

Б.Ш. Кедейбаев¹, К.М. Лаханова², Ж.Б. Махатов¹

¹ Южно-Казахстанский Государственный университет, Шымкент, Казахстан

² Международный Казахско-Турецкий университет им. Х. Ясави, Туркестан, Казахстан
(E-mail: makhatov_8008@mail.ru, mjasik92@mail.ru)

Исследование процесса получения полисахаридов из отходов переработки пшеницы

Аннотация: В статье приведены результаты по изучению ферментативного совмещенного (гибридного) процесса гидролиз-гидрирования с целью получения сорбита. В настоящей статье изложены результаты исследования предобработки и ферментативного гидролиза пшеничной соломы, а также процесс синтеза сорбита с целью повышения выхода ценных продуктов, необходимых для промышленности. Предобработку соломы проводили в диапазоне температур 190-250 °С при варьировании концентрации сернистой кислоты от 0,6 до 2,5 % масс. Оптимальная температура и продолжительность гидролиза соломы сернистой кислотой составили соответственно 160 °С – 170 °С и 30 – 80 минут. Во всех экспериментах гидролиза соломы наилучшие результаты достигнуты при концентрации сернистой кислоты 1,6 % масс и температуре опыта 150-160 °С. Проведены исследования процессов ферментативного гидролиза соломы. Поскольку бумага является практически чистой целлюлозой, то, при одинаковых кинетических параметрах процессов ферментации, количество образовавшихся сахаров в случае ферментации соломы было бы в 1,49 раза меньше, чем при использовании бумаги. Полученный очищенный глюкозный гидролизат подвергали гидрированию в присутствии никель-алюминий-железо-ванадиевого катализатора. Катализатор из сплава с 7,0% ванадия проявляет наибольшую активность, выход сорбита на котором при 100 °С и 6МПа на 60 минуте гидрирования составляет 58,075%, а скорость гидрирования глюкозы в 1,46 раза выше, чем на скелетном никеле без добавки. Показано, что с ростом давления водорода от 2 до 12 МПа и 40-120 °С скорость гидрирования глюкозы на промотированных титаном никель-алюминий-железо-ванадий катализаторах увеличивается.

Ключевые слова: солома пшеницы, сорбит, целлюлоза, катализатор, ферментативный гидролиз, биомасса.

Обзор литературы. К настоящему моменту получено достаточно большое количество экспериментальных данных о гидролизе целлюлозы в глюкозу, однако информации об одностадийных совмещенных (гибридных) процессах для получения сорбита недостаточно, а описанные в литературе результаты зачастую не согласуются друг с другом.

Анализ литературы по теме работы показал, что в исследуемой области есть ряд нерешенных проблем, поиск решения которых представляется полезным для создания эффективных биокаталитических технологий превращения углеводсодержащих растительного сырья и отходов в ценные химические вещества.

В работе Jianrong Li и др. [1] предлагается способ, который относится к генной инженерии и может быть использован в микробиологической промышленности. Производящие арабит дрожжи или грибы трансформируют ДНК, кодирующей образующую D-ксилозу, D-арабитолдегидрогеназу и ДНК, кодирующей ксилитолдегидрогеназу. Затем выращивают трансформированные дрожжи или грибы в условиях, обеспечивающих синтез ксилита. Ксилит извлекают. Дрожжи выбирают из *Lygosccharomycesrouxii*, *Candidapolymorpha*, *Torulopsiscandida*, *Pichiafarinosa*, *Torulasporahansenii*. Грибы выбирают из *Dendryphiellasalina* и *Schizophyllum commune*. Способ позволяет превращать легко доступные источники углерода, такие, как D-глюкоза в ксилит.

В работе Ning Yan и др. [2] целлюлозу и гемицеллюлозу в биомассе сначала декристаллизуют первый раз концентрированной серной кислотой и подвергают первому гидролизу, в результате чего получают гидролизат, насыщенный сахаром и кислотой. После этого удаляют содержащиеся в биомассе окислы кремния и направляют их на переработку. Затем оставшиеся твердые остатки подвергают повторной декристаллизации и повторному гидролизу.

Полученный в результате раствор сахара после этого подвергают ферментации, используя для этого микроорганизмы, преимущественно дрожжи и бактерии, обеспечивая ферментацию как гексозы, так и пентозы одновременно. Способ позволяет получать сахара из биомассы, содержащей целлюлозу и гемицеллюлозу, что экономически эффективно и не загрязняет окружающую среду.

В работе Jung Woo Han и др. [3] описан способ предварительной обработки целлюлозосодержащего сырья для ферментативного гидролиза, который предусматривает приготовление суспензии сырья и обработку раствором кислоты. В качестве раствора кислоты используют раствор азотной кислоты концентрацией 2,8-6,5%. Раствор нагревают до температуры 98-100 °С и выдерживают в течение 1-5 часов. Полученный продукт фильтруют, промывают. Причем в качестве целлюлозосодержащего сырья используют мискантус или плодовые оболочки злаков. Отработанный по завершению одного цикла раствор кислоты укрепляют концентрированной азотной кислотой до концентрации раствора 2,8-6,5% и многократно используют вновь. Отработанный 18-25 циклов раствор нейтрализуют аммиаком с получением раствора нитрата аммония для использования в виде удобрения.

Способ, относящийся к микробиологической, а также пищевой промышленности и который может быть использован при утилизации отходов, содержащих целлюлозу описан в работе Jian-gong Li и др. [4]. Способ предусматривает предварительную обработку целлюлозосодержащего сырья, из которого используют ячменную или рисовую дробину, или хлопковый линт, или гуза-паю для разрушения кристаллической структуры и увеличения его удельной поверхности. Эту обработку осуществляют путем экструзии. Полученный экструдат подвергают ферментативному гидролизу ферментными препаратами Asp. mix B 2000 или V1mix или целловиридином Г20х, при массовом соотношении фермент: экструдат 1-3:1-9 соответственно. Предлагаемый способ является безотходным, экологичным и недорогим, характеризуется высокой степенью биоконверсии сырья при значительном сокращении времени, необходимого для ее осуществления.

Трофимовой Н.Н. и др. [5] разработан способ включающий стадию гидролиза целлюлозосодержащей биомассы с получением водного сахарного раствора. Затем полученный водный сахарный раствор фильтруют через наночелювчатую мембрану и/или обратноосмотическую мембрану. Очищенный сахарный раствор собирают со стороны впуска и удаляют ингибирующие ферментацию вещества со стороны фильтрата. Указанные ингибирующие ферментацию вещества представляют собой одно или более соединений из органических кислот, соединений фурана и фенольных соединений. Изобретение позволяет получить очищенный от ингибирующих ферментацию соединений сахарный сироп простым способом и повысить эффективность ферментационного получения различных химических продуктов.

В работе [6] сравнивали активность 6 штаммов *Zygomonas mobilis* в отношении D-сорбита и глюконовой кислоты.

Штамм *Zygomonas mobilis* ATCC-29191 по сравнению с другими показал сравнительно хороший рост и высокий выход продуктов. Для данного штамма было исследовано влияние начальной концентрации субстратов на выход D-сорбита и глюконовой кислоты в периодическом процессе [7]. Эквивалентные концентрации глюкозы и фруктозы варьировали от 100 до 750 г/л. Увеличение продуктивности происходило при повышении начальной концентрации субстрата до 650 г/л. При достижении 750 г/л наблюдалось падение продуктивности.

Также было установлено, что при начальной концентрации 100 г/л глюкоза и фруктоза одинаково превращались в сорбит и глюконовую кислоту, особенно в начальный период реакции. Однако после 20 минут происходил сдвиг в метаболизме сахаров, характеризующийся: повышением потребления глюкозы, сильным уменьшением потребления фруктозы, снижением выхода сорбита и уменьшением концентрации глюконовой кислоты. Увеличение концентрации субстратов до 600 г/л приводило почти к полной конверсии сахаров до сорбита и глюконовой кислоты.

Материалы и методы. Нами представлены результаты исследования предобработки и ферментативного гидролиза пшеничной соломы, а также процесс синтеза сорбита с целью повышения выхода ценных продуктов, методом совмещенного (гибридного) процесса гидролиз-гидрирование. Предварительно исследуемое растительное сырье измельчалось и сортировалось. Индивидуальные моносахариды в гидролизатах анализировали бумажной хроматографией с использованием бумаги Filtrak FN-3, 11 и 14 в системах растворителей бутанол-уксусная кислота - вода (4:1:5). Вещества обнаруживали опрыскиванием сначала первым проявителем K_2SO_4 , затем смесью бензидина, ацетона и соляной кислоты в соотношении 10:2:1. Сплавы готовили в высокочастотной плавильной печи по разработанной нами технологии. В кварцевый тигель помещали рассчитанное количество алюминия и постепенно нагревали до $1000 - 1100^\circ C$, затем вводили рассчитанное количество никеля, железа и титана. В результате экзотермической реакции температура расплава поднималась до $1700-1800^\circ C$, который перемешивался в течении 3-5 минут индукционным полем. В графитовых изложницах сплав охлаждали на воздухе и измельчали до зерен 0,25 мм. Активацию сплавов проводили путем выщелачивания 10-ным водным раствором едкого натрия, взятом в объеме 40 см³ на 1 г сплава на кипящей водяной бане в течение 1 часа, после чего катализатор отмывали от щелочи водой до нейтральной реакции по фенолфталеину. Полученные таким образом катализаторы использовали для гидрирования глюкозы. Для экспрессного выявления оптимального катализатора и изучения кинетических закономерностей опыты первоначально проводили в видеоизмененном реакторе периодического действия. Аппарат снабжен герметическим приводом мощностью 0,6 кВт, скорость вращения мешалки 2800 об/мин, что позволяет убрать диффузионные осложнения реакции.

Результаты и обсуждение. Предобработку соломы проводили в диапазоне температур $190-250^\circ C$ при варьировании концентрации сернистой кислоты от 0,6 до 2,5 % масс. Повышение температуры в большей степени, по сравнению с повышением концентрации кислоты, способствовало сокращению продолжительности обработки, необходимой для достижения максимального выхода редуцирующих веществ (РВ), больше, чем реакции разложения моносахаридов. Выход моносахаридов, следовательно, увеличивается вместе с температурой реакции. Влияние концентрации сернистой кислоты при температурах ниже $150^\circ C$ заметно проявляется, но при повышении температуры до $160^\circ C$ этот эффект не проявляется.

Оптимальная температура и продолжительность гидролиза соломы сернистой кислотой составили соответственно $160^\circ C - 170^\circ C$ и 30 – 80 минут. С повышением концентрации сернистой кислоты наблюдается увеличение скорости распада сахаров. Оптимальной является концентрация сернистой кислоты 1,77 % масс. Предобработку соломы проводили в следующих условиях гидро модуля от 1:3 до 1:5, 1,6 масс. процентов сернистой кислоты температура опыта $150^\circ C$. Наибольший выход РВ достигнут при гидро модуле 1:3,5, 1:5 и 1:5,8 и составил 26,8 %, 27,0 % и 29,2 % соответственно. Моносахаридный состав гидролизатов был представлен преимущественно глюкозой, концентрация которой в гидролизате достигала 25 г/л.

Таким образом, обработка соломы 1,35 % масс. сернистой кислотой при температуре $150^\circ C$, гидро модуле 1:3 в течение 60 мин позволяет получать гидролизаты с концентрацией редуцирующих веществ до 7,6 %, что будет способствовать их дальнейшему использованию в микробиологической промышленности. При применении гидро модуля 1:4,5 максимальная концентрация редуцирующих веществ в гидролизате достигнута при температуре $160^\circ C$, концентрации сернистой кислоты 1,6 % масс. Выход редуцирующих веществ составил 25,57% от абсолютно сухого вещества. Во всех экспериментах гидролиза соломы наилучшие результаты достигнуты при концентрации сернистой кислоты 1,6 % масс и температуре опыта $150-160^\circ C$.

Модельные эксперименты для изучения ферментативной кинетики осуществляли, используя в качестве источника целлюлозы бумагу. В экспериментальных процессах ферментализации использовалась предварительно размолотая, просеянная и просушенная до постоянной величины в сушильном шкафу при температуре $120^\circ C$ в течение 2 часов пшеничная солома,

которая предварительно запаривалась в автоклаве при избыточном давлении 0,05 - 0,1 МПа в течение 0,5 - 1 часа.

Процессы ферментализации проводили при поддержании активной кислотности в диапазоне 4,9-5,0 ед. рН и температуре 49 °С. Длительность процессов ферментализации составляла 7-10 часов.

Исследования кинетики и стехиометрии реакций ферментативного гидролиза дисперсных твердофазных субстратов растительного происхождения проводили в лабораторном ферментере с автоматизированным регулированием рН и термостатированием в присутствии ферментами *Aspergillus awamori* F-RKM 0719 и *Aspergillus terreus* штамм 499.

Результаты эксперимента приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты ферментализации соломы пшеницы в ферментере

Номер процесса	Количество фермента, ед. активности	Максимальная концентрация РВ, %	Выход РВ, %
1	62-75,8	0,43	5,16
2	62-75,8	0,46	5,52
3	6,2-17,6	0,46	5,52
4	31-37,9	0,48	5,72
5	62-75,8	0,32	3,84
6	1,6-1,9	0,26	3,12
7	3,0-3,8	0,26	3,12
8	4,6-5,7	0,22	2,64

С целью снижения погрешности и проверки действия фермента на однокомпонентных субстратах была проведена серия экспериментов по ферментализации измельченной обеззоленной бумаги в ферментализерометрическом конвертере ProductID6 лб л.

Легко убедиться, что зависимость конечной концентрации РВ (следовательно, и средней скорости ферментализации) от средней фермента линейна, что и теоретически следует из модели Михаэлиса-Ментен.

Результаты сравнительных процессов ферментализации соломы пшеницы бумаги представлены на рисунке 1.

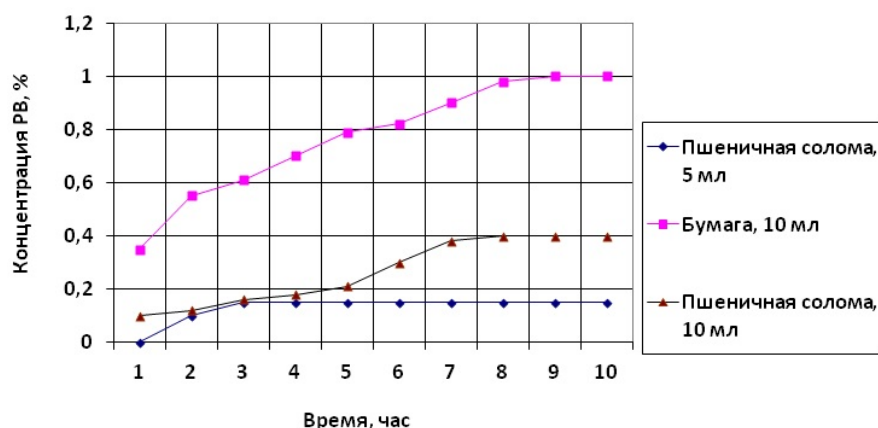


Рисунок 1 – Изменение концентрации РВ в процессах ферментализации бумаги и пшеничной соломы

Поскольку бумага является практически чистой целлюлозой, то, при одинаковых кинетических параметрах процессов ферментализации, количество образовавшихся сахаров в случае ферментализации соломы было бы в 1,49 раза меньше, чем при использовании бумаги. Однако в действительности структура соломы отличается большей плотностью упаковки

волокон и присутствием других, мешающих компонентов, что приводит к замедлению скорости процесса ферментализа в 2,5 раза.

Полученный очищенный глюкозный гидролизат подвергали гидрированию в присутствии никель-алюминий-железо-ванадиевого катализатора. Из таблицы 2 видно, что исследуемые никелевые катализаторы в изученных нами условиях проявляют высокую активность и стабильность по сорбиту, скорость образования последнего меняется в зависимости количества легирующих металлов в исходных сплавах. Катализатор из сплава с 7,0% ванадия проявляет наибольшую активность, выход сорбита на котором при 100 °С и 6МПа на 60 минуте гидрирования составляет 58,075%, а скорость гидрирования глюкозы в 1,46 раза выше, чем на скелетном никеле без добавки.

Таблица 2 – Влияние количества введенной добавки титана на активность никель-алюминий-железного-ванадиевого катализатора, (РН2 = 6МПа, Топ -100 °С)

Добавка, %	топ., °С	Выход сорбита (%) во времени (мин)					W. 104 моль/Г кт.мин
		0	10	20	40	60	
0	100	16,56	21,39	26,91	36,11	43,815	12,535
1,0	100	16,675	21,045	28,175	35,995	44,275	12,995
3,0	100	18,745	25,875	31,97	42,55	50,255	14,72
5,0	100	20,585	27,83	33,005	46,575	55,545	16,215
7,0	100	21,505	29,095	36,915	47,61	58,075	18,285
10,0	100	17,595	26,45	34,155	39,215	56,695	17,02

Показано, что с ростом давления водорода от 2 до 12 МПа и 40-120 °С скорость гидрирования глюкозы на промотированных титаном никель-алюминий-железо катализаторах увеличивается. Однако предельные значения давления водорода не установлены. "Кажущееся" стремления скорости реакции к обусловлено недостатком гидрируемого соединения на поверхности катализатора, о чем свидетельствует дробный порядок реакции по глюкозе. Порядок по водороду зависит как от температуры опыта, так и от давления водорода. Опыты по влиянию концентрации глюкозы и водорода показывают, что порядок реакции по гидрируемому веществу изменяется от нулевого до дробного, а по водороду – дробный.

Список литературы

- 1 Jianrong Li, Helena S. M. P. Soares, Jacob A. Moulijnand Michiel Makkee. Simultaneous hydrolysis and hydrogenation of cellobiose to sorbitol in molten salt hydrate media. Catalysis Science & Technology/ The Royal Society of Chemistry 2013 Catal. Sci. Technol., 2013, 3, 1565-1572
- 2 Ning Yan, Chen Zhao, Chen Luo, Paul J. Dyson, Haichao Liu, and Yuan Kou One-Step Conversion of Cellobiose to C6-Alcohols Using a Ruthenium Nanocluster Catalysis Communications j.am.chem. SOC. 9 VOL. 128, NO. 27, 2006 8715 Published on Web 06/20/2006
- 3 Joung Woo Han, Hyunjoo Lee, Joung Woo Han, Hyunjoo Lee. Direct conversion of cellulose into sorbitol using dual-functionalized catalysts inneutral aqueous solution. Catalysis Communications 19 (2012) 115–118
- 4 Jianrong Li, Helena S. M. P. Soares, Jacob A. Moulijn and MichielMakkee. Simultaneous hydrolysis and hydrogenation of cellobiose to sorbitol in molten salt hydrate media. Catalysis Science & Technology/ This journal is c The Royal Society of Chemistry 2013 Catal. Sci. Technol., 2013, 3, 1565-1572
- 5 N.N.Trofimova, V.A.Babkin Study of acid hydrolysis of larch wood polysaccharides to obtain crystalline glucose/ Chemistry of plant raw materials. 2009. №3. p. 31-37.
- 6 S.A.Autlov, N.G.Bazarnova, E.Yu.Kushnir Microcrystalline cellulase: structure, properties and applications (review)// Chemistry of plant raw materials. 2013. №3.p.33-41.
- 7 S.Ardizzone, F.S.Dioguardi, T.Mussini, P.R.Mussini, S.Rondinini, B.Vercelli, A.Vertova Microcrystalline cellulose powders: structure, surface features and water sorption capability// Cellulose 1999. Vol. 6. N1.P. 57–69.

Б.Ш.Кедельбаев¹, К.М. Лаханова², Ж.Б. Махатов¹

¹ М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті, Шымкент қ., Қазақстан.

² Х.А.Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., Қазақстан.

(E-mail:makhatov_8008@mail.ru, mjasik92@mail.ru)

Бидай қалдықтарынан полисахаридтерді қайта өңдеу арқылы алу үдерісін зерттеу

Аннотация: Мақалада сорбитті алу мақсатында гидролиз – сутектендірудің ферментативті аралас (гибридті) үрдістерін зерттеудің нәтижелері көрсетілген. Дәл осы мақалада өндіріске қажетті бағалы өнімдердің шығымын жоғарылату мақсатында, бидай сабанын алдын-ала өңдеу және ферментативті гидролиз нәтижелері сонымен қатар сорбит синтезін зерттеу нәтижелері көрсетілген. Сабанды алдын-ала өңдеуді температурасы 190-250 °C аралығында күкіртті қышқылдың 0,6 бастап 2,5 % масс.концентрацияларында түрлендіріп жүргізілді. Сабанды күкіртті қышқылда гидролиздеудің оңтайлы температурасы 160 °C–170 °C және ұзақтығы 30–80 минутты құрады. Сабанды гидролиздеудің барлық тәжірибелеріндегі ең жақсы нәтиже күкіртті қышқылдың 1,6% масс.концентрациясында және 150-160 °C температурада болды. Сабанды ферментативті гидролиздеу үрдістеріне зерттеулер жүргізілді. Қағаз - тәжірибе жүзінде қаншалықты таза целлюлоза болып табылатындықтан, кинетикалық параметрлері бірдей ферментализ үдерісінің кезінде сабан ферментализі жағдайында түзілетін қант мөлшері, қағазды қолданғанға қарағанда 1,49 есе аз. Алынған тазаланған глюкоза гидролизаты никель-алюминий-темір-хромдық катализатордың қатысуымен сутектендірілді. 7,0% хром құймасынан жасалған катализатор сорбиттің шығуына үлкен белсенділік көрсетеді, 100 °C және 6МПа, 60 минут кезіндегі сутектендіру 50,5%, ал глюкозаны сутектендіру қоспасыз қаңқалы никельге қарағанда жылдамдығы 1,46 есе жоғары. Сутектің қысымының өсуі 2 ден 12 МПа дейін және 40-120 °C глюкозаны сутектендіру жылдамдығы белсендірілген титан никель-алюминий-темір катализаторында үлкейетіндігі көрсетілді.

Түйін сөздер: бидай сабаны, сорбит, целлюлоза, катализатор, ферментативті гидролиз, биомасса.

B.Sh. Kedelbayev¹, K.M.Lakhanova², Zh.B. Makhatov¹

¹ M.Auezov South Kazakhstan State University, Shymkent, Kazakhstan.

² Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan.

(E-mail:makhatov_8008@mail.ru,mjasik92@mail.ru)

Study of the polysaccharides obtaining process from wheat processing waste

Abstract: The article presents the results of the study of the enzymatic combined (hybrid) hydrolysis-hydrogenation process for the production of sorbitol. This article describes the results of the pre-treatment and enzymatic hydrolysis of wheat straw, as well as the synthesis of sorbitol in order to increase the yield of valuable products needed for industry. Pretreatment of straw carried out in the temperature range 190-250 °C with a variation in the concentration of sulfuric acid from 0.6 to 2.5% by weight. The optimum temperature and duration of hydrolysis of straw with sulfurous acid at 160 °C - 170 °C and in 30-80 minutes, respectively. In all straw hydrolysis experiments, the best results achieved with a sulfuric acid concentration of 1.6% by weight and an experimental temperature of 150-160 °C. Studies of the processes of enzymatic hydrolysis of straw carried out. As well as, the paper is practically pure cellulose, then, with the same kinetic parameters of the fermentolysis processes, the amount of formed sugars in the case of fermentolysis of straw would be 1.49 times less than when using paper. The resulting purified glucose hydrolyzate was subjected to hydrogenation in the presence of a nickel-aluminum-iron-chromium catalyst. The catalyst of the alloy with 7.0% chromium exhibits the greatest activity, the yield of sorbitol at which at 100 °C and 6MPa for 60 minutes of hydrogenation is 50.5%, and the rate of hydrogenation of glucose is 1.46 times higher than for skeleton nickel without an additive. It is shown that with increasing hydrogen pressure from 2 to 12 MPa and from 40-120 °C, the rate of hydrogenation of glucose on titanium-promoted nickel-aluminum-iron catalysts increases.

Keywords: wheat straw, sorbitol, cellulose, catalyst, enzymatic hydrolysis, biomass.

References

- 1 Jianrong Li, Helena S. M. P. Soares, Jacob A. Moulijnand Michiel Makkee. Simultaneous hydrolysis and hydrogenation of cellobiose to sorbitol in molten salt hydrate media. Catalysis Science & Technology/ The Royal Society of Chemistry 2013 Catal. Sci. Technol., 2013, 3, 1565-1572
- 2 Ning Yan, Chen Zhao, Chen Luo, Paul J. Dyson, Haichao Liu, and Yuan Kou One-Step Conversion of Cellobiose to C6-Alcohols Using a Ruthenium Nanocluster Catalysis Communications j.am.chem. SOC. 9 VOL. 128, NO. 27, 2006 8715 Published on Web 06/20/2006
- 3 Joung Woo Han, Hyunjoo Lee, Joung Woo Han, Hyunjoo Lee. Direct conversion of cellulose into sorbitol using dual-functionalized catalysts inneutral aqueous solution. Catalysis Communications 19 (2012) 115–118
- 4 Jianrong Li, Helena S. M. P. Soares, Jacob A. Moulijn and MichielMakkee. Simultaneous hydrolysis and hydrogenation of cellobiose to sorbitol in molten salt hydrate media. Catalysis Science & Technology/ This journal is c The Royal Society of Chemistry 2013 Catal. Sci. Technol., 2013, 3, 1565-1572
- 5 N.N.Trofimova, V.A.Babkin Study of acid hydrolysis of larch wood polysaccharides to obtain crystalline glucose/ Chemistry of plant raw materials. 2009. №3. p. 31-37.
- 6 S.A.Autlov, N.G.Bazarnova, E.Yu.Kushnir Microcrystalline cellulase: structure, properties and applications (review)// Chemistry of plant raw materials. 2013. №3.p.33-41.
- 7 S.Ardizzone, F.S.Dioguardi, T.Mussini, P.R.Mussini, S.Rondinini, B.Vercelli, A.Vertova Microcrystalline cellulose powders: structure, surface features and water sorption capability// Cellulose 1999. Vol. 6. N1.P. 57–69.

Сведения об авторах:

Кедельбаев Б.Ш. – техникалық ғылымдар докторы, профессор, М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан Мемлекеттік университеті.

Лаханова К.М. – ауылшаруашылығы ғылымдарының докторы, профессор, Қожа Ахмед Яссауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, «Адам морфологиясы және физиологиясы» кафедрасы.

Махатов Ж.Б. – докторант, М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті, «Химиялық инженерия және Биотехнология» жоғары мектебі, «Биотехнология» кафедрасы.

Kedelbaev B.Sh. – Doctor of Technical Sciences, Professor, M.Auezov South-Kazakhstan State University, Higher School of "Chemical Engineering and Biotechnology", Department of "Biotechnology";

Lakhanova K.M. – Doctor of agricultural sciences, professor, H.A.Yasaui International Kazakh-Turkish University; Department of Human Morphology and Physiology;

Makhatov Z.B. – Phd student, M.Auezov South-Kazakhstan State University, Higher School of "Chemical Engineering and Biotechnology", Department of "Biotechnology".

Поступила в редакцию 07.04.2018