

## Получение экологически безопасных строительных материалов с использованием осадков сточных вод целлюлозно-бумажного производства

© 2018. Е. С. Ширинкина, к. т. н., доцент,  
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
614990, Россия, Пермь, Комсомольский проспект, 29,  
e-mail: shirinkina.es@mail.ru

В работе представлены исследования в области использования осадка сточных вод целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП) в качестве ресурса при производстве строительных материалов. В ходе анализа научно-технической информации было установлено, что осадок сточных вод ЦБП, содержащий в своём составе целлюлозное волокно (скоп) и активный ил, может применяться в качестве добавки при производстве композитных материалов, теплоизоляционных плит, лёгких заполнителей для бетонов и в качестве выгорающей добавки при производстве керамического кирпича. В лабораторных условиях исследовали возможность получения керамического кирпича с добавлением осадка сточных вод ЦБП в количестве 4 и 8% масс. Было установлено, что при введении осадка в керамическую массу снижается плотность образцов, уменьшается линейная воздушная и огневая усадка. Прочность образцов на сжатие при дозировании осадка существенно увеличивается по сравнению с контролем, что обусловлено выделением дополнительной тепловой энергии при сгорании осадка в шихте в процессе обжига. Установлено также, что прочность образцов на изгиб снижается по сравнению с контролем, однако с повышением температуры обжига до 1070 °С было достигнуто повышение прочности на изгиб. Сравнительный анализ полученных данных по прочности образцов керамического кирпича с требованиями ГОСТ показал, что при введении осадка в шихту в количестве 4–8% масс. в качестве выгорающей добавки возможно получение полнотелого керамического кирпича, соответствующего по прочности марке М150-М200.

**Ключевые слова:** осадок сточных вод ЦБП, активный ил, скоп, целлюлозное волокно, выгорающая добавка.

## Production of environmentally friendly building materials with use of pulp and paper sludge

© 2018. E. S. Shirinkina <sup>ORCID 0000-0002-0244-4110</sup>  
Perm National Research Polytechnic University,  
29, Komsomolskiy Prospect, Perm, Russia, 614990,  
e-mail: shirinkina.es@mail.ru

The paper presents the research in the field of using pulp and paper sludge as a resource in the production of environmentally-friendly building materials. During the analysis of scientific and technical information, it was found out that pulp and paper sludge, containing cellulose fiber and secondary sludge, can be used as an additive in the production of composite materials, insulation boards, light aggregates for concretes and combustible additives for production of ceramic bricks. In the laboratory, the possibility of obtaining a ceramic brick with addition of pulp and paper sludge in an amount of 4 and 8% by weight was researched. It was found that when pulp and paper sludge is introduced into the ceramic mass, the density of the bricks samples decreases, linear air shrinkage decreases to 2.7% (for samples with pulp and paper sludge addition in quantity of 4% mass), and 9.1% (for samples with pulp and paper sludge addition in quantity of 8% mass) in comparison with control samples without pulp and paper sludge addition, fire shrinkage decreases from 5.1% to 3.65% and 2.06% for samples with pulp and paper sludge content 4% and 8% mass respectively. Compressive strength of researched samples with pulp and paper sludge content significantly increases (up to 90.2%) in comparison with the control samples, which is due to the release of additional thermal energy during the combustion of the pulp and paper sludge in the ceramic mass while the brick firing process. It has also been established that the bending strength of researched samples is reduced in comparison with the control samples, but with an increase of firing temperature to 1070 °C, an increase in bending strength has also been achieved. A comparative analysis of the obtained data on the strength of ceramic brick samples with the requirements of National State Standard showed that when the pulp and paper sludge is introduced into the ceramic mass in an amount of 4–8% by weight, as a combustible additive, it is possible to obtain solid ceramic brick suitable for building.

**Keywords:** pulp and paper sludge, secondary sludge, primary sludge, cellulose fiber, combustible additive.

На сегодняшний день предприятия целлюлозно-бумажной отрасли России успешно реализуют технологии производства продукции с использованием как первичного, так и вторичного сырья. Наиболее широко используется древесина хвойных и лиственных пород, что связано с отсутствием системы раздельного сбора отходов в России и наличием больших запасов лесных ресурсов. Однако при производстве упаковочных видов картонно-бумажной продукции применяется в основном макулатурное сырьё по причине его более низкой стоимости по сравнению с первичным сырьём [1, 2].

Процессы подготовки и переработки первичного и вторичного сырья на целлюлозно-бумажных предприятиях являются ресурсо- и энергоёмкими, при этом приводят к образованию большого количества отходов окорки и распиловки древесины, отходов очистки макулатуры в виде остатков плёнок и скотча, осадков сточных вод.

В настоящее время проблема утилизации твёрдых отходов на целлюлозно-бумажных предприятиях успешно решается путём применения термических технологий, обеспечивающих использование энергетического потенциала отходов и предотвращающих их размещение в окружающей среде [3–5]. Однако процесс совместного термического обезвреживания всех отходов связан с возникновением ряда технологических проблем, основными из которых являются увеличение длительности термического процесса и снижение количества выделяемой тепловой энергии по причине высокой влажности и зольности топливной смеси.

Исследования термического процесса на примере одного из предприятий отрасли показали, что на эффективность процесса в первую очередь негативно влияет избыточное количество осадка сточных вод, подаваемого в топливную смесь, в связи с высокой влажностью и зольностью осадка [6]. Поэтому актуальным является поиск альтернативных способов обращения с избыточным количеством осадка сточных вод целлюлозно-бумажных предприятий.

В технологии очистки производственных сточных вод целлюлозно-бумажных предприятий основными видами осадков являются осадок первичных отстойников, представляющий собой короткое целлюлозное волокно (скоп) и избыточный активный ил. Дальнейшая утилизация осадков осуществляется, как правило, совместно. При этом смесь скопа и

активного ила подвергается предварительному сгущению и механическому обезвоживанию [7].

Анализ научно-технической информации в области обращения с осадком сточных вод целлюлозно-бумажных предприятий показал целесообразность его использования в качестве вторичного сырьевого ресурса в производстве строительных материалов [8]. Авторами данной работы выполнены исследования в области использования скопа в качестве сырьевого компонента при производстве плит несъёмной опалубки. Предлагаемый авторами состав содержит скоп в количестве 25–45%, тонкомолотый минеральный компонент, в качестве которого может быть использован портландцемент, вяжущее на основе тонкомолотого доменного шлака и жидкого стекла, глинозёмистый цемент или микрокремнезём – 15–40, базальтовое волокно – 10–20, антисептик – 0,5–1,0, вода – 20–24,5%. В результате использования предлагаемого состава могут быть получены плиты, остающиеся в качестве внутреннего и наружного слоя ограждающей конструкции при строительстве зданий монолитным способом.

Скоп, применяемый в качестве добавки к составу, содержит порядка 75–90% целлюлозных волокон длиной 150–250 мкм, толщиной 1–5 мкм хаотично переплетённых между собой.

Введение скопа в качестве волокнистой добавки в предлагаемый состав позволяет добиться увеличения прочности конструкции, снижения трещинообразования и уменьшения себестоимости строительного материала. Преимуществом предлагаемого состава плит несъёмной опалубки является также существенное снижение массы плиты, уменьшение расхода цемента, повышение ударной вязкости и сопротивления теплопередаче. За счёт наличия у скопа сорбционных свойств наряду с повышением механических показателей конструкции обеспечивается поглощение вредных компонентов, поступающих в атмосферный воздух при использовании в строительных конструкциях пенополистирола.

Результаты исследования химических свойств осадков сточных вод шести разных целлюлозно-бумажных предприятий, производящих офисную бумагу и полуфабрикаты представлены в работе [9]. Образующиеся в технологическом процессе каждого предприятия осадки существенно отличались по физико-химическим свойствам. Так содержание целлюлозного волокна в исследуемых

осадках варьировалось от 11,9–81,6%. На основании анализа состава исследуемых осадков сточных вод авторами рекомендованы технологии использования ресурсного потенциала их минеральной и органической составляющей.

Осадки, с содержанием целлюлозного волокна порядка 30,7–81,6% и прочих минеральных наполнителей рекомендовано использовать в качестве сырьевых компонентов для производства древесноволокнистых плит, а осадки с высоким содержанием минеральных наполнителей могут быть использованы в качестве заполнителей в цементных растворах. При этом количество вводимого в цемент осадка может достигать 10% масс. Осадок может успешно вводиться в качестве добавки к штукатурным смесям и гидрофобным строительным покрытиям.

Авторами [10] исследовалось производство древесно-стружечных плит с использованием осадка сточных вод ЦБП. Зольность используемого осадка составляла 27,76%, на долю целлюлозного волокна приходилось – 20,83, содержание лигнина составляло 17,41, растворимых компонентов – 6,37%. Осадок смешивали с древесными волокнами в соотношениях 0:100, 15:85, 30:70, 45:55 с добавлением связующих в качестве которых использовались формальдегид и метилendiфенилдиизоцианат. Из полученной смеси формовали фибер-маты путём горячего прессования, дальнейшие исследования которых на прочность показали соответствие их прочностных характеристик стандартам Европейского Союза.

Технология изготовления древесно-пластиковых композитов с добавлением осадков сточных вод ЦБП с последующим использованием полученных композитов для изготовления черепицы, ограждающих конструкций, настилов представлена в работах [11, 12]. Осадок использовался в качестве армирующего компонента вместо части древесного волокна (до 50% масс.) в полипропилене. Исследования механических свойств полученного композита показали, что минеральные наполнители в композитных материалах на основе полипропилена могут быть успешно заменены осадками сточных вод ЦБП, если полученные композиты предполагается использовать в качестве материала для производства изделий, испытывающих небольшие механические нагрузки: панели, мебель, ограждающие конструкции.

Изучена возможность введения осадка сточных вод целлюлозно-бумажного произ-

водства в качестве аналога древесного волокна в смеси для изготовления поддонов, предназначенных для перевозки грузов, в состав которых входит древесина, пластик и металл [13]. Осадок смешивали с древесными волокнами с добавлением формальдегида в качестве связующего и подвергали затвердеванию в присутствии хлорида аммония. Используемый осадок содержал порядка 20,83% масс. целлюлозных волокон, зольность осадка составляла 27,76%. Поддоны, полученные из смеси с дозированием осадка в количестве 10% масс. отвечали требованиям европейских стандартов для продукции данного типа.

В работе [14] исследовано получение древесных пластиков с использованием скопа и активного ила. В качестве матрицы использовался полиэтилен высокого давления. Предварительно обезвоженные, нагретые и измельчённые скоп и активный ил смешивали в соотношении 7:3 и 9:1. Высушенную смесь объединяли с полиэтиленом высокого давления (массовое содержание смеси в полиэтилене составляло 20, 30, 40%) в двухшнековом экструдере при температуре 1558 °С с получением гранул. Получение композита с использованием осадков сточных вод ЦБП позволило увеличить его температуру плавления.

Авторами [15] исследовалась возможность использования осадка в качестве заполнителя в резиновых композитах. Микрористаллическая целлюлоза, полученная из осадка, использовалась в качестве частичной замены кремниевых частиц (заменяли до 18% диоксида кремния в резиновом композите), что обеспечило повышение прочности материала на растяжение.

Проведены исследования по получению лёгкого заполнителя для бетона на основе осадка сточных вод ЦБП, в которых использовался осадок как первичных, так и вторичных отстойников, при этом образцы лёгкого заполнителя получены путём гранулирования осадка, его сушки и последующего спекания [16]. Полученные образцы соответствовали требованиям по прочности и водопоглощению, предъявляемым к лёгким заполнителям.

Автором исследования [17] предложено изготовление теплоизоляционных материалов на основе скопа, в которых скоп может играть роль связующего или волокнистого армирующего компонента; сорбционноактивного заполнителя в цементных композициях для производства штукатурок; заполнителя при производстве несъёмной опалубки. Использование скопа при производстве теплоизо-

ляционных плит позволило снизить их себестоимость на 10–20%.

Известны исследования в области использования осадков сточных вод ЦБП при производстве кирпича. Авторами [18] предложена керамическая масса для изготовления стеновых строительных изделий, преимущественно кирпича, содержащая суглинок (64–66% масс.), выгорающую добавку на основе скопа – осадка сточных вод от химической обработки отходов производства картона – (6–9% масс.), железосодержащий отход в виде осадка из циклонов от очистки поверхности стальных конструкций или деталей дробеструйным аппаратом (7–13% масс.), керамзитовую вспучивающуюся глину. Изделия, полученные на основе предложенной смеси обладают повышенной прочностью и характеризуются низкой степенью усадки.

На основании анализа современных исследований в области использования осадка сточных вод целлюлозно-бумажной промышленности при получении экологически безопасных строительных материалов с учётом экономической целесообразности применения существующих технологий было принято решение о проведении исследований по получению полнотелого керамического кирпича с использованием осадка в качестве выгорающей добавки.

Целью исследования являлось установление возможности получения полнотелого керамического кирпича, отвечающего требованиям ГОСТ, с добавлением осадка сточных вод ЦБП в качестве выгорающей добавки.

**Объекты и методы исследования**

В исследованиях использовался осадок сточных вод, образующийся на очистных сооружениях предприятия (в первичных отстойниках), являющегося типичным представителем целлюлозно-бумажной отрасли и использующим в технологии производства как первичное, так и вторичное сырьё. Осадок (скоп) представлял собой серую пастообразную массу, в состав которой входит мелкое целлюлозное волокно (около 90% масс.), осадок не растворяется в воде, имеет склон-

ность к налипанию, смерзанию и слёживанию. Насыпная плотность осадка составляла 1,048 т/м<sup>3</sup>, влажность 83%. Осадок относится к 5 классу опасности, не оказывает токсического действия на организм человека и содержит в своём составе преимущественно волокно лиственной полуцеллюлозы и макулатуры.

Лабораторные исследования включали следующие этапы:

Получение лабораторных образцов полнотелого керамического кирпича с добавлением осадка в качестве выгорающей добавки (массовое содержание скопа 4 и 8%), обожжённого при температурах 970 и 1070 °С.

Исследование плотности, водопоглощения, пределов прочности полученных образцов при сжатии и изгибе.

Установление математических зависимостей изменения основных характеристик полученных образцов при варьировании температурой обжига и количеством вводимого осадка.

В качестве исходного сырья при проведении экспериментов применяли глину, основные характеристики которой представлены в таблице 1.

Испытания глинистого сырья проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 21216-2014 Сырьё глинистое. Методы испытаний. Среди основных показателей у глинистого сырья определяли в процентах нижнюю границу текучести (23,9%), границу раскатывания (17,2%) и число пластичности (6,7%).

Механические свойства лабораторных образцов определяли по стандартным методикам, исследования по определению воздушной и огневой усадки проводили по стандартной методике по ГОСТ 21216-2014 Сырьё глинистое. Методы испытаний. Водопоглощение образцов определяли в соответствии с методикой ГОСТ 2409-95 (ИСО 5017-88) Огнеупоры. Метод определения кажущейся плотности, открытой и общей пористости, водопоглощения. Прочностные характеристики образцов исследовались по методикам ГОСТ 8462-85 Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе.

Статистический анализ экспериментальных данных и получение математических за-

**Таблица 1 / Table 1**

| Состав используемой глины / Composition of used clay  |       |      |      |      |      |      |      |       |
|---|-------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Содержание основных химических элементов, % (по массе)<br>Content of basic chemical elements, % (by weight) |       |      |      |      |      |      |      |       |
| Si  | Al    | Fe   | Mg   | Ti   | K    | Na   | Ca   | O     |
| 27,80   | 10,40 | 5,27 | 1,30 | 0,90 | 1,71 | 0,77 | 1,00 | 50,95 |

висимостей функций отклика выполнялись в программном комплексе STATISTICA.

**Результаты исследований и их обсуждение**

Осадок, использующийся в качестве выгорающей добавки, предварительно подготавливался следующим образом: навеска 1000 г высушивалась до постоянной массы при температуре 70±1 °С (в течение 7 суток), затем измельчалась в шаровой мельнице с фарфоровыми мелющими телами с течение 48 часов, далее – просеивалась через сито с размером ячейки 0,315 мм. Полученную фракцию вводили в глинистое сырьё взамен его части.

Образцы из глинистого сырья с добавлением осадка в качестве выгорающей добавки (массовое содержание осадка 4 и 8%) и контрольные образцы из чистой глины обжигались при температурах 970 и 1070 °С.

Для получения достоверных зависимостей изменения основных характеристик керамических образцов от содержания в них осадка и температуры обжига был спланирован и проведён двухфакторный эксперимент с центральным ортогональным планом, с изменением каждого фактора на двух уровнях. В

качестве факторов использовали: количество вводимого скопа (4 и 8% по массе взамен основного сырья); температура обжига (970 и 1070 °С). В результате эксперимента были определены следующие показатели (функции отклика): предел прочности при сжатии (МПа), предел прочности при изгибе (МПа), воздушная и огневая линейные усадки (%), водопоглощение по массе (%), средняя плотность (г/см<sup>3</sup>). План эксперимента в натуральных величинах и значения функции отклика в каждой точке плана приведены в таблице 2.

Значения получены с доверительной вероятностью 0,95.

На основании установленных данных в программном комплексе STATISTICA были получены математические зависимости функций отклика:

$$z_1 = -0,28 - 0,065 \cdot x + 0,002 \cdot y + 0,00005 \cdot x \cdot y$$

$$z_2 = 8,07 - 0,125 \cdot x$$

$$z_3 = -41,412 + 4,498 \cdot x + 0,0436 \cdot y - 0,004575 \cdot x \cdot y$$

$$z_4 = 86,964 + 5,61 \cdot x - 0,0752 \cdot y - 0,004393 \cdot x \cdot y$$

$$z_5 = -9,51 + 0,1075 \cdot x + 0,033 \cdot y + 0,00025 \cdot x \cdot y$$

$$z_6 = -177,56 + 5,0965 \cdot x + 0,1925 \cdot y - 0,005734 \cdot x \cdot y$$

где  $z_1$  – средняя плотность образца (г/см<sup>3</sup>);  $z_2$  – воздушная линейная усадка (%);  $z_3$  – огневая

**Таблица 2 / Table 2**

План эксперимента и значения функции отклика в каждой точке плана  
The experimental design and the response function values at each point of the plan

| Номер образца<br>Sample number  | 1     | 2     | 3     | 4     | Контрольный образец 1<br>Control sample 1 | Контрольный образец 2<br>Control sample 2 |
|---|-------|-------|-------|-------|---|---|
| Количество вводимого осадка, %<br>Content of pulp and paper sludge, % | 4     | 4     | 8     | 8     | 0   | 0   |
| Температура, °С<br>Temperature, °C                                    | 970   | 1070  | 970   | 1070  | 970                                       | 1070                                      |
| Плотность, г/см <sup>3</sup><br>Density, g/cm <sup>3</sup>            | 1,60  | 1,82  | 1,54  | 1,78  | 1,71                                      | 1,98                                      |
| Воздушная линейная усадка, %<br>Air linear shrinkage, %               | 7,57  | 7,57  | 7,07  | 7,07  | 7,78                                      | 7,78                                      |
| Огневая линейная усадка, %<br>Fire linear shrinkage, %                | 1,12  | 3,65  | 1,36  | 2,06  | 0,60                                      | 5,10                                      |
| Водопоглощение, %<br>Water absorption, %                              | 17,36 | 7,87  | 20,70 | 9,24  | 12,96                                     | 5,86                                      |
| Предел прочности при сжатии, МПа<br>Compressive strength, MPa         | 23,9  | 27,3  | 25,3  | 28,8  | 13,3                                      | 26,4                                      |
| Предел прочности при изгибе, МПа<br>Bending strength, MPa             | 7,3   | 24,25 | 5,42  | 20,08 | 9,93                                      | 31,34                                     |

вая линейная усадка (%);  $z_4$  – водопоглощение по массе (%);  $z_5$  – предел прочности при сжатии (МПа);  $z_6$  – предел прочности при изгибе (МПа);  $x$  – содержание осадка в керамической массе (в интервале 4–8% масс.),  $y$  – температура обжига (в интервале 960–1080 °С).

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- воздушная линейная усадка при введении осадка в количестве 4 и 8% снижается на 2,7 и 9,1% соответственно по сравнению с контрольными образцами;

- средняя плотность обожжённых образцов изменяется обратно пропорционально увеличению расхода осадка. При этом значение средней плотности при повышении температуры с 970 до 1070 °С увеличивается в среднем на 13–15%;

- огневая линейная усадка образцов, обожжённых при температуре 1070 °С, снижается с 5,1% (контрольный образец) до 3,65 и 2,06% у составов с содержанием осадка 4 и 8% соответственно;

- водопоглощение образцов, обожжённых при 970 °С, увеличивается в среднем на величину введения осадка в смесь (на 4,4 и 7,7% соответственно). Однако при увеличении температуры обжига до 1070 °С величина открытой пористости у образцов с содержанием осадка 4 и 8% увеличивается лишь на 2,01 и 3,38% соответственно;

- предел прочности при сжатии образцов с содержанием осадка (обжиг при 970 °С) превышает контрольные значения на 79,7 и 90,2% соответственно. При этом повышение температуры до 1070 °С способствует повышению прочности при сжатии в среднем на 14% (прочность контрольных образцов при тех же условиях увеличилась в 1,98 раза). Такая зависимость обусловлена дополнительной тепловой энергией, образующейся в результате сгорания осадка, что в свою очередь, повышает температуру обжига глинистого сырья в печи;

- изменение предела прочности при изгибе имеет обратную зависимость по сравнению с пределом прочности на сжатие: при введении осадка (4 и 8%) прочность при изгибе по сравнению с контрольными значениями снижается в среднем на 27 и 45% соответственно при температуре обжига 970 °С, и на 22,6 и 35,9% соответственно при температуре обжига 1070 °С.

Основываясь на полученных данных, можно утверждать, что эксперимент воспроизводим, полученные математические зависимости позволяют однозначно оптимизировать состав по содержанию в нём осадка сточных

вод целлюлозно-бумажного производства при заданном (требуемом) значении выбранной целевой функции.

### **Заключение**

Сравнение полученных данных по прочности исследуемых образцов керамического кирпича с требованиями ГОСТ показал, что при введении осадка сточных вод целлюлозно-бумажного производства в шихту в количестве 4 и 8% масс в качестве выгорающей добавки возможно получение полнотелого керамического кирпича, соответствующего по прочности марке М150-М200. Для точного определения марки полноразмерного керамического кирпича необходимо производство опытной партии в промышленных условиях и испытание образцов в соответствии с требованиями ГОСТ. Однако было установлено, что в результате сгорания осадка в керамической массе при обжиге выделяется дополнительная тепловая энергия, что в свою очередь повышает температуру обжига глинистого сырья в печи и увеличивает прочность образцов на сжатие и изгиб (по сравнению с образцами, обожжёнными при 970 °С). Поэтому, на основании полученных результатов можно утверждать, что при температуре обжига готовых керамических изделий выше 1000 °С возможно получение керамического кирпича, соответствующего марке М150 по ГОСТ 530-2012.

### **Литература**

1. Тарасов С.М., Азаров В.И., Ковернинский И.Н. Современные тенденции в развитии технологии производства бумаги и картона // Лесной вестник. 2003. № 5. С. 89–92.
2. Дулькин Д.А., Спиридонов В.А., Комаров В.И. Современное состояние и перспективы использования вторичного волокна из макулатуры в мировой и отечественной индустрии бумаги. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. 1118 с.
3. Coimbra R.N., Paniaguua S., Escapa C., Calvo L.F., Otero M. Combustion of primary and secondary pulp mill sludge and their respective blends with coal: A thermogravimetric assessment// Renewable Energy. 2015. V. 83. P. 1050–1058.
4. Méndez A., Fidalgo J.M., Guerrero F., Gasco G. Characterization and pyrolysis behaviour of different paper mill waste materials // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 2009. V. 86. No. 1. P. 66–73.
5. Мюллер О.Д., Малыгин В.И., Харитоненко В.Т., Кремлева Л.В. Анализ энергетического потенциала

древесных отходов в лесопромышленном комплексе Архангельской отрасли // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2010. № 3. С. 94–101.

6. Ширинкина Е.С., Вайсман Я.И., Курило О.Н. Использование энергетического потенциала органических отходов при их сжигании на утилизационных установках // Экология и промышленность России. 2018. № 22 (7). С. 54–58.

7. Болотова К.С. Совершенствование технологии подготовки осадков сточных вод целлюлозно-бумажного производства к сжиганию: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Архангельск: АГТУ. 2009. 19 с.

8. Баталин Б.С., Козлов И.А. Состав для изготовления плит несъёмной опалубки // Патент РФ 2323185 С2. Заявка: 2005132296/03, 19.10.2005. Опубликовано: 27.04.2008. Бюл. № 12.

9. Adu C., Jolly M. Developing fiber and mineral based composite materials from paper manufacturing by-products // Smart Innovation, Systems and Technologies. 2017. V. 68. P. 435–444.

10. Eichhorn S.J., Dufresne A., Aranguren M., Marcovich N.E., Capadona J.R., Rowan S.J., Weder C., Thielemans W., Roman M., Renneckar S., Gindl W., Veigel S., Keckes J., Yano H., Abe K., Nogi M., Nakagaito A.N., Mangalam A., Simonsen J., Benight A.S., Bismarck A., Berglund L.A., Peijs T. Review: current international research into cellulose nanofibres and nanocomposites // Journal of Materials Sciences. 2010. V. 45. No. 1. P. 1–33.

11. Huang H.B., Du H.H., Wang W.H., Shi J.Y. Characteristics of paper mill sludge-wood fiber-high-density polyethylene composites // Polymer composites. 2012. V. 16. P. 101–113.

12. Soucy J., Koubaa A., Migneault S., Riedl B. The potential of paper mill sludge for wood plastic composites // Industrial Crops and Products. 2014. V. 54. P. 248–256.

13. Kim S., Kim H.J., Park J.C. Application of recycled paper sludge and biomass materials in manufacture of green composite pallet // Resources, Conservation and Recycling. 2009. V. 53. P. 674–679.

14. Soucy J., Godard F., Rivard P., Koubaa A. Rheological behavior of high-density polyethylene (HDPE) filled with paper mill sludge // Journal of Applied Polymer Science. 2018. V. 135. P. 1–12.

15. Ismail H., Rusli A., Azura A.R., Ahmad Z. The effect of partial replacement of paper sludge by commercial Fillers on natural rubber composites // Journal of Reinforced Plastics and Composites. 2008. V. 27. P. 1877–1891.

16. Chen H.-J., Hsueh Y.-C., Peng C.-F., Tang C.-W. Paper sludge reuse in lightweight aggregates manufacturing // Materials. 2016. V. 9 (11). No. 876. P. 1–9.

17. Козлов И.А. Новые конструкционно-теплоизоляционные материалы на основе скопа – отхода целлюлозно-бумажной промышленности: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Челябинск: Пресстайм, 2009. 23 с.

18. Трещев А.А., Мишунина Г.Е., Липатова Е.С., Кораблин И.М. Керамическая масса // Патент РФ

2300507 С1. Заявка: 2006100855/03, 10.01.2006. Опубликовано: 10.06.2007. Бюл. № 16.

## References

1. Tarasov S.M., Azarov V.I., Koverninskiy I.N. Modern trends in the development of paper and paperboard production technology // Lesnoy vestnik. 2003. No. 5. P. 89–92 (in Russian).

2. Dulkan D.A., Spiridonov V.A., Komarov V.I. Current situation and prospects of using secondary fiber from waste paper in the world and domestic paper industry. Arkhangel'sk: Izd-vo AGTU, 2007. 1118 p. (in Russian).

3. Coimbra R.N., Paniaguua S., Escapa C., Calvo L.F., Otero M. Combustion of primary and secondary pulp mill sludge and their respective blends with coal: A thermogravimetric assessment // Renewable Energy. 2015. V. 83. P. 1050–1058.

4. Méndez A., Fidalgo J.M., Guerrero F., Gasco G. Characterization and pyrolysis behaviour of different paper mill waste materials // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 2009. V. 86. No. 1. P. 66–73.

5. Myuller O.D., Malygin V.I., Kharitonenko V.T., Kremleva L.V. Energy potential analysis of wood waste in forest industry of the Arkhangel'sk Region // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal. 2010. No. 3. P. 94–101 (in Russian).

6. Shirinkina E.S., Vaysman Ya.I., Kurilo O.N. Use of the Energy Potential of Organic Waste during its Incineration at Recycling Facility // Ekologiya i promyshlennost Rossii. 2018. No. 22 (7). P. 54–58 (in Russian).

7. Bolotova K.S. Improving the technology of pulp and paper sludge preparation to incineration: Avtoref. ... kand. tech. nauk. Arkhangel'sk: AGTU. 2009. 19 p. (in Russian).

8. Batalin B.S., Kozlov I.A. Composition for manufacture of plates for permanent forms // Patent RU 2323185 C2. Application: 2005132296/03, 19.10.2005. Date of publication: 27.04.2008/ Bull. 12 (in Russian).

9. Adu C., Jolly M. Developing fiber and mineral based composite materials from paper manufacturing by-products // Smart Innovation, Systems and Technologies. 2017. V. 68. P. 435–444.

10. Eichhorn S.J., Dufresne A., Aranguren M., Marcovich N.E., Capadona J.R., Rowan S.J., Weder C., Thielemans W., Roman M., Renneckar S., Gindl W., Veigel S., Keckes J., Yano H., Abe K., Nogi M., Nakagaito A.N., Mangalam A., Simonsen J., Benight A.S., Bismarck A., Berglund L.A., Peijs T. Review: current international research into cellulose nanofibres and nanocomposites // Journal of Materials Sciences. 2010. V. 45. No. 1. P. 1–33.

11. Huang H.B., Du H.H., Wang W.H., Shi J.Y. Characteristics of paper mill sludge-wood fiber-high-density polyethylene composites // Polymer composites. 2012. V. 16. P. 101–113.

12. Soucy J., Koubaa A., Migneault S., Riedl B. The potential of paper mill sludge for wood plastic com-

posites // *Industrial Crops and Products*. 2014. V. 54. P. 248–256.

13. Kim S., Kim H.J., Park J.C. Application of recycled paper sludge and biomass materials in manufacture of green composite pallet // *Resources, Conservation and Recycling*. 2009. V. 53. P. 674–679.

14. Soucy J., Godard F., Rivard P., Koubaa A. Rheological behavior of high-density polyethylene (HDPE) filled with paper mill sludge // *Journal of Applied Polymer Science*. 2018. V. 135. P. 1–12.

15. Ismail H., Rusli A., Azura A.R., Ahmad Z. The effect of partial replacement of paper sludge by commercial

Fillers on natural rubber composites // *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. 2008. V. 27. P. 1877–1891.

16. Chen H.-J., Hsueh Y.-C., Peng C.-F., Tang C.-W. Paper sludge reuse in lightweight aggregates manufacturing // *Materials*. 2016. V. 9 (11). No. 876. P. 1–9.

17. Kozlov I.A. **New construction and thermal insulation materials based on the sludge – waste of the pulp and paper industry:** Avtoref. ... kand. tech. nauk. Chelyabinsk: Presstaym, 2009. 23 p. (in Russian).

18. Treshchev A.A., Mishunina G.E., Lipatova E.S., Korablin I.M. Ceramic mass // Application: 2006100855/03, 10.01.2006. Date of publication: 10.06.2007. Bull. 16 (in Russian).

МИНПРОМТОРГ  
РОССИИ

WASMA

стенд № В219

**XV ЮБИЛЕЙНАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ  
ВЫСТАВКА ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЙ  
ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ, УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ  
И ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД**

**XV ANNIVERSARY INTERNATIONAL EXHIBITION  
OF EQUIPMENT AND TECHNOLOGIES  
FOR WASTE MANAGEMENT, RECYCLING  
AND WASTEWATER TREATMENT**

23–25 october  
23–25 октября

www.minpromtorg.gov.ru

www.wasma.ru