

УДК 628.35: 667.6

Р. К. Закиров, С. Н. Савдур

СЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ЛАКОКРАСОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Ключевые слова: сеть Петри, очистка сточных вод.

Рассматривается технологический комплекс биологической очистки сточных вод (БОСВ) лакокрасочного производства. Предложено использовать модификацию сетей Петри (МСП), ориентированную на моделирование и анализ дискретно-непрерывных БХТС, путем включения приоритетных переходов, времени задержки меток в позициях и переходах. Построены модели основных аппаратов, реализующих технологический процесс БОСВ.

Keywords: Petri net, wastewater treatment.

The technological complex of biological wastewater treatment (BWWT) paint products. Proposed to use a modification of Petri nets that focuses on modeling and analysis of discrete-continuous BITS, by including priority crossings, the delay time of the labels in the positions and transitions. Built models of the main devices that implement the BWWT-process

Экологическая безопасность является одной из необходимых задач при обеспечении функционирования и дальнейшего развития промышленности лакокрасочного производства, дающего до 10% общего количества промышленных загрязнений, в частности, особенно, если оно расположено вблизи жилых районов. Сточные воды, образующиеся в производственном цикле и при мойке, содержат примеси сырья, соединений, выделяющихся при производстве (например, акролеин), полупродукта и конечного продукта: растворители (кетоны, сложные эфиры, сольвенты, растворители на основе нефтепродуктов), пластификаторы (например, малеиновый и фталевый ангидрид, бутанол), пеногасители, ПАВ (жирные кислоты), консерванты (формальдегид), пигменты, сиккативы, антикоррозионные добавки (тяжелые металлы, например, свинец и марганец), и другие наполнители. ХПК стоков лакокрасочного производства достигает 10 тыс. мг/дм³. Все это приводит к риску токсического поражения (раздражение слизистых оболочек, наркотическое действие), а также вызову канцерогенных и мутагенных эффектов [1].

В связи с разнообразием выпускаемой продукции стоки даже одного лакокрасочного предприятия могут сильно различаться по составу компонентов, что приводит к разнообразию возможных способов их очистки, таких как отстаивание, нейтрализация кислотами, коагуляция, снижение температуры, высокое давление, использование магнитного поля, электролиз, ультразвук, озонирование. Но наиболее выгодным с точки зрения надежности очистки и экономии является биологический метод, который опирается на использование природных закономерностей биохимической и физиологической очистки водных ресурсов. Загрязняющие вещества, находящиеся в сточных водах, используются выведенными селекцией микроорганизмами в качестве источника энергии и конструктивного материала для роста биомассы, при этом происходит распад сложных органических соединений до более простых и менее опасных веществ [1].

Современные лакокрасочные производства ориентированы на модернизацию и внедрение автоматизированных, ресурс- и энергосберегающих технологий, учитывающих экологические требования, во все стадии производства, включая стадию очистки сточных вод. Создание многоуровневых технологических схем является необходимым для повышения качества и эффективности очистки концентрированных сточных вод. Детальный анализ технологических, биохимических и гидродинамических процессов, протекающих при функционировании очистных комплексов, необходимый для оптимизации работы, улучшения конструкций очистных сооружений, длительной и безопасной эксплуатации, требует адекватного описания изучаемой структуры, которая может рассматриваться как сложная кибернетическая система [2].

Применение методов системного анализа определяет процедуру разработки системы управления установки биологической очистки сточных вод лакокрасочного производства, которая предусматривает составление математической модели на основе сетей Петри (СП) [3], что обеспечивает управление потоками в установке.

Технологическая схема рассматриваемой в данной статье установки биологической очистки сточных вод лакокрасочного производства представлена на рис.1 [1].

Рассматриваемый биотехнологический процесс совмещает анаэробный и аэробный методы. Технологическая схема процесса состоит из нескольких последовательных стадий: на первой физико-химической стадии сточные воды проходят флотационную очистку для выделения твердых частиц и коллоидных взвесей, после чего начинается ступень биоочистки. На второй стадии проходит предварительная подготовка стоков путем анаэробного окисления органических загрязнений высокой концентрации специально культивируемыми бактериями. В рассматриваемом процессе используются денитрифицирующие и десульфатирующие бактерии, соответственно использующие нитрат и сульфат в процессе анаэробного метаболизма в качестве конечно-

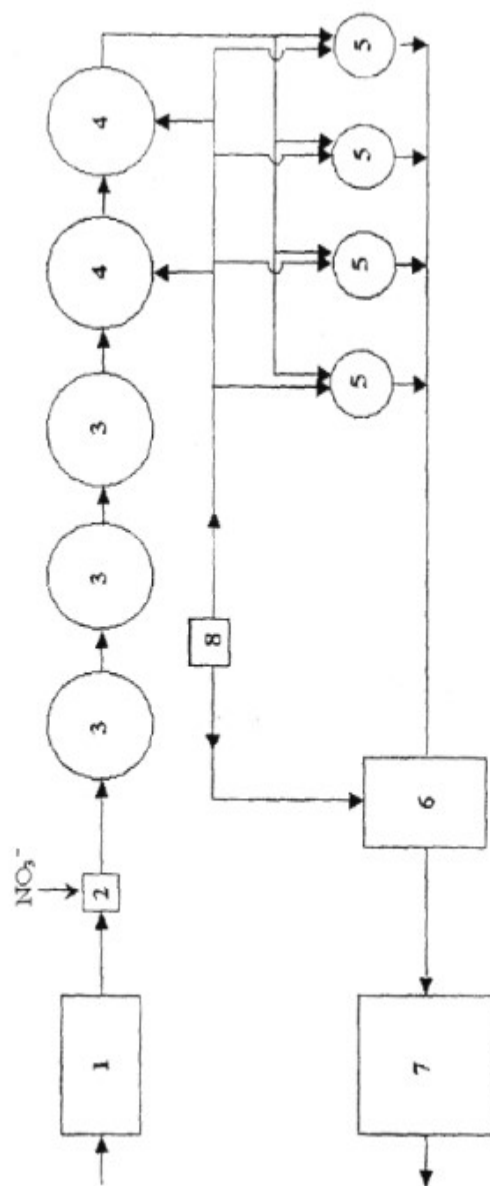


Рис. 1 - Технологическая схема установки биологической очистки сточных вод лакокрасочного производства: 1 - флотатор, 2 – промежуточная емкость, 3 – анаэробные реакторы, 4 – аэробные биореакторы II ступени, 5 – аэробные биореакторы I ступени, 6 – зоореактор, 7 – накопитель очищенной воды, 8 –

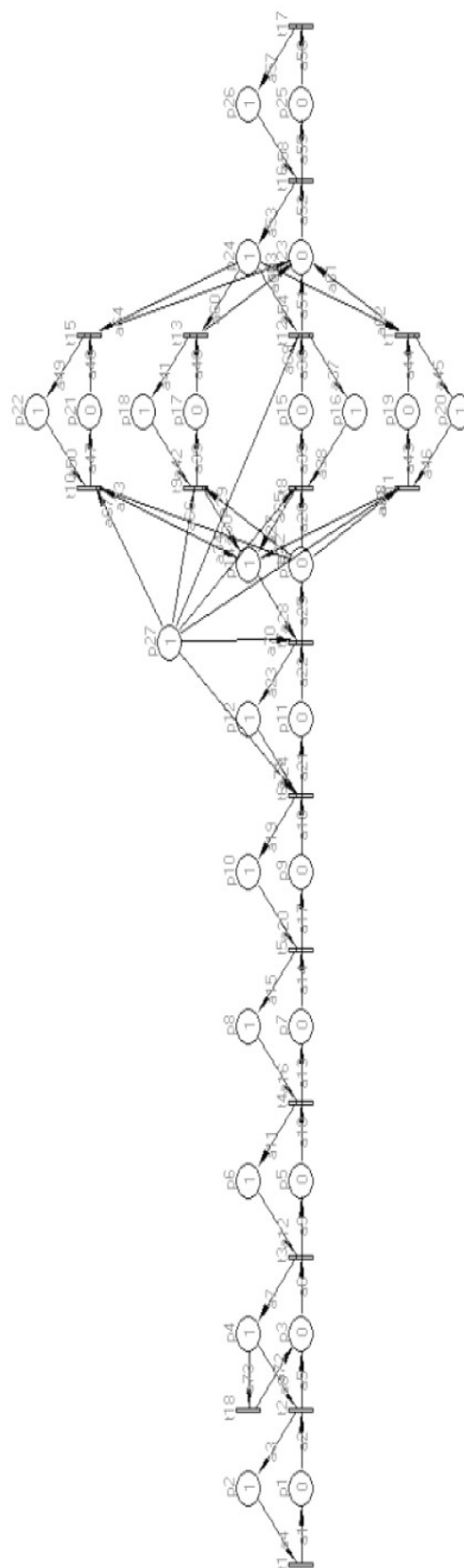


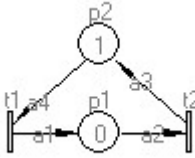
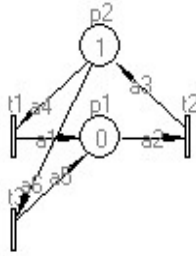
Рис. 2 - Модель технологического модуля биологической очистки сточных вод лакокрасочного производства в виде МСП

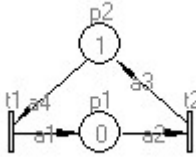
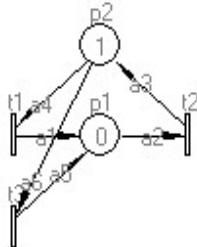
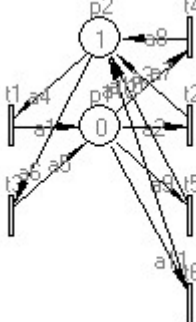
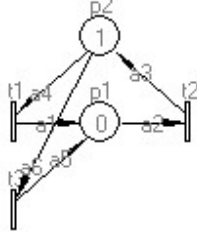
$M: P \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\}$ - функция маркировки (разметки) сети, которая ставит в соответствие каждой позиции неотрицательное целое число, равное числу меток в данной позиции, которое меняется в процессе работы сети [5].

На основе СП-модели, а также с помощью SCADA-технологии TRACE MODE авторами разработан программный комплекс, моделирующий в режиме виртуального времени работу рассматриваемой установки и позволяющий управлять технологическим процессом очистки стоков лакокрасочного производства [6].

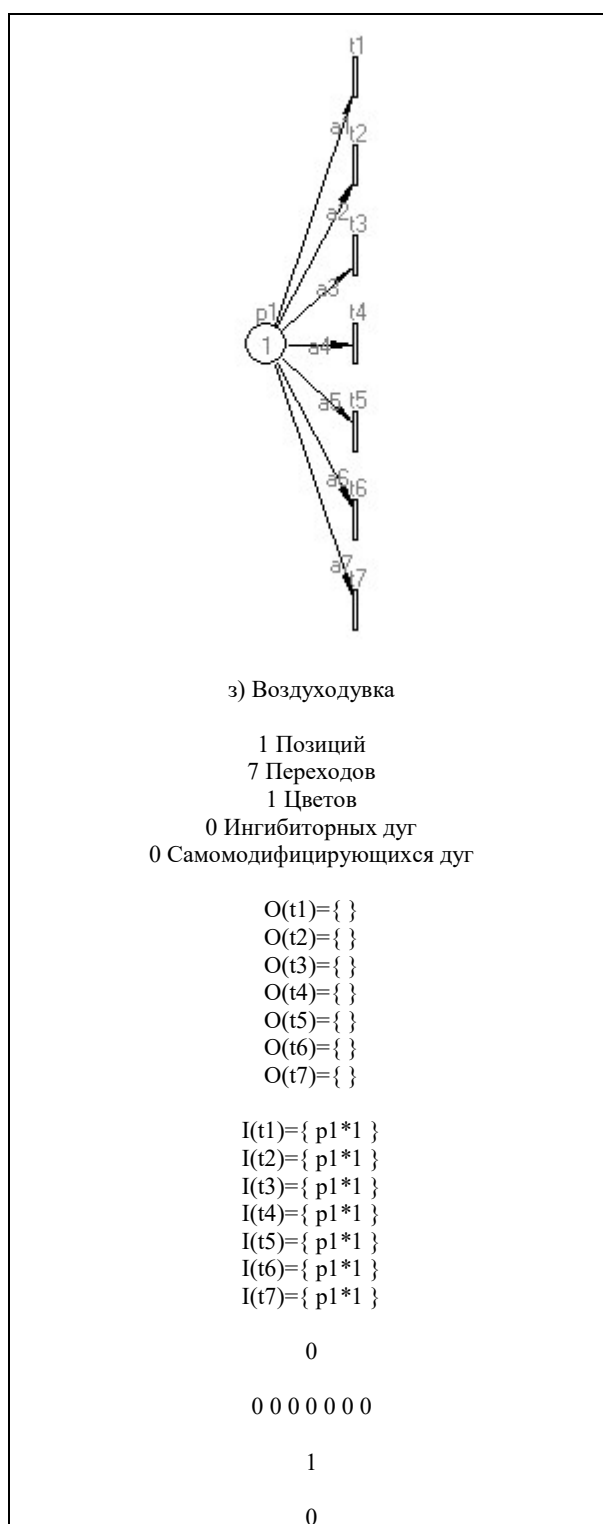
Использование программного продукта позволяет диспетчеру контролировать основные элементы системы управления, останавливать комплекс по биологической очистке сточных вод лакокрасочного производства и анализировать его состояние как в процессе текущей эксплуатации, так и в целях предотвращения возникновения внештатных ситуаций [7]. К возможным видам нарушений при работе комплекса, отслеживаемым системой управления, относятся плохое осветление стоков при неправильной дозировке коагулянта во флотаторе; отсутствие воздушных пузырьков во флотаторе, недостаточная концентрация кислорода в аэробном биореакторе при нарушении подачи воздуха; повышенное содержание метана, выделяемого в процессе анаэробного дыхания; чрезмерное повышение температуры и избыточная биомасса активного ила при аэробном процессе; превышение нормы загрязнений вследствие увеличенного расхода сточных вод, вынос активного ила с очищенной водой, переполнение аппаратов.

Таблица 1 - Модели основных элементов технологического модуля

Графическое описание моделей основных элементов технологического модуля	
 <p>а) Флотатор</p> <p>2 Позиций 2 Переходов 1 Цветов 0 Ингибиторных дуг 0 Самомодифицирующихся дуг</p> <p>$O(t1)=\{ p1*1 \}$ $O(t2)=\{ p2*1 \}$</p> <p>$I(t1)=\{ p2*1 \}$ $I(t2)=\{ p1*1 \}$</p> <p>0 0 0 0</p>	 <p>б) Промежуточная емкость</p> <p>2 Позиций 3 Переходов 1 Цветов 0 Ингибиторных дуг 0 Самомодифицирующихся дуг</p> <p>$O(t1)=\{ p1*1 \}$ $O(t2)=\{ p2*1 \}$ $O(t3)=\{ p1*1 \}$</p> <p>$I(t1)=\{ p2*1 \}$ $I(t2)=\{ p1*1 \}$</p>

<p>0 1 0 0</p> <p>$I(t3)=\{ p2*1 \}$ 0 0 0 0 0 0 1 0 0</p>	
 <p>в) Анаэробные реакторы</p> <p>2 Позиций 2 Переходов 1 Цветов 0 Ингибиторных дуг 0 Самомодифицирующихся дуг</p> <p>$O(t1)=\{ p1*1 \}$ $O(t2)=\{ p2*1 \}$</p> <p>$I(t1)=\{ p2*1 \}$ $I(t2)=\{ p1*1 \}$</p> <p>0 0 0 0 0 1 0 0</p>	 <p>г) Аэробные биореакторы I ступени (1)</p> <p>2 Позиций 3 Переходов 1 Цветов 0 Ингибиторных дуг 0 Самомодифицирующихся дуг</p> <p>$O(t1)=\{ p1*1 \}$ $O(t2)=\{ p2*1 \}$ $O(t3)=\{ p1*1 \}$</p> <p>$I(t1)=\{ p2*1 \}$ $I(t2)=\{ p1*1 \}$ $I(t3)=\{ p2*1 \}$</p> <p>0 0 0 0 0 0 1 0 0</p>
 <p>д) Аэробные биореакторы I ступени (2)</p> <p>2 Позиций 6 Переходов 1 Цветов 0 Ингибиторных дуг 0 Самомодифицирующихся дуг</p>	 <p>е) Аэробные биореакторы II ступени</p> <p>2 Позиций 3 Переходов 1 Цветов 0 Ингибиторных дуг 0 Самомодифицирующихся дуг</p> <p>$O(t1)=\{ p1*1 \}$ $O(t2)=\{ p2*1 \}$ $O(t3)=\{ p1*1 \}$</p>

$O(t1)=\{ p1*1 \}$ $O(t2)=\{ p2*1 \}$ $O(t3)=\{ p1*1 \}$ $O(t4)=\{ p2*1 \}$ $O(t5)=\{ p2*1 \}$ $O(t6)=\{ p2*1 \}$ $I(t1)=\{ p2*1 \}$ $I(t2)=\{ p1*1 \}$ $I(t3)=\{ p2*1 \}$ $I(t4)=\{ p1*1 \}$ $I(t5)=\{ p1*1 \}$ $I(t6)=\{ p1*1 \}$ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0	$I(t1)=\{ p2*1 \}$ $I(t2)=\{ p1*1 \}$ $I(t3)=\{ p2*1 \}$ 0 0 0 0 0 0 1 0 0
<p>ё) Зоореактор</p> <p>2 Позиций 6 Переходов 1 Цветов</p> $O(t1)=\{ p1*1 \}$ $O(t2)=\{ p2*1 \}$ $O(t3)=\{ p1*1 \}$ $O(t4)=\{ p1*1 \}$ $O(t5)=\{ p1*1 \}$ $O(t6)=\{ p1*1 \}$ $I(t1)=\{ p2*1 \}$ $I(t2)=\{ p1*1 \}$ $I(t3)=\{ p2*1 \}$ $I(t4)=\{ p2*1 \}$ $I(t5)=\{ p2*1 \}$ $I(t6)=\{ p2*1 \}$ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0	<p>ж) Накопитель очищенной воды</p> <p>2 Позиций 2 Переходов 1 Цветов</p> <p>0 Ингибиторных дуг 0 Самомодифицирующихся дуг</p> $O(t1)=\{ p1*1 \}$ $O(t2)=\{ p2*1 \}$ $I(t1)=\{ p2*1 \}$ $I(t2)=\{ p1*1 \}$ 0 0 0 0 0 1 0 0



Выводы

1. Построена математическая модель технологического процесса биологической очистки сточных вод лакокрасочного производства, реализованная в виде модифицированной сети Петри, позволяющая проводить анализ влияния внешних параметров и внутренних взаимосвязей на эффективность функционирования установки.

2. Разработан программный комплекс, имитирующий работу установки биологической очистки сточных вод лакокрасочного производства, для анализа и оптимизации штатного режима работы установки и оперативного проведения корректировок с

целью недопущения развития внештатных ситуаций.

Литература

1. Долина Л.Ф. Современная технология и сооружения для очистки нефтесодержащих сточных вод: Монография / Л.Ф. Долина. - Днепропетровск: Континент, 2005. – 296с.
2. Кафаров В.В. Гибкие производственные автоматизированные системы химической промышленности / В.В. Кафаров // Журнал ВХО им. Д.И. Менделеева. – 1987. – Т. 32, № 3. – С. 252 – 258.
3. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Дж. Питерсон. - М.: Мир, 1984. – 32 с.
4. Савдур С.Н., Понкратова С.А. Системный подход в моделировании технологического процесса очистки нефтесодержащих сточных вод. Вестник технологического университета 2010; 7:218 – 226.
5. Анаников С.В., Савдур С. Н., Басырова Д.И. Технологический модуль очистки сточных вод производства полимеров. Вестник Казанского технологического университета, Т. 15, № 6, 2012, С. 121 - 125.
6. Закиров Р.К., Савдур С. Н. Сетевое моделирование комплекса биохимической очистки сточных вод предприятий химической промышленности производства акриловой кислоты и ее производных. Вестник технологического университета, Т. 18, № 10, 2015, С. 199 - 202.
7. Анаников С.В., Азимов Ю.И., Савдур С. Н. Разработка систем управления оборотного водоснабжения в нефтехимических производствах. Вестник Казанского технологического университета, Т. 16, № 2, 2013, С. 136 - 139.

© **Р. К. Закиров** – канд. техн. наук, доцент каф. промышленной биотехнологии КНИТУ; **С. Н. Савдур** – канд. техн. наук, доцент каф. экономико-математического моделирования Института управления, экономики и финансов К(П)ФУ, savdur.svetlana@yandex.ru.

© **R. K. Zakirov** – PhD, KNRTU; **S. N. Savdur** – PhD, KFU, savdur.svetlana@yandex.ru.