Оригинальное практическое исследование
УДК 676.168
DOI: 10.46418/3033-7852_2026_3_3_8–13

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ВОЛОКНИСТОГО ПОЛУФАБРИКАТА ИЗ ЛУЗГИ ПОДСОЛНЕЧНИКА

Артем Сергеевич Чорноус, Павел Матвеевич Кейзер, Екатерина Григорьевна Смирнова

Высшая школа технологии и энергетики, Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Санкт-Петербург, Россия

© Чорноус А. С., Кейзер П. М., Смирнова Е. Г., 2026

Автор-корреспондент: А. С. Чорноус, e-mail: artyom549@yandex. ru

АННОТАЦИЯ

В работе исследована возможность получения волокнистого полуфабриката из лузги подсолнечника методом сульфитно-щелочной варки для использования в композиции бумаги для гофрирования. В качестве сырья применялась лузга подсолнечника урожая 2022 года (Краснодарский край) со следующим составом: целлюлоза (Кюшнера) — 63%, лигнин — 28,1%, зольность — 8%. Варки проводились в лабораторном автоклаве при температуре 165 °С, продолжительностью 5 часов, в гидромодуле 1/12 и трёх уровнях активной щелочи (12, 14 и 18% в пересчёте на Na_2O) при двух соотношениях гидроксида натрия к сульфиту натрия (30/70 и 50/50). Установлено, что с увеличением количества активной щелочи снижаются как выход полуфабриката, так и число Каппа. Наилучшие результаты по сохранению углеводов достигнуты при соотношении $NaOH/Na_2SO_3$ 30/70: число Каппа снижается быстрее выхода, что свидетельствует о меньшей деградации углеводов. Из полученных полуфабрикатов изготовлены лабораторные образцы бумаги массой 125 г/м² в композиции с сульфатной небелёной хвойной целлюлозой марки НС-3; определены показатели удельного сопротивления разрыву и сопротивления продавливанию. Показано, что полуфабрикат, полученный при 14–18% активной щелочи и соотношении $NaOH/Na_2SO_3$ 30/70, может вводиться в композицию бумаги для гофрирования марки Б-2 в количестве до 30%, марки Б-3 — до 50%. Морфологический анализ подтвердил, что волокна лузги подсолнечника (средняя длина 0,482 мм) не могут использоваться самостоятельно, но пригодны как вспомогательный компонент в композиции с длинноволокнистыми полуфабрикатами.

Ключевые слова: лузга подсолнечника, делигнификация, целлюлоза, физико-механические свойства бумаги, волокнистый полуфабрикат, число Каппа, бумага для гофрирования

Для цитирования: Чорноус А. С., Кейзер П. М., Смирнова Е. Г. Способ получения волокнистого полуфабриката из лузги подсолнечника // Технология и энергетика. 2026. № 3 (3). С. 8–13. DOI: 10.46418/3033-7852_2026_3_3_8–13.

METHOD FOR PRODUCING A FIBROUS SEMI-FINISHED PRODUCT FROM SUNFLOWER HUSK

Artem Sergeevich Chornous, Pavel Matveevich Keizer, Ekaterina Grigorievna Smirnova

Higher School of Technology and Energy, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Saint Petersburg, Russia

Corresponding author: A. S. Chornous, e-mail: artyom549@yandex.ru

ABSTRACT

The work investigates the possibility of obtaining a fibrous semi-finished product from sunflower husk through sulfite-alkaline pulping for utilization in the composition of corrugating paper. Sunflower husk from the 2022 harvest (Krasnodar Region) served as the raw material, having the following composition: cellulose (Kürschner) — 63%, lignin — 28.1%, ash content — 8%. Pulping was performed in a laboratory autoclave at 165 °C for 5 hours with a liquor-to-material ratio

of 1/12 and three active alkali levels (12, 14, and 18% as Na_2O), using two sodium hydroxide-to-sodium sulfite ratios (30/70 and 50/50). Both the semi-finished product yield and the Kappa number are established to decrease with an increase in active alkali. Optimal carbohydrate retention was achieved at a $NaOH/Na_2SO_3$ ratio of 30/70: the Kappa number dropped faster than the yield, indicating less carbohydrate degradation. Laboratory paper samples with a basis weight of 125 g/m² were produced from the obtained semi-finished products in a composition with unbleached sulfate softwood pulp of grade NS-3. The tensile strength and burst strength values were determined. The study shows that the semi-finished product produced at 14–18% active alkali and a $NaOH/Na_2SO_3$ ratio of 30/70 can be incorporated into corrugating paper of grade B-2 in amounts up to 30%, and into grade B-3 — up to 50%. Morphological analysis has confirmed that sunflower husk fibers (average length of 0.482 mm) cannot be employed independently but are applicable as an auxiliary component in a composition with long-fiber semi-finished product.

Keywords: sunflower husk, delignification, cellulose, physical and mechanical properties of paper, fibrous semi-finished product, Kappa number, corrugating paper

For citation: Chornous A. S., Keizer P. M. and Smirnova E. G. (2026) 'Method for producting a fibrous semi-finished product from sunflower husk', Technology and Energy, no. 3, vol. 3, pp. 8–13. DOI: 10.46418/3033-7852_2026_3_3_8–13.

ВВЕДЕНИЕ

Щелочные способы варки позволяют перерабатывать широкий спектр однолетнего растительного сырья для получения волокнистых полуфабрикатов, применяемых в производстве бумаги и картона. Однако они имеют определенные недостатки. В сильнощелочной среде разлагаются углеводы в результате щелочного гидролиза, что снижает выход, кроме того, однолетние растения содержат довольно много кремнезема, и сильнощелочные варочные растворы в значительной степени растворяют его. Растворенный кремнезем создает проблемы с осаждением силиката в выпарных аппаратах и на установках каустизации. Известен щелочной метод варки с пенообразователем и хелатирующим реагентом [1, 2], а также метод с применением энзимов и высокотемпературной пероксидно-щелочной делигнификацией [3, 4].

Чтобы получить удовлетворительную целлюлозу с более высоким выходом, применяют ступенчатые варки, сочетающие щелочную и кислотную делигнификацию. Авторами [5] предложен способ получения волокнистого полуфабриката из лузги подсолнечника в растворе реагента низкой концентрации, выбранного из ряда: NaOH; HNO_3; $Na_2S_2O_4$; Na_2SO_3; Na_2CO_3, а также авторами [6] предлагается выделять целлюлозу из лузги подсолнечника щелочной обработкой и кислотной с применением азотной или перуксусной кислоты.

Получение целлюлозы из лузги подсолнечника осложняется высокой плотностью упаковки целлюлозных фибрилл и наличием на поверхности пленки меланина, что обеспечивает трудную доступность для реагентов и снижает в целом реакционную способность.

Цель работы: получение полуфабриката из лузги подсолнечника методом сульфитно-щелочной варки, исследование влияния различных режимов варки на выход волокнистого полуфабриката, исследование прочностных характеристик бумаги с добавлением волокнистого полуфабриката различного выхода для оценки возможности использования в производстве бумаги для гофрирования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В данном исследовании волокнистый полуфабрикат из лузги подсолнечника получали методом сульфитно-щелочной варки. В качестве объекта исследования была выбрана лузга подсолнечника из Краснодарского края урожая 2022 года, следующего компонентного состава: содержание целлюлозы (Кюшнера) — 63% [7], лигнин (модификации Комарова) — 28,1% [8], зольность — 8% [9], растворимые в горячей воде вещества — 20,5% [7], растворимые в органических растворителях вещества — 1,7% [10].

Условия эксперимента были заданы следующие: время варки 5 часов (3 часа, собственно, на варку). Были заданы три уровня активной щелочи (12, 14, и 18% в пересчете на Na_2O), температура варки 165 °С и два варианта соотношения гидроксида натрия к сульфиту натрия (30/70, 50/50). Время варки составляло 5 часов. Все варки проводились в лабораторном автоклаве, использовалось 200 г. а. с. лузги, гидромодуль 1/12. В конце каждой варки материал промывали горячей водой. Оставшийся раствор отделяли ручным прессованием. Проваренный материал разделяли на волокна с использованием лабораторного рафинера. После проведения варок полученный волокнистый полуфабрикат промывался до нейтральной реакции сточных вод, и определялся его выход и число Каппа.

Для изготовления опытных образцов бумаги использовали полученные полуфабрикаты из лузги подсолнечника в различных соотношениях с сульфатной небелёной хвойной целлюлозой марки НС-3. Целлюлоза марки НС-3 размалывалась до степени помола 21 °ШР, лузга до 65 °ШР.

Для исследования физико-механических свойств бумаги была выбрана масса отливок — 125 г/м^2, которая соответствует одной из часто применяемых для производства бумаги для гофрирования в соответствии с ГОСТ 7377–85. Показатели прочности при растяжении были определены в соответствии с ГОСТ ИСО 1924-1-96. Определения сопротивления продавливанию проводили в соответствии с ГОСТ Р ИСО 2758–2017.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты, представленные в таблице, показывают, что выход высокий при высоком числе Каппа. Это указывает на значительную стойкость лузги по отношению к щелочным варочным растворам. С увеличением количества активной щелочи снижается как выход, так и число Каппа. При более низком количестве активной щелочи выход выше.

При одинаковом количестве активной щелочи, но различном соотношении гидроксид натрия/сульфит натрия выход выше при соотношении 50/50 (гидроксид натрия/сульфит натрия).

При соотношении 50/50 (гидроксид натрия/сульфит натрия) и увеличении содержания активной щелочи с 12 до 18% выход снижается быстрее, чем число Каппа, что указывает на разложение углеводов.

При соотношении 30/70 (гидроксид натрия/сульфит натрия) и увеличении содержания активной щелочи от 12 до 18% число Каппа снижается быстрее, чем выход, что является следствием сохранения углеводов. Это указывает на лучший потенциал для использования в производстве бумаги.

Чтобы оценить возможность применения полученных полуфабрикатов в производстве бумаги для гофрирования, были получены лабораторные образцы бумаги из исследуемого волокна и предварительно подготовленной целлюлозы с различным композиционным составом, массой 125 г/м^2. У полученных образцов определяли удельное сопротивление разрыву, сопротивление продавливанию. Результаты представлены на рисунках 1 и 2.

На рисунке 1 представлена зависимость снижения удельного сопротивления разрыву от содержания в композиции волокнистого полуфабриката из лузги подсолнечника. Наиболее высокий показатель удельного сопротивления разрыву наблюдается у образцов бумаги, полученных с добавлением волокнистого полуфабриката (далее — ВПФ) из лузги подсолнечника варками № 5 и № 6. В соответствии со стандартом бумага для гофрирования массой 125 г/м^2 по показателю «удельное сопротивление разрыву в машинном направлении» должна соответствовать нормам для марки Б-1: 8 кН/м, для марки Б-2: 6 кН/м, для марки Б-3: 5,5 кН/м. ВПФ, полученный варкой № 5, в композицию бумаги марки Б-2 можно добавлять до 40%, марки Б-3 — до 50%; ВПФ, полученный варкой № 6, в композицию бумаги марки Б-2 можно добавлять до 50%, марки Б-3 — до 55%.

На рисунке 2 представлена зависимость снижения сопротивления продавливанию от содержания в композиции волокнистого полуфабриката из лузги подсолнечника. С увеличением в композиции волокнистых полуфабрикатов, полученных варками № 5 и № 6, происходит равномерное понижение сопротивления продавливанию на 33% (с 350 кПа до 234 кПа). После достижения их содержания в композиции 50% происходит снижение сопротивления продавливанию на 75% (с 234 кПа до 58 кПа).

В соответствии со стандартом бумага для гофрирования массой 125 г/м^2 по показателю «абсолютное сопротивление продавливанию» должна соответствовать нормам

Таблица. Влияние активной щелочи и соотношения сульфит натрия/гидроксид натрия на выход и число Каппа
Table. The effect of active alkali and the Na_2SO_3/NaOH ratio on the yield and Kappa number

№ варки	Температура, °С	Продолжительность, час	Активная щелочь, %	Соотношение NaOH/Na_2SO_3	Выход, %	Число Каппа
1	165	5	12	50/50	68,8	68,1
2	165	5	14	50/50	64,5	65,7
3	165	5	18	50/50	58,7	62,2
4	165	5	12	30/70	66,8	64,1
5	165	5	14	30/70	62,2	58,2
6	165	5	18	30/70	56,45	47,8

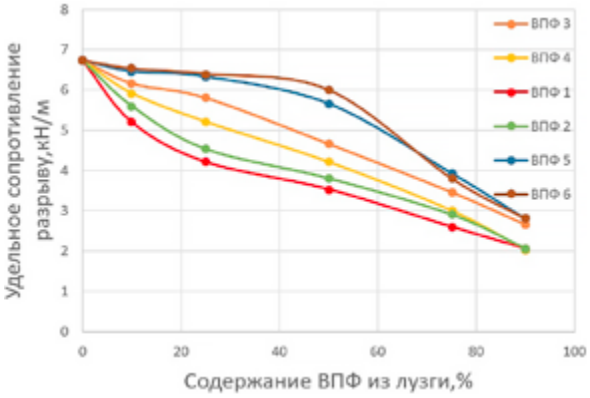


Рисунок 1. Зависимость удельного сопротивления разрыву (кН/м) от содержания в композиции волокнистого полуфабриката из лузги подсолнечника (%)

Figure 1. Tensile strength (kN/m) as a function of the fibrous semi-finished product content (%) from sunflower husk in the composition

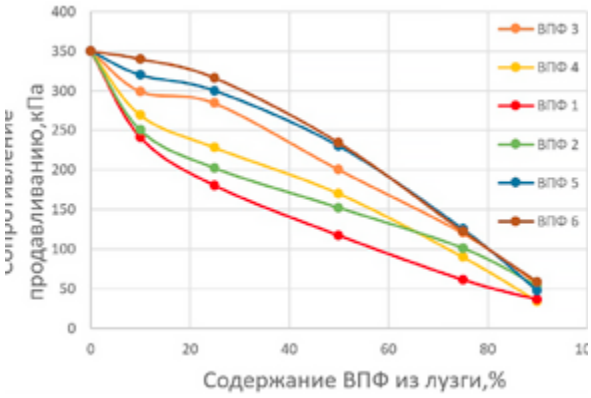


Рисунок 2. Зависимость сопротивления продавливанию (кПа) от содержания в композиции волокнистого полуфабриката из лузги подсолнечника (%)

Figure 2. Relationship between burst strength (kPa) and the content (%) of fibrous semi-finished product from sunflower husk in the composition

для марки Б-0 и Б-1: 320 кПа, для марки Б-2: 275 кПа, для марки Б-3: 175 кПа. Волокнистый полуфабрикат, полученный варкой № 3, можно добавлять в композицию бумаги марки Б-2 до 25%, марки Б-3 — до 50%; ВПФ, полученный варкой № 5, можно добавлять в композицию бумаги марки Б-2 до 30%, марки Б-3 — до 70%; ВПФ, полученный варкой № 6, можно добавлять в композицию бумаги марки Б-1 до 30%, марки Б-2 до 40%, марки Б-3 до 70%.

После получения образцов волокнистых полуфабрикатов исследовались их морфологические характеристики на анализаторе волокна «MorFi». Исследования показали, что средняя длина волокна незначительно зависит от режимов варки и составляет 0,482 мм. Анализ данных исследования фракционного состава волокна подтверждает широкий спектр длин волокна в оболочках лузги. В волокнистых полуфабрикатах много коротких волокон, фракция волокна 0,2–0,3 мм является основной в массе волокна и составляет порядка 28%, фракция волокна 0,2–0,4 мм составляет 20%, фракция волокна 0,3–0,5 мм составляет 15%, остальные фракции (от 0,5 до 1 мм) тоже присутствуют и распределены равномерно. Средняя длина анализируемого волокна (0,482 мм) в 2 раза меньше средней длины волокна лиственной целлюлозы (0,8–1,6 мм). Более подробное исследование морфологического состава полученных волокнистых полуфабрикатов приведено в работе [11].

Из этого можно сделать вывод, что волокнистые полуфабрикаты из лузги подсолнечника не могут использоваться самостоятельно для формирования листа бумаги, но могут быть использованы в композиции с длинноволокнистыми полуфабрикатами.

Результаты показали, что применение 14–18% активной щелочи при продолжительности варки 3 часа при температуре 165 °С и соотношении сульфита натрия/гидроксида натрия 70:30 позволит из лузги подсолнечника получить целлюлозу, пригодную к использованию в качестве вспомогательного полуфабриката при производстве бумаги для гофрирования. Такие полуфабрикаты можно вводить в бумажную массу в количестве до 30% при производстве бумаги для гофрирования марки Б-2 и до 50% при производстве бумаги для гофрирования марки Б-3, что особенно актуально в условиях дефицита макулатурного сырья.

Список литературы

1. Чжао Иминь. Способ получения технического волокна из кожуры семян подсолнечника: пат. 1718915 Китай / Чжао Иминь. № 200510016940; заявл. 05.07.2005; опубл. 11.01.2006.
2. Чжао Иминь. Способ производства целлюлозы из кожуры семян подсолнечника: пат. 1311131 Китай / Чжао Иминь. № 200510016940; заявл. 05.07.2005; опубл. 18.04.2007.
3. Способ получения целлюлозы из шелухи семян подсолнечника: пат. 102031713 Китай / Пан Фэнцзянь, Чжан Чжихун, Цао Цигуй [и др.]; заявитель Шаньдун Хэлун Ко., Лтд. — № 201010501628; заявл. 02.10.2010; опубл. 27.04.2011.
4. Способ получения неотбеленной целлюлозы из скорлупы семян подсолнечника: пат. 105862494 Китай / Лю Чунь, Гуань Сюцюнь, Гао Хунся [и др.]; заявитель Сычуаньский университет науки и техники. № 201610362717; заявл. 26.05.2016; опубл. 17.08.2016.
5. Щербакова Т. П. Волокнистый полуфабрикат из лузги подсолнечника и способ его получения: пат. 2813172 Рос. Федерация / Щербакова Т. П., Казанов Р. Г., Яковлев Е. А. № 2023114556; заявл. 02.06.2023; опубл. 07.02.2024. 6 с.

6. Способ получения целлюлозы из лузги подсолнечника: пат. 2808821 Рос. Федерация / Плеханова А. Ю., Щербакова Т. П., Казанов Р. Г. [и др.]; заявитель ФГБОУ ВО «КНИТУ». № 2023114555; заявл. 02.06.2023; опубл. 04.12.2023.
7. Оболенская А. В. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы / А. В. Оболенская, З. П. Ельницкая, А. А. Леонович. Москва: Экология, 1991. 320 с.
8. ГОСТ 11960–79. Полуфабрикаты волокнистые и сырье из однолетних растений для целлюлозно-бумажного производства. Метод определения лигнина: межгосударственный стандарт: дата введения 1981-01-01 / разработан Министерством целлюлозно-бумажной промышленности. Москва: Издательство стандартов, 1980. 7 с.
9. ГОСТ 18461–93. Целлюлоза. Метод определения содержания золы: межгосударственный стандарт: дата введения 1995-01-01 / разработан Госстандартом России. Москва: Издательство стандартов, 1994. 6 с.
10. ГОСТ 6841–77. Целлюлоза. Метод определения смол и жиров: межгосударственный стандарт: дата введения 1982-01-01 / разработан Министерством лесной промышленности СССР. Москва: Издательство стандартов, 1977. 6 с.
11. Морфологические характеристики волокнистых полуфабрикатов из лузги подсолнечника / П. М. Кейзер, А. С. Чорноус, Е. Г. Смирнова, В. К. Дубовый // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. № 1 (257). С. 467–478. DOI: 10.21266/2079–4304.2026.257.467–478.
12. Исследование технологических свойств растительных отходов как альтернативного экологического топлива / Л. И. Калашникова, А. А. Овчинникова, А. В. Александрова, А. А. Калашникова // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2011. № 4 (18). С. 32–34.
13. Материалы из нетрадиционных видов волокон и сопутствующие продукты: технологии получения, свойства, перспективы применения: монография / [под ред. А. В. Вураско]; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет. Екатеринбург: УГЛТУ, 2024. 195 с.: ил. ISBN 978-5-94984-910-1.
14. Получение целлюлозного волокна из лузги подсолнечника / Д. В. Тунцев, А. В. Куликов, Д. Б. Просвирников, Р. Р. Ахмедзянова // Аграрный научный журнал. 2023. № 6. С. 151–155. DOI: 10.28983/asj. y2023i6 pp151–155.
15. Получение аналогов целлюлозы с использованием одношнекового экструдера / В. В. Коньшин, А. Н. Афаньков, И. А. Серских [и др.] // Химия и химическая технология: достижения и перспективы: мат. I Международной VII Всероссийской конференции, 27–29 ноября 2024, г. Кемерово: КузГТУ, 2024.

References

1. Zhao Yimin (2006) Method for obtaining technical fiber from sunflower seed husks: Pat. 1718915 China. No. 200510016940; Appl. 05.07.2005; Publ. 11.01.2006.
2. Zhao Yimin (2007) Method for the production of cellulose from sunflower seed husks: Pat. 1311131 China. No. 200510016940; Appl. 05.07.2005; Publ. 18.04.2007.
3. Pang Fengjian, Zhang Zhihong, Cao Qigui, et al. (2011) Method for obtaining cellulose from sunflower seed husks: Pat. 102031713 China. Applicant: Shandong Helong Co., Ltd. No. 201010501628; Appl. 02.10.2010; Publ. 27.04.2011.
4. Liu Chun, Guan Xiuqun, Gao Hongxia, et al. (2016) Method for obtaining unbleached cellulose from sunflower seed shells: Pat. 105862494 China. Applicant: Sichuan University of Science and Engineering. No. 201610362717; Appl. 26.05.2016; Publ. 17.08.2016.
5. Shcherbakova T. P., Kazanov R. G. and Yakovlev E. A. (2024) Fibrous semi-finished product from sunflower husks and method for its production: Pat. 2813172 Russian Federation. No. 2023114556; Appl. 02.06.2023; Publ. 07.02.2024. 6 p.
6. Plekhanova A. Yu., Shcherbakova T. P., Kazanov R. G., et al. (2023) Method for obtaining cellulose from sunflower husks: Pat. 2808821 Russian Federation. Applicant: Kazan National Research Technological University (KNRTU). No. 2023114555; Appl. 02.06.2023; Publ. 04.12.2023.
7. Obolenskaya A. V., Elnitskaya Z. P. and Leonovich A. A. (1991) Laboratory works on the chemistry of wood and cellulose: textbook for universities. Moscow: Ekologiya. 320 p.
8. GOST 11960–79. Fibrous semi-finished products and raw materials from annual plants for pulp and paper manufacture. Method for determination of lignin: interstate standard (1980). Date of introduction 1981-01-01. Developed by the Ministry of Pulp and Paper Industry. Moscow: Izdatelstvo Standartov. 7 p.
9. GOST 18461–93. Pulp. Method for determination of ash content: interstate standard (1994). Date of introduction 1995-01-01. Developed by Gosstandart of Russia. Moscow: Izdatelstvo Standartov. 6 p.
10. GOST 6841–77. Pulp. Method for determination of resins and fats: interstate standard (1977). Date of introduction 1982-01-01. Developed by the Ministry of Forestry Industry of the USSR. Moscow: Izdatelstvo Standartov. 6 p.
11. Keizer P. M., Chornous A. S., Smirnova E. G. and Dubovy V. K. (2026) 'Morphological characteristics of fibrous semi-finished products from sunflower husks', Izvestia of the Saint-Petersburg Forestry Academy, (1 (257)), pp. 467–478. DOI: 10.21266/2079–4304.2026.257.467–478.
12. Kalashnikova L. I., Ovchinnikova A. A., Aleksandrova A. V. and Kalashnikova A. A. (2011) 'Investigation of technological properties of plant waste as an alternative eco-friendly fuel', Science Vector of Togliatti State University, (4 (18)), pp. 32–34.
13. Vurasko A. V. (ed.) (2024) Materials from non-traditional types of fibers and related products: production technologies, properties, application prospects: monograph. Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Ural State Forest Engineering University. Ekaterinburg: USFEU. 195 p.: ill. ISBN 978-5-94984-910-1. Text: electronic.
14. Tuntsev D. V., Kulikov A. V., Prosvirnikov D. B. and Akhmedzyanova R. R. (2023) 'Production of cellulose fiber

from sunflower husks', The Agrarian Scientific Journal, (6), pp. 151–155. DOI: 10.28983/asj. y2023i6 pp151–155.
15. Konshin V. V., Afankov A. N., Serskikh I. A., et al. (2024) 'Production of cellulose analogs using a single-screw extruder', in Chemistry and Chemical Technology: Achievements and Prospects: Materials of the I International VII All-Russian Conference, November 27–29, 2024. Kemerovo: KuzSTU.

Информация об авторах

Чорноус Артем Сергеевич, *аспирант кафедры технологии бумаги и картона, Высшая школа технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна; 198095, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, д. 4; ORCID: 0009-0001-5976-1766, e-mail: artyom549@yandex.ru.*

Кейзер Павел Матвеевич, *кандидат технических наук, доцент кафедры технологии бумаги и картона, Высшая школа технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна; 198095, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, д. 4; SPIN-код: 4864–8012, ORCID: 0009-0001-5976-1766; e-mail: kpm022@yandex.ru.*

Смирнова Екатерина Григорьевна, *профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой технологии бумаги и картона, Высшая школа технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна; 198095, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, д. 4; SPIN-код: 6773–5170, Scopus AuthorID: 57189233797; ORCID: 0000-0002-8482-0684, e-mail: smirnovalta@gmail.com.*

Information about the authors

Chornous Artem Sergeevich, *Chornous Artem Sergeyevich, PhD student of the Department of Pulp and Paper Technology, Higher School of Technology and Energy, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design; 4 Ivan Chernykh Str., Saint Petersburg, 198095, Russia; ORCID: 0009-0001-5976-1766, e-mail: artyom549@yandex.ru.*

Keiser Pavel Matveevich, *PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Pulp and Paper Technology, Higher School of Technology and Energy, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design; 4 Ivan Chernykh Str., Saint Petersburg, 198095, Russia; SPIN-code: 4864–8012, e-mail: kpm022@yandex.ru.*

Smirnova Ekaterina Grigorievna, *Dr. Sci.in Engineering, Head of the Department of Pulp and Paper Technology, Higher School of Technology and Energy, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design; 4 Ivan Chernykh Str., Saint Petersburg, 198095, Russia; SPIN-code: 6773–5170, Scopus AuthorID: 57189233797; ORCID: 0000-0002-8482-0684, e-mail: smirnovalta@gmail.com.*