

УДК 628.336.4

**К.С. Болотова, Е.В. Новожилов, Д.Г. Чухчин, О.М. Соколов**

Архангельский государственный технический университет

Болотова Ксения Сергеевна родилась в 1982 г., окончила в 2005 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры биотехнологии Архангельского государственного технического университета. Имеет 2 печатные работы в области переработки осадков сточных вод.  
E-mail: Novodvinsk@rambel.ru



Новожилов Евгений Всеволодович родился в 1950 г., окончил в 1972 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры биотехнологии Архангельского государственного технического университета, чл.-корреспондент РАЕН, лауреат премии им. М.В. Ломоносова. Имеет около 140 научных трудов в области технологии комплексной переработки сульфитных и сульфатных щелоков, ферментных технологий в химической переработке древесины, технологий очистки сточных вод.  
E-mail: biotech@agtu.ru



Чухчин Дмитрий Германович родился в 1971 г., окончил в 1993 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры биотехнологии Архангельского государственного технического университета. Имеет более 70 печатных работ в области химической переработки древесины.  
Тел.: (8182) 21-61-45



Соколов Олег Михайлович родился в 1936 г., окончил в 1960 г. Ленинградский технологический институт ЦБП, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой биотехнологии, президент Архангельского государственного технического университета, академик Международной академии наук, РИА, РАЕН, Академии проблем качества РФ, чл.-кор. МИА, заслуженный деятель науки РФ. Имеет около 200 научных трудов в области исследования процессов сульфатной варки, изучения свойств и применения технических лигнинов.  
Тел.: (8182) 21-89-65



### **ОБЕЗВОЖИВАНИЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА МЕТОДОМ ПРЕССОВАНИЯ**

Показана возможность снижения влажности мехобезвоженного осадка сточных вод (ОСВ) в 1,4–1,6 раза при совместном прессовании с целлюлозосодержащими материалами; рекомендовано использование смесей ОСВ с кородревесными отходами в качестве биотоплива.

*Ключевые слова:* осадок, сточные воды, целлюлозосодержащие материалы, обезвоживание, кородревесные отходы, прессование.

Обезвоживание микробной биомассы является распространенным методом снижения ее влажности. Для ОСВ после биологической очистки, основным компонентом которых является активный ил (АИ), широко применяют механическое обезвоживание биомассы на фильтр-прессах

при давлении 0,2...0,5 МПа. Такая технология позволяет получить отпрессованный осадок (кек) влажностью 70...80 % [1, 6]. По действующей на большинстве предприятий технологии кек вывозят в отвал или сжигают вместе с другими отходами.

Образование сильнооводненных слизей в процессе жизнедеятельности микроорганизмов, непостоянство компонентного и видового состава АИ существенно осложняют процесс обезвоживания ОСВ. Из-за высокой влажности и недостаточной структурной прочности при приложении давления происходит растекание ОСВ и снижение эффективности отжима. Для улучшения обезвоживания такого рода материалов используют флокулянты и коагулянты, эффективность которых не всегда оправдывает их высокую стоимость. Структура осадков может быть улучшена введением в ОСВ таких добавок, как известь, шлак, зола, диатомит, кремнезем, опилки, древесная мука [1, 6].

Моделирование прессования микробной биомассы с различными добавками (каменный уголь, стекловолокно, целлюлозное волокно) показало [5], что для эффективного удаления влаги необходимо наличие у материала добавки таких свойств, как прочность, гибкость, развитая капиллярная структура, способность к деформации при заданном уровне давления. При этом материал, используемый для интенсификации обезвоживания микробной биомассы, должен обеспечивать ее удержание в зоне прессования. Этим требованиям удовлетворяет целлюлозное волокно.

Цель данного исследования – изучить совместное прессование кека целлюлозно-бумажного производства и различных целлюлозосодержащих материалов.

В качестве исследуемых материалов были выбраны: влажная листовая небеленая сульфатная целлюлоза (влажность 75,0 %), газетная макулатура (7,7 %), верховой торф (13,0 %) и листовые кородревесные отходы (50,0 %). Торф вручную измельчали до фрагментов размером 3...5 мм, газетную макулатуру – до 5...7 мм, после чего ее разрывали в течение 1...2 мин на зерновой мельнице без добавления воды. Кородревесные отходы (КДО), основной компонент которых кора березы и осины, были отобраны в древесно-подготовительном цехе целлюлозно-бумажного комбината (ЦБК), перед экспериментом их просеивали через сито с диаметром отверстий 1 см.

Образцы ОСВ – пробы кека ЦБК, отобранные после обезвоживания на фильтр-прессах, содержали флокулянт и имели влажность 75,9...81,0 %. Пробы измельчали и перемешивали с добавками в различном соотношении по сухим веществам. Полученную смесь прессовали между медными сетками с размером отверстий 1 мм на прессе марки ПСУ-50 в течение 10 с. Для поглощения отжимаемой жидкости использовали листы фильтровальной бумаги. Влажность проб измеряли на анализаторе ЭВЛАС-2М.

Характерной особенностью осадков ЦБК и бумажных фабрик является то, что в их составе содержится целлюлозное волокно. Это связано с его потерями в основном производстве. В зависимости от техноло-

гии и оборудования доля волокна в ОСВ изменяется в широких пределах. В пробах кека, которые использовали в данном исследовании, содержание волокна не определялось, но оно в некотором количестве присутствовало в составе ОСВ. Считается, что наличие волокна в составе осадков приводит к улучшению их водоотдачи, так как пропорционально уменьшается доля биомассы АИ.

Различные виды целлюлозы успешно обезвоживают методом прессования; на винтовых прессах или фильтр-прессах целлюлозную массу отжимают до концентрации 35,0...42,0 % [4], что соответствует влажности 58,0...65,0 %. Это подтвердилось при отжиме на ленточных прессах 100 %-го волокнистого осадка: на выходе материал имел влажность 52,0...70,0 % [8]. Для 100 %-го АИ влажность кека, полученного в тех же условиях, значительно выше – 70,0...80,0 %. Добавка волокна в количестве 30...50 % не оказала положительного влияния на процесс обезвоживания биомассы АИ на ленточном прессе, так как влажность их смеси осталась на том же уровне – 70,0...80,0 %. Эти данные свидетельствуют о том, что присутствие целлюлозного волокна не обязательно будет обеспечивать заметное улучшение водоотдачи биомассы. Как было показано ранее [5], для эффективного обезвоживания смесей ОСВ с волокном необходимо более высокое давление, чем то, которое развивают промышленные фильтр-прессы.

В первом эксперименте в качестве добавки использовали влажную листовую небеленую сульфатную целлюлозу с учетом того, что при биологической очистке и обезвоживании входящие в состав ОСВ целлюлозные волокна длительное время взаимодействуют с водой и это вызывает их сильное набухание, повышает гибкость и сорбционную способность.

Для совместного прессования кека и влажной целлюлозы готовили пробы с различным соотношением материалов в смеси (по сухим веществам). Влажность исходных проб для всех смесей различалась незначительно и составляла 75,5...76,9 % (табл. 1). Прессование кека и смесей проводили при давлении 1,2 МПа, что значительно выше, чем при обезвоживании на фильтр-прессах.

Таблица 1

**Влажность проб при совместном прессовании кека с целлюлозным волокном**

Соотношение волокна к кеку (по сухим веществам)	Влажность смеси, %		Количество отжатой влаги	
	до прес- сования	после прес- сования	% от исходного содержания	т/т абс. сухого кека
0 : 100	77,0	47,4*	73,1	–
5 : 95	76,9	45,8*	74,5	–
15 : 85	76,8	48,2	71,8	2,42
50 : 50	76,1	48,9	70,4	2,39
75 : 25	75,5	48,4	70,0	2,41

\* Проба сильно растекается.

Прессование кека без добавок существенно (до 47,4 %) снижает влажность пробы. Однако при высоком давлении происходит значительное растекание биомассы АИ, продавливание ее сквозь сетку и унос с фильтратом. В зоне прессования остается только небольшая часть материала. Аналогичные явления отмечены при добавке в смесь 5 % целлюлозы.

Лучшие результаты были получены при дозировке волокна от 15 до 75 %. И кек, и целлюлозное волокно имели примерно одинаковую начальную влажность. Несомненно, что удаление влаги при приложении давления происходило одновременно из обоих материалов. Целлюлозные волокна участвуют в формировании волокносодержащей структурообразующей матрицы, удерживающей биомассу АИ в зоне действия давления. При дозировке волокна 15 % и выше растекание смеси было минимальным, влажность отпрессованных проб составляла 48,2...48,9 % и в указанном интервале практически не зависела от количества целлюлозы в смеси.

Количество влаги, удаленной из кека, было рассчитано в предположении, что целлюлоза в смесях отжимается до одинаковой степени влажности. Оно оказалось на уровне 2,39...2,42 т/т абс. сухого кека. Влага в биомассе АИ по классификации [1], подразделяется на химическую, коллоидно-связанную (входит в гидратные оболочки частиц) и свободную (составляет более половины от общего количества влаги АИ). Поэтому можно предположить, что при отжиге образцов удаляется именно она.

Прессование смесей кека с волокном оказалось очень эффективным, в пробах осталось 0,93...0,96 т влаги/т абс. сухого кека. Несмотря на достигнутые результаты, такой способ вряд ли может быть рекомендован промышленности, так как расход волокна должен быть достаточно большим, чтобы обеспечить удержание биомассы в зоне прессования. Следует также учитывать, что снижение промывов волокна – это общая тенденция совершенствования целлюлозно-бумажного производства, поэтому его содержание в сточных водах и ОСВ ЦБК будет постоянно уменьшаться.

Дешевым и доступным материалом, способным заменить свежее целлюлозное волокно, является макулатура. В работе [5] в качестве добавки с успехом было использовано сухое целлюлозное волокно (фильтровальная бумага). Источником такого волокна во втором эксперименте служила газетная макулатура.

С учетом результатов, полученных в предыдущем эксперименте, готовили смесь в соотношении кек : макулатура = 85 : 15 (по сухим веществам). Влажность кека – 75,9 %, в нем содержалось 3,15 т влаги/т абс. сухого вещества. Влажность полученной смеси составляла 73,1 %.

После прессования при давлении 1,2 МПа влажность смеси снизилась до 51,4 %, было отжато 66,6 % влаги от ее начального содержания в смеси. Есть все основания полагать, что все количество влаги было отжато из массы кека и составило 2,10 т/т абс. сухого кека. Это высокий результат,

но он ниже достигнутого в аналогичных условиях прессования при добавлении к кеку влажной целлюлозы. Наблюдаемое различие можно объяснить тем, что в газетной макулатуре в основном содержатся волокна механической массы, более грубые, менее пластичные и сжимаемые. Кроме того, ороговение волокна в процессе высушивания бумаги уменьшает объем капилляров, ухудшает их способность к сорбции и набуханию. Следует также учитывать возможность поглощения сухим волокном влаги из кека, для удаления которой требуется более высокое давление ( $> 1,2$  МПа).

Обезвоживание смесей кека с добавками до влажности 45,0...50,0 % позволит сократить объем вывозимого на полигоны осадка или утилизировать такой материал в качестве биотоплива. Несомненно, что второй вариант является более предпочтительным. Пригодность ОСВ к сжиганию определяется высоким содержанием органики (до 80...90 % от сухих веществ) [1]. Для эффективного сжигания влажность ОСВ должна составлять 50,0...60,0 % [1]. Этот уровень достигается прессованием, при этом теплотворная способность кека увеличивается в 1,6 раза за счет снижения влажности от 75,9 % до 51,4 %.

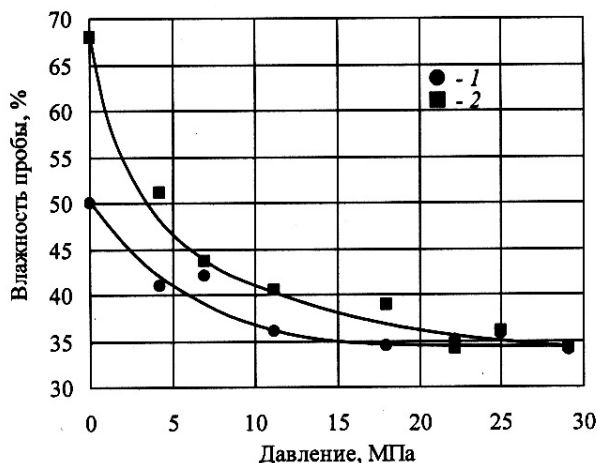
В качестве добавки к кеку в третьем эксперименте был проверен верховой торф, также относящийся к категории биотоплива. Торф является распространенным целлюлозосодержащим материалом, в состав которого могут входить волокна, фрагменты растительных тканей различной дисперсности, продукты распада полимеров целлюлозного происхождения, минеральные включения и пр. [7]. Теплотворная способность торфа (в среднем 22,5 МДж/кг сухого вещества) [7] несколько выше теплотворной способности ОСВ (16,7...18,4 МДж/кг сухого вещества) [6].

Для эксперимента готовили смесь кека и торфа в соотношении 50 : 50 по сухим веществам (влажность полученной смеси – 64,0 %). После прессования при 1,2 МПа влажность смеси снизилась до 45,5 %, было удалено 76,1 % влаги от ее начального содержания. Учитывая низкую влажность исходного образца торфа (13,0 %), можно считать, что все количество влаги отжимается из ОСВ. По расчету оно составляет 2,51 т/т абс. сухого кека. В смеси после прессования остается 0,84 т влаги/т сухого вещества, ее теплотворная способность увеличивается в 1,8 раза.

На ЦБК в качестве биотоплива широко используют отходы окорки древесины, которые содержат в основном кору [3]. Очевидно, что из всех материалов, взятых в качестве добавок в данном исследовании, кора является самым трудно сжимаемым материалом. Короотжимные прессы, применяемые в производстве для обезвоживания КДО, развивают давление порядка 10...15 МПа. Важный показатель, влияющий на процесс удаления влаги из КДО, – коэффициент влагопроводности. Известно, что этот показатель уменьшается при отжиме влаги из сильносмолистой и тонкодиспергированной коры [2].

Кек ЦБК влажностью 81,0 % перемешивали с КДО в соотношении 60 : 40 по сухим веществам. Влажность полученной смеси составляла 69,9 %. Приготовленные пробы отжимали при давлении 4...29 МПа. Контрольные опыты с корой проводили при том же давлении.

Влияние давления на влажность КДО (1) и их смеси с кеком (2)



Действие больших сжимающих усилий вызывает деформацию пор и капилляров прессуемого материала, уменьшает их сечение. При сильном уплотнении КДО коэффициент влагопроводности значительно уменьшается, так как затрудняется движение влаги в них. Этим объясняется, что при приложении давления влажность проб КДО сначала снижалась от 50,0 % до 35,0...36,0 %, дальнейшее повышение давления свыше 10...11 МПа практически не влияло на влажность образцов (см. рисунок).

При давлении 4 МПа влажность КДО уменьшалась от 50,0 до 43,0 %, в то время как влажность смеси – только до 51,0 %. При этом количество удаленной влаги было значительным – 3,22 т/т абс. сухого кека.

Кора, являясь пористым материалом, обладает высокой способностью впитывать влагу из окружающей среды, следовательно, она может удерживать влагу, выделяемую при прессовании биомассы АИ. Необходимо было поднять давление до 6,9 МПа, чтобы влажности отпрессованных проб КДО и смеси кека с КДО оказались примерно равными: 42,0 и 43,6 % соответственно (табл. 2). В процессе прессования была удалена влага как из кека, так и из КДО. При этом из смеси было отжато 874 г влаги/кг сухого вещества, в том числе из кека – 714 г/кг.

При давлении прессования 10...20 МПа сохраняется чуть более высокая влажность смеси по сравнению с КДО (см. рисунок), при давлении выше 20 МПа смесь и КДО имеют примерно одинаковую влажность.

Таблица 2

Удаление влаги при прессовании проб КДО и смеси кека с КДО  
(давление прессования 6,9 МПа)

Проба	Влажность, %		Количество отжатой влаги	
	начальная	после пресса	% от исходного содержания	г/кг сухих веществ
КДО и кек (60:40)	69,9	43,6	68	874
КДО	50,0	42,0	27	160

Таблица 3

## Выход проб после прессования смеси кека с КДО

Проба	Масса пробы, г	Влажность пробы, %	Масса абс. сухой смеси, г	Количество отжатой влаги, г/кг сухих веществ	Выход пробы после обработки, %
Начальная смесь	15,00	60,0	6,00	–	–
Смесь после прессования	10,70	44,3	5,96	717	99,3

Для оценки загрязнения фильтрата и потерь сухих веществ при прессовании кека с добавкой КДО был определен выход смеси после обработки. Смесь КДО и кека в соотношении 70 : 30 (по сухим веществам) прессовали при давлении 12,7 МПа. Данные до и после прессования пробы представлены в табл. 3.

Добавка КДО при обезвоживании кека способствует удержанию пробы в зоне прессования и повышает эффективность его водоотдачи. Выход пробы после прессования составлял 99,3 %, потери сухих веществ с фильтратом – 0,7 %. Полученные результаты подтверждают, что при прессовании смеси кека с КДО в полной мере проявляется эффект удержания биомассы АИ матрицей целлюлозосодержащего материала. Эта матрица для веществ ОСВ служит впитывающим, сорбирующим и фильтрующим слоем, структура которого при приложении давления исключает растекание и продавливание биомассы АИ.

Факторами, влияющими на обезвоживание биомассы ОСВ при прессовании, являются давление, свойства и дозировка добавляемого материала. Добавка к кеку целлюлозосодержащих материалов позволяет удерживать его от растекания в процессе прессования. При давлении 1,2 МПа из смесей кека с сульфатной целлюлозой, макулатурой или торфом было удалено 67...76 % влаги от ее начального содержания, а их влажность уменьшилась в 1,4–1,6 раза.

На ряде ЦБК в качестве биотоплива уже используют смесь кека с КДО, поэтому с практической точки зрения наибольший интерес представляет совместное прессование именно этих материалов. Для достижения влажности смеси кека с КДО на уровне 40,0...44,0 % необходимо высокое давление – 7...11 МПа, при этом ее теплотворная способность увеличивается в 1,4–1,5 раза и достигает 8,5...9,0 МДж/кг. Потери сухих веществ в процессе совместного прессования кека и КДО составляют менее 1 % от массы пробы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Евилевич, А.З.* Утилизация осадков сточных вод [Текст] / А.З. Евилевич, М.А. Евилевич. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1988. – 248 с.

2. *Житков, А.В.* Утилизация древесной коры [Текст] / А.В. Житков. – М.: Лесн. пром-сть, 1985. – 136 с.
3. *Лантев, Л.Н.* Экология – приоритет технической политики [Текст]/ Л.Н. Лаптев, В.Н. Чаплиев, В.Т. Гришин // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2004. – № 1. – С. 82–83.
4. *Непенин, Ю.Н.* Технология целлюлозы. В 3-х т. Производство сульфатной целлюлозы [Текст] / Ю.Н. Непенин. – 2-е изд., перераб. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 600 с.
5. Прессование микробной биомассы в смеси с различными материалами [Текст] / К.С. Болотова [и др.] // Наука – Северному региону: сб. науч. тр. – Архангельск, 2009. – Вып. 76. – С. 33–38.
6. *Туровский, И.С.* Обработка осадков сточных вод [Текст] / И.С. Туровский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1982. – 223 с.
7. Физика и химия торфа [Текст]: учеб. пособие для вузов / И.И. Лиштван [и др.]. – М.: Недра, 1989. – 304 с.
8. *Янчик, И.* Ленточные прессы фирмы «Vanex» для обезвоживания осадков сточной воды при переработке макулатуры [Текст] / И. Янчик, С.С. Пузырёв // Науч. тр. 4-й Междунар. науч.-техн. конф. «Развитие ресурсосберегающих технологий производства бумаги и картона из вторичного волокнистого сырья». – Караваево, 2003. – С. 38–40.

Поступила 19.11.08

*K.S. Bolotova, E.V. Novozhilov, D.G. Chukhchin, O.M. Sokolov*  
Arkhangelsk State Technical University

### **Dewatering of Waste Water Sedimentation in Pulp-and-paper Production by Compression Method**

The possibility of lowering humidity of waste-water mehodewatering sedimentation in 1.4-1.6 times at joint compression with pulp-containing materials is shown; it is recommended to use mixtures of waste-water sedimentation with bark-wood wastes as biofuel.

Keywords: sedimentation, waste waters, pulp-containing materials, dewatering, bark-wood wastes, compression.

---