

УДК 675.04.677.027:677.057

ФОРМИРОВАНИЕ ПОДХОДОВ МИНИМИЗАЦИИ НЕГАТИВНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СТОЧНЫХ ВОД ДЕРЕВОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ

В. Н. Штепа, А. В. Дубина, Е. В. Россоха

Белорусский государственный технологический университет, г. Минск, Беларусь

Проанализирована экологическая опасность сточных вод деревоперерабатывающих производств, акцентировано внимание на сложность их эффективной очистки. С использованием диаграммы Исикавы создана модель причинно-следственных связей экологических рисков для водных объектов, связанных с потенциальной гибелью (угнетением) активного ила коммунальных очистных сооружений, – например, в результате токсического воздействия формальдегида. Разработана параметрическая модель процессов отведения и очистки формальдегидсодержащих сточных вод деревоперерабатывающих производств с включением предиктивной аналитики экологической безопасности. Предложены самые перспективные направления научных исследований, нацеленные на повышение экологической эффективности предприятий деревопереработки в разрезе использования ими природных водных ресурсов.

Ключевые слова: деревопереработка, экологическая безопасность, сточные воды, формальдегид, причинно-следственные связи, параметрическая модель.

Введение. В технологических операциях мойки различного оборудования, которое используется для приготовления, хранения и дозирования клеевых составов, образуются высокотоксичные сточные воды (СВ) [1], содержащие формальдегид, метанол, муравьиную кислоту, водорастворимые смолы в виде олигомерных и полимерных соединений и дисперсной фазы. Их расход при проектировании принимается исходя из использования 26 м³ промывного водного раствора на 1000 м³ продукции. При этом, в силу высокой концентрации в них токсинов, СВ представляют значительную экологическую опасность: не только когда сбрасываются в природные водные объекты самим предприятием (прямое негативное влияние), но и когда направляются в коммунальные водоотводящие сети (опосредствованное негативное влияние). Второе вызвано тем, что формальдегид негативно воздействует на микробиоценоз активного ила (АИ) коммунальных очистных сооружений (КОС) [2, 3] и может вызвать его гибель (или значительное снижение эффективности путем его угнетения), а, соответственно, и большие экологические риски. Ситуация усложняется тем, что эффективных способов редукции поллютантов формальдегидсодержащих СВ деревоперерабатывающих предприятий, долговременно используемых на реальных объектах, относительно небольшое количество [4, 5] – все они представляют собой комбинированные решения и требуют строгого соблюдения научно обоснованных и созданных регламентов их эксплуатации. Сложность нормативной очистки заключается в том, показатели качества загрязнённых водных растворов не являются постоянными, а нелинейно, стохастически, ненаблюдаемо в режиме реального времени инструментальными измерительными средствами, с высокими амплитудными значениями изменяются, нарушая ранее определённые стационарные параметры и режимы водообработки.

Соответственно, задача исследований, которая заключается в формировании комплексного подхода поддержания экологической безопасности деревоперерабатывающих промышленных объектов на основе причинно-следственных методов разработки, внедрения и практической адаптации технологических регламентов водопользования (производственные процессы) и водоотведения (процессы транспортировки и очистки СВ), является актуальной и отвечающей современным экологическим запросам Республики Беларусь.

Материалы и методы. Диаграмма Исикавы, также известная как диаграмма «рыбья кость» или диаграмма причинно-следственных связей, представляет собой визуальное представление, используемое для анализа и отображения потенциальных причин определенной проблемы или следствия; она названа в честь профессора Каору Исикавы. Её структура напоминает скелет рыбы, где голова представляет проблему или следствие, а кости разветвляются, чтобы изобразить различные категории потенциальных причин. Эти категории обычно включают: методы (процессы или процедуры, которые могут способствовать возникновению проблемы), машины (оборудование и агрегаты, задействованные в процессе); сырье, вещества или компоненты; рабочая сила (человеческие факторы, такие как навыки, обучение и рабочая нагрузка),

измерение, используемые для анализа и оценки процесса: окружающая среда (внешние факторы или условия, которые могут повлиять на проблему).

Структурно-параметрический синтез – это аналитический процесс установления структуры исследуемого объекта и параметров (схемы) составляющих элементов таким образом, чтобы были удовлетворены условия задания на его синтез (модернизацию).

Результаты и их обсуждение. Используя концепт создания диаграмм Исикавы, представим укрупнённые причинно-следственные связи, которые могут вызвать гибель АИ КОС, акцентируя внимания на экологических рисках для природных водных объектов при использовании деревоперерабатывающими промышленными объектами коммунальных систем водоотведения, как на значительно более сложной для оценки задаче, поскольку «прямой» сброс в геоэкосистемы приемлемо контролируется и нормируется традиционными способами (рисунок 1). Оценка диаграммы Исикавы позволяет предложить следующую последовательность минимизации негативного экологического воздействия деревоперерабатывающих производства (под экологической эффективностью, в случае отведения сточных вод в коммунальную сеть канализации, принимается минимизация технологических рисков для АИ КОС, которые могут вызвать его угнетение или гибель)

□ разработка и выполнение организационно-нормативных мероприятий в виде технологических регламентов, нацеленных на обеспечение экологической эффективности использования водных ресурсов;

□ создание и эксплуатация технологий очистки СВ на локальных очистных сооружениях (ЛОС) на основе таких внутренних нормативных документов, с оперативным мониторингом выполнения их требований [6]

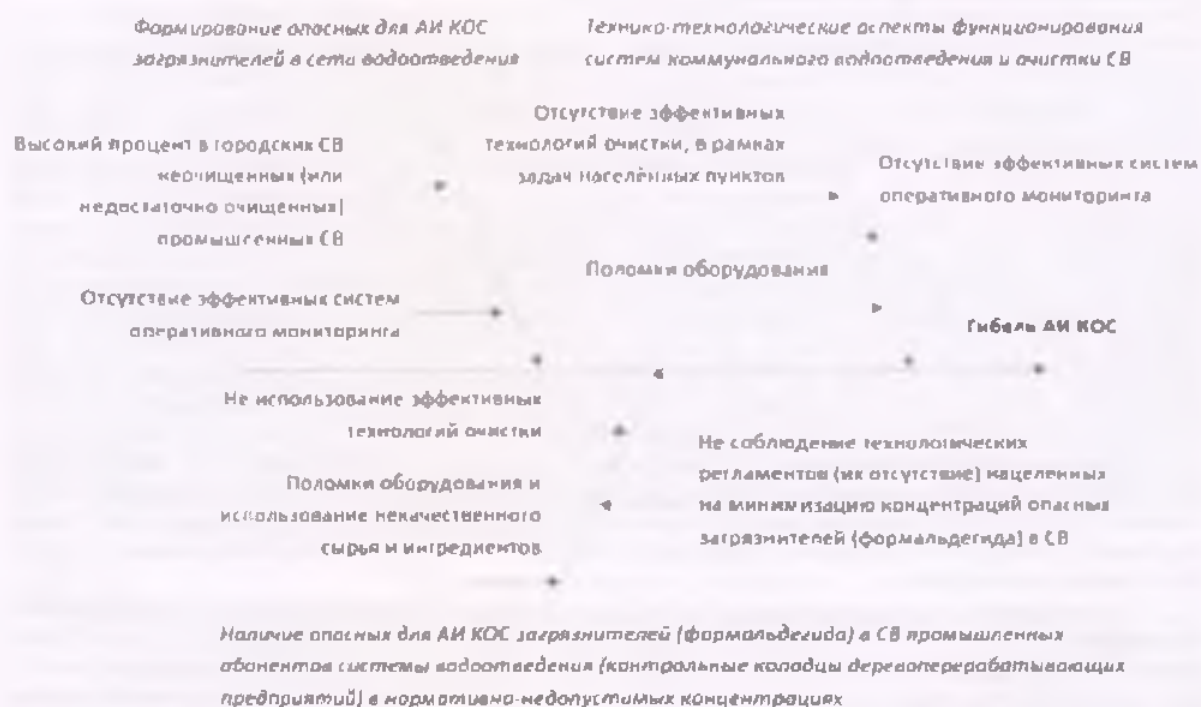


Рисунок 1 – Схема причинно-следственных связей между потенциальными экологическими рисками, вызванными гибелью (угнетением) АИ КОС и технико-технологическими факторами (человеческий фактор не учитывался)

Базируясь на указанном алгоритме, создадим параметрическую схему поддержания экологической безопасности (рисунок 2), где параметры: слева – контролируемые, сверху – возмущающие воздействия, снизу – управляющие воздействия, справа – выходы системы.

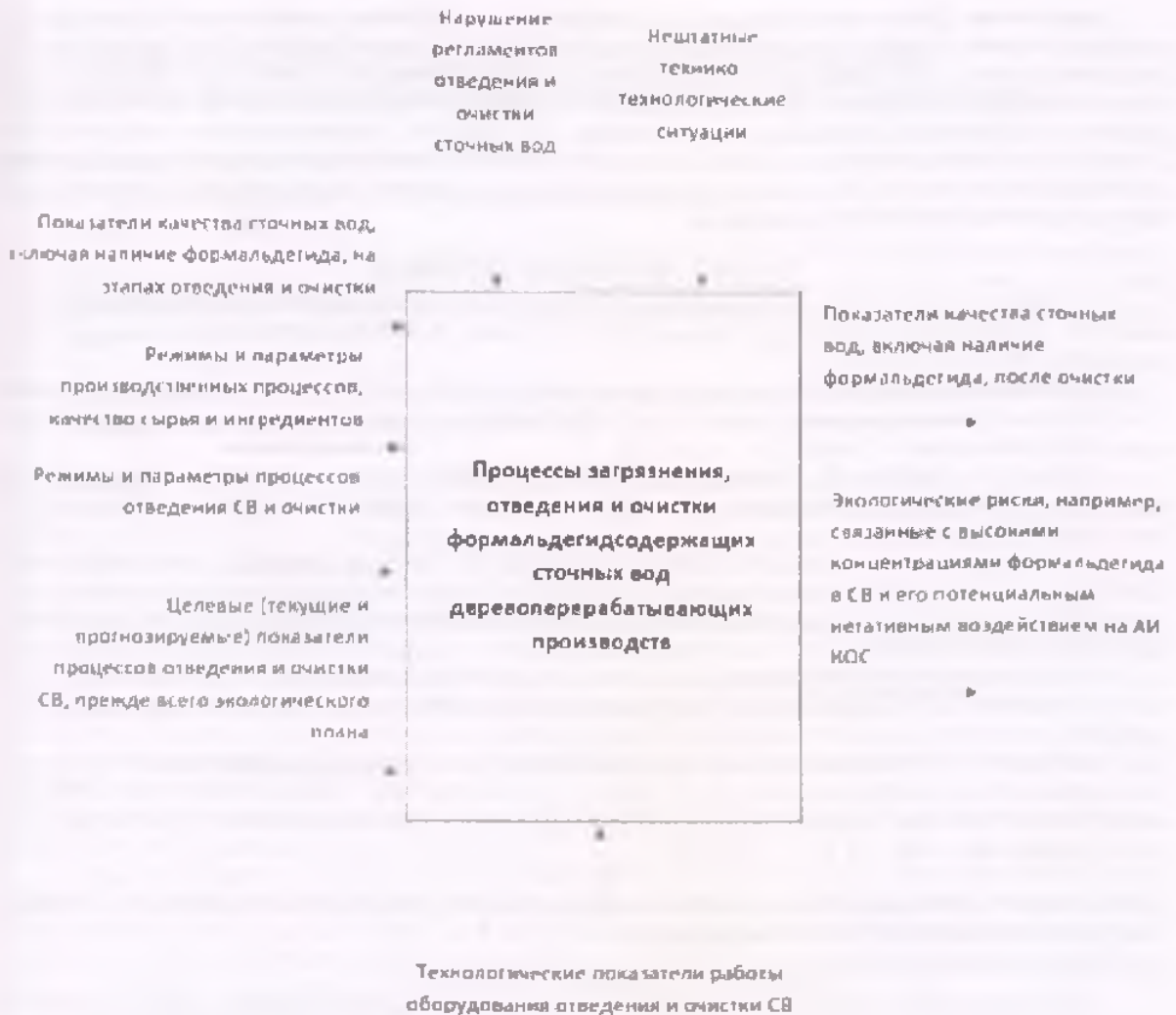


Рисунок 2 – Общая параметрическая схема процессов загрязнения, отведения и очистки формальдегидсодержащих сточных вод деревоперерабатывающих производств

Тогда можно сформулировать следующие задачи дальнейших исследований:

- системный анализ и моделирование, в том числе физическое, технологических процессов формирования загрязнённых СВ и отходов деревоперерабатывающих предприятий, исследование их состава и свойств;
- установление закономерностей очистки формальдегидсодержащих сточных вод, содержащих компоненты карбамидоформальдегидных смол, и определение параметров и критериев экологической безопасности и ресурсоэффективности таких процессов, обоснование методик оперативного мониторинга, включая с применением интеллектуального математического аппарата анализа данных (под термином «мониторинг» подразумевается контроль и прогнозирование развития ситуаций);
- исследование способов экологически безопасной утилизации отходов деревоперерабатывающих производств с повторным их использованием в хозяйственной деятельности;
- обоснование и создание комплексной технологической схемы и технологического регламента отведения и очистки формальдегидсодержащих сточных вод и рециклинга отходов на основе критерия экологической эффективности производственного использования водных ресурсов, с учётом фактической невозможности внедрения на КОС методов качественной редукции формальдегида из водных растворов, прежде всего в силу больших объёмов водных растворов, поступающих на них для обработки.

Заключение. Деревоперерабатывающие предприятия представляют экологическую опасность для природных водных объектов как непосредственно сбрасывая токсичные формальдегидсодержащие СВ в гидрозкосистемы, так и отводя их в коммунальные канализационные сети, поскольку во втором случае они могут вызвать угнетение и гибель АИ КОС, а, соответственно, и негативное, включая критическое, воздействие на окружающую природную среду. Процессы образования, транспортировки и очистки на ЛОС СВ необходимо рассматривать как единую операцию с интегральными причинно-следственными связями и необходимостью наличия на производстве интеллектуальной системы экологического мониторинга выполнения целевых показателей их качества.

Список использованных источников

1. Дубина, А. В. Очистка формальдегидсодержащих сточных вод деревообрабатывающих производств / А. В. Дубина, В. Н. Марцуль // Труды БГТУ. № 4. Химия, технология органических веществ и биотехнология, 2013. – С. 15–161.
2. Блинова, П. А. Влияние формальдегида на состав микробоценоза активного ила / П. А. Блинова, О. М. Минаева // Международная научная школа «Перспективные направления физико-химической биологии и биотехнологии». – Томск, 2011. – С. 44–45.
3. Shtepa V., Balintova M., Chernysh Ye., Chubur V., Demcak S., Gautier M. (2021) Rationale for the Combined Use of Biological Processes and AOPs in Wastewater Treatment Tasks, Applied Sciences, 2021, Vol. 11, Iss. 16, 7551.
4. Mir-Tutusa J. A., Jaen-Gil A., Barcelo D., Buttiglieri G., Gonzalez-Olmos R., RodriguezMozaz S., Caminal G., Sarrà M. (2021) Prospects on coupling UV/H₂O₂ with activated sludge or a fungal treatment for the removal of pharmaceutically active compounds in real hospital wastewater, Science of The Total Environment, 2021, Vol. 773, Article 145374.
5. Лабораторный генератор ферратов: конструкция, режим, эффективность / С. Ю. Киреев, В. Н. Штепа, С. Н. Киреева, А. В. Дубина [и др.] // Вестник технологического университета. – 2025. – Т. 28, № 4. – С. 69–75.
6. Штепа, В. Н. Интеллектуальная подсистема управления экологической безопасностью промышленно-коммунального водоотведения / В. Н. Штепа, П. В. Васюхневич // Сахаровские чтения 2023 года: экологические проблемы XXI века: материалы 23-й международной научной конференции. – Минск : МГЭИ им. А. Д. Сахарова, 2023. – Ч. 2. – С. 249–253.

DEVELOPMENT APPROACHES TO MINIMIZING THE NEGATIVE ENVIRONMENTAL IMPACT OF WOOD PROCESSING WASTEWATER ON WATER BODIES

V. N. Shtepa, A. V. Dubina, E. V. Rossokha

The environmental hazard of wastewater from wood processing industries is analyzed, with an emphasis on the complexity of their effective purification. Using the Ishikawa diagram, a model of cause-and-effect relationships environmental risks for water bodies associated with the potential death activated sludge from municipal treatment facilities, for example, as a result of the toxic effects formaldehyde, is created. The parametric model of the processes removal and purification of formaldehyde-containing wastewater from wood processing industries with the inclusion predictive analytics of the environmental safety is developed. Further directions of scientific research aimed at increasing the environmental efficiency of wood processing enterprises in terms of their use of natural water resources are proposed.