

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ФЕНОЛСОДЕРЖАЩИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

И.Н. Липунов¹, И.Г. Первова¹, Н.О. Толмачева¹, А.Ф. Никифоров²

E-mail: biosphera@usfeu.ru

¹ ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, Россия

² ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

АННОТАЦИЯ: Разработана ресурсосберегающая, малоотходная технология обезвреживания высокотоксичных фенолсодержащих сточных вод с утилизацией фенола и формальдегида в качестве органического вяжущего. Технология основана на использовании техногенного сырья («надсмольные» воды производства фенолформальдегидных смол, мягкие древесные отходы, отходы производства и переработки слоистых пластиков) и процессов регенерации, рекуперации и конверсии фенола. Экспериментально установлены оптимальные технологические параметры процессов сорбции фенола на древесном сорбенте-наполнителе и вторичной поликонденсации, обеспечивающие, высокую степень обезвреживания и извлечения смолообразующих компонентов сточных вод и последующей их конверсии в древесно-полимерный термопластичный композит конструкционного назначения и фенолят натрия.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: фенолсодержащие сточные воды, обезвреживание, сорбция, вторичная поликонденсация, твердые промышленные отходы, ресурсосберегающая технология, продукты утилизации.

В работе представлены результаты исследований и разработки ресурсосберегающей технологии обезвреживания промышленных фенолсодержащих сточных вод с утилизацией фенола и формальдегида, обладающих смолообразующими свойствами и используемых в качестве органического связующего в процессе получения композиционного материала. Объектами исследования, кроме фенольных вод, являются мягкие древесные отходы предприятий механической переработки древесного сырья, измельченные отходы производства и переработки слоистых пластиков, являющиеся твердофазными компонентами – сорбентами и наполнителями композиционной смеси. Экспериментально установлены оптимальные параметры технологических процессов утилизации данных видов промышленных отходов в нетоксичный древесно-полимерный термопластичный композит.

© Липунов И.Н., Первова И.Г., Толмачева Н.О., Никифоров А.Ф., 2019

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При разработке технологии обезвреживания высокотоксичных фенол-содержащих сточных вод, образующихся в производстве синтетических фенолформальдегидных смол и композиционных материалов на их основе, использованы регенеративные методы, основанные на процессах рекуперации и последующей конверсии фенола и формальдегида в древесно-полимерный композит. Такие композиционные материалы, используемые для изготовления изделий и деталей, в т. ч. для машин и механизмов, методом горячего прессования, получают на основе измельченной деловой древесины и товарных фенолформальдегидных смол [1].

Технологический процесс получения древесно-полимерного композита отработывался на «надсмольных» водах, образующихся в производстве фенолформальдегидной смолы, используемой для получения лака ЛБС-1, применяемого в производстве электротехнических листовых и намотанных прессовочных материалов, в которых содержание свободных фенола и формальдегида составляло 12,4 и 1,93 % мас. соответственно.

Процесс рекуперации фенола, обладающего смолообразующими свойствами, основан на сорбционных методах. Адсорбцию основной массы фенола из «надсмольных» вод осуществляли на модифицированном древесном сорбенте, а из конденсатных вод, образующихся на стадии сушки продукта поликонденсации, – на катионите КУ-36. Процесс конверсии смолообразующих компонентов в композит осуществляли методом вторичной поликонденсации адсорбированного на древесном сорбенте фенола с формальдегидом «надсмольной» воды и дополнительно вводимого в расчетных количествах в реакционную массу в виде 37 % раствора формалина в щелочной среде. Предварительная подготовка, фракционный состав, сорбционная активность по фенолу таких сорбентов описаны в работах [2, 3].

Исследования по отработке оптимальных условий технологических процессов обезвреживания фенолсодержащих сточных вод, при которых обеспечивается высокая степень конверсии фенола в присутствии древесного сорбента-наполнителя в композит, осуществляли на лабораторной установке (рис. 1).

В реактор при непрерывно работающей мешалке порциями загружали 60 г предварительно подготовленного к работе древесного сорбента. Каждую порцию сорбента смачивали объемом «надсмольной» воды, соответствующим определенному значению гидромодуля с известным содержанием фенола и формальдегида с добавлением 25 % раствора NH_4OH . Такой режим загрузки компонентов обеспечивает процессы равномерной смачиваемости, набухания и пропитки частиц древесного сорбента смолообразующими компонентами, адсорбции фенола и получения древесно-

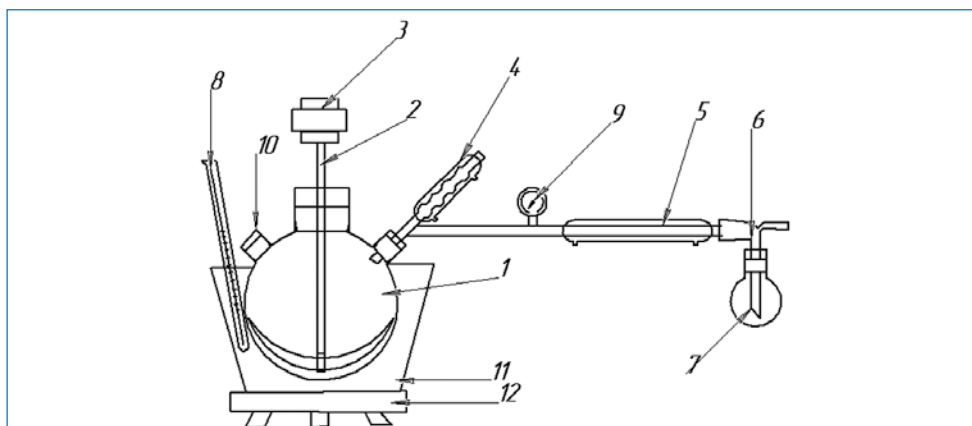


Рис. 1. Лабораторная установка обезвреживания и утилизации смолообразующих компонентов «надсмольных» вод: 1 – реактор; 2 – мешалка; 3 – электродвигатель; 4 – обратный холодильник; 5 – прямой холодильник; 6 – вакуумный адаптер; 7 – сборник конденсата; 8 – контактный термометр; 9 – вакуумметр; 10 – загрузочное горло; 11 – термостат; 12 – электронагреватель.

Fig. 1. A laboratory plant for the ammonia-tar liquor resin-forming components' decontamination and utilization: 1 – reactor; 2 – mixer; 3 – electric engine; 4 – reverse refrigerator; 5 – direct refrigerator; 6 – vacuum adapter; 7 – condensate collector; 8 – contact thermometer; 9 – vacuum-gauge; 10 – feeding hole; 11 – thermostat; 12 – electric heater.

фенольной реакционной массы. Затем в реактор вводили двумя порциями рассчитанные объемы раствора формалина и гидроксида натрия для осуществления процесса вторичной поликонденсации и конверсии фенола в древесно-полимерный композит. Температуру в реакционной зоне реактора на соответствующих стадиях процессов рекуперации и конверсии фенола варьировали в пределах 60–98 °С.

Установление влияния режима сушки композита на содержание в нем фенолформальдегидного вяжущего, содержание которого характеризует основную эксплуатационную характеристику термопластичного композита – текучесть, осуществляли путем постоянного перемешивания композита при температуре 98 °С и давлении 1 атм. и с применением глубокого вакуума при температуре 60 °С. Показатель текучести композита по приведенному диаметру определяли по ГОСТ 11368–79 [1]. Степень извлечения фенола и конверсии смолообразующих компонентов «надсмольных» вод в олигомерный продукт устанавливали по их остаточной концентрации в конденсатных водах, образующихся на стадии сушки композита. Свободный фенол определяли броматометрическим методом, а свободный формальдегид – иодометрически, путем окисления формальдегида в щелочной среде реактивом Несслера [4]. Токсичность водной вытяжки древесно-полимерного композита проводили методом биотестирования [5].

С целью определения оптимальных технологических параметров процессов сорбции и вторичной поликонденсации, при которых обеспечивается высокая степень конверсии смолообразующих компонентов «надсмольных» вод и получается продукт сополиконденсации высокого качества, проведен дробный факторный эксперимент типа ДФЭ 25–2. Метод планирования и обработку результатов эксперимента проводили по методике, описанной в работе [6]. Основным параметром оптимизации процесса обезвреживания фенолсодержащих сточных вод выбрано остаточное содержание свободного фенола в конденсатных водах.

Анализ уравнения регрессии, адекватно описывающий процессы адсорбции и вторичной поликонденсации фенола и формальдегида с участием древесного сорбента – наполнителя, позволил установить основные факторы, влияющие на степень конверсии фенола «надсмольных» вод. Наиболее значимыми факторами являются: массовое соотношение жидкой и твердой фаз ($J: T$ – гидромодуль) и связанное с ним массовое содержание смолообразующих компонентов в «надсмольной» воде, характеризующее количество органического связующего в продукте сополиконденсации, мольное соотношение смолообразующих компонентов в реакционной массе, температура процессов конверсии фенола. Значения факторов варьировали в следующих пределах: мольное соотношение $CH_2O: C_6H_5OH$ – 1,4...2,9; содержание смолообразующих компонентов в «надсмольной» воде – 5...20 мас. %; гидромодуль ($J: T$) – 3...5.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Ранее установлено, что введение древесных сорбентов в процесс обесфеноливания «надсмольных» вод основано на использовании их сорбционной и реакционной способности [3]. Сорбционная способность измельченной древесины обусловлена наличием в ее составе гидроксильных, карбонильных и карбоксильных функциональных групп и восстановительными свойствами ее поверхности, что обеспечивает глубокую степень обесфеноливания и образования древесно-фенольной массы. Реакционная способность такой массы связана с содержанием на поверхности древесного сорбента иммобилизованных молекул фенола, способных участвовать в реакции поликонденсации с формальдегидом, содержащимся в «надсмольной» воде и дополнительно вводимого в реакционную массу в виде 37 % раствора формалина.

Разработке ресурсосберегающей технологии обезвреживания фенолсодержащих сточных вод, являющейся многостадийным процессом, предшествовало установление опытным путем оптимальных технологических параметров. Влияние температуры на процессы набухания и пластификации древесного сорбента в аммиачном растворе и сорбционного извлечения фенола из реальных «надсмольных» вод исследовали в зависимости от

величины гидромодуля ($J: T$), значение которого варьировалось в пределах 3–5. Раствор аммиака вводили в реакционную зону аппарата с первой порцией сорбента и «надсмольной» воды, таким образом, совмещая стадии процессов набухания сорбента и адсорбции на нем фенола. Время взаимодействия компонентов гетерогенной системы увеличивали с 15 до 30 мин.

Максимальная степень извлечения фенола из «надсмольных» вод, содержащих 124 г/л свободного фенола, также как и из слабо концентрированных фенолсодержащих водных растворов [3], на данной стадии процесса обезвреживания характерна для гидромодуля 3 (рис. 2). Независимо от величины гидромодуля, на каждой кривой наблюдается два максимума, один при температуре 60 и второй – 98 °С, характеризующие различные процессы извлечения фенола. Температура 60 °С является оптимальной для процессов набухания древесного сорбента, приводящее к увеличению его удельной поверхности, и сорбции основной массы фенола из «надсмольной» воды (91–93 мас. %).

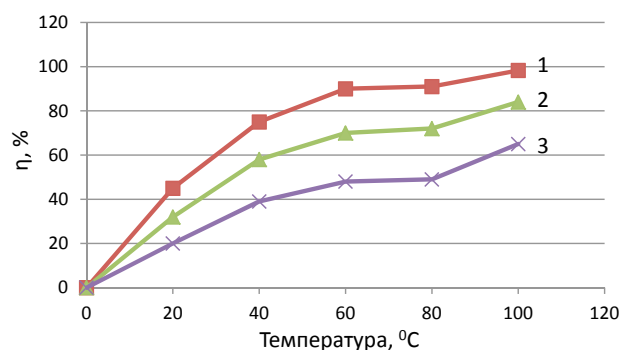


Рис. 2. Зависимость степени сорбционного извлечения фенола (η , %) из «надсмольной» воды от температуры при различных значениях гидромодуля: 1 – $J: T = 3$; 2 – $J: T = 4$; 3 – $J: T = 5$.

Fig. 2. Dependency of the phenol sorption recovery (η , %) from ammonium-tar liquor on temperature with different values of water duty: 1 – $J: T = 3$; 2 – $J: T = 4$; 3 – $J: T = 5$.

Повышение температуры на стадии сорбции до 98 °С инициирует начало протекания процесса поликонденсации фенола с формальдегидом «надсмольной» воды в присутствии аммиачного раствора с образованием фенолформальдегидного олигомера, адсорбция которого древесным сорбентом приводит к увеличению степени сорбционного извлечения фенола до 96–97 мас. %.

Результаты кинетических исследований сорбционного извлечения фенола из высококонцентрированных фенолсодержащих сточных вод при различных значениях гидромодуля (рис. 3) также указывают на то, что зна-

чение гидромодуля, равное 3, является оптимальным массовым соотношением жидкой и твердой фаз при проведении стадии адсорбции фенола. Максимальная скорость извлечения фенола достигается в течение 15 мин от начала сорбционного процесса.

Оптимальные температуры процесса вторичной поликонденсации иммобилизованного на поверхности древесного сорбента фенола с формальдегидом, дополнительно вводимого в реакционную массу, лежат в интервале 80–60 °С (рис. 4). Это характерно для всех значений гидромодуля с той лишь разницей, что максимальная степень извлечения фенола «надсмольной» воды (99,7 %) в древесно-полимерный композит осуществляется при значении гидромодуля, равного 3.

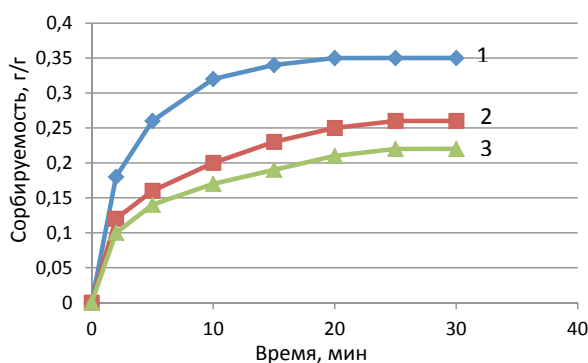


Рис. 3. Кинетика адсорбции фенола из «надсмольной» воды при различных значениях гидромодуля: 1 – Ж:Т = 3; 2 – Ж:Т = 4; 3 – Ж:Т = 5 (t 60 °С).

Fig. 3. Phenol adsorption kinetics from ammonia-tar liquor at the water duty different values: 1 – Ж:Т = 3; 2 – Ж:Т = 4; 3 – Ж:Т = 5 (t 60 °С).

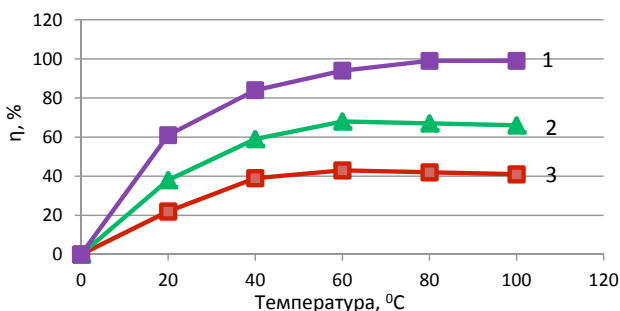


Рис. 4. Зависимость степени извлечения фенола от температуры при разных значениях гидромодуля: 1 – Ж:Т = 3; 2 – Ж:Т = 4; 3 – Ж:Т = 5.

Fig. 4. Dependency of the phenol recovery degree on temperature at the water duty different values: 1 – Ж:Т = 3; 2 – Ж:Т = 4; 3 – Ж:Т = 5.

Важным фактором осуществления процесса вторичной поликонденсации, влияющим на степень конверсии фенола в общем процессе обезвреживания «надсмольных» вод, является корректировка мольного соотношения смолообразующих компонентов. Оптимальную величину данного фактора определяли экспериментально путем дополнительного введения в реакционную среду расчетного объема 37 % водного раствора формалина и 40 % раствора NaOH двумя порциями на второй стадии процесса, при этом понижая температуру в реакционной зоне с 98 °С до 80 °С, а затем до 60 °С. Наибольшая степень извлечения фенола при всех значениях гидромодуля наблюдается при мольном соотношении: $\text{CH}_2\text{O} : \text{C}_6\text{H}_5\text{OH} = 1,9$, максимальная конверсия фенола характерна для гидромодуля 3 (рис. 5). Для данного гидромодуля не наблюдается резкого уменьшения степени конверсии фенола при увеличении мольного соотношения, в отличие от других значений гидромодуля, что является положительным фактором ведения процесса обезвреживания, поскольку позволит вести процесс в широком диапазоне изменения содержания фенола и формальдегида в «надсмольной» воде без изменения соотношения основных компонентов реакционной смеси.

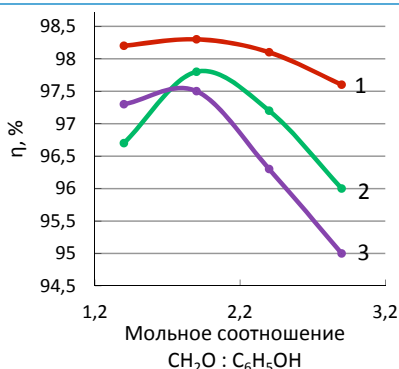


Рис. 5. Зависимость степени извлечения фенола от мольного соотношения формальдегида и фенола при разных значениях гидромодуля:

1 – Ж:Т = 3; 2 – Ж:Т = 4; 3 – Ж:Т = 5.

Fig. 5. Dependency of the phenol recovery degree on the formaldehyde and phenol mole ratio at the water duty different values: 1 – Ж:Т = 3; 2 – Ж:Т = 4; 3 – Ж:Т = 5.

Продуктом обезвреживания «надсмольных» вод и утилизации смолообразующих компонентов является древесно-полимерный термопластичный композит, эксплуатационные свойства которого, в том числе и показатель текучести, должны соответствовать аналогичным свойствам масс древесных прессовочных, для которых содержание фенолформальдегидного связующего находится в пределах 22...29 мас. % [7]. На количественное содержание органического связующего в продукте сополиконденсации

существенное влияние оказывают массовое соотношение водной и твердой фаз и содержание смолообразующих компонентов в «надсмольной» воде.

На рис. 6 представлены экспериментальные результаты зависимости содержания фенолформальдегидного связующего в древесно-полимерном композите, являющегося продуктом процесса сополиконденсации, от величины гидромодуля при различном содержании смолообразующих компонентов в «надсмольной» воде.

Оптимальное содержание фенолформальдегидного связующего в продукте поликонденсации соответствует гидромодулю 3 и количеству смолообразующих компонентов в «надсмольной» воде более 10 мас. % (рис. 6, кривая 3). Аналогичного содержания смолообразующих компонентов в продукте поликонденсации можно достичь и при меньшем содержании смолообразующих компонентов в «надсмольной» воде. Но при этом возрастает величина гидромодуля до 7 (рис. 6, кривая 2) или до 11 (рис. 6, кривая 1), что неизбежно ведет к значительному увеличению свободной и связанной воды в продукте поликонденсации, удаление которой на стадии сушки композита потребует дополнительных энергетических затрат.

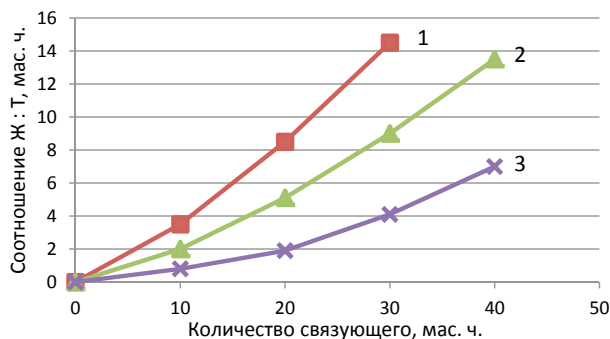


Рис. 6. Зависимость содержания связующего в продукте поликонденсации от массового соотношения надсмольной воды и древесного наполнителя (Ж:Т) при различном содержании смолообразующих компонентов в «надсмольной» воде, (1–5 мас. %; 2–10; 3–15 мас. %).

Fig. 6. Dependency of the binding agent content in the poly/condensation product on the ammonium-tar liquor and wooden filling agent mass ratio (Ж:Т) at different content of resin-forming components in ammonium-tar liquor, (1–5 mass %; 2–10; 3–15 mass %).

Экспериментально установлено, что энергосберегающим режимом процесса сушки является сушка продукта поликонденсации при глубоком вакууме (0,1 атм.) и температуре 60 °С, однако при этом не достигается требуемого значения показателя текучести для масс древесных прессовочных (105 мм). Сохранение энергосберегающего режима процесса сушки удалость достичь путем введения в реакционную массу модификатора – измель-

ченных отходов производства и переработки текстолита дисперсностью 0,15–3,0 мм в количестве 20 % от общей массы твердофазного наполнителя. Наличие такого модификатора в реакционной смеси улучшает кинетику процесса поликонденсации и, как следствие, повышает показатель текучести композита по приведенному диаметру до 129 мм (рис. 7).

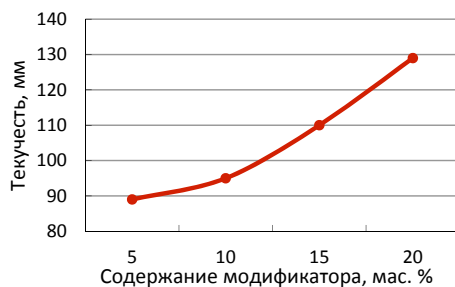


Рис. 7. Влияние количества измельченного отхода текстолита на показатель текучести древесно-полимерного композита.

Fig. 7. The grinded textolite waste quantity impact on the wood-polymer composite viscosity indicator.

Балансовыми опытами установлены расходные коэффициенты компонентов реакционной среды на 1 м³ «надсмольной» воды: масса твердофазного наполнителя 330 кг (264 кг древесного сорбента и 66 кг текстолитовой крошки); мольное соотношение формальдегида и фенола – 1,9; объем 25 % раствора NH₄OH – 35 л; объем 40 % раствора NaOH – 42 л. При этом достигается высокая степень извлечения фенола из «надсмольных» вод 99,3–99,6 мас. %, остаточное содержание свободного фенола в конденсатных водах 870–490 мг/л и высокое качество древесно-полимерного композита.

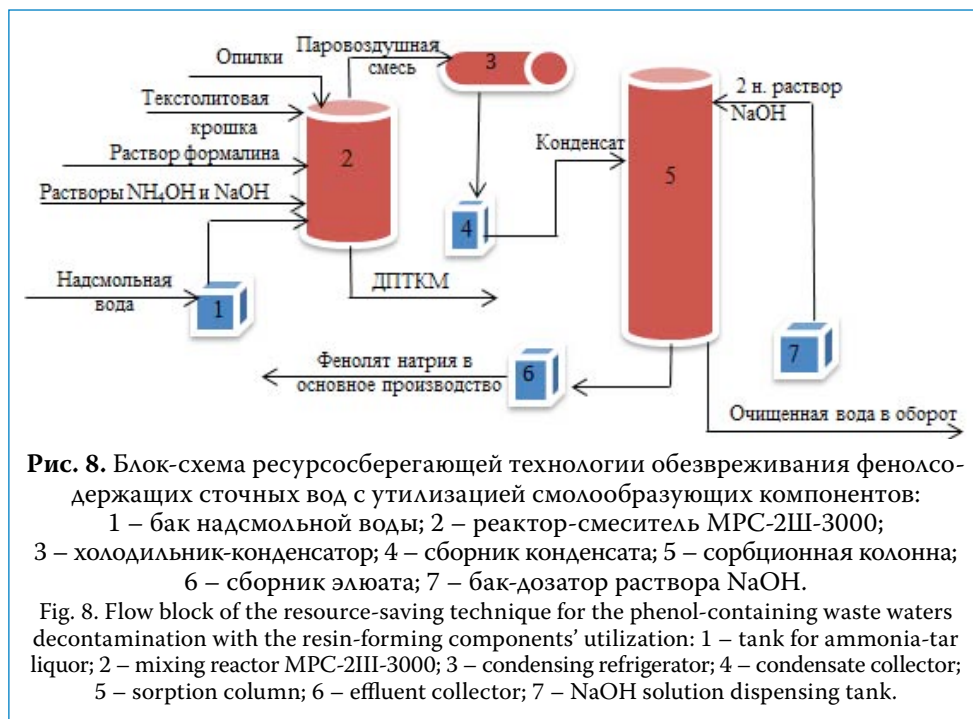
Результаты проведенных исследований легли в основу разработки ресурсосберегающей, малоотходной и экологически безопасной технологии глубокого обезвреживания фенолсодержащих сточных вод с утилизацией смолообразующих компонентов в качестве полимерного связующего в производстве композиционного материала с использованием только техногенного сырья.

С целью интенсификации массообменных и реакционных процессов обезвреживания «надсмольных» вод, протекающих в гетерогенной среде, обеспечения равномерной и глубокой пропитки твердофазного наполнителя смолообразующими компонентами, достижения максимальной степени рекуперации и конверсии фенола и формальдегида, разработана конструкция высокотехнологичного реактора-смесителя, в котором осуществляются все стадии технологического процесса [8].

Технологический процесс обезвреживания смолообразующих компонентов «надсмольных» вод и утилизации измельченных твердых отходов

механической переработки древесного сырья, производства и переработки слоистых пластиков в древесно-полимерный термопластичный композит и фенолят натрия включает следующие стадии (рис. 8). В реактор 2 при работающих лопастных и шнековых валах производят загрузку дисперсных твердофазных компонентов и «надсмольной» воды, поднимают температуру в реакционной зоне аппарата до 60 °С и вводят установленный объем 25 % раствора NH_4OH . По истечении 15 мин. температуру повышают до 98 °С (но не менее 95 °С) и перемешивают компоненты еще 15 мин. В течение этого времени осуществляются процессы набухания древесного сорбента, адсорбции фенола с образованием древесно-фенольной массы и активации процесса поликонденсации адсорбированного фенола с формальдегидом «надсмольной» воды.

Далее температуру в реакционной зоне реактора понижают до 80 °С, загружают половину расчетных объемов 40 % раствора NaOH и 37 % раствора формалина и в течение 30 мин. осуществляют процесс вторичной поликонденсации фенола с добавленным в реакционную массу формальдегидом. После чего температуру реакционной смеси снижают до 60 °С, в реактор загружают вторую половину расчетных объемов раствора гидроксида натрия и формалина и продолжают процесс сополиконденсации еще 30 мин.



Образующаяся на стадии сополиконденсации парогазовая смесь, проходя через холодильник-конденсатор 3, работающий в данном случае как обратный, конденсируется и возвращается в реактор-смеситель. Сушка готового продукта осуществляется в этом же аппарате при температуре 60 °С и глубоком вакууме, который создается с помощью вакуумного насоса. Пароводяная смесь, образующаяся на стадии сушки, также проходит через холодильник-конденсатор 3, работающий как прямой, образующийся конденсат собирается в сборник конденсата 4.

Продукт поликонденсации, представляющий собой древесно-полимерный термопластичный композиционный материал (ДПТКМ) конструкционного назначения, выгружают из реактора, затаривают и отправляют потребителю. Результаты биотестирования водных вытяжек композита и изготовленных из него изделий на токсичность с использованием синхронизированной модели *Daphnia magna* Straus и суточной культуры *Chlorella vulgaris* Beijerinck показали, что древесно-полимерный композит конструкционного назначения, полученный на основе техногенного сырья, не оказывает острого токсичного воздействия на водные системы и относится к V классу опасности.

В процессе сушки композита на 1 м³ надсмольной воды образуется 0,7 м³ конденсатных вод, содержащих в своем составе от 500 до 900 мг/л свободного фенола. Конденсатные воды подвергают доочистке сорбционным методом в ионообменной колонне 5, заполненной массой катионита КУ-36 в ОН⁻ – форме в расчете 11 кг на очистку 1 м³ конденсатных вод. Процесс сорбции фенола осуществляется при температуре 60 °С, с объемной скоростью фильтрования 0,1 мл/мин, при этом величина полной динамической обменной емкости катионита составляет 82 г/кг [2]. Процесс регенерации отработанного катионита проводят 2 N раствором NaOH, который подают насосом-дозатором в ионообменную колонну 5 из бака 7. Богатые элюаты, представляющие собой фенолят натрия, направляются в качестве сырьевого ресурса в производство фенолформальдегидных смол. Очищенные от фенола конденсатные воды, содержащие свободного фенола $2 \cdot 10^{-2} \dots 6 \cdot 10^{-2}$ мг/л, могут быть использованы в качестве оборотной воды для приготовления соответствующих растворов в основном производстве, существенно сокращая забор природной воды.

ВЫВОДЫ

На основании проведенных исследований по обезвреживанию высококонцентрированных фенолсодержащих сточных вод производства фенолформальдегидных смол разработана ресурсосберегающая технология, основанная на процессах сорбции и вторичной поликонденсации смолообразующих компонентов «надсмольных» вод в присутствии техногенного сырья (дисперсных отходов механической переработки древесного сырья и стеклопластиков) с получением технических продуктов – древесно-полимерного композита и фенолята натрия.

Обезвреживание 1000 м³ «надсмольных» вод с использованием данной технологии позволяет получить 608 т древесно-полимерного композита, при этом подвергается утилизации 264 т древесных отходов, 66 т отходов производства и переработки слоистых пластиков, 123 т фенола и 19,3 т формальдегида, содержащихся в «надсмольных» водах. Одновременно решается важная экологическая проблема, связанная с глубоким обезвреживанием высокотоксичных фенолсодержащих сточных вод. Предварительные расчеты показали, что при реализации данной технологии суммарная величина предотвращения загрязнения почв и природных вод токсичными химическими веществами, содержащимися в «надсмольных» водах и твердых промышленных отходах, составляет 390,1 тыс. рублей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Массы древесные прессовочные. Технические условия. ГОСТ 11368–79. Госкомитет СССР по стандартам. М., 1979. 22 с.
2. *Липунов И.Н.* Сорбционная очистка фенолсодержащих сточных вод // Водное хозяйство России. 2014. № 4. С. 85–94.
3. *Липунов И.Н.* Извлечение фенола из сточных вод сорбентами на основе древесных отходов // Водное хозяйство России. 2018. № 6. С. 101–112.
4. *Кастерина Т.Н.* Химические методы исследования синтетических смол и пластических масс. М.: ГНТИХЛ, 1963. 284 с.
5. ФР 1.39.2007.03222. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почвы, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодovitости дафний; ПНД ФТ 14. 1:2:3:4. 1-04, 16. 1:2:3:7-04. Методика определения токсичности проб поверхностных пресных грунтовых, питьевых, сточных вод, водных вытяжек из почвы, осадков сточных вод и отходов по изменению оптической плотности культуры водоросли Хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer).
6. *Рузинов А.П.* Статистические методы оптимизации аналитических процессов. М.: Наука, 1972.
7. *Липунов И.Н.* Переработка надсмольных вод на предприятиях Уральского региона. Свердловск: ВСНТО, 1988. 71 с.
8. Патент РФ № 40011, МПК7 В 01 F 7/08. Смеситель // Липунов И.Н., Теплоухов А.С.; заявл.20.04.2004; опубл.27.08.2004.

Для цитирования: Липунов И.Н., Первова И.Г., Толмачева Н.О., Никифоров А.Ф. Ресурсосберегающая технология обезвреживания фенолсодержащих промышленных сточных вод // Водное хозяйство России. 2019. № 3. С. 127-140.

Сведения об авторах:

Липунов Игорь Николаевич, канд. хим. наук, профессор, кафедра физико-химической технологии защиты биосферы, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (ФГБОУ ВО УГАТУ), Россия, 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37; e-mail: biosphera@usfeu.ru

Первова Инна Геннадьевна, д-р хим. наук, доцент, заведующий кафедрой физико-химической технологии защиты биосферы, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (ФГБОУ ВО УГЛТУ), Россия, 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37; e-mail: biosphera@usfeu.ru

Толмачева Наталья Олеговна, магистрант, кафедра физико-химической технологии защиты биосферы, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (ФГБОУ ВО УГЛТУ), Россия, 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37; e-mail: biosphera@usfeu.ru

Никифоров Александр Федорович, д-р хим. наук, профессор, кафедра водного хозяйства и технологии воды, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (ФГАОУ ВО УрФУ), Россия, 620049, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19; e-mail: alex.f.nikiforov@mail.ru

RESOURCE-SAVING TECHNOLOGY FOR DISPOSAL OF PHENOL-CONTAINING INDUSTRIAL WASTEWATER DECONTAMINATION

Igor N. Lipunov¹, Inna G. Pervova¹, Natalia O. Tolmacheva¹, Aleksandr F. Nikiforov²

E-mail: biosphera@usfeu.ru

¹ Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

² B.N.Yeltsin Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Abstract: We have developed a resource-saving, low-waste technology for the disposal of highly toxic phenol-containing wastewater that enables to utilize phenol and formaldehyde as an organic binder. The technology involves the use of technogenic raw materials («over-resin» water from the production of phenol-formaldehyde resins, soft wood waste, waste from the production and processing of laminated plastics) and processes of regeneration, recovery and conversion of phenol. The optimal technological parameters of phenol sorption on wood sorbent and secondary poly/condensation were experimentally established. This in turn provides a high degree of neutralization and extraction of resin-forming components from wastewater and subsequent production wood-polymer thermoplastic structural composite and sodium phenolate on their basis.

Key words: phenol-containing wastewater, disposal, sorption, secondary polycondensation, solid industrial waste, resource-saving technology, products of utilization.

About the author:

Igor N. Lipunov, PhD in Chemistry, Professor, Department of Physical and Chemical Technologies in Environmental Engineering, Ural State Forest Engineering University, Russia, 620100, Ekaterinburg, Sibirskii trakt, 37; e-mail: biosphera@usfeu.ru

Inna G. Pervova, Professor of Chemistry, Head of the Department of Physical and Chemical Technologies in Environmental Engineering, Ural State Forest Engineering University, Russia, 620100, Ekaterinburg, Sibirskii trakt, 37; e-mail: biosphera@usfeu.ru

Natalia O. Tolmacheva, undergraduate, Department of Physical and Chemical Technologies in Environmental Engineering, Ural State Forest Engineering University, Russia, 620100, Ekaterinburg, Sibirskii trakt, 37; e-mail: biosphera@usfeu.ru

Aleksander F. Nikiforov, Professor, Department of Water Management and Water Technology, B.N.Yeltsin Ural Federal University, Russia, 620049, Ekaterinburg, ul. Mira, 19; e-mail: alex.f.nikiforov@mail.ru

For citation: Lipunov I.N., Pervova I. G., Tolmacheva N.O., Nikiforov A.F. Resource-saving Technology for Disposal of Phenol-containing Industrial Wastewater Decontamination // Water Sector of Russia. 2019. No. 3. P. 127-140.

REFERENCES

1. Massy drevesniye pressovochniye [Wooden press masses]. Tekhnicheskiy usloviya. GOST 11368–79. Goskomitet SSSR po standartam. M., 1979. 22 p.
2. Lipunov I.N. Sorbtsionnaya ochistka phenolsoderzhashchikh stochnykh vod [Sorption treatment of the phenol-containing wastewater] // Water Sector of Russia. 2014. No 4. pp. 85–94.
3. Lipunov I.N. Izvlecheniye fenola iz stochnykh vod sorbentami na osnove drevesnykh otkhodov [Phenol recovery from waste water with sorbents based on waste wood] // Water Sector of Russia. 2018. № 6. pp. 101–112.
4. Kasterina T.N. Khimicheskiye metody issledovaniya sinteticheskikh smol i plasticheskikh mass [Chemical methods of the synthetic resins and plastic masses research]. M.: GN-TIKhL, 1963. 284 p.
5. FR 1.39.2007.03222. Metodika opredeleniya toksichnosti vody i vodnykh vytyazhek iz pochvy, osadkov stochnykh vod, otkhodov po smertnosti i izmeneniyu plodivostei dafniy [A method of toxicity determination for water, aqueous extract from soils, waste water sludge, and waste with daphnias' mortality and fertility changes]; PND FT 14. 1:2:3:4. 1-04, 16. 1:2:3:7-04. Методика определения токсичности проб поверхностных пресных грунтовых, питьевых, сточных вод, водных вытяжек из почвы, осадков сточных вод и отходов по изменению оптической плотности культуры водоросли Хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer).
6. Ruzinov L.P. Statisticheskiye metody optimizatsiyi analiticheskikh protsessov [Statistical methods of the analytical processes optimization]. M.: Nauka, 1972.
7. Lipunov I.N. Pererabotka nadsmolnykh vod na predpriyatiyakh Uralskogo regiona [The ammonia-tar liquor re-processing at the Ural Region plants]. Sverdlovsk: VSNTO, 1988. 71 p.
8. Patent RF № 40011, МПК7 В 01 F 7/08. Smesitel [Mixer] // Lipunov I.N., Teploukhov A.S.; zayavl.20.04.2004; opubl. 27.08.2004.