. I. Safronova, O. G. Degtyareva, S. A. Vladimirov, I. A. Prikhodko // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. T. 9. № 6. S. 1845-1852.
12. Kuznetsov E. V. Sposob opredeleniya agrolesursnogo sostoyaniya pochv po meliorativnoi shkale risovoi orositel'noi sistemy / E. V. Kuznetsov, A. E. Khadzhidi, I. A. Prikhod'ko // Patent na izobretenie RU 2466522 C1, 20.11.2012. Zayavka № 2011112267/13 ot 30.03.2011.
13. Bandurin, M.A. The efficiency of impervious protection of hydraulic structures of irrigation systems / M. A. Bandurin, V. A. Volosukhin, I. F. Yurchenko // V sbornike: Advances in Engineering Research. 2018. S. 56-61.
14. Volosukhin, V. A. Neobkhodimost' mnogofaktornoi diagnostiki donskoi shlyuzovannoi sistemy v usloviyakh rosta defitsita vodnykh resursov i bezopasnosti sooruzhenii / V. A. Volosukhin, M. A. Bandurin // Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova. 2017. T. 9. № 2. S. 346-354.
15. Bandurin, M. A. Computer technology to assess the capacity reserve of the irrigation facilities of the agro-industrial complex / M. A. Bandurin, I. F. Yurchenko, I. P. Bandurina // V

sbornike: 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2019. 2019. S. 8933970.

16. Prikhod'ko, I. A. Eksperimental'noe opredelenie mekhanicheskikh kharakteristik pri izgibe sehdvich-konstruktsii dlya razrabotki novykh stroitel'nykh reshenii pri proizvodstve i khranении sel'skokhozyaistvennoi produktsii / I. A. Prikhod'ko, A. YU. Ver-bit'skii, Bandurin M. A. // International Agricultural Journal. 2020. T. 63. № 6. S. 29.