

*PASHCHENKO Konstantin Petrovich* – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemistry, Astrakhan State Technical University, 16/1, Tatishcheva street, Astrakhan, 414056, Russia. E-mail: kpp@rambler.ru

*KOTEZHOV Kirill Sergeevich* – Student, Russian University of Transport, 9, Obraztsova street 127055, Moscow, Russia. E-mail: kirill\_K@mail.ru

*NEBRATENKO Dmitry Yurievich* – Associate Professor of the Department of Chemistry and Technology of High-Molecular Compounds, D.I. Mendeleev Russian University of Chemical Technology, 9, Miusskaya square, Moscow, 125047, Russia; Associate Professor of the Department of Building Materials Science, National Research Moscow State University of Civil Engineering, 26, Yaroslavskoye shosse, Moscow, 129337, Russia; Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Highways, Airfields, Bases and Foundations, Russian University of Transport, 9, Obraztsova street, 127055, Moscow, Russia. E-mail: nebratenko@mail.ru

#### CITATION FOR AN ARTICLE

Erokhina Ya.A., Duzhy P.A., Pilipenko A.S., Belyakov A.Yu., Paschenko K.P., Kotov K.S., Nebratenko D.Yu. Rheological behavior of SBS polymers in base plasticizers and industrial oils // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2025. No. 2 (26). pp. 81–93.

УДК 66.094.94, 577.114.4

## ГИДРОЛИЗ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛИСАХАРИДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛИМЕРНОГО ТВЕРДОГО КИСЛОТНОГО КАТАЛИЗАТОРА

**Л.Д. Панскова, Е.П. Гаврилова, О.В. Манаенков,**

**О.В. Кислица, М.Г. Сульман**

*Тверской государственный технический университет (г. Тверь)*

© Панскова Л.Д., Гаврилова Е.П., Манаенков О.В.,  
Кислица О.В., Сульман М.Г., 2025

**Аннотация.** В статье рассмотрены полисахариды растений – одни из самых распространенных природных биополимеров, представляющих большой интерес в качестве сырья для получения востребованных моносахаридов: глюкозы, фруктозы, ксилозы. Наиболее перспективными и доступными полисахаридами являются целлюлоза, инулин и гемицеллюлоза, получаемые из растительной биомассы. Распространенным процессом переработки растительных полисахаридов до сахаров выступает кислотный гидролиз, в котором участвуют минеральные кислоты, однако их применение сопряжено с рядом существенных недостатков: коррозией оборудования, необходимостью утилизации и т.п. В связи с этим наиболее многообещающими представляются твердые кислотные катализаторы. Их использование существенно упрощает и универсализирует технологический процесс, позволяя применять его в более широком диапазоне реакций; в отличие от жидких, твердые катализаторы часто поддаются регенерации, что уменьшает

затраты на производство и количество отходов, а главное – значительно снижает коррозионную активность. Существуют такие типы твердых кислотных катализаторов, как цеолиты, гетерополикислоты, сульфирированные оксиды металлов и органо-неорганические композиты. В этой области перспективными представляются твердые кислотные катализаторы на основе пористых органических полимеров. К их преимуществам относятся высокая плотность кислотных центров на поверхности, низкая коррозионная активность, устойчивость к химическим и термическим воздействиям, возможность функционализации, значительная площадь поверхности и невысокая стоимость, обусловленная относительной легкостью производства.

**Ключевые слова:** гидролиз, целлюлоза, инулин, ксилоза, сверхсшитый полистирол.

DOI: 10.46573/2658-7459-2025-2-93-103

### ВВЕДЕНИЕ

Лигноцеллюлозная биомасса – самый богатый источник возобновляемого органического углерода на планете. Она широко используется в крупномасштабном производстве востребованных химических веществ. В основном лигноцеллюлозная биомасса состоит из трех макромолекулярных компонентов: целлюлозы (40–60 %), гемицеллюлозы (20–40 %) и лигнина (10–24 %) [1]. При катализируемом кислотой термическом гидролизе полимерные сахарины деполимеризуются до своих мономерных форм. На рис. 1 показана схема конверсии полисахаридных компонентов лигноцеллюлозной биомассы в фурфурол и его производные [2].

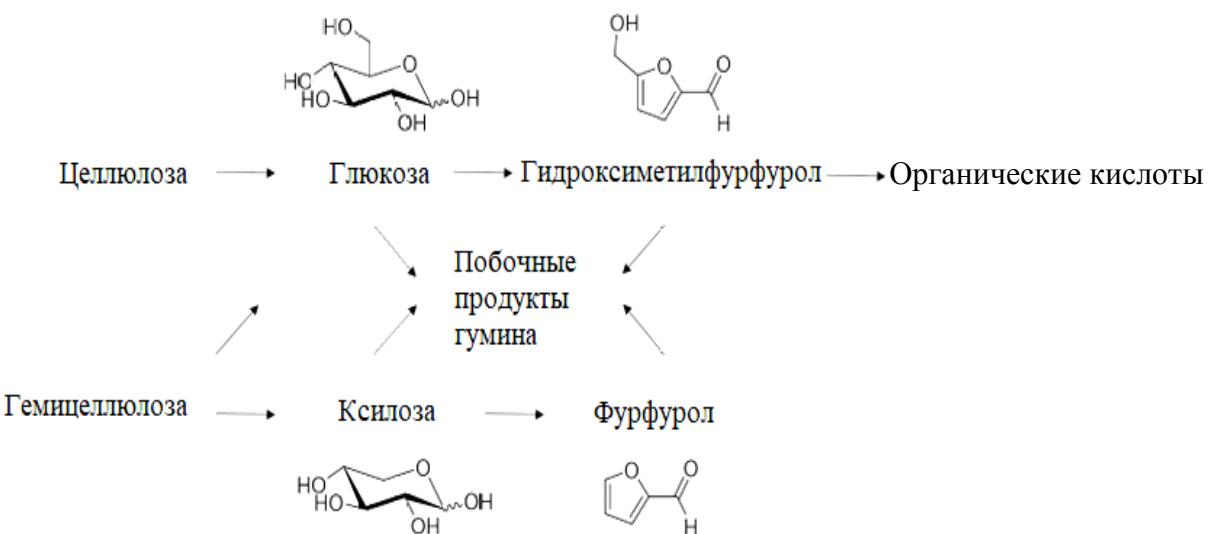


Рис. 1. Пути преобразования целлюлозы из гемицеллюлозы при кислотном гидролизе

Гемицеллюлозы состоят из мономера гексозы и пентозы, которые соединены между собой и могут быть разветвленными. Пентозы – это  $\beta$ -D-ксилоза и  $\alpha$ -L-арabinоза, а гексозы – это  $\beta$ -D-манноза,  $\beta$ -D-глюкоза и  $\beta$ -D-галактоза. Некоторые гемицеллюлозы могут содержать уроновые кислоты, такие как 4-о-метил- $\beta$ -D-глюкуроновая и галактуроновая кислоты, в боковых цепях [3]. Ксилан представляет значительный интерес из-за своего потенциала в производстве упаковочных пленок и покрытий для пищевых продуктов, а также из-за возможности его использования в биомедицинских продуктах [4].

Инулин – это простой растительный полисахарид, состоящий из семейства линейных  $\beta(2\rightarrow1)$  полифруктофuranозил-D-глюкозных полимерных цепочек, в которых неразветвленная цепь колец фруктозы заканчивается одним глюкозным кольцом. Инулин используется в качестве запасного углевода растениями семейства Астровые, к которым относятся георгины, цикорий, артишоки, лук и чеснок [5]. В процессе кислотного или ферментативного разложения инулина образуются D-фруктоза и небольшое количество глюкозы. Промежуточные продукты распада инулина (инулоиды) не обладают восстановительными свойствами [6]. Инулин причисляют к фруктанам, которые представляют собой линейные либо разветвленные углеводы, полученные из сахарозы. Основываясь на структурных отличиях, выделяют три вида фруктанов: инулин (связь  $\beta2\rightarrow1$ ), леван (связь  $\beta2\rightarrow6$ ) и гриннан (связи  $\beta2\rightarrow1$  и  $\beta2\rightarrow6$ ). Длина цепи растительных фруктанов, определяемая степенью полимеризации, – величина переменная [7].

Целлюлоза – это наиболее часто встречающийся в природе биополимер. Она является одним из главных составляющих элементов клеточных оболочек большинства растений. Целлюлоза представляет собой высокомолекулярный линейный полисахарид, включающий повторяющиеся остатки  $\beta$ -D-глюкозы, соединенные  $\beta$ -1,4-гликозидными связями [8].

Гидролиз всех перечисленных выше полисахаридов в промышленности осуществляется минеральными кислотами, которые обладают рядом существенных недостатков: высокой коррозийностью, трудностью отделения от продуктов реакции. С введением все более жестких экологических стандартов использование неорганических кислот становится менее привлекательным, и реальной альтернативой им могут стать твердые кислоты. Весьма перспективным является применение твердых кислотных катализаторов на основе пористых полимеров, в частности сверхсшитого полистирола.

Сверхсший полистирол (СПС) – это полимерная матрица, пористая структура которой самопроизвольно образуется в процессе синтеза. Благодаря высокой степени сверхшивки (более 100 %) СПС сформирован из жестких полостей диаметром около 2–3 нм [9]. Сверхсший полистирол способен к набуханию в растворителях различной природы [10], что делает возможным включение органометаллических соединений в его пористую структуру [11]. Присутствие микро- и мезопор в матрице обуславливает наличие пространственныхnanoструктур, способствующих формированию металлсодержащих наночастиц активной фазы катализаторов [12]. К другим достоинствам СПС относятся его механическая прочность, химическая и термическая (до 400 °C) стабильность, развитая удельная площадь поверхности (порядка 1 000 м<sup>2</sup>/г).

В данной работе предложена методика гидролиза полисахаридов до соответствующих моносахаридов с применением сульфированного сверхсшитого полистирола.

***МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ***

В ходе исследования в качестве исходного сырья был взят сверхсшитый полистирол MN270 (Purolite, UK), который не имеет функциональных групп. Кроме того, в процессе исследования использовались серная кислота (99,999 %, Sigma-Aldrich, USA), 1,2-дихлорэтан (99,8 %, Sigma-Aldrich, USA), этанол (95 %, Acros Organics, USA), инулин ( $\geq 90$  %, Tokyo Chemical Industry, Япония), ксилан (90 %, Sigma-Aldrich, USA), микрокристаллическая целлюлоза (97 %, Sigma-Aldrich, USA).

Сульфированный СПС MN-270 получают по следующей методике. В круглодонную колбу помещают 0,5 г полимера и 5 мл 1,2-дихлорэтана. Смесь перемешивают в течение 1 ч при температуре 25 °C и скорости вращения мешалки 200 об/мин. Далее к смеси прибавляют 25 мл концентрированной серной кислоты и нагревают до 80 °C. Смесь выдерживают при этой температуре в течение 1 ч при интенсивном перемешивании (1 000 об/мин). Затем суспензию осторожно выливают в стакан, наполненный льдом (около 300 мл дистиллированной воды). Сульфированный полимер отделяют на бумажном фильтре в воронке Бюхнера и промывают большим количеством дистиллированной воды (около 1 л) и 95%-м этанолом. После этого полимер сушат в течение 24 ч при температуре 65 °C.

Гидролиз полисахаридов проводился в стальном реакторе высокого давления Parr Instrument 4843 объемом 50 см<sup>3</sup>. В типичном эксперименте навеску полисахарида и катализатора помещают в колбу реактора, приливают 30 мл дистиллированной воды и герметизируют. Далее реактор 3–4 раза продувают азотом под давлением 5 бар, после чего включают нагрев и перемешивание в 100 об/мин. По достижении рабочей температуры обороты мешалки повышают до 600 об/мин, что является началом отсчета времени эксперимента. По окончании эксперимента реактор остужают и отделяют катализатор на бумажном фильтре. Количественное определение моносахаров осуществляли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии.

***РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ***

В ходе реакции сульфирования исходного СПС MN270 был получен образец твердого кислотного катализатора, обозначенный как SMN270-1Н. Процесс сульфирования занял 1 ч при температуре 80 °C. Полученный образец был исследован с помощью метода низкотемпературной адсорбции азота. Результаты исследования представлены в табл. 1.

Таблица 1

Описание пористости сульфированного полимера

Образец	$S_{БЭТ}$ , м <sup>2</sup> /г	$S_L$ , м <sup>2</sup> /г	$S_t$ , м <sup>2</sup> /г	$V$ , см <sup>3</sup> /г
СПС MN270 исходный	1 236	1 380	347 <sup>1</sup> ; 925 <sup>2</sup> ; 1272 <sup>3</sup>	0,41
SMN270-1Н	687	774	151 <sup>1</sup> ; 536 <sup>2</sup> ; 687 <sup>3</sup>	0,24

Примечания: <sup>1</sup> – удельная площадь поверхности по расчету модели t-график; <sup>2</sup> – удельная площадь поверхности микропор; <sup>3</sup> – общая удельная площадь поверхности.

В ходе исследования были проанализированы два образца: исходный СПС марки MN270 и синтезированный СПС MN270-1Н. Результаты анализа представлены на рис. 2 и 3. Изотерма низкотемпературной адсорбции азота для исходного СПС MN270, согласно классификации ИЮПАК (Международного союза теоретической и прикладной химии), относится к типу I. Такие изотермы характерны для материалов с высокой микропористостью.

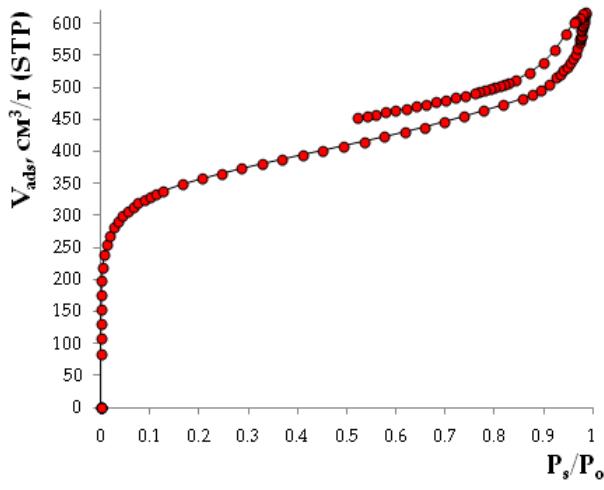


Рис. 2. Изотерма адсорбции исходного СПС MN270

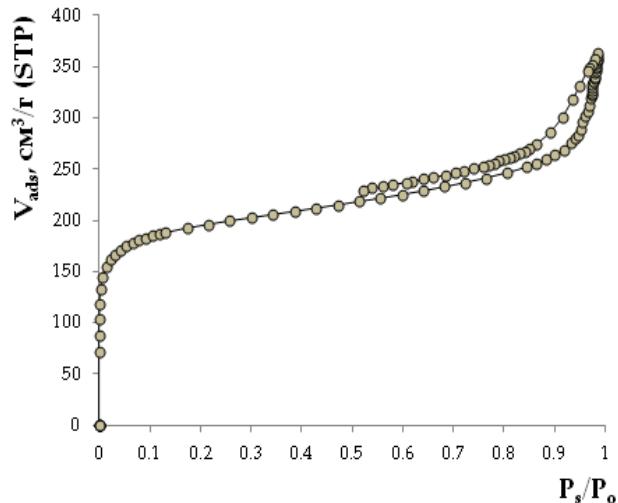


Рис. 3. Изотерма адсорбции полученного SMN270-1Н

Термогравиметрический анализ сульфированного СПС показал, что SMN270 стабилен до 200–250 °C, тогда как исходный СПС MN270 разрушается при температурах выше 400 °C из-за десульфирования.

Было проведено исследование влияния температуры на процесс гидролиза гемицеллюлозы (ксилана) в диапазоне температур от 120 до 160 °C при времени реакции ( $\tau$ ) 1 ч. В результате установили оптимальное значение температуры для гидролиза ксилана. Было показано, что максимальная степень конверсии ксилана (100 %) достигается при температуре 150 °C, выход ксилозы при этом составляет 60,1 %. Зависимость выхода ксилозы от температуры представлена на рис. 4.

Повышение температуры до 160 °C привело к значительному уменьшению выхода ксилозы до 35,6 %, что может быть связано с процессами термической деструкции моносахарида. При понижении температуры до 140 и 130 °C выход ксилозы составил 17,7 и 8 % соответственно. Наименьший выход ксилозы, равный 4 %, был зафиксирован при температуре 120 °C, что, очевидно, связано с недостаточной глубиной гидролиза макромолекул исходного полисахарида и, соответственно, с преобладанием олигосахаридных продуктов гидролиза в реакционной массе.

Для оценки влияния времени на реакцию гидролиза ксилана было проведено пять опытов при постоянной температуре 140 °C. Время каждого опыта составляло 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 ч. В результате проведенных исследований было установлено, что максимальный выход ксилозы, составляющий 54,9 %, был достигнут за 2,5 ч. При этом выход ксилозы при продолжительности реакции 2 ч достиг уровня 53,3 %. Результаты исследования показаны на рис. 5.

При анализе на временных отрезках 0,5, 1 и 1,5 ч были зафиксированы следующие показатели выхода ксилозы: 11; 17,7 и 22,6 % соответственно. Эти результаты позволяют сделать вывод о том, что временной период меньше 2,5 ч является недостаточным для полного завершения процесса гидролиза и достижения максимального выхода целевого продукта.

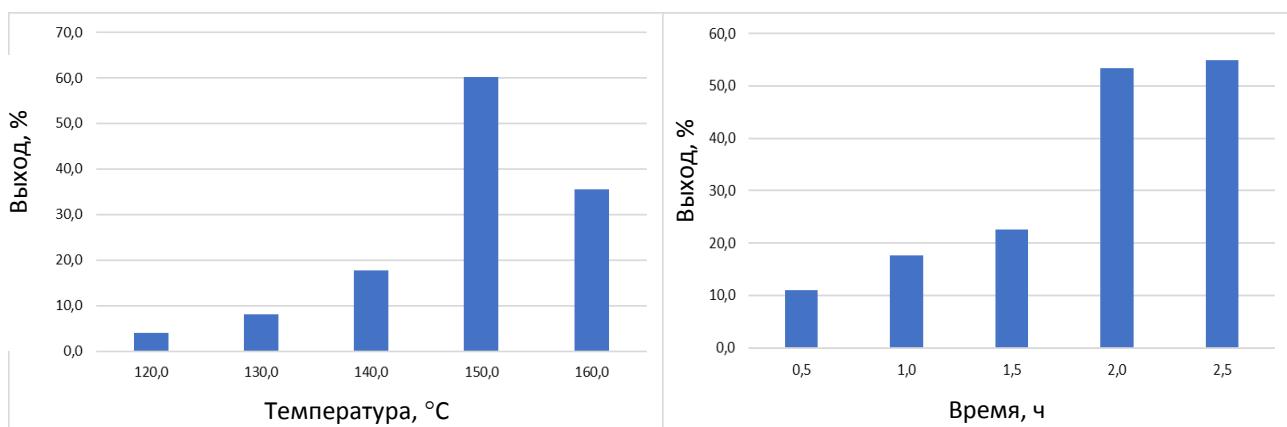


Рис. 4. Зависимость выхода ксилозы от температуры реакции ( $t = 1$  ч)

Рис. 5. Зависимость выхода ксилозы от времени реакции ( $t = 140$  °C)

Другим исходным субстратом являлся инулин. Гидролиз инулина был осуществлен по вышеуказанной методике. Эксперименты проводились при температурах от 100 до 150 °C. Время каждого эксперимента составляло 1 ч.

Анализ полученных данных показал, что максимальный выход фруктозы был достигнут при температуре 110 °C, составив 76,4 %. Дальнейшее повышение температуры приводило к последовательному снижению выхода фруктозы: при 120 °C он составил 66,5 %, при 130 °C – 59,1 %, а при 140 °C – 41,1 %. При достижении температуры 150 °C выход фруктозы сократился до 22,3 %, а также наблюдалось образование растворов, окрашенных в желто-бурый цвет, что является индикатором начальной стадии карамелизации фруктозы. Зависимость выхода фруктозы от температуры представлена на рис. 6.

Для оценки зависимости выхода фруктозы при гидролизе инулина от времени реакции были проведены эксперименты на временных отрезках 0,5; 1; 1,5 и 2 ч с постоянной температурой 110 °C (рис. 7).

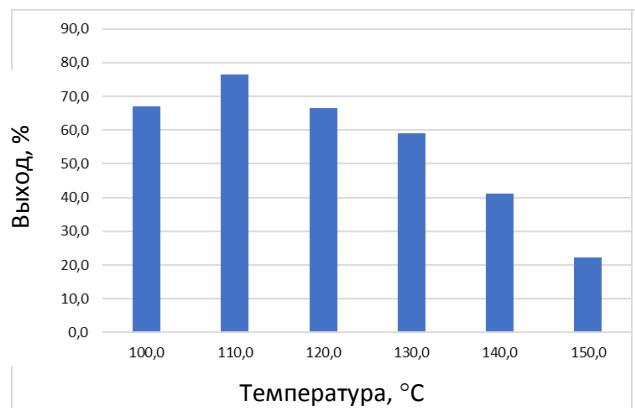


Рис. 6. Зависимость выхода фруктозы от температуры реакции ( $\tau = 1$  ч)

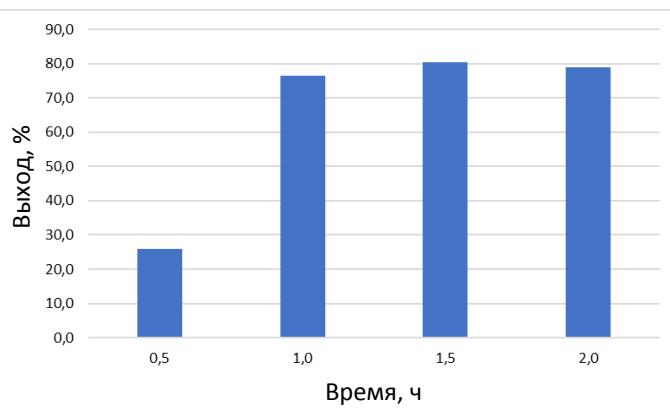


Рис. 7. Зависимость выхода фруктозы от времени реакции ( $t = 110$  °C)

При максимальной длительности эксперимента, составляющей 1,5 ч, наблюдается наивысший процент выхода фруктозы, достигающий 80,3 %. С увеличением времени реакции до 2 ч отмечается незначительное снижение данного показателя до 79 %. В условиях продолжительности гидролиза 1 ч выход фруктозы составляет 76,4 %, что указывает на достижение значительной, но не совсем полной конверсии субстрата. При сокращении времени до 0,5 ч наблюдается значительно меньший выход фруктозы, составляющий 26 %.

В качестве исходного субстрата также подвергалась испытаниям целлюлоза. По вышеописанной методике было проведено три эксперимента по гидролизу целлюлозы при температурах 150, 170 и 190 °C. Время каждого опыта составило 3 ч.

При высоких температурах происходит термическая деструкция глюкозы. Целлюлоза же является устойчивым полимером, требующим применения экстремальных температурных условий для инициирования гидролитических процессов. При использовании микрокристаллической целлюлозы, не подвергнутой предварительной механической обработке перед гидролизом, были зафиксированы сравнительно низкие выходы глюкозы. Наибольший процент конверсии целлюлозы в глюкозу был достигнут при температуре 170 °C – 14,5 %. При температуре 150 °C выход глюкозы составил 6,3 %, а при 190 °C – 4,5 %. Все результаты представлены на рис. 8.

Снижение выхода глюкозы при указанных температурных условиях обусловлено сложной микрокристаллической структурой целлюлозы, которая существенно ограничивает проникновение гидролизующих агентов к полимерной матрице. Это явление связано с высокой степенью упорядоченности и плотной упаковкой молекул целлюлозы, что создает значительные препятствия для проникновения молекул воды и катализатора, необходимых при гидролизе гликозидных связей.

Для исследования процесса гидролиза целлюлозы с целью определения зависимости выхода глюкозы от продолжительности реакции провели три эксперимента при постоянной температуре 170 °C. Продолжительность каждого из опытов составляла 2, 2,5 и 3 ч соответственно. Анализ результатов показал, что максимальный выход глюкозы был достигнут при продолжительности реакции 2,5 ч и составил 14,9 %. Результаты представлены на рис. 9.

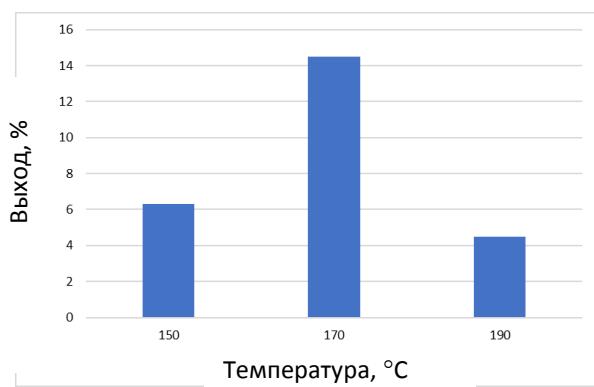


Рис. 8. Зависимость выхода глюкозы от температуры реакции ( $\tau = 3$  ч)

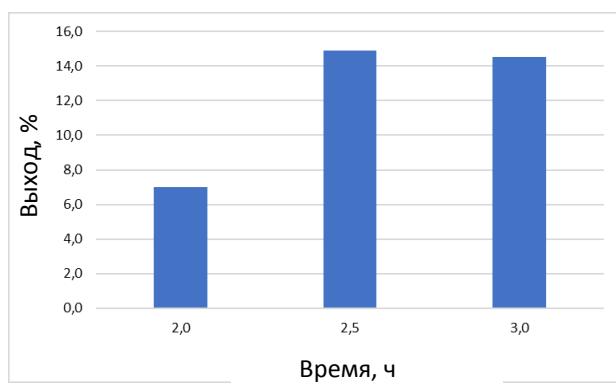


Рис. 9. Зависимость выхода глюкозы от времени реакции ( $t = 170$  °C)

Сокращение времени реакции до 2 ч привело к значительному снижению выхода глюкозы до 7 %. Это снижение может быть объяснено особенностями молекулярной структуры целлюлозы, которая требует определенного времени для гидролиза моносахаридов. При увеличении продолжительности гидролиза с 2,5 до 3 ч выявлено незначительное отклонение в выходах продукта, которое составило 14,5 %.

В ходе исследования процесса гидролиза полисахаридов была проведена вариация соотношений субстрата и катализатора для нахождения оптимального соотношения, чтобы максимизировать выход продукта. Результаты представлены в табл. 2.

*Таблица 2*  
Влияние соотношения «субстрат : катализатор» на выход продукта

Соотношение	Выход ксилозы, %	Выход фруктозы, %	Выход глюкозы, %
1 : 1	54,8	82,8	14,9
3 : 2	60,1	80,3	10,6

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

При исследовании процессов гидролиза ксилана, инулина и целлюлозы с использованием твердого кислотного катализатора на основе сульфированного сверхсшитого полистирола были изучены зависимости выхода целевых продуктов от времени реакции, температуры и соотношения между субстратом и катализатором.

Оптимальными условиями для гидролиза ксилана оказались температура 150 °C и время реакции 2,5 ч. При таких условиях выход ксилозы составил 60,1 и 54,9 % соответственно.

Для инулина оптимальная температура составляет 110 °C, при ней выход фруктозы составил 76,4 %. Время реакции 1,5 ч обеспечило максимальный выход фруктозы – 80,3 %.

Оптимальная температура для целлюлозы оказалась равна 170 °C, но выход глюкозы был значительно ниже – всего 14,5 % при этой температуре и 14,9 % при времени реакции 2,5 ч. Это указывает на сложность гидролиза целлюлозы из-за особенностей ее микрокристаллической структуры.

Результаты экспериментов по гидролизу инулина с отработанным катализатором показали снижение выхода фруктозы почти в два раза, что, очевидно, связано с образованием гуминов на поверхности катализатора и, как следствие, блокировкой его активных кислотных центров.

Таким образом, согласно проведенному исследованию, катализатор SMN270-1H может стать эффективной заменой традиционных кислотных катализаторов (минеральных кислот) в процессах гидролиза компонентов растительной биомассы.

### **БЛАГОДАРНОСТИ**

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (25-79-20018).

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Putro J.N., Soetaredjo F.E., Lin S.-Y., Ju Y.-H., Ismadji S. Pretreatment and Conversion of Lignocellulose Biomass into Valuable Chemicals // *RSC Advances*. 2016. Vol. 6. P. 46834–46852.
2. Beckendorff A., Lamp A., Kaltschmitt M. Optimization of Hydrolysis Conditions for Xylans and Straw Hydrolysates by HPLC Analysis // *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2023. Vol. 13. P. 3361–3374.
3. Postma D. Chemical and Physical Modification of Wood Based Hemicelluloses for Use in the Pulp and Paper Industry. Cand. Diss. (Chemical Engineering). Stellenbosch, South Africa. 2012. 148 p.
4. Da Silva A.E., Marcelino H.R., Gomes M.C.S., Oliveira E.E., Jr Nagashima T., Egito E.S.T. Xylan, a Promising Hemicellulose for Pharmaceutical Use // *Products and Applications of Biopolymers* / Ed. C. Verbeek. London: IntechOpen Limited, 2012. P. 61–84.
5. Petrovsky N., Cooper P.D. Advax<sup>TM</sup>, a Novel Microcrystalline Polysaccharide Particle Engineered from Delta Inulin, Provides Robust Adjuvant Potency Together with Tolerability and Safety // *Vaccine*. 2015. Vol. 33. P. 5920–5926.
6. Сербаева Э.Р., Якупова А.Б., Магамусова Ю.Р., Фархутдинова К.А., Ахметова Г.Р., Кулуев Б.Р. Инулин: природные источники, особенности метаболизма в растениях и практическое применение // *Биомика*. 2020. Т. 12. № 1. С. 67–79.
7. Zeaiter Z., Regonesi M.E., Cavini S., Labra M., Sello G., Gennaro P. Extraction and Characterization of Inulin-Type Fructans from Artichoke Wastes and Their Effect on the Growth of Intestinal Bacteria Associated with Health // *BioMed Research International*. 2019. No. 2. P. 1–8.
8. Khandelwal M., Windle A. Hierarchical Organisation in the Most Abundant Biopolymer – Cellulose // *Mater. Res. Symp. Proc.* 2013. Vol. 1504. P. 1–6.
9. Пастухов А.В. Физико-химические свойства и структурная подвижность сверхсшитых полистиролов: дис. ... д-ра хим. наук. М., 2009. 385 с.
10. Bronstein L.M. Nanoparticles in Nanostructured Polymers // *Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology* / Ed. H.S. Nalwa. 2004. Vol. 7. P. 193–206.

11. Davankov V.A. Structure and Properties of Hypercrosslinked Polystyrene // *Reactive Polymers*. 1990. Vol. 13. P. 27–42.
12. Sidorov S.N., Bronstein L.M., Davankov V.A., Tsyrupa M.P., Solodovnikov S.P., Valetsky P.M. Cobalt Nanoparticle Formation in the Pores of Hyper-Cross-Linked Polystyrene: Control of Nanoparticle Growth and Morphology // *Chemistry of Materials*. 1999. Vol. 11. P. 3210–3215.

### **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

*ПАНСКОВА Любовь Дмитриевна* – студентка, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: panskova@gmail.com

*ГАВРИЛОВА Евгения Павловна* – магистрант, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: ga.evgenya@yandex.ru

*МАНАЕНКОВ Олег Викторович* – кандидат химических наук, доцент кафедры биотехнологии, химии и стандартизации, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: ovman@yandex.ru

*КИСЛИЦА Ольга Витальевна* – кандидат химических наук, доцент кафедры биотехнологии, химии и стандартизации, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: kislitsa@yandex.ru

*СУЛЬМАН Михаил Геннадьевич* – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой биотехнологии, химии и стандартизации, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: cience@science.tver.ru

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА**

Панскова Л.Д., Гаврилова Е.П., Манаенков О.В., Кислица О.В., Сульман М.Г. Гидролиз растительных полисахаридов с использованием полимерного твердого кислотного катализатора // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2025. № 2 (26). С. 93–103.

## **HYDROLYSIS OF PLANT POLYSACCHARIDES USING A POLYMERIC SOLID ACID CATALYST**

**L.D. Panskova, E.P. Gavrilova, O.V. Manaenkov,  
O.V. Kislicsa, M.G. Sulman**  
*Tver State Technical University (Tver)*

**Abstract.** The article examines plant polysaccharides, some of the most common natural biopolymers, which are of great interest as raw materials for obtaining in-demand monosaccharides: glucose, fructose, and xylose. The most promising and readily available polysaccharides are cellulose, inulin, and hemicellulose, all derived from plant biomass. Acid

hydrolysis, which uses mineral acids, is a common process for converting plant polysaccharides into sugars. However, their use is associated with a number of significant drawbacks, including equipment corrosion, the need for disposal, and so on. Therefore, solid acid catalysts appear to be the most promising. Their use significantly simplifies and diversifies the process, allowing it to be applied to a wider range of reactions. Unlike liquid catalysts, solid catalysts are often regenerable, reducing production costs and waste, and, most importantly, significantly reducing corrosivity. Solid acid catalysts include zeolites, heteropoly acids, sulfonated metal oxides, and organo-inorganic composites. Solid acid catalysts based on porous organic polymers hold promise in this area. Their advantages include a high density of acid sites on the surface, low corrosion activity, resistance to chemical and thermal influences, the ability to be functionalized, a large surface area, and low cost due to their relative ease of production.

**Keywords:** hydrolysis, cellulose, inulin, xylose, hypercrosslinked polystyrene.

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*PANSKOVA Lyubov Dmitrievna* – Student, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: panskova@gmail.com

*GAVRILOVA Evgeniya Pavlovna* – Undergraduate Student, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: ga.evgenya@yandex.ru

*MANAENKOV Oleg Viktorovich* – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Biotechnology, Chemistry and Standardization, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: ovman@yandex.ru

*KISLITSA Olga Vitalievna* – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Biotechnology, Chemistry and Standardization, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: kislitza@yandex.ru

*SULMAN Mikhail Gennadievich* – Doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of the Department of Biotechnology, Chemistry and Standardization, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: ciencie@science.tver.ru

### CITATION FOR AN ARTICLE

Panskova L.D., Gavrilova E.P., Manaenkov O.V., Kislitsa O.V., Sulman M.G. Hydrolysis of plant polysaccharides using a polymeric solid acid catalyst // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2025. No. 2 (26), pp. 93–103.