

УДК 66.02

## ПОЛУЧЕНИЕ БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В АППАРАТЕ РОТОРНОГО ТИПА И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ В КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ

*Е.А. Рогова<sup>1</sup>, Ю.Д. Алашкевич<sup>1</sup>, В.А. Кожухов<sup>1</sup>, Е.Г. Киселев<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Сибирский государственный университет науки и технологий  
имени академика М.Ф. Решетнева*

*Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31*

*<sup>2</sup> Сибирский Федеральный Университет, Российская федерация, 660041, г. Красноярск,  
пр. Свободный, 79/10*

В статье представлены данные по получению бактериальной целлюлозы во вновь разработанном и запатентованном аппарате роторного типа с использованием роторов различной конфигурации. Показана практическая значимость использования полученной бактериальной целлюлозы в разработке композиционных материалов для применения ее в целлюлозно-бумажной промышленности.

**Ключевые слова:** бактериальная целлюлоза, получение бактериальной целлюлозы, аппарат для получения бактериальной целлюлозы, композиционные материалы, композиционные материалы с применением бактериальной целлюлозы

## PRODUCTION OF BACTERIAL CELLULOSE IN A ROTARY-TYPE APPARATUS AND ITS USE IN THE DEVELOPMENT OF COMPOSITE MATERIALS

*E.A. Rogova<sup>1</sup>, Y.D. Alashkevich<sup>1</sup>, V.A. Kozhukhov<sup>1</sup>, E.G. Kiselyov<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetneva  
Russian Federation, 660037, Krasnoyarsk, newspaper Ave. Krasnoyarsk Worker, 31*

*<sup>2</sup> Siberian Federal University, Russian Federation 660041, Krasnoyarsk, 79/10 Svobodny Ave.,*

The article presents data on the production of bacterial cellulose in a newly developed and patented rotary-type apparatus using rotors of various configurations. The practical significance of using the obtained bacterial cellulose in the development of composite materials for its application in the pulp and paper industry is shown.

**Keywords:** bacterial cellulose, production of bacterial cellulose, apparatus for the production of bacterial cellulose, composite materials, composite materials using bacterial cellulose

Бактериальная целлюлоза (БЦ) своего рода уникальный материал. Изучением ее свойств и получением, занимаются ученые со всего мира. Благодаря такой популярности, в настоящее время существует более двухсот запатентованных способов получения БЦ с помощью уксуснокислых бактерий различного рода. Все эти способы можно разделить на два типа: статический и динамический (рис. 1). При статическом способе культивирования, БЦ получается в виде многомерной пленки, образующейся на поверхности биореактора. Главным недостатком такого способа является значительные производственные площади для получения в промышленных и полупромышленных масштабах и низкая производительность. БЦ, получаемая динамическим способом, представляет собой сферы различного диаметра, либо отдельно образовавшиеся волокна. Такой способ позволяет получить БЦ в большем объеме, применять современное оборудование с минимальным участием человека, но, такая БЦ имеет более низкие показатели качества [1].

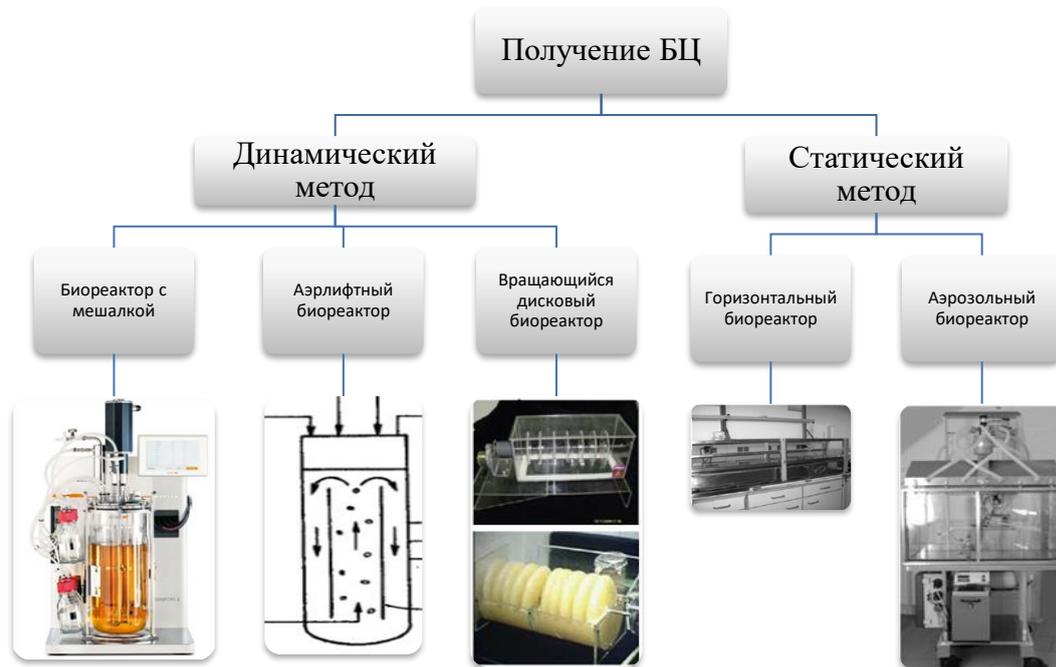
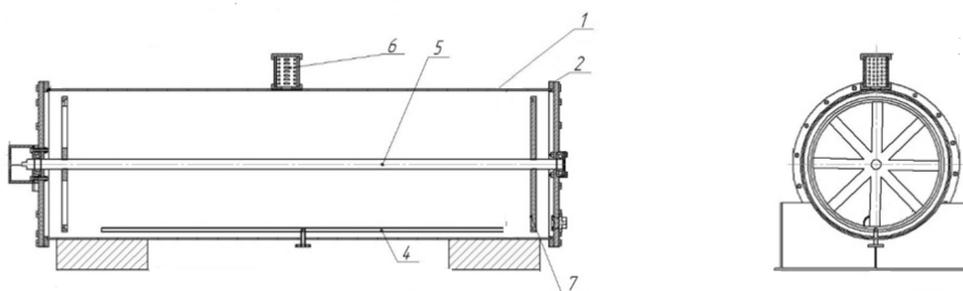


Рис. 1. Способы получения БС

Изучив: основные способы получения БС в настоящее время; их достоинства и недостатки; биореакторы, с помощью которого осуществляется получение БС [2]– коллективом авторов Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М. Ф.Решетнева, был разработан аппарат роторного типа для динамического способа получения БС в виде пленки образующейся на роторах различного типа. Принципиальная схема биореактора представлена на рис.2 [3].



1 – корпус; 2 – крышка; 3 – опора; 4 – подача воздуха; 5 – привод; 6 – фильтр; 7 – крепление ротора

Рисунок 2. Аппарат роторного типа для получения БС

Основной частью аппарата является корпус цилиндрической формы 1. При помощи привода 5 осуществляется вращение вала, на котором с помощью специального крепления 7, зафиксирован ротор. Крышки 2 с помощью болтовых соединений крепятся к фланцам корпуса 1. С помощью устройства 4 методом барботирования в среду подается очищенный воздух. Так же на нижней части корпуса 1 закреплено устройство для поддержания заданной температуры среды. Типы роторов, применяемых для исследования по выявлению оптимальной формы, для получения БС в аппарате роторного типа представлены на рис. 3.

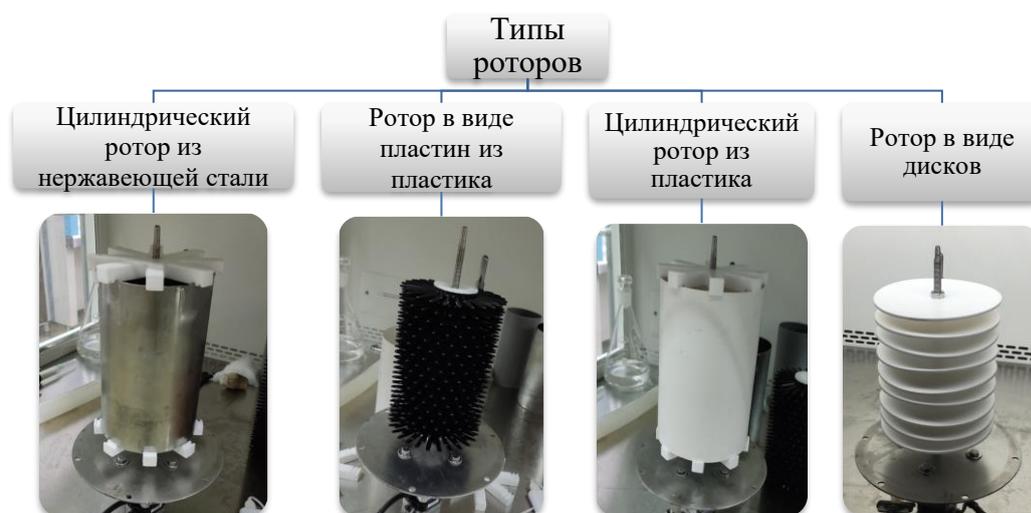


Рисунок 3. Типы роторов, применяемых в биореакторе для получения БЦ

Исследования по получению БЦ в аппарате роторного типа осуществлялись на базе института Биофизики СО РАН в городе Красноярск. Синтез бактериальной целлюлозы осуществлялся штаммом *Comagataeibacter Xylinum* в течении 12 суток. Среда, на основе которой проводилось исследование - среда Хестрина и Шрамма в объеме 1 литр. Исходная концентрация глюкозы 30 г/л, на 5 сутки в среду была введена дополнительная глюкоза в количестве 30 грамм. Частота вращения ротора 2 об/мин. Подогрев среды осуществлялся до 28 °С. Основным показателем эффективности работы аппарата роторного типа, по получению БЦ на роторах различного типа, являлся выход БЦ в размерности г·л/сутки. Результаты исследования представлены на рис. 4 в виде гистограммы.

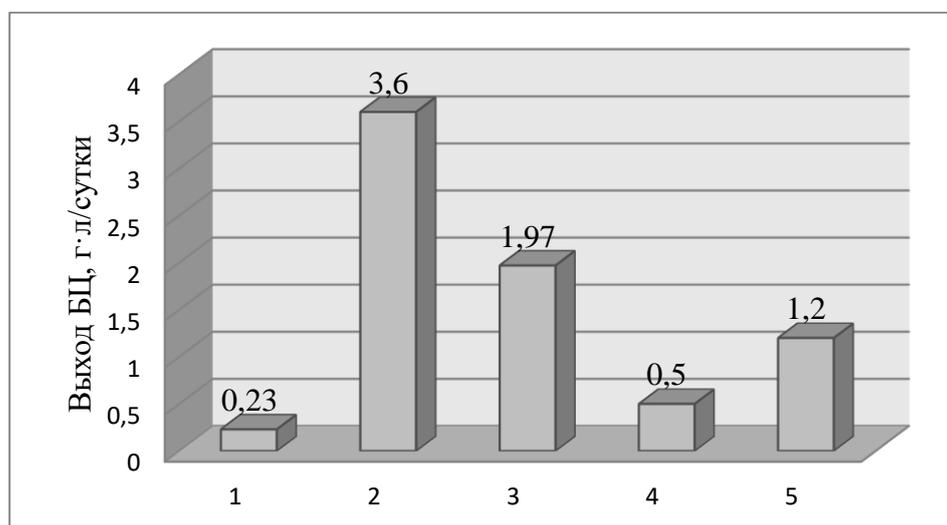


Рисунок 4. Выход БЦ в зависимости от типа использованного ротора (1 – цилиндрический ротор из нержавеющей стали, 2 - ротор в виде пластин из пластика; 3 – цилиндрический пластиковый ротор; 4 – ротор в виде дисков, 5 - статический метод)

Из рисунка видно, что высокая эффективность получения БЦ в аппарате достигалась, при использовании ротора в виде пластин из пластика, при этом продуктивность цилиндрического ротора из нержавеющей стали значительно ниже, даже в сравнении со статическим выращиванием при одинаковых условиях, что может быть обусловлено низкой адгезией с

металлом. Таким образом, полученные результаты подтверждают эффективность получения БЦ в аппарате с определёнными конструкциями ротора.

БЦ, полученная в аппарате роторного типа была использована для получения композиционных материалов для применения в целлюлозно-бумажной промышленности. Для оценки качества готового продукта композиционных полуфабрикатов из волокон растительного и бактериального происхождения, была подготовлена листовая целлюлоза (ЛЦ). Листовая целлюлоза была размолота на установке ЦРА при 150 об/мин. Первоначальная степень помола листовой целлюлозы составляла 15 °ШР. Целлюлозу растительного происхождения концентрацией 4% размалывали до 30 °ШР, 45 °ШР и 60 °ШР. БЦ подвергали процессу разделения на волокна при той же концентрации 4%. Далее составлялся композиционный полуфабрикат в пропорции БЦ/ЛЦ в процентном соотношении: 0/100, 10/90, 20/80 и 30/70. Из композиционного полуфабриката были изготовлены бумажные отливки плотностью 70 г/м<sup>2</sup>. Для определения физико-механических характеристик готовой продукции, бумажные отливки проверили по следующим показателям: разрывная длина, сопротивление продавливанию и сопротивление излому. Результаты проведенных испытаний представлены в виде графиков на рис. 5-7.

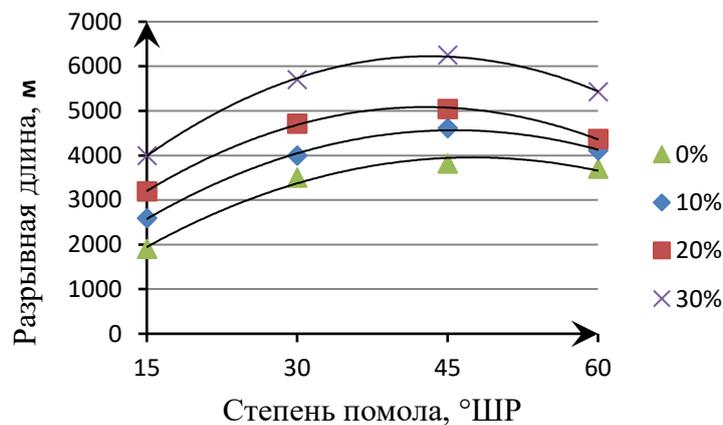


Рисунок 5. Зависимость показателя разрывной длины от степени помола и % содержания БЦ в композиции целлюлозно-бумажных материалов

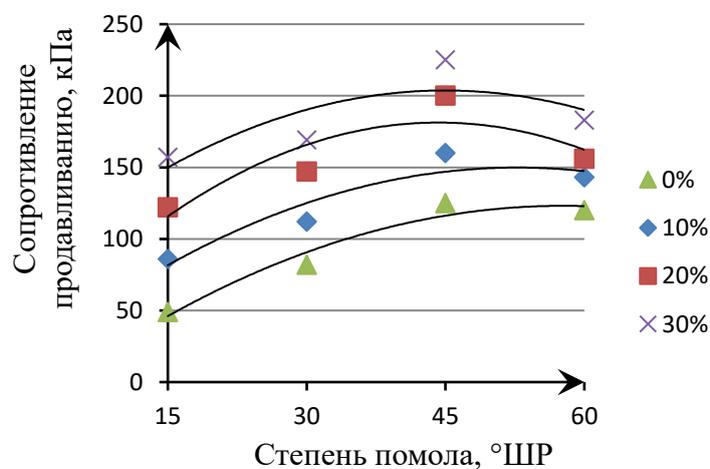


Рисунок 6. Зависимость показателя сопротивления продавливанию от степени помола и % содержания БЦ в композиции целлюлозно-бумажных материалов

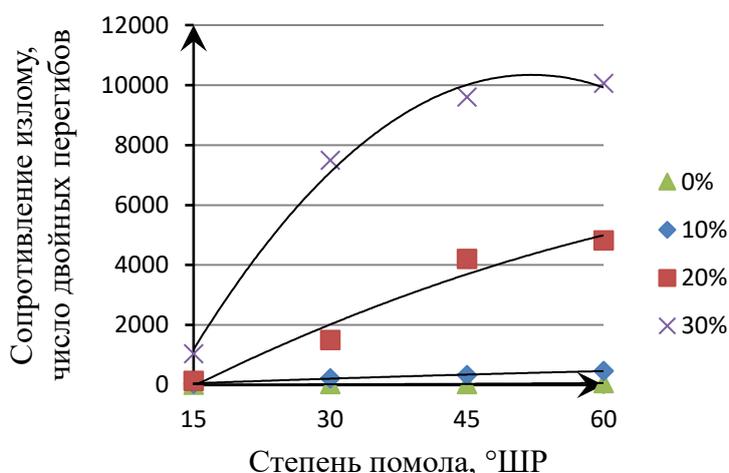


Рисунок 7. Зависимость показателя сопротивления излому от степени помола и % содержания БЦ в композиции целлюлозно-бумажных материалов

По результатам проведенного исследования были выявлены значительные увеличения основных физико-механических показателей готовой продукции, полученной из композиционных материалов. Так максимальный прирост показателя разрывной длины составил 110 % при добавлении в композицию 30 % БНЦ в волокнистую массу при степени помола 15 °ШР. Волокно, размолотое до 45 °ШР в композиции с 30 % БЦ, имеет прирост всего 64 %, но значения отличаются значительно.

Максимальный прирост показателя сопротивления продавливанию составил 220 % при добавлении в композицию 30 % БЦ при степени помола 15 °ШР. Волокно, размолотое до 30 °ШР в композиции с 30 % БЦ, имеет прирост всего 106 %, и размолотое до 45 °ШР при тех же условиях – дает прирост показателя в 80 %.

Что касается показателя сопротивления излому, то значительные изменения были выявлены при размоле волокнистой массы до 60 °ШР в композиции с 30 % БЦ. Показатель увеличился в 320 раз в сравнении с первоначальным (без добавления БЦ).

Таким образом добавление БЦ в композицию к волокнистой массе растительного происхождения говорит о эффективности ее применения в процессах получения готового продукта в ЦБП.

### Библиографический список

1. Гисматулина Ю.А., Будаева В.В., Ситникова А.Е. и др. Композиционная бумага из бактериальной наноцеллюлозы и хвойной целлюлозы // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология, 2021. Том 11, № 3. С. 460-471.
2. Рогова Е.А., Алашкевич Ю.Д., Кожухов В.А. и др. Состояние и перспективы совершенствования способов получения и использования бактериальной целлюлозы (обзор) // Химия растительного сырья. – 2022. – № 4. – С. 27-46. – DOI 10.14258/jcprgm.20220411373.
3. Биореактор для получения бактериальной целлюлозы: пат. 2822177 Рос. Федерация. № 2023115782 / Рогова Е.А.; заявл. 15.06.23; опублик. 02.07.24, Бюл. № 19. 3 с.