

## АВТОКЛАВИРОВАНИЕ НИТРАТОВ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ПЛОДОВЫХ ОБОЛОЧЕК ОВСА

А.А. Корчагина, Ю.А. Гисматулина, В.В. Будаева, А.А. Кухленко, Н.П. Вдовина, П.П. Иванов

Анна Александровна Корчагина, Юлия Александровна Гисматулина, Вера Владимировна Будаева \*  
Лаборатория биоконверсии, Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН,  
ул. Социалистическая, 1, Бийск, Алтайский край, Российская Федерация, 659322  
E-mail: Yakusheva89\_21.ru@mail.ru, julja.gismatulina@rambler.ru, budaeva@ipcet.ru \*

Алексей Анатольевич Кухленко

Лаборатория процессов и аппаратов химических технологий, Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН, ул. Социалистическая, 1, Бийск, Алтайский край, Российская Федерация, 659322  
E-mail: ak-79@rambler.ru

Наталья Павловна Вдовина

Лаборатория физико-химических основ создания энергетических конденсированных систем, Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН, ул. Социалистическая, 1, Бийск, Алтайский край, Российская Федерация, 659322  
E-mail: vdovina-n-p@mail.ru

Павел Петрович Иванов

Кафедра машин и аппаратов технологических систем, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, Кемерово, Российская Федерация, 650000  
E-mail: ipp7@yandex.ru

*Высокотемпературная обработка в автоклаве нитратов целлюлозы, кроме целевого снижения вязкости, позволяет сформировать одно из ключевых свойств – химическую стойкость, определяющую безопасность процесса эксплуатации и гарантийные сроки хранения продукции на их основе. В работе приведены результаты исследования автоклавирования нитратов целлюлозы, полученных этерификацией смесью серной и азотной кислот технической целлюлозы из отечественного легковозобновляемого сырья – отходов агропромышленного комплекса – плодовых оболочек овса. Предложены регрессионные зависимости, позволяющие прогнозировать основные свойства нитратов целлюлозы в зависимости от продолжительности обработки в автоклаве. Определена оптимальная продолжительность проведения процесса высокотемпературной обработки в автоклаве, позволяющая получать нитраты целлюлозы из плодовых оболочек овса со следующими физико-химическими характеристиками: массовая доля азота – 12,14 %, вязкость – 12 мПа·с, растворимость в спиртоэфирной смеси – 98 %, соответствующими характеристикам динитроцеллюлозы (коллоксилина «Н»). Ампульно-хроматографическим методом подтверждена высокая химическая стойкость нитратов целлюлозы. Показано, что количество оксида азота при термическом разложении нитратов целлюлозы (условия термостатирования: температура 90 °С, продолжительность 192 ч) составляет 0,35 мл/г и не превышает допустимого для динитроцеллюлозы значения. Методом дифференциальной сканирующей калориметрии установлено, что нитраты целлюлозы из плодовых оболочек овса характеризуются высокой температурой начала интенсивного разложения (200 °С) и высокой удельной теплотой разложения (7,36 кДж/г), что свидетельствует о высокой химической чистоте полученного продукта. Представленные результаты обосновывают использование нитратов целлюлозы из плодовых оболочек овса для получения высокоэнергетических пороховых зарядов, а также взрывчатых составов.*

**Ключевые слова:** плодовые оболочки овса, техническая целлюлоза, этерификация, нитраты целлюлозы, автоклавирование, математическая модель, химическая стойкость

## AUTOCLAVING CELLULOSE NITRATES OBTAINED FROM FRUIT SHELLS OF OATS

A.A. Korchagina, Yu.A. Gismatulina, V.V. Budaeva, A.A. Kukhlenko, N.P. Vdovina, P.P. Ivanov

Anna A. Korchagina, Yulia A. Gismatulina, Vera V. Budaeva \*

Bioconversion Laboratory, Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies of SB of RAS, Sotsialisticheskaya st., 1, Biysk, 659322, Russia

E-mail: Yakusheva89\_21.ru@mail.ru, julja.gismatulina@rambler.ru, budaeva@ipcet.ru \*

Aleksey A. Kukhlenko

Laboratory of Chemical Engineering Processes and Apparatuses, Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies of SB of RAS, Sotsialisticheskaya st., 1, Biysk, 659322, Russia

E-mail: ak-79@rambler.ru

Natalia P. Vdovina

Laboratory of Physicochemical Bases of Energetic Condensed Systems, Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies of SB of RAS, Sotsialisticheskaya st., 1, Biysk, 659322, Russia

E-mail: vdovina-n-p@mail.ru

Pavel P. Ivanov

Department of Machines and Apparatuses for Technological Systems, Kemerovo State University, Krasnaya st., 6, Kemerovo, 650000, Russia

E-mail: ipp7@yandex.ru

*Besides the targeted viscosity decrease, the high-temperature autoclaving of cellulose nitrates (CNs) can provide one of the key properties – chemical stability – which governs the operational process safety and guaranteed shelf life of CN-based products. Here we report the study results of the autoclaving of cellulose nitrates derived by esterification of pulp with mixed sulfuric-nitric acids. The pulp was obtained from an easily renewable domestic feedstock – oat hulls – agro-industrial residue. On the basis of experiments, regression relationships are suggested herein that enable the prediction of basic properties of CNs, depending on autoclaving time. The optimum high-temperature autoclaving time was identified that allows oat-hull CNs to be produced with the following characteristics: 12.14% nitrogen content, 12 mPa·s viscosity and 98% solubility in alcohol-ether mixture, which are similar to the characteristics of dinitrocellulose (Colloxyline-N). Ampule chromatography confirmed that the resultant CNs had a high chemical stability. The quantity of nitrogen oxide from thermal decomposition of CNs (90 °C, 192 h) was found to be 0.35 ml/g and was not above the permissible level for dinitrocellulose. Differential scanning calorimetry revealed that the oat-hull CNs are characterized by a high onset temperature of decomposition (200 °C) and a high specific heat of decomposition (7.36 kJ/kg), indicating a high chemical purity of the resultant product. The findings presented herein justify the use of oat-hull CNs in the manufacture of gun-propellant grains and composite explosives.*

**Key words:** oat hulls, pulp, esterification, cellulose nitrates, autoclaving, mathematical model, chemical stability

### Для цитирования:

Корчагина А.А., Гисматулина Ю.А., Будаева В.В., Кухленко А.А., Вдовина Н.П., Иванов П.П. Автоклавирование нитратов целлюлозы, полученных из плодовых оболочек овса. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2020. Т. 63. Вып. 1. С. 92–98

### For citation:

Korchagina A.A., Gismatulina Yu.A., Budaeva V.V., Kukhlenko A.A., Vdovina N.P., Ivanov P.P. Autoclaving cellulose nitrates obtained from fruit shells of oats. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* [Russ. J. Chem. & Chem. Tech.]. 2020. V. 63. N 1. P. 92–98

### ВВЕДЕНИЕ

Нитраты целлюлозы (НЦ), и в частности коллоксилин «Н», вследствие уникальности своих свойств занимают лидирующее положение в пороходелии и специальной химии. НЦ широко исполь-

зуются при получении взрывчатых веществ, порохов, топлив, лакокрасочных материалов, селективных сорбентов, фильтровальных мембран и других наукоемких продуктов [1-4]. Одним из актуальных направлений в настоящее время является разработка с использованием НЦ мощных нанотерми-

тов, обладающих низкой чувствительностью к механическим воздействиям [5].

В промышленных масштабах получение коллоксилина «Н» осуществляется обработкой хлопковой и древесной целлюлоз смесью серной и азотной кислот. Одной из основных стадий процесса получения высококачественного коллоксилина «Н» является его высокотемпературная обработка в автоклаве [6], направленная на целевое снижение вязкости, и кроме того, позволяющая сформировать одно из ключевых свойств – химическую стойкость, определяющую безопасность процесса эксплуатации и гарантийные сроки хранения изделий на его основе.

В настоящее время особое внимание уделяется проблеме, связанной с увеличением выпуска и расширением ассортимента «гражданских коллоксилинов» [7], однако вопросы, связанные с высокотемпературной обработкой НЦ в автоклаве, не освещены в полном объеме как для традиционных источников сырья (хлопка и древесины [8-12]), так и для новых легковозобновляемых целлюлозосодержащих материалов [13-19].

В качестве нетрадиционного сырья для получения НЦ нами рассматривались плодовые оболочки овса (ПОО). Данное сырье является отходом агропромышленного комплекса из различных хозяйств Бийского района, предоставленное ПАО «Бийский элеватор» в 2016 г. ПОО представляет собой однородные по размеру плоские частицы длиной 10-15 мм, что позволяет использовать их для переработки без предварительного измельчения. По результатам десятилетнего мониторинга (2008-2018 гг.) химического состава ПОО в Алтайском крае, Новосибирской, Ростовской и Тамбовской областей, а также в Приморском крае, массовая доля целлюлозы в ПОО составляет 36-45% [20, 21]. Очевидным преимуществом целлюлозы из ПОО является удовлетворительная степень полимеризации (1200-1300), определяющая более короткую продолжительность автоклавирования полученных из нее НЦ.

Для оценки возможности использования ПОО в качестве альтернативы традиционным целлюлозам необходимо выполнить комплекс мероприятий теоретического и экспериментального характера, направленных на установление продолжительности проведения процесса автоклавирования НЦ, которые по своим физико-химическим характеристикам будут соответствовать коллоксилину «Н».

Целью работы являлась оценка влияния продолжительности автоклавирования при постоянных значениях концентрации среды и температуры на физико-химические характеристики НЦ из ПОО.

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В качестве объекта исследования в работе использовали НЦ, полученные этерификацией технической целлюлозы (ТЦ), выделенной из ПОО азотнокислым способом [16, 17], смесью серной и азотной кислот [22]. Стабилизация НЦ включала в себя: варку в воде при температуре 90-95 °С в течение 1 ч, высокотемпературную обработку в автоклаве объемом 2 л в 0,3 %-ном растворе азотной кислоты при температуре 130 °С в течение 30-150 мин, варку в 0,03 %-ном растворе карбоната натрия при температуре 90-95 °С в течение 3 ч, варку в воде при температуре 90-95 °С в течение 1 ч, промывку НЦ водой. Образцы НЦ были высушены и проанализированы согласно [22]. Массовую долю (м.д.) азота определяли ферросульфатным методом, основанным на омылении НЦ концентрированной серной кислотой и восстановлении образовавшейся азотной кислоты сульфатом железа (II) до оксида азота (II). Азотная кислота с избытком последнего образует комплексное соединение  $[\text{Fe}(\text{NO})]\text{SO}_4$ , окрашивающее раствор в желтоваторозовый цвет. Вязкость НЦ определяли измерением времени истечения 2 %-го ацетонового раствора НЦ из калиброванного стеклянного вискозиметра – ВПЖ-1. Определение растворимости проводили по методике, основанной на растворении НЦ в спиртоэфирном растворителе при объемном соотношении спирта к эфиру 1:2, с последующим фильтрованием, сушкой и взвешиванием нерастворившегося остатка.

Обработка экспериментальных данных по изменению физико-химических характеристик, полученных после стабилизации НЦ в зависимости от продолжительности автоклавирования проводилась на основе статистического и регрессионного анализа [23]. По данным экспериментов были получены регрессионные зависимости, позволяющие определять основные физико-химические характеристики образцов НЦ в зависимости от продолжительности автоклавирования. Расчет оптимальной продолжительности автоклавирования проводили методом обобщенного приведенного градиента.

Химическую стойкость НЦ определяли ампульно-хроматографическим методом [24]. Объем и состав выделившихся газов определяли на газовом хроматографе «Кристалл-2000М» (Йошкар-Ола, Россия) с детектором по теплопроводности. Дополнительно НЦ были исследованы методом дифференциальной сканирующей калориметрии с использованием термогравиметрического анализатора DTG 60 (Япония).

Работа выполнена при использовании приборной базы Бийского регионального центра коллективного пользования СО РАН (ИПХЭТ СО РАН, г. Бийск).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для исследования процесса автоклавирования было использовано 5 образцов НЦ с близкими физико-химическими характеристиками, которые были получены этерификацией ТЦ из ПОО смесью серной и азотной кислот (м.д. воды 14%) с последующей обработкой в воде при температуре 90-95 °С в течение 1 ч.

В таблице приведены результаты автоклавирования и стабилизации образцов НЦ. Все экс-

периментальные данные по физико-химическим характеристикам НЦ были статистически обработаны. На основе экспериментально-статистической обработки опытов были получены регрессионные зависимости, описывающие свойства образцов НЦ из ТЦ ПОО после стабилизации в зависимости от продолжительности автоклавирования:

$$\eta = 99,478 \cdot \exp(-0,015 \cdot t); \quad (1)$$

$$P = 0,09 \cdot t + 84,7, \quad (2)$$

где  $\eta$  – вязкость, мПа·с;  $P$  – растворимость, %;  $t$  – продолжительность автоклавирования, мин.

Таблица

Зависимость физико-химических характеристик образцов НЦ из ТЦ ПОО от продолжительности автоклавирования

Table. Dependence of the physicochemical characteristics of CNs samples derived from oat-hull pulp on the duration of autoclaving

Наименование образца	Продолжительность автоклавирования, мин	Характеристики			Объем NO, мл/г
		м.д. азота, %	вязкость 2 %-ного раствора в ацетоне, мПа·с	растворимость в спиртоэфирной смеси, %	
НЦ ПОО-1	–	11,96	600	76	–
	30	12,01	225	81	4,58
	–	12,17	74	88	3,12
НЦ ПОО-2	–	12,07	556	77	–
	60	12,17	88	81	3,89
	–	12,23	35	89	2,70
НЦ ПОО-3	–	12,13	611	78	–
	90	12,19	82	82	1,24
	–	12,30	25	93	0,78
НЦ ПОО-4	–	12,06	557	78	–
	120	12,14	42	85	0,83
	–	12,25	15	96	0,46
НЦ ПОО-5	–	11,98	557	79	–
	150	12,09	22	88	0,54
	–	12,14	12	98	0,35
Коллоксилин «Н» [6]	–	11,91-12,29	8,5-15,8	не менее 98	не более 2,5

Результаты построения математической модели приведены на рис. 1 и 2.

Согласно данным таблицы и рис. 1, для стадии автоклавирования характерно, что увеличение ее продолжительности с 30 мин до 150 мин приводит к значительному снижению вязкости образцов, что связано с резким ускорением разрушения гликозидных связей в макромолекулах НЦ. Также, после проведения окончательной стабилизации наблюдается дальнейшее снижение вязкости НЦ в 2-3 раза. Кроме того, из представленных в таблице и на рис. 2 данных следует, что растворимость образцов НЦ при увеличении продолжительности автоклавирования повышается практически в 1,3 раза.

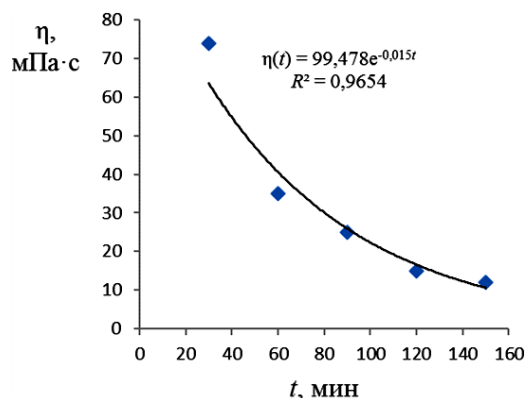


Рис. 1. Зависимость вязкости образцов НЦ после стабилизации от продолжительности автоклавирования: линия – расчет по выражению (1), точки – экспериментальные данные  
Fig. 1. Viscosity of CN samples after stabilization plotted against autoclaving time: calculation via Eq. (1) (line), experiment (dots)

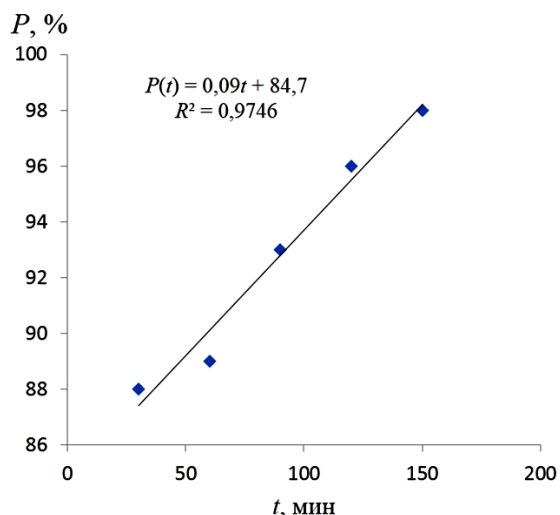


Рис. 2. Зависимость растворимости образцов НЦ после стабилизации от продолжительности автоклавирования: линия – расчет по выражению (2), точки – экспериментальные данные  
 Fig. 2. Solubility of CN samples after stabilization plotted against autoclaving time: calculation via Eq. (2) (line), experiment (dots)

Наряду со снижением вязкости и повышением растворимости (таблица) в процессе автоклавирования и окончательной стабилизации (варки в 0,03 %-ном растворе карбоната натрия и в воде) отмечается незначительное повышение м.д. азота во всех образцах НЦ, что, вероятно, связано с разрушением сульфо- и нитросульфэфиров, а также омылением нитропродуктов гидролиза и окисления.

По результатам экспериментов установлено, что выход всех образцов НЦ ПОО после автоклавирования и стабилизации не зависит от продолжительности процесса и для всех образцов составляет 136 %. В связи с этим, в качестве параметра оптимизации рассматривали продолжительность процесса. Задачу решали методом приведенного градиента при ограничениях, накладываемых на модель:  $8,5 \text{ мПа}\cdot\text{с} \leq \mu \leq 15,8 \text{ мПа}\cdot\text{с}$  и  $P \geq 98 \%$ .

В результате решения задачи получено, что оптимальной продолжительностью автоклавирования, обеспечивающей требуемые значения вязкости и растворимости, соответствует диапазон от 147 мин до 161 мин. Уменьшение продолжительности автоклавирования (менее 147 мин) не обеспечивает требуемый уровень растворимости НЦ, а увеличение продолжительности свыше 161 мин приводит к снижению их вязкости меньше нижней границы допустимого диапазона. Таким образом, образец НЦ ПОО-5 по своим физико-химическим характеристикам соответствует техническим требованиям, предъявляемым к коллоксилину «Н».

Ампульно-хроматографическим методом [24] выявлено, что при термостатировании образцов НЦ из ТЦ ПОО (таблица) при температуре 90 °С в течение 192 ч количество выделившегося в процессе разложения оксида азота с увеличением продолжительности автоклавирования снижается. Для образца НЦ ПОО-5 количество выделившегося в процессе разложения оксида азота составляет 0,35 мл/г и не превышает допустимого значения (для коллоксилинов – не более 2,5 мл/г [6]). Дополнительно методом дифференциальной сканирующей калориметрии установлено, что для образца НЦ ПОО-5 характерен один узкий экзотермический пик при температуре 211 °С, сопровождающийся уменьшением массы образца до 95 %. Температура начала интенсивного разложения образца НЦ находится около 200 °С (для коллоксилинов 197-201 °С). Кроме того, образец НЦ характеризуется высокой удельной теплотой разложения – 7,36 кДж/г (коллоксилины – в пределах 7,64-7,73 кДж/г [1, 2]).

#### ВЫВОДЫ

Этерификацией ТЦ из ПОО смесью серной и азотной кислот получены образцы НЦ. Исследовано влияние высокотемпературной обработки в автоклаве на свойства НЦ. Установлена оптимальная продолжительность автоклавирования – 140-160 мин, позволяющая получать НЦ со свойствами: м.д. азота – 12,14 %, вязкость – 12 мПа·с, растворимость в спиртоэфирной смеси – 98 %, соответствующими свойствам динитроцеллюлозы (коллоксилина «Н»). Ампульно-хроматографическим методом установлена высокая химическая стойкость НЦ, поскольку количество выделившегося в процессе разложения оксида азота составляет 0,35 мл/г и не превышает допустимого для динитроцеллюлозы значения. Методом дифференциальной сканирующей калориметрии подтверждена высокая химическая чистота НЦ. Полученные результаты демонстрируют целесообразность использования НЦ из отечественного легковозобновляемого сырья для получения высокоэнергетических пороховых зарядов, а также взрывчатых составов.

*Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований президиума РАН «Перспективные физико-химические технологии специального назначения» (проект № 0385-2018-0015, рег. № НИОКТР АААА-А17-117113040005-9).*

ЛИТЕРАТУРА

REFERENCES

1. **Mi W., Wei R., Zhou T., He J., Wang J.** Experimental study on the thermal decomposition of two nitrocellulose mixtures in different forms. *Mater. Sci.* 2019. V. 25. N 1. P. 60-65. DOI: 10.5755/j01.ms.25.1.18907.
2. **Wei R., Huang S., Wang Z., Yuen R., Wang J.** Evaluation of the critical safety temperature of nitrocellulose in different forms. *J. Loss Prevent. Proc. Indust.* 2018. V. 56. P. 289-299. DOI: 10.1016/j.jlp.2018.09.004.
3. **Courty L., Lagrange J-F., Gillard P., Boulnois C.** Laser ignition of a low vulnerability propellant based on nitrocellulose: effects of Ar and N<sub>2</sub> surrounding atmospheres. *PEP.* 2018. V. 43. N 10. P. 986-991. DOI: 10.1002/pep.201800087.
4. **Meng X., Xiao Z.** Preparation and sensitivity property of nitrocellulose/silica composite with silica gel as coating layer. *PEP.* 2018. V. 43. P. 999-1005. DOI: 10.1002/pep.201800072.
5. **Dai J., Xu J., Wang F., Tai Y., Shen Y., Shen R., Ye Y.** Facile formation of nitrocellulose-coated Al/Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanothermites with excellent energy output and improved electrostatic discharge safety. *Mater. Design.* 2018. V. 143. P. 93-103. DOI: 10.1016/j.matdes.2018.01.056.
6. **Столяров В.А.** Новый справочник химика и технолога. Сырье и продукты промышленности органических и неорганических веществ. Ч. II. СПб.: 2006. 916 с.
7. **Борбузанов В.Г., Матухин Е.Л., Валишина З.Т., Галиуллина Г.Н., Косточко А.В.** Развитие химической технологии нитратцеллюлозных композиций на предприятии ФКП «КГПЗ». *Вестн. технол. ун-та.* 2015. Т. 18. № 18. С. 80-86.
8. **Голубев А.Е., Нешитова А.Н., Кувшинова С.А., Бурмистров В.А.** Реологические свойства растворов пластифицированного диацетата целлюлозы. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2016. Т. 59. Вып. 2. С. 46-51. DOI: 10.6060/tcct.20165902.5303.
9. **Прусов А.Н., Прусова С.М., Захаров А.Г., Базанов А.В., Смирнов П.Р., Радугин М.В.** Химическая трансформация технического волокна льна, пеньки и джута в целлюлозу и их пиролиз. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2016. Т. 59. Вып. 6. С. 97-104. DOI: 10.6060/tcct.20165906.5392k.
10. **Прусов А.Н., Прусова С.М., Захаров А.Г., Ioilovich M.** Взаимодействие высокоочищенной целлюлозы с бинарными жидкостями: вода/ДМСО и вода/этанол. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2016. Т. 59. Вып. 4. С. 41-46. DOI: 10.6060/tcct.20165904.5331.
11. **Юсупов Ф.Т., Саетшин А.А., Валишина З.Т., Борбузанов В.Г., Матухин Е.Л.** Совершенствование технологий разволокнения, агрегирования и кондиционирования целлюлозных материалов. *Вестн. технол. ун-та.* 2017. Т. 20. № 6. С. 76-78.
12. **Гибадуллин М.Р., Петров В.А., Глазырина Е.С., Аверьянова Н.В., Кузнецова Н.В., Панкратов А.А., Мишунин П.А.** Получение и свойства низкозамещенных нитратов агрегированной целлюлозы. *Вестн. технол. ун-та.* 2018. Т. 21. № 2. С. 74-78.
13. **Валишина З.Т., Матухин Е.Л., Ибушева Р.А., Хакимзянова Р.И., Косточко А.В.** Прогнозирование вязкостных характеристик нитратов целлюлозы в зависимости от свойств исходного сырья. *Вестн. технол. ун-та.* 2018. Т. 21. № 2. С. 34-36.
14. **Низамиев А.Ю., Саетшин А.А., Валишина З.Т., Матухин Е.Л., Косточко А.В.** Оптимизация современного производства на основе компьютерного моделирования технологических процессов. *Вестн. технол. ун-та.* 2017. Т. 20. № 6. С. 121-123.
1. **Mi W., Wei R., Zhou T., He J., Wang J.** Experimental study on the thermal decomposition of two nitrocellulose mixtures in different forms. *Mater. Sci.* 2019. V. 25. N 1. P. 60-65. DOI: 10.5755/j01.ms.25.1.18907.
2. **Wei R., Huang S., Wang Z., Yuen R., Wang J.** Evaluation of the critical safety temperature of nitrocellulose in different forms. *J. Loss Prevent. Proc. Indust.* 2018. V. 56. P. 289-299. DOI: 10.1016/j.jlp.2018.09.004.
3. **Courty L., Lagrange J-F., Gillard P., Boulnois C.** Laser ignition of a low vulnerability propellant based on nitrocellulose: effects of Ar and N<sub>2</sub> surrounding atmospheres. *PEP.* 2018. V. 43. N 10. P. 986-991. DOI: 10.1002/pep.201800087.
4. **Meng X., Xiao Z.** Preparation and sensitivity property of nitrocellulose/silica composite with silica gel as coating layer. *PEP.* 2018. V. 43. P. 999-1005. DOI: 10.1002/pep.201800072.
5. **Dai J., Xu J., Wang F., Tai Y., Shen Y., Shen R., Ye Y.** Facile formation of nitrocellulose-coated Al/Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanothermites with excellent energy output and improved electrostatic discharge safety. *Mater. Design.* 2018. V. 143. P. 93-103. DOI: 10.1016/j.matdes.2018.01.056.
6. **Stolyarov V.A.** A New Reference Guide for Chemist and Technologist. Raw Materials and Products of Organic and Inorganic Industries. P. II. SPb.: 2006. 916 p. (in Russian).
7. **Borbuzanov V.G., Matukhin E.L., Valishina Z.T., Galiullina G.N., Kostochko A.V.** The development of chemical technology of cellulose nitrate compositions at the enterprise FKP "KGPZ". *Vestn. Tekhnol. Un-ta.* 2015. V. 18. N 18. P. 80-86 (in Russian).
8. **Golubev A.E., Neshitova A.N., Kuvshinova S.A., Burmistrov V.A.** Reologicheskiye svoystva rastvorov plastifitsirovannogo diatsetata tsellyulozy. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2016. V. 59. N 2. P. 46-51. DOI: 10.6060/tcct.20165902.5303. (in Russian).
9. **Prusov A.N., Prusova S.M., Zakharov A.G., Bazanov A.V., Smirnov P.R., Radugin M.V.** Chemical transformation of industrial flax, hemp and jute fiber into cellulose and their pyrolysis. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2016. V. 59. N 6. P. 97-104. DOI: 10.6060/tcct.20165906.5392k. (in Russian).
10. **Prusov A.N., Prusova S.M., Zakharov A.G., Ioilovich M.** Interaction of highly purified cellulose with binary liquids: water / DMSO and water / ethanol. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2016. V. 59. N 4. P. 41-46. DOI: 10.6060/tcct.20165904.5331 (in Russian).
11. **Yusupov F.T., Saetshin A.A., Valishina Z.T., Borbuzanov V.G., Matukhin E.L.** Improving the technology of fiberizing, aggregation and conditioning of cellulosic materials. *Vestn. Tekhnol. Un-ta.* 2017. V. 20. N 6. P. 76-78 (in Russian).
12. **Gibadullin M.R., Petrov V.A., Glazyrina E.S., Averyanova N.V., Kuznetsova N.V., Pankratov A.A., Mishunin P.A.** Obtaining and properties of low-substituted aggregates of cellulose nitrates. *Vestn. Tekhnol. Un-ta.* 2018. V. 21. N 2. P. 74-78 (in Russian).
13. **Valishina Z.T., Matukhin E.L., Ibusheva R.A., Khakimzyanova R.I., Kostochko A.V.** Prediction of the viscosity characteristics of cellulose nitrates depending on the properties of the feedstock. *Vestn. Tekhnol. Un-ta.* 2018. V. 21. N 2. P. 34-36 (in Russian).
14. **Nizamiev A.Yu., Saetshin A.A., Valishina Z.T., Matukhin E.L., Kostochko A.V.** Optimization of modern production based on computer modeling of technological processes. *Vestn. Tekhnol. Un-ta.* 2017. V. 20. N 6. P. 121-123 (in Russian).

15. **Golubev A.E., Kuvshinova S.A., Burmistrov V.A., Koifman O.I.** Modern advances in the preparation and modification of cellulose nitrates. *RUGC*. 2018. V. 88. N 2. P. 368-381. DOI: 10.1134/S1070363218020305.
16. **Gismatulina Yu.A., Budaeva V.V., Sakovich G.V.** Cellulose nitrates from intermediate flax straw. *RUCB*. 2016. V. 65. N 12. P. 2920-2924. DOI: 10.1007/s11172-016-1678-3.
17. **Gismatulina Yu.A., Budaeva V.V., Sakovich G.V.** Nitrocellulose synthesis from Miscanthus cellulose. *PEP*. 2018. V. 43. P. 96-100. DOI: 10.1002/pep.201700210.
18. **Trache D., Khimeche K., Mezroua A., Benziane M.** Physicochemical properties of microcrystalline nitrocellulose from alfa grass fibres and its thermal stability. *Therm. Anal. Calorim.* 2016. V. 124. N 3. P. 1485-1496. DOI: 10.1007/s10973-016-5293-1.
19. **Adekunle I.M.** Production of cellulose nitrate polymer from sawdust. *J. Chem.* 2010. V. 7. N 3. P. 709-716. DOI: 10.1155/2010/807980.
20. **Скиба Е.А., Будаева В.В., Макарова Е.И., Байбакова О.В., Золотухин В.Н., Сакович Г.В.** Биоэтанол из плодовых оболочек овса, предварительно обработанных методом щелочной делигнификации. Часть 1. Химическая и ферментативная трансформация сырья. *Биотехнология*. 2017. Т. 33. № 2. С. 68-75.
21. **Skiba E.A., Baibakova O.V., Budaeva V.V., Pavlov I.N., Vasilishin M.S., Makarova E.I., Sakovich G.V., Ovchinnikova E.V., Banzaraksaeva S.P., Vernikovskaya N.V., Chumachenko V.A.** Pilot technology of ethanol production from oat hulls for subsequent conversion to ethylene. *Chem. Eng. J.* 2017. V. 329. P. 178-186. DOI: 10.1016/j.cej.2017.05.182.
22. **Sakovich G.V., Mikhailov Yu.M., Budaeva V.V., Korchagina A.A., Gismatulina Yu.A., Kozyrev N.V.** Cellulose nitrates from unconventional feedstocks. *DOCH*. 2018. V. 483. Pt. 1. P. 287-291.
23. **Костин В.Н., Тишина Н.А.** Статистические методы и модели: Учебное пособие. Оренбург: ГОУ ОГУ. 2004. 138 с.
24. **Вдовина Н.П., Будаева В.В., Якушева А.А.** Определение химической стойкости нитроцеллюлозы ампульно-хроматографическим методом. *Ползунов. вестн.* 2013. № 3. С. 220-224.
15. **Golubev A.E., Kuvshinova S.A., Burmistrov V.A., Koifman O.I.** Modern advances in the preparation and modification of cellulose nitrates. *RUGC*. 2018. V. 88. N 2. P. 368-381. DOI: 10.1134/S1070363218020305.
16. **Gismatulina Yu.A., Budaeva V.V., Sakovich G.V.** Cellulose nitrates from intermediate flax straw. *RUCB*. 2016. V. 65. N 12. P. 2920-2924. DOI: 10.1007/s11172-016-1678-3.
17. **Gismatulina Yu.A., Budaeva V.V., Sakovich G.V.** Nitrocellulose synthesis from Miscanthus cellulose. *PEP*. 2018. V. 43. P. 96-100. DOI: 10.1002/pep.201700210.
18. **Trache D., Khimeche K., Mezroua A., Benziane M.** Physicochemical properties of microcrystalline nitrocellulose from alfa grass fibres and its thermal stability. *Therm. Anal. Calorim.* 2016. V. 124. N 3. P. 1485-1496. DOI: 10.1007/s10973-016-5293-1.
19. **Adekunle I.M.** Production of cellulose nitrate polymer from sawdust. *J. Chem.* 2010. V. 7. N 3. P. 709-716. DOI: 10.1155/2010/807980.
20. **Skiba E.A., Budaeva V.V., Makarova E.I., Baibakova O.V., Zolotukhin V.N., Sakovich G.V.** Bioethanol from oat hulls pretreated by alkaline delignification. I. Chemical and enzymatic material conversion. *Biotekhnologiya*. 2017. V. 33. N 2. P. 68-75. DOI: 10.1016/0234-2758-2017-33-2-68-75 (in Russian).
21. **Skiba E.A., Baibakova O.V., Budaeva V.V., Pavlov I.N., Vasilishin M.S., Makarova E.I., Sakovich G.V., Ovchinnikova E.V., Banzaraksaeva S.P., Vernikovskaya N.V., Chumachenko V.A.** Pilot technology of ethanol production from oat hulls for subsequent conversion to ethylene. *Chem. Eng. J.* 2017. V. 329. P. 178-186. DOI: 10.1016/j.cej.2017.05.182.
22. **Sakovich G.V., Mikhailov Yu.M., Budaeva V.V., Korchagina A.A., Gismatulina Yu.A., Kozyrev N.V.** Cellulose nitrates from unconventional feedstocks. *DOCH*. 2018. V. 483. Pt. 1. P. 287-291.
23. **Kostin V.N., Tishina N.A.** Statistical Methods and Models: Textbook. Orenburg: GOU OGU. 2004. 138 p. (in Russian).
24. **Vdovina N.P., Budaeva V.V., Yakusheva A.A.** Determination of the chemical resistance of nitrocellulose by the ampoule chromatographic method. *Polzunov. Vestn.* 2013. N 3. P. 220-224 (in Russian).

Поступила в редакцию 02.04.2019  
Принята к опубликованию 18.11.2019

Received 02.04.2019  
Accepted 18.11.2019