УДК 674.812-419.4

**БИОКОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ
НА ОСНОВЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ДРЕВЕСИНЫ И ЛЕВАНА,
ПОЛУЧЕННОГО ПУТЕМ МИКРОБНОГО БИОСИНТЕЗА
AZOTOBACTER VINELANDII D-08**

Ревин В.В., Шутова В.В., Новокупцев Н.В.

ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва (национальный исследовательский университет)», Саранск, e-mail: nikolay.novokuptsev@yandex.ru

Получены биокomпозиционные материалы на основе ультрадисперсных частиц древесины и микробного полисахарида левана, используемого в качестве связующего в составе культуральной жидкости. Измельчение сосновых опилок до ультрадисперсного размера проводили на планетарной шаровой мельнице. Синтез левана осуществлялся штаммом *Azotobacter vinelandii* в питательной среде с мелассой. Максимальный выход левана составлял 17,73 г/л. Также повышалась динамическая вязкость до 0,71–0,80 дПа·с к 72 ч культивирования. Предел прочности при статическом изгибе у биокomпозитов с леваносодержащим связующим достигал 23,7 МПа. Значение прочности и плотности увеличивались с ростом давления и температуры прессования. При введении в пресс-массы 1 и 3% жидкого стекла предел прочности повышался до 33,8 и 35,6 МПа соответственно, а разбухание по толщине снижалось до 9,5–8,5%. Получен новый перспективный экологически безопасный материал, который может найти широкое применение, в частности в строительной и мебельной промышленности.

Ключевые слова: *Azotobacter vinelandii*, меласса, леван, полисахаридное связующее, биокomпозиционный материал, ультрадисперсные древесные частицы

**BIOCOMPOSITE MATERIALS BASED ON ULTRAFINE PARTICLES
OF WOOD AND LEVAN PRODUCED BY MICROBIAL BIOSYNTHESIS
AZOTOBACTER VINELANDII D-08**

Revin V.V., Shutova V.V., Novokuptsev N.V.

Ogarev Mordovia State University, Saransk, e-mail: nikolay.novokuptsev@yandex.ru

It was obtained the biocomposite materials based on ultrafine particles of wood and a microbial polysaccharide levan used as a binder component of the culture broth. Grinding pine sawdust to the ultrafine size was performed on a planetary ball mill. Levan was synthesized by *Azotobacter vinelandii* strain in a nutrient medium with molasses. The maximum yield of the levan was 17,73 g/l. Also the dynamic viscosity was increased up to 0,71–0,80 dPa sec for 72 hours of cultivation. Tensile strength of the composites with a binder containing levan reached 23,7 MPa. Strength and density of the biocomposite materials were increased with increasing of the pressure and temperature during compression. Introduction into the press-mass 1 and 3% of liquid glass resulted in increasing tensile strength up to 33,8 and 35,6 MPa, respectively, and thickness swelling decreased to 9,5–8,5%. A new perspective eco-friendly material was obtained that can find wide application, in particular at building industry and furniture manufacturing.

Keywords: *Azotobacter vinelandii*, molasses, levan, polysaccharide binder, biocomposite material, ultrafine wood particles

Технология производства древесных пластиков (wood based panels) – одна из наиболее динамично развивающихся отраслей деревоперерабатывающей промышленности [16]. В настоящее время на рынке преобладают древесностружечные материалы (ДСП), где в качестве связующего используют различные синтетические смолы, обладающие высокой степенью токсичности. Для ее снижения используют различные способы [13]. К сожалению, кардинально данная проблема не решена. Поэтому ведется интенсивный поиск новых природных соединений, способных выступать в качестве биологического связующего [1, 4, 9].

Сейчас разрабатываются технологии получения клеевых композиций на основе микробных полисахаридов. Примером могут служить адгезивы на основе культу-

ральной жидкости бактерии *Leuconostoc mesenteroides*, синтезирующей полисахарид декстран. Микроорганизм выращивают на питательной среде, содержащей в качестве источника сахарозы мелассу [1, 4, 9]. Кроме декстрана адгезивными свойствами обладает бактериальный экзополисахарид леван. Имеются работы по использованию его в качестве экологически чистого клея для склеивания древесины [11, 14].

Большой интерес вызывает получение биокomпозиционных материалов на основе отходов перерабатывающей промышленности [12, 15], тем самым создаются безотходные технологии и снижается себестоимость готового продукта. Был получен инновационный мелкодисперсный древесный композиционный материал на порошковом связующем DS (и его модификация DS-1),

который по физико-механическим показателям превосходит существующие аналоги. Внедрение таких перспективных композиционных материалов поможет решить проблему комплексного использования древесного сырья, а также других экономических, экологических и энергосберегающих проблем [2]. Поэтому целью исследования стало получение культуральной жидкости, содержащей экзополисахарид леван, при культивировании *Azotobacter vinelandii* Д-08 на мелассных средах и ее использование для изготовления биокомпозиционных материалов на основе ультрадисперсных частиц древесины.

Для поддержания культуры бактерий *A. vinelandii* Д-08 выращивали в биологических пробирках на агаризованной питательной среде следующего состава, г/л: KH_2PO_4 – 0,2; K_2HPO_4 – 0,8; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,2; $\text{CaSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,2; FeCl_3 – 0,05; Na_2MnO_4 – 0,05; дрожжевой экстракт – 0,5; сахароза – 20,0; агар-агар – 20,0, pH среды 6,8–7,2. Режим стерилизации сред 121°C в течение 20 мин. Продолжительность культивирования 24 ч при 28°C . Для получения инокулята *A. vinelandii* Д-08 использовали жидкую сахарозосодержащую среду того же состава без агара. Культивирование осуществляли в конических колбах объемом 250 мл, содержащих 100 мл среды. Исходным посевным материалом являлась культура на скошенной агаризованной среде, с которой делали смыв 10 мл питательной среды. Суспензией микроорганизмов в количестве 10 мл засеивали посевные колбы со 100 мл среды. Культивирование *A. vinelandii* проводили в термостатируемом шейкере Environmental shaker – Inkubator ES – 20/60 («BioSan», Рига, Латвия) 24 ч при 250 об/мин и температуре 28°C . Культивирование осуществляли в конических колбах объемом 250 мл со 100 мл среды с содержанием мелассы в количестве 7 и 10% по массе при внесении посевного материала в количестве 10%.

Измерение pH проводили с помощью портативного pH meter Waterproof марки HI 98129 (Hanna Instruments, Санде, Германия). Экзополисахариды выделяли осаждением из культуральной жидкости двойным объемом 96% этилового спирта и высушиванием осадка при 105°C . Для измерения вязкости культуральной жидкости бактерий *A. vinelandii* использовали вискозиметр роторный Viscotester VT-04F (Rion, Токио, Япония).

Для прессования готовили контрольную пресс-массу, состоящую из 100 г ультрадисперсной древесины, полученной измельчением сосновых опилок (*Pinus sylvestris*)

размером около $4-7 \times 1-2 \times 0,5-1,5$ мм до ультрадисперсного размера на планетарной шаровой мельнице Retsch PM 400 (Германия) в течение 15 минут при 380 об/мин, и пресс-массу, состоящую из 100 г этой же ультрадисперсной древесины и 50 мл культуральной жидкости, содержащей леван, полученной в результате выращивания *A. vinelandii* Д-08 на питательной среде с мелассой, послеспиртовой бардой и молочной сывороткой. Перед смешиванием с ультрадисперсной древесиной в культуральную жидкость вносили 1% борной кислоты в качестве антисептика [6]. Высушивание пресс-масс проводилось в сушильном шкафу при температуре 70°C до влажности 6–8%. Полученные пресс-массы подвергали горячему прессованию на формовочном гидравлическом прессе GT – 7014 – А50 при давлении 20 т (26,1 МПа) и 30 т (39,2 МПа), в течение 10 минут при температуре 100, 120, 140 и 160°C .

Определение физических свойств (плотность, водостойкость и разбухание по толщине в воде) биокомпозиционных материалов проводили в соответствии с ГОСТ 10634–88, определение предела прочности при статическом изгибе по ГОСТ 10635–88 и ГОСТ 28840–90. Статистическую обработку результатов проводили с использованием программы FSTAT или MS Excel. Рассчитывали среднее арифметическое и ошибку среднего.

Известно, что наибольшее количество экзополисахаридов (ЭПС) бактерии *A. vinelandii* синтезируют при выращивании на средах, содержащих в качестве источника углерода мелассу и глюкозу [3, 8]. Поэтому в работе подбирали условия синтеза полисахарида левана с использованием в качестве единственного источника питательных веществ мелассы – отхода сахарного производства. Культивирование бактерий *A. vinelandii* Д-08 (продуцента левана) проводилось в средах с различным содержанием мелассы (табл. 1).

В процессе роста (табл. 1) pH сред снижался. В начале культивирования величина pH соответствовала 6,85, она достигала к 72 ч на средах с 7 и 10% мелассы 6,04 и 6,13 единиц pH соответственно. При этом наблюдался высокий выход полисахарида левана: после 72 ч роста он составил 16,64 и 17,73 г/л соответственно. Также повышалась динамическая вязкость, которая после 72 ч культивирования была равна 0,71 и 0,80 дПа·с на 7 и 10% мелассных средах соответственно.

На следующем этапе работы мы получали биокомпозиционные материалы на основе ультрадисперсной древесины и биологического связующего, содержащего леван.

Таблица 1

Влияние концентрации мелассы в среде на pH, накопление левана и значение динамической вязкости при культивировании *A. vinelandii* Д-08

Содержание мелассы, %	Время роста, ч	pH	Содержание левана, г/л	Динамическая вязкость, дПа·с
7	24	6,53 ± 0,00	11,26 ± 0,95	0,24 ± 0,01
	48	6,37 ± 0,01	14,05 ± 0,39	0,55 ± 0,01
	72	6,04 ± 0,00	16,64 ± 0,96	0,71 ± 0,02
10	24	6,58 ± 0,01	12,50 ± 0,26	0,35 ± 0,01
	48	6,43 ± 0,02	14,18 ± 1,29	0,70 ± 0,00
	72	6,13 ± 0,01	17,73 ± 0,66	0,80 ± 0,00

Мы предположили, что явление механоактивации древесных частиц может позволить получить древесные композиционные материалы с улучшенными физическими характеристиками в результате образования прочных адгезионных связей со связующим. Ультразвук – процесс обработки материала на шаровых мельницах и дезинтеграторах, конечным продуктом которого являются частицы субстрата с размерами 10^{-6} – 10^{-9} м. Измельчение опилок до ультрадисперсного размера проводили на планетарной шаровой мельнице. Ранее методами лазерной интерференционной микроскопии и динамического рассеяния выявлено, что при этом появляются ультрадисперсные частицы (УДЧ) различных размеров (от 2 до 1100 нм) [10]. Были определены основные физико-механические параметры биокомпозиционных материалов на основе УДЧ и леваносодержащего биологического связующего.

При невысоких температурах прессования (100 и 120 °С) значения прочности при статическом изгибе биокомпозитов были очень низкими (табл. 2). Повышение температуры прессования до 160 °С значительно увеличивало этот показатель. Более высокое давление прессования (39,2 МПа) также приводило к более высоким пределам прочности при статическом изгибе. Значения этих показателей у контрольных образцов были намного ниже, чем у биокомпозитов с добавлением леваносодержащего связующего. Биокомпозиты со связующим по пределу прочности при статическом изгибе соответствовали требованиям ГОСТ 10632-2014 «Плиты древесностружечные. Технические условия» (не менее 11 МПа) при режимах прессования 26,1 МПа и 160 °С, 39,2 МПа и 120–160 °С. Значения плотности полученных материалов находились в пределах от 818,1 до 1455,0 кг/м³. Они увеличивались с повышением температуры и давления прессования.

Таким образом, мы показали, что леван можно использовать как биосвязующее

для производства экологически безопасных композиционных материалов. Однако биокомпозиты имели низкую влагостойкость. Чтобы улучшить этот показатель, в следующей серии опытов мы вносили в пресс-массу натриевое жидкое стекло, которое является экологически безопасной, универсальной, дешевой и доступной добавкой [5], и подбирали его процентное содержание для снижения водопоглощения и разбухания в воде.

Введение в пресс-массу жидкого стекла привело к повышению прочности и плотности биокомпозитов (табл. 3). Пределы прочности при статическом изгибе материалов с гидрофобной добавкой при увеличении температуры и давления прессования во всех вариантах увеличивались. При 1 % жидкого стекла данный показатель при режимах прессования 26,1 и 39,2 МПа и 140–160 °С соответствовал требованиям стандарта. Значения плотностей увеличивались с повышением температуры и давления от 1327,3 до 1501,0 кг/м³.

При добавлении жидкого стекла в количестве 3 % наблюдались более высокие значения плотности и прочности, чем без гидрофобизатора и 1 % добавки. При этом при более мягких режимах прессования увеличение прочности было еще значительнее. Все режимы обеспечивали стандартные показатели предела прочности при статическом изгибе (кроме 100 °С и 26,1 МПа). Плотность изменялась от 1462,7 до 1529,0 кг/м³.

Далее мы определяли влагостойкость образцов с гидрофобной добавкой, значения приведены в табл. 4. Этот параметр важен для создания влагостойких материалов, что расширит возможности использования биокомпозитов. При использовании в качестве гидрофобизатора натриевого жидкого стекла происходило снижение значений водопоглощения и разбухания по толщине в воде. Это связано с образованием натриевого силикатного камня, который препятствует проникновению воды в более

глубокие слои плиты, однако температура прессования 100 и 120°C не дала возможность измерить влагостойкость, поскольку образцы распались в воде. Увеличение содержания гидрофобизатора от 1 до 3% повышало влагостойкость биокомпозитов.

При увеличении температуры до 160°C и давления прессования до 39,2 МПа водопоглощение и разбухание по толщине материалов снижались. По ГОСТ 32399-2013 «Плиты

древесностружечные влагостойкие. Технические условия» разбухание по толщине для плит РЗ толщиной от 6 до 13 мм за 24 ч не более 17%. При 160°C, 26,1 МПа и 3% жидкого стекла, а также при 39,2 МПа, 140–160°C, 1 и 3% добавки значения разбухания по толщине соответствовали данным требованиям. Самыми влагостойкими оказались образцы, прессованные при 39,2 МПа и 160°C, – 9,5% при 1% жидкого стекла и 8,5% при 3%.

Таблица 2

Плотность и предел прочности биокомпозитов из УДЧ и биологического связующего

Давление прессования, МПа	Температура прессования, °С	Плотность, кг/м ³		Предел прочности, МПа	
		Без связующего (контроль)	Со связующим	Без связующего (контроль)	Со связующим
26,1	100	1038,8 ± 20,0	818,1 ± 38,4	1,9 ± 0,4	1,1 ± 0,1
	120	1234,0 ± 6,8	1052,1 ± 40,2	2,9 ± 0,6	2,1 ± 0,3
	140	1292,3 ± 14,9	1336,1 ± 9,7	5,7 ± 1,1	7,4 ± 0,4
	160	1387,3 ± 17,0	1447,3 ± 3,2	8,6 ± 0,4	20,6 ± 0,5
39,2	100	1241,3 ± 28,9	1209,3 ± 23,4	2,1 ± 0,0	4,8 ± 1,1
	120	1266,2 ± 11,2	1345,4 ± 28,6	4,1 ± 1,3	11,6 ± 2,1
	140	1341,1 ± 36,5	1451,3 ± 14,7	8,0 ± 1,9	22,0 ± 1,3
	160	1412,3 ± 4,3	1455,0 ± 7,0	12,5 ± 0,6	23,7 ± 1,3

Таблица 3

Физико-механические показатели биокомпозитов из УДЧ и левансодержащего связующего с введением жидкого стекла

Давление прессования, МПа	Температура прессования, °С	Плотность, кг/м ³		Предел прочности, МПа	
		1% жидкого стекла	3% жидкого стекла	1% жидкого стекла	3% жидкого стекла
26,1	100	1327,3 ± 9,1	1389,0 ± 11,1	3,8 ± 0,4	7,2 ± 0,6
	120	1365,3 ± 15,2	1462,7 ± 2,3	6,7 ± 1,2	17,0 ± 0,4
	140	1419,0 ± 12,0	1484,3 ± 7,1	14,6 ± 1,8	22,2 ± 1,0
	160	1431,0 ± 19,1	1526,3 ± 9,9	22,9 ± 2,2	26,5 ± 1,0
39,2	100	1358,0 ± 13,9	1465,7 ± 5,5	5,7 ± 1,3	12,7 ± 1,6
	120	1414,7 ± 7,3	1485,0 ± 2,3	10,3 ± 1,2	20,8 ± 0,8
	140	1452,7 ± 13,3	1488,0 ± 2,5	24,2 ± 1,6	29,9 ± 1,1
	160	1501,0 ± 8,2	1529,0 ± 2,6	33,8 ± 0,8	35,6 ± 0,7

Таблица 4

Водостойкость биокомпозитов из УДЧ и левансодержащего связующего с введением жидкого стекла

Давление прессования, МПа	Температура прессования, °С	Водопоглощение, %		Разбухание в воде, %	
		1% жидкого стекла	3% жидкого стекла	1% жидкого стекла	3% жидкого стекла
26,1	100	–	–	–	–
	120	–	–	–	–
	140	47,0 ± 9,2	28,0 ± 3,2	34,3 ± 3,9	27,9 ± 1,9
	160	15,3 ± 3,1	14,4 ± 2,5	20,1 ± 3,8	16,0 ± 1,8
39,2	100	–	–	–	–
	120	–	–	–	–
	140	27,6 ± 3,3	13,8 ± 0,9	16,3 ± 1,1	12,8 ± 1,9
	160	12,9 ± 2,8	6,2 ± 1,9	9,5 ± 1,9	8,5 ± 2,2

Итак, при культивировании *Azotobacter vinelandii* Д-08 на средах, содержащих отход сахарной промышленности мелассу, образуется полисахарид леван. Максимальный выход левана (17,73 г/л) наблюдался к 72 ч культивирования на 10% мелассной среде, динамическая вязкость составила 0,80 дПа·с. С помощью горячего прессования получен биокomпозиционный материал на основе ультрадисперсных частиц древесины и культуральной жидкости, содержащей леван. Его можно отнести к ряду новых древесных композиционных биоматериалов. Биокomпозиты на основе левана обладают хорошими прочностными характеристиками. Установлено, что при внесении натриевого жидкого стекла значительно повышается водостойкость плит. Данные биокomпозиты можно использовать в строительстве, при производстве мебели, биодegradируемой тары и упаковки. Они будут серьезно конкурировать по себестоимости с древесными полимерными композициями (ДПК), которые являются одними из самых дорогих материалов в мире. Более того, возможно использование в качестве наполнителя древесной муки (отхода деревопереработки), цена которой варьирует от 7,5 до 13 руб. за 1 кг [7]. Размеры частиц этого сырья сопоставимы с размерами УДЧ древесины.

Список литературы

1. Ведяшкина Т.А. Оптимизация условий синтеза декстрана при выращивании бактерии *Leuconostoc mesenteroides* на мелассе / Т.А. Ведяшкина, В.В. Ревин, И.Н. Гоготов // Прикладная биохимия и микробиология. – 2005. – Т. 41, № 4. – С. 409–413.
2. Гороховский А.Г. Мелкодисперсные древесные композиционные материалы на порошковым связующем / А.Г. Гороховский, Д.О. Чернышев, О.Н. Чернышев // Современные проблемы науки и образования. Технические науки. – 2013. – № 6. – С. 1–7.
3. Логинов Я.О. Биосинтез и свойства экзополисахарида *Azotobacter vinelandii*: дис. ... канд. техн. наук. – Щелково. 2011. – С. 29–30.
4. Ревин В.В. Теоретические и прикладные основы получения биокomпозиционных материалов с помощью биологических связующих / В.В. Ревин, В.В. Шутова, Н.А. Атыкян и др. – Саранск: Изд-во Мордовского ун-та, 2010. – 280 с.
5. Ревин В.В., Шутова В.В., Ивинкина Т.И. Способ изготовления биокomпозиционного материала // Патент России 2481945. 2011. Бюл. № 14.
6. Ревин В.В., Шутова В.В. Способ получения биологического связующего // Патент России 2473692. 2011. Бюл. № 3.
7. Стоимость древесной муки компании ООО «Волжск-ДревМука» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://volzhsk.flagma.ru/drevesnaya-muka-01527079.html> (дата обращения: 10.02.14).
8. Четвериков С.П. Оптимизация условий культивирования и биосинтеза экзополисахарида *Azotobacter vinelandii* / С.П. Четвериков, Я.О. Логинов, С.А. Пигильцова и др. // Башкирский химический журнал. – 2006. – Т. 13, № 5. – С. 8–11.
9. Шутова В.В. Получение клеевых составов и материалов при использовании культуральной жидкости полисахаридсинтезирующих микроорганизмов / В.В. Шутова, Т.А. Ведяшкина, Т.И. Ивинкина, В.В. Ревин // Известия вузов. Серия Строительство. – 2010. – № 3. – С. 31–36.
10. Шутова В.В. Эффективность ферментативного гидролиза полисахаридов ультрадисперсных частиц лигноцеллюлозного сырья в зависимости от их размера / В.В. Шутова, А.П. Юсипович, Е.Ю. Паршина и др. // Прикладная биохимия и микробиология. – 2012. – Т.48, № 3. – С. 346–352.
11. Combie J. Adhesive designed by nature (and tested at Redstone Arsenal) / J. Combie, A. Steel, R. Sweitzer // Clean Technologies and Environmental Policy. – 2004. – Vol. 6, № 4. – P. 258–262.
12. Idirs U.D. Eco-Friendly (Watermelon Peels) Alternatives to Wood-based Particleboard Composites / U.D. Idirs, V.S. Aigbodon, R.M. Gadzama [et al.] // The Pacific Journal of Science and Technology. – 2011. – Vol. 12, № 2. – P. 112–119.
13. Kadimaliev D. Optimization of the conditions required for chemical and biological modification of the yeast waste from beer manufacturing to produce adhesive compositions / D. Kadimaliev, V. Telyatnik, V. Revin [et al.] // BioResources. – 2012. – Vol. 2, № 7. – P. 1984–1993.
14. Kang N.K. Levant: Applications and perspectives. Microbial production of biopolymers and polymer precursors / N.K. Kang, M.Y. Seo, E.S. Seo [et al.] // Caister Academic. – 2009. – Vol. 40. – P. 25–30.
15. Ortuño T.G. Study of the Mechanical Properties of Giant Reed as a Green Building Material / T.G. Ortuño, M.T.F. Garcia, J.A. Rodriguez [et al.] // International Journal of Civil and Structural Engineering. – 2015. – Vol. 2, № 1. – P. 243–245.
16. Thoemen H. Wood-Based Panels. An Introduction for Specialists / H. Thoemen, M. Irle, M. Sernek. – London, England: Brunel University Press, 2010. – 287 p.
1. Четвериков С.П., Логинов Я.О., Пигильцова С.А. Оптимизация условий культивирования и биосинтеза жекзополисахаридов *Azotobacter vinelandii*. Башкирский химический журнал, 2006, no. 5, pp. 8–11.
2. Combie J. Adhesive designed by nature (and tested at Redstone Arsenal) / J. Combie, A. Steel, R. Sweitzer // Clean Technologies and Environmental Policy. 2004. Vol. 6, no. 4, pp. 258–262.
3. Gorohovskij A. G., Chernyshev D. O., Chernyshev O. N. Melkodispersnye drevesnye kompozicionnye materialy na poroshkovom svjazujushhem. Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. Tehniceskie nauki, 2013, no. 6, pp. 1–7.
4. Idirs U. D. Eco-Friendly (Watermelon Peels) Alternatives to Wood-based Particleboard Composites / U. D. Idirs, V. S. Aigbodon, R. M. Gadzama [et al.] // The Pacific Journal of Science and Technology. 2011. Vol. 12, no. 2, pp. 112–119.
5. Kadimaliev D. Optimization of the conditions required for chemical and biological modification of the yeast waste from beer manufacturing to produce adhesive compositions / D. Kadimaliev, V. Telyatnik, V. Revin [et al.] // BioResources. 2012. Vol. 2, no. 7, pp. 1984–1993.
6. Kang N.K. Levant: Applications and perspectives. Microbial production of biopolymers and polymer precursors / N.K. Kang, M.Y. Seo, E.S. Seo [et al.] // Caister Academic. 2009. Vol. 40, pp. 25–30.
7. Loginov Ja.O. Biosintez i svojstva jekzopolisaharida *Azotobacter vinelandii* : dis. ... kand. tehn. nauk. Shhelkovo, 2011, pp. 29–30.
8. Ortuño T.G. Study of the Mechanical Properties of Giant Reed as a Green Building Material / T.G. Ortuño, M.T.F. Garcia, J.A. Rodriguez [et al.] // International Journal of Civil and Structural Engineering. 2015. Vol. 2, no. 1, pp. 243–245.
9. Revin V.V. Teoreticheskie i prikladnye osnovy polucheniya biokompozicionnyh materialov s pomoshhju biologiceskih svjazujushhij. Saransk: Izd-vo Mordovskogo un-ta, 2010. 280 p.
10. Revin V.V., Shutova V.V. Sposob polucheniya biologiceskogo svjazujushhego // Patent Rossii 2473692, 2011, Bjul., no. 3.
11. Revin V.V., Shutova V.V., Ivinkina T.I. Sposob izgotovlenija biokompozicionnogo materiala // Patent Rossii 2481945, 2011, Bjul., no. 14.
12. Shutova V.V., Vedjashkina T.A., Ivinkina T.I., Revin V.V. Poluchenie kleevyh sostavov i materialov pri ispolzovanii kulturalnoj zhidkosti polisaharidsintezirujushhij mikroorganizmov. Izvestija vuzov. Serija Stroitelstvo, 2010, no. 3, pp. 31–36.
13. Shutova V.V., Jusipovich A.I., Parshina E.Ju., Zaharkin D.O., Revin V.V. Jefferktivnost fermentativnogo gidroliza polisaharidov ultradispersnyh chastic lignocelljuloznogo syrja v zavisimosti ot ih razmera. Prikladnaja biohimija i mikrobiologija, 2012, no. 3, pp. 346–352.
14. Stoimost drevesnoj muki kompanii ООО «Volzhsk-DrevMuka» (Cost of wood meal company «VolzhskDrevMuka») Available at: <http://volzhsk.flagma.ru/drevesnaya-muka-01527079.html> (accessed 10 February 2014).
15. Thoemen H. Wood-Based Panels. An Introduction for Specialists / H. Thoemen, M. Irle, M. Sernek. London, England: Brunel University Press, 2010. 287 p.
16. Vedjashkina T.A., Revin V.V., Gogotov I.N. Optimizacija uslovij sinteza dekstrana pri vyrashhivanii bakterii *Leuconostoc mesenteroides* na melasse. Prikladnaja biohimija i mikrobiologija, 2005, no 4, pp. 409 413.