

## ОЦЕНКА РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ПРОИЗВОДСТВА КУСКОВОГО ТОРФА ФРЕЗФОРМОФОЧНОЙ МАШИНОЙ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ПЛОТНОСТИ И ПРОЧНОСТИ

А.М. Гусева<sup>1</sup>, А.Л. Яблонев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Тверской государственный технический университет, Тверь, Россия, e-mail: guseva\_ann@mail.ru

**Аннотация:** Современные тенденции проектирования горных машин диктуют требования по снижению энергоемкости производимых ими операций. Но не всегда учитывается качество получаемого при этом продукта. Целью данного исследования является определение рациональных режимов работы шнекового пресса фрезформовочной машины для добычи кускового торфа с точки зрения обеспечения необходимого качества коммунально-бытового топлива. Для решения этого вопроса был проведен эксперимент, моделирующий процесс производства кускового торфа с последующим определением показателей плотности и прочности куска, полученного при работе агрегата в рациональном режиме. Опыты проводились для трех значений коэффициента напора, влияние которого на плотность и прочность куска подлежало оценке. При определении плотности кускового торфа использовались современные электронные устройства с низким уровнем погрешности. Разработанные стенд и методика определения прочности кускового торфа позволили обеспечить режим нагружения куска, близкий к полевым. Полученные показатели плотности и прочности кускового торфа говорят о рациональном режиме формования при обеспечении минимума энергоемкости при коэффициенте напора 2,22. Таким образом, производство кускового торфа в рациональных режимах обеспечит минимум энергоемкости, требуемое качество получаемого куска и сократит потери сырья, образующиеся в результате крошимости.

**Ключевые слова:** кусковой торф, формование, фрезформовочная машина, энергоемкость, шнековый пресс, плотность, прочность.

**Для цитирования:** Гусева А.М., Яблонев А.Л. Оценка рациональных режимов производства кускового торфа фрезформовочной машиной по показателям плотности и прочности // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 3. – С. 87–95. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-3-0-87-95.

### Assessment of rational operating modes in lump peat production with a single milling-and-molding machine by the density and strength data

A.M. Guseva<sup>1</sup>, A.L. Yablonev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Tver State Technical University, Tver, Russia, e-mail: guseva\_ann@mail.ru

**Abstract:** The modern trends in mining machine engineering dictate reduction in energy requirement of the machine operation. The quality of the product is sometimes ignored in this case. The present research aims to determine rational operating modes of an extrusion screw of a milling-and-molding machine for lump peat production with regard to the required qua-

© А.М. Гусева, А.Л. Яблонев. 2020.

lity of domestic fuel. To this effect, a simulation exercise on lump peat production was carried out with later determination of density and strength of a peat lump produced by the machine in the rational operating mode. The experimentation involved three values of the head coefficient which affected the strength and density of peat lumps. The lump peat density was determined using modern electronic devices with low-level default. The workbench and procedure developed for the assessment of the lump peat density ensured almost in-situ loading conditions for peat lumps. The obtained data on the density and strength of lump peat illustrate the rational mode of molding at the minimum energy requirement at the head coefficient of 2.22. Thus, the rational mode production of lump peat can minimize energy requirement, ensure the desired quality of produced lumps and reduce losses because of crumbling.

**Key words:** lump peat, molding, milling-and-molding machine, energy requirement, extrusion screw, density, strength.

**For citation:** Guseva A. M., Yablonev A. L. Assessment of rational operating modes in lump peat production with a single milling-and-molding machine by the density and strength data. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(3):87-95. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-3-0-87-95.

---

## Введение

Кусковой торф — легкое (плотность в навалe до 500 кг/м<sup>3</sup>) и безопасное топливо для транспортировки, имеющее теплотворную способность 3200 Ккал/кг при влаге 33%, которое с большим успехом может использоваться в качестве альтернативы на местном уровне дальнепривозному топливу [1–3].

Самой энергоемкой операцией при добыче кускового торфа является щелевое фрезерование и формование, на которые приходится около 50% всех эксплуатационных расходов [4].

Актуальность исследования обоснована необходимостью снижения себестоимости добычи кускового торфа и поиском рациональных параметров работы фрезформовочной машины с точки зрения снижения энергоемкости при сохранении требуемых качественных характеристик получаемого топлива.

Для этого авторами на лабораторном стенде произведено опытное диспергирование и формование торфа шнековым прессом, имеющим 5 скоростных режимов, 3 сменных мундштука и 2 шнека с различным шагом витков. В процессе исследования определялись содержание влаги исходного сырья, полезная

мощность, производительность прессы, энергоемкость процесса [4].

Было выяснено, что при установке в шнековый пресс поочередно двух шнеков с шагом витков 110 и 50 мм, наименьшая энергоемкость процесса формования, соответствующая зоне частоты вращения шнека 220–320 об/мин, наблюдается при работе шнека с шагом витков 50 мм, т.е. равном половине наружного диаметра шнека. Большая плотность сформованных кусков соответствовала большей частоте вращения и меньшему шагу витков шнека [4, 5]. Но так как в эксперименте использовались три мундштука с различными внутренними диаметрами, необходимо было выявить влияние последнего на плотность и прочность кускового торфа при работе шнекового прессы в режиме минимальной энергоемкости [6]. После теневой сушки определялась плотность кусков, полученных на различных режимах формования. Затем на стенде, создающем разрушающую нагрузку, производились испытания кускового торфа.

## Теория вопроса

Качество готового кускового коммунально-бытового топлива характери-

зуется обеспечением требуемой тепло-творной способности, а также сохранением куском приданной мундштуком формы.

Обеспечение требуемой теплотворной способности определяется плотностью кускового торфа на стадии кондиционной влаги при отсутствии микродефектов и трещин после формования и сушки. Сохранение целостности формы, заданной мундштуком, определяется отсутствием крошимости и прочностью на изгиб, позволяющей проводить последующие технологические операции при добыче кускового торфа. Прочность кускового торфа, как никакая другая характеристика, дает представление о его качестве и сохранности в процессе производства и транспортирования.

Плотность кускового торфа на стадии кондиционной влаги при отсутствии микродефектов и трещин после формования и сушки, определяющая теплотворную способность, должна составлять 750–1100 кг/м<sup>3</sup>. Прочность на изгиб кускового торфа должна составлять не менее 3,5–4,5 МПа [7]. Обеспечение таких показателей качества кускового торфа по плотности и прочности во взаимосвязи с минимизацией энергоемкости процесса позволит рационализировать технологический процесс добычи коммунально-бытового топлива. При этом

для своевременного внесения изменений в технологические параметры следует обеспечить организацию оперативного контроля качества готовой продукции [8, 9].

### **Материалы, методы, методика проведения экспериментов**

С целью разрешения вышепоставленных вопросов был проведен лабораторный эксперимент [4]. По результатам этого эксперимента получен интервал минимума энергоемкости, приходящийся на область от 220 до 320 об/мин.

По окончании сушки объемным методом с использованием цифрового штангенциркуля ШЦЦ 1-150-0,01с точностью 0,01 мм и весов «АсcomJW-1» с точностью 0,01 г (рис. 1) была произведена оценка плотности кусков, полученных на различных режимах. Все опыты проведены с 5-ти кратной повторяемостью, обеспечивающей доверительную вероятность не менее 0,9 при величине относительной ошибки не более 0,1.

Испытания на изгиб готового кускового топлива, по сравнению с другими испытаниями на прочность, являются наиболее информативными в связи с тем, что большинство операций по добыче куска после его формования связано с постоянными изгибными деформациями. Существует несколько методик оп-

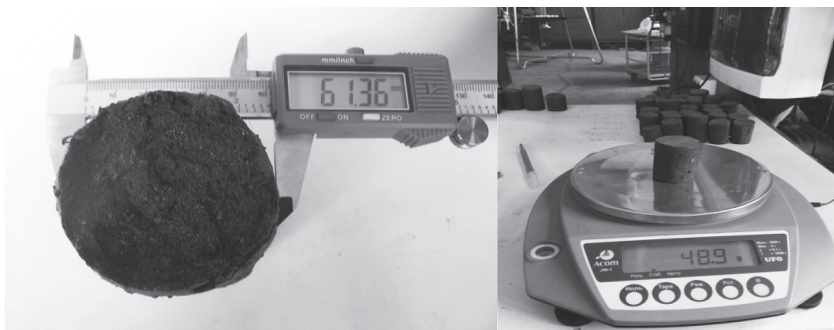


Рис. 1. Оборудование для оценки плотности образцов кускового торфа

Fig. 1. Equipment for estimating the density of sod peat samples

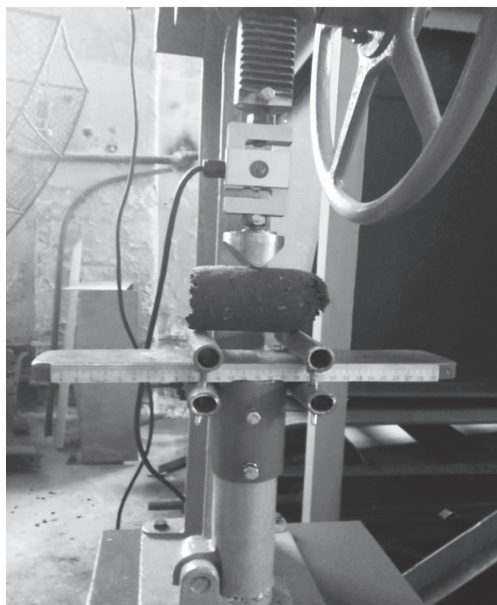


Рис. 2. Испытание на изгибную прочность образцов кускового торфа круглого сечения

Fig. 2. Flexural strength test of sod peat samples round sections

ределения прочности, но только предлагаемый вариант обеспечивает реализацию условий нагрузки, близких к полевым, и максимально снижает стохастический характер получаемых результатов [10].

Для обеспечения контроля качества продукции разработана, создана и запатентована конструкция стенда для испытания образцов на прочность с ручным механическим многоступенчатым приводом, преобразующим вращательное движение штурвала в поступательное конического наконечника (рис. 2) [11]. Конический наконечник-разрушитель посредством тензометрической скобы связан с цифровым динамометром, на электронном табло которого отражается и запоминается нагрузка, создаваемая устройством в каждом цикле испытаний при разрушении. Тензометрическая скоба рассчитана на максимальную нагрузку 1,5 кН, а металлоконструкция стенда — на нагрузку 5 кН. Таким образом,

на данном стенде можно проводить испытания на прочность любого формованного биотоплива.

### Статистическая обработка результатов, обсуждение

В работе [4] для использования метода геометрического подобия и как вариант управления энергоемкостью в процессе производства кускового торфа нами было введено понятие «коэффициент напора», которое описывает степень уплотнения торфа в напорной части трубы шнекового пресса и мундштуке:

$$k_n = \frac{D^2 + d_{\text{вн}}^2}{m \cdot d^2}$$

где  $D$  — внутренний диаметр напорной трубы;  $d_{\text{вн}}$  — наружный диаметр трубы, являющейся основой для спирали шнека;  $d$  — диаметр мундштука;  $m$  — количество мундштуков.

Шнековый пресс, применяемый в исследовании, имел следующие параметры:  $D = 102$  мм,  $d_{\text{вн}} = 49$  мм. Таким образом, коэффициенты напора  $k_n$  для мундштуков диаметром 52, 60 и 92 мм, соответственно составили 2,96, 2,22 и 0,95.

Оценка плотности кусков при среднем содержании влаги 23,12% показала, что в зависимости от числа оборотов шнека, плотность меняется по логарифмическому закону (рис. 3).

Для всех представленных зависимостей получены уравнения регрессии с коэффициентами детерминации  $R^2$ .

Для середины интервала минимума энергоемкости был построен график зависимости плотности при кондиционной влаге от энергоемкости формования при различных параметрах шнекового пресса (рис. 4).

Согласно полученной зависимости, интенсивность роста плотности кондиционного топлива заметно падает при изменении  $k_n$  с 2,22 до 2,96. Поэтому

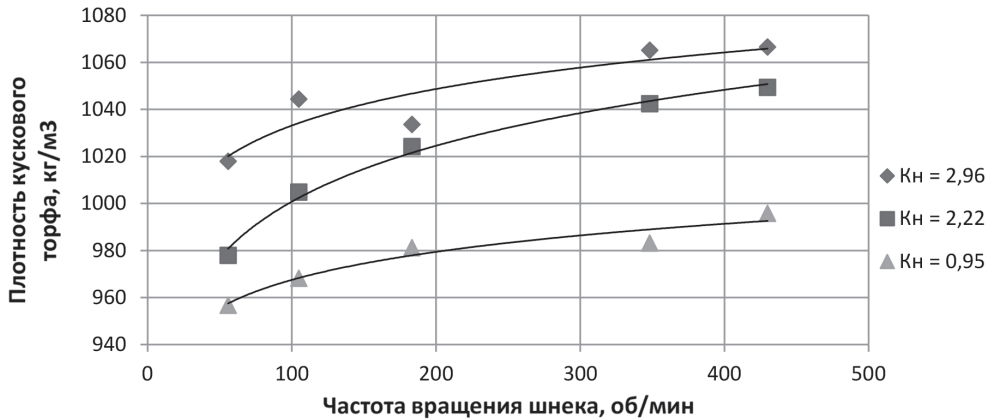


Рис. 3. Зависимость плотности кускового торфа от частоты вращения шнека при формировании прессом с шагом витков  $S = 50$  мм

Fig. 3. The dependence of the density of sod peat on the rotational speed of the screw during forming by a press with a step of turns  $S = 50$  mm

был сделан вывод о рациональном режиме формирования при коэффициенте напора  $k_n = 2,22$ . Получены графические зависимости по прочности кускового торфа на изгиб от частоты вращения шнека при шаге витков шнека равном  $0,5 D$  (рис. 5).

Опять же, для середины интервала минимума энергоёмкости построен график зависимости прочности кускового торфа от энергоёмкости формирования для трех различных коэффициентов напора,

реализованных в ходе проведенного исследования (рис. 6).

Как следует из полученных зависимостей (рис. 6), интенсивность роста прочности куска при увеличении энергоёмкости падает при изменении  $k_n$  от 2,22 до 2,96. Поэтому формирование при коэффициенте напора  $k_n = 2,22$  можно считать рациональным режимом.

Для всех проведенных опытов построены графические зависимости, причем следует отметить, что полученные

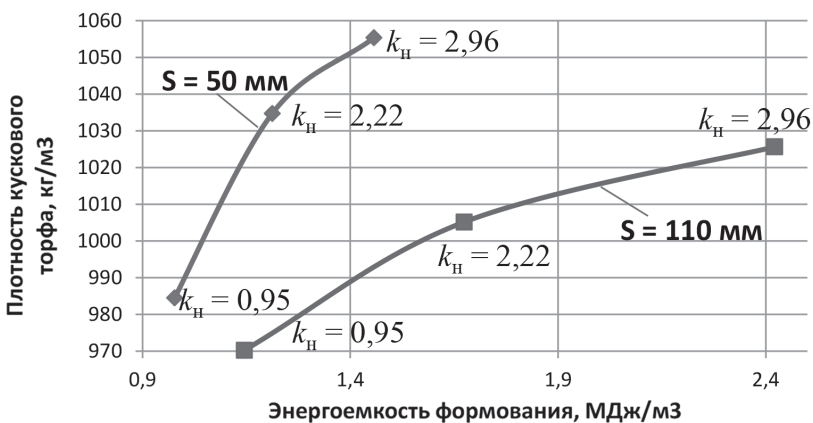


Рис. 4. Зависимость плотности кускового торфа от энергоёмкости формирования при скорости вращения шнека  $n = 270$  об/мин

Fig. 4. Sod peat density dependence of energy intensity at a rotation speed of screw  $n = 270$  RPM

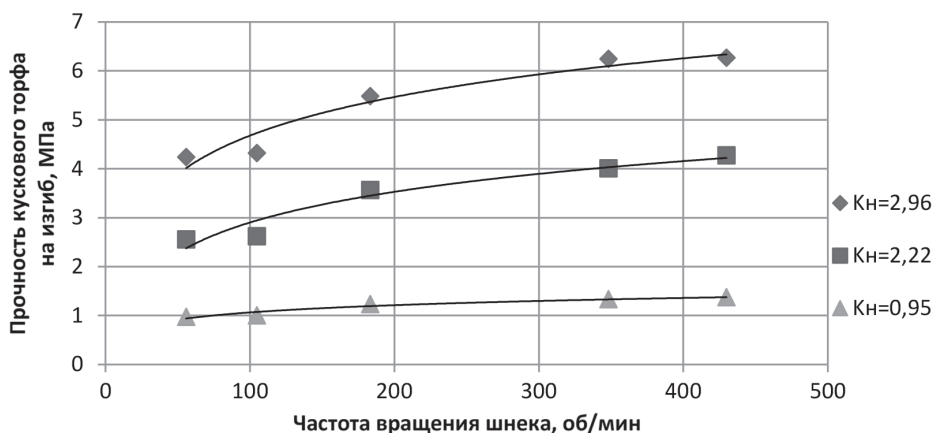


Рис. 5. Зависимость прочности кускового торфа от частоты вращения шнека при формировании прессом с шагом витков  $S = 50$  мм

Fig. 5. The dependence of the strength of sod peat on the rotational speed of the screw during forming by a press with a step of turns  $S = 50$  mm

логарифмические кривые по прочности кускового торфа имеют вид весьма близкий к зависимостям, полученным для плотности куска. В связи с этим был произведен корреляционный анализ для определения взаимного влияния прочности на изгиб и плотности кускового торфа, который показал, что на основании тесной связи, подтверждаемой высокими коэффициентами корреляции (в двух случаях из шести  $r > 0,7$ ; в че-

тырех случаях из шести  $r > 0,9$ ), зависимость между плотностью и прочностью кускового торфа на изгиб можно аппроксимировать прямыми линиями (рис. 7).

Полученные результаты по оценке плотности и прочности кускового торфа согласуются с известными ранее данными [7, 12, 13], но получены с меньшими затратами, поскольку при испытании применялось ручное механическое обо-

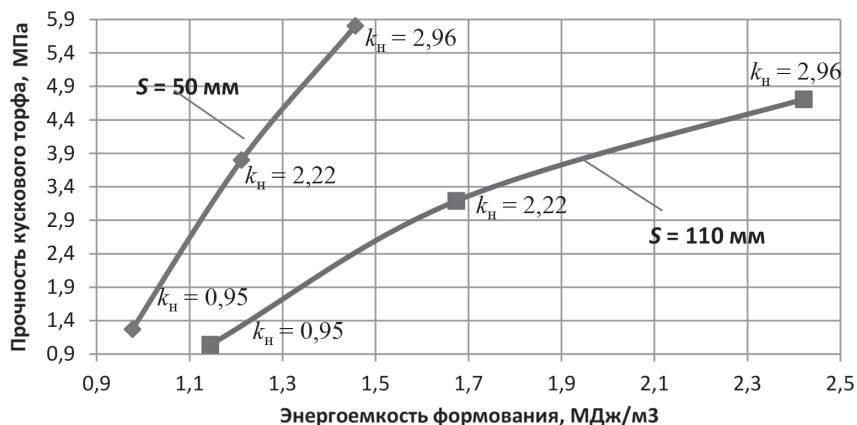


Рис. 6. Зависимость прочности на изгиб кускового торфа от энергоемкости формирования при частоте вращения шнека  $n = 270$  об/мин для различных коэффициентов напора  $k_n$

Fig. 6. The dependence of the bending strength of sod peat on the energy intensity of forming at a rotational speed of the screw  $n = 270$  RPM for various pressure factors  $k_n$

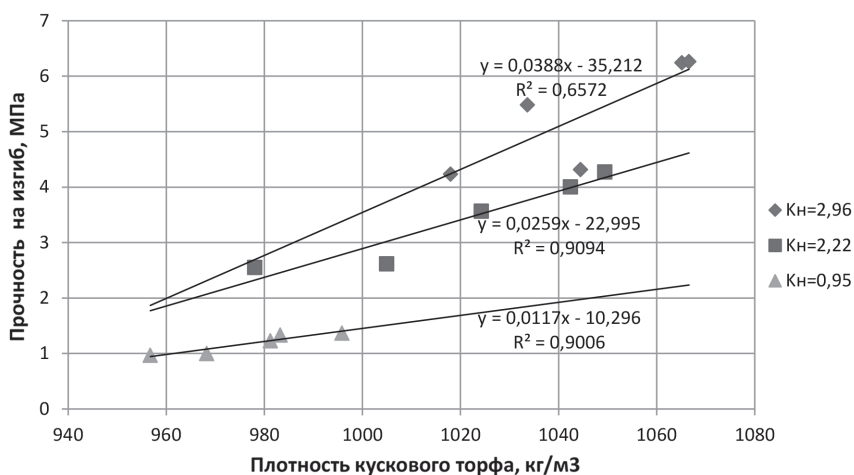


Рис. 7. Зависимость прочности на изгиб от плотности кускового торфа при различных коэффициентах напора и шаге витков шнека  $S = 50$  мм

Fig. 7. The dependence of the bending strength on the density of sod peat at different pressure factors and the step of the turns of the screw  $S = 50$  mm

рудование. Закругленные края конструкции испытательного узла стэнда обеспечили «чистый» изгиб при разрушении кусков, то есть деформацию вследствие напряженного состояния без краевых концентраторов напряжения. Таким образом, был создан режим нагружения, близкий к существующему в полевых условиях. Обеспечение работы фрезформирующего агрегата в рациональном режиме, кроме снижения энергозатрат и обеспечения требуемого качества, снизит потери торфа при добыче [14–16].

### Выводы

1. Во всех проведенных опытах интенсивность роста плотности и прочности кускового торфа в случае формирования при частоте вращения 270 об/мин падает при изменении коэффициента напора от 2,22 до 2,96. Поэтому рациональным режимом добычи кускового торфа по плотности и прочности гото-

вой продукции на стадии кондиционной влаги является формирование при коэффициенте напора 2,22.

3. Полученные значения плотности и прочности кускового торфа несколько выше получаемых в полевых условиях вследствие ручного управления процессом добычи и мягким режимом сушки.

4. Следует отметить, что, наряду с рациональными значениями частоты вращения шнека  $n = 220–320$  об/мин и шаге витков шнека  $S = 0,5D$ , коэффициент напора равный 2,22 является рациональным параметром работы шнекового пресса фрезформовочной машины для добычи кускового торфа.

5. Проектирование и эксплуатация фрезформовочных машин в рациональных режимах позволит снизить удельные энергозатраты при производстве, обеспечив качество получаемого топлива по показателям плотности и прочности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Панов В.В., Мисников О.С., Купорова А.В. Проблемы и перспективы развития торфяного производства в Российской Федерации // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 5. — С. 105–117.

2. Van Loon S., Bond J.D. *Yukon placer mining industry 2010 to 2014*. Whitehorse: Yukon Geological Survey, 2014. 239 p.

3. Мисников О.С., Тимофеев А.Е. Михайлов А.А. Анализ технологий разработки торфяных месторождений в странах дальнего и ближнего зарубежья // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2011. — № 9. — С. 84—92.

4. Яблонев А.Л., Гусева А.М. Экспериментальное обоснование рациональных режимов производства кускового торфа // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 2. — С. 163—171. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-02-0-163-171.

5. Yablonev A.L., Guseva A.M. Justification of screw press rational parameters and its working modes during sod peat extraction by milling-forming method // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 105. p. 01033. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910501033>.

6. Тимофеева Д.В., Попов В.П., Антимонов С.В., Занюхина А.Г. Разработка и конструирование шнека типового пресс-экструдера // Вестник ОГУ. — 2014. — № 9. — С. 220—225.

7. Лазарев А.В., Корчунов С.С. и др. Справочник по торфу. — М.: Недра, 1982. — 760 с.

8. Зюзин Б.Ф., Фомин Д.С. О влиянии физико-механических свойств исходного торфа на процесс механического диспергирования // Труды ИнсТорфа. — 2013. № 7(60). — С. 49—52.

9. Gholipour Zanjani N., Zarringhalam Moghaddam A., Dorosti S. Physical and chemical properties of coal briquettes from biomass-bituminous blends // Petroleum & Coal. — 2014. No. 56(2). — pp. 188—195.

10. Булышко М.Г., Иванов В.Н., Сарматов М.И. Брикетирование торфа. — М.: Госэнергоиздат, 1962. — 303 с.

11. Яблонев А.Л., Гусева А.М., Жуков Н.М. Патент 2696070 РФ: G01L 5/00 (2006.01), G01N 3/20 (2006.01) Устройство для создания и измерения разрушающей нагрузки; заявитель и патентообладатель Тверской государственный технический университет № 2018143458; заявл. 07.12.2018; опубл. 30.07.2019, Бюл. № 22. 7 с.

12. Терентьев А.А., Суворов В.И. Структура и свойства формованной торфяной продукции: монография. — Тверь: Созвездие, 2004. — 136 с.

13. Семенский Е.П. Технический анализ торфа. — М.: Недра, 1966. — 232 с.

14. Burt C., Caccetta L. Equipment selection for surface mining: a review // Interfaces. 2014. Vol. 44, no 2, pp. 143—162.

15. Kremcheev E.A., Kremcheeva D.A. Technological approaches to reducing the loss of peat raw materials in fields with hydrological regime // Indian Journal of Science and Technology. 2016. Vol. 9, no 12, p. 89525.

16. Горячев В.И., Зюзин Б.Ф., Михеев И.И., Казичев И.Н. Технологический комплекс производства кускового торфа с комбинированной сушкой // Труды ИнсТорфа. — 2016. — № 13(66). — С. 28—32. **МИАБ**

## REFERENCES

1. Panov V.V., Misnikov O.S., Kuporova A.V. Problems and prospects of development of peat production in the Russian Federation. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2017, no 5, pp. 105—117. [In Russ].

2. Van Loon S., Bond J.D. *Yukon placer mining industry 2010 to 2014*. Whitehorse: Yukon Geological Survey, 2014. 239 p.

3. Misnikov O.S., Timofeev A.E. Mikhaylov A.A. Analysis of peat field development technologies in countries far and near abroad. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2011, no 9, pp. 84—92. [In Russ].

4. Yablonev A.L., Guseva A.M. Experimental substantiation of rational modes of sod peat production. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(2):163—171. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-02-0-163-171.



5. Yablonev A.L., Guseva A.M. Justification of screw press rational parameters and its working modes during sod peat extraction by milling-forming method. *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 105. p. 01033. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910501033>.

6. Timofeeva D.V., Popov V.P., Antimonov S.V., Zanyukhina A.G. Design of screw model press extruder. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2014, no 9, pp. 220–225. [In Russ].

7. Lazarev A.V., Korchunov S.S. *Spravochnik po torfu* [Handbook on the peat], Moscow, Nedra, 1982, 760 p.

8. Zyuzin B.F., Fomin D.S. On the impact of physical and mechanical properties of the original peat on the process of mechanical dispersion. *Trudy InsTorfa*. 2013, no 7(60), pp. 49–52. [In Russ].

9. Gholipour Zanjani N., Zarringhalam Moghaddam A., Dorosti S. Physical and chemical properties of coal briquettes from biomass-bituminous blends. *Petroleum & Coal*. 2014, vol. 56, no 2, pp. 188–195.

10. Bulynko M.G., Ivanov V.N., Sarmatov M.I. *Briketirovanie torfa* [Peat briquetting], Moscow, Gosenergoizdat, 1962, 303 p.

11. Yablonev A.L., Guseva A.M., Zhukov N.M. *Patent RU 2696070*, 30.07.2019.

12. Terent'ev A.A., Suvorov V.I. *Struktura i svoystva formovannoy torfyanoy produktsii: monografiya* [The structure and properties of formed peat products: monograph], Tver', Sozvezdie, 2004, 136 p.

13. Semenskiy E.P. *Tekhnicheskii analiz torfa* [Technical analysis of peat], Moscow, Nedra, 1966, 232 p.

14. Burt C., Caccetta L. Equipment selection for surface mining: a review. *Interfaces*. 2014. Vol. 44, no 2, pp. 143–162.

15. Kremcheev E.A., Kremcheeva D.A. Technological approaches to reducing the loss of peat raw materials in fields with hydrological regime. *Indian Journal of Science and Technology*. 2016. Vol. 9, no 12, p. 89525.

16. Goryachev V.I., Zyuzin B.F., Mikheev I.I., Kazichev I.N. Technological complex of sod peat fuel production with combined drying. *Trudy InsTorfa*. 2016, no 13(66), pp. 28–32. [In Russ].

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Гусева Анна Михайловна<sup>1</sup> — старший преподаватель,  
e-mail: guseva\_ann@mail.ru,

Яблонеv Александр Львович<sup>1</sup> — д-р техн. наук, зав. кафедрой,

<sup>1</sup> Тверской государственный технический университет.

Для контактов: Гусева А.М., e-mail: guseva\_ann@mail.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

A.M. Guseva<sup>1</sup>, Senior Lecturer, e-mail: guseva\_ann@mail.ru,

A.L. Yablonev<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Eng.), Head of Chair,

<sup>1</sup> Tver State Technical University, 170035, Tver, Russia.

**Corresponding author:** A.M. Guseva, e-mail: guseva\_ann@mail.ru.

Получена редакцией 02.12.2019; получена после рецензии 17.12.2019; принята к печати 20.02.2020.

Received by the editors 02.12.2019; received after the review 17.12.2019; accepted for printing 20.02.2020.

