

### Список литературы

1. Скворцов В.Ф. Основы технологии машиностроения: учебное пособие/ Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 352 с.
2. Грибкова А.Н. Развитие методов анализа и синтеза оптимального управления для построения информационно-управляющих систем многомерными технологическими объектами; тамбов 2016.
3. Ермолаева Г.А., Колчаева Р.А. Технология и оборудование производства пива и безалкогольных напитков: Учеб. для нач. проф. образования. – М.: ИРПО; Изд. Центр «Академия», 2000. – 416 с.

## СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА ОСНОВЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ

***Савдур С.Н.***

доцент кафедры экономико-математического моделирования, канд. техн. наук,  
Институт управления, экономики и финансов К(П)ФУ,  
Россия, г. Казань

***Махмутова Д.И.***

ст. преподаватель кафедры экономико-математического моделирования,  
Институт управления, экономики и финансов К(П)ФУ,  
Россия, г. Казань

Рассматривается технологический модуль химической очистки сточных вод. Показана целесообразность использования математического аппарата теории сетей Петри при моделировании и проектировании данного технологического модуля. Построена модель в виде модифицированной сети Петри и на ее основе разработан программный комплекс системы управления технологическим процессом очистки сточных вод.

*Ключевые слова:* сеть Петри, очистка сточных вод.

Если щелочные и кислые сточные воды отводятся из различных производств или от различных предприятий отдельными потоками, то в качестве первой ступени их очистки рационально применить взаимную нейтрализацию [4].

Современные очистные сооружения крупных промышленных предприятий характеризуются сложной многоуровневой структурой, поэтому могут рассматриваться как сложные кибернетические системы. Эффективность функционирования таких систем можно обеспечить с помощью современных методов обработки информации, применяя методы системного анализа сложных объектов на основе математического описания технологического процесса [2].

Применение методов системного анализа определяет процедуру разработки системы управления установкой очистки промышленных сточных вод, которая предусматривает составление математической модели на основе сетей Петри, что обеспечивает управление потоками в установке.

Технологическая схема химической очистки сточных вод представлена на рис. [4].

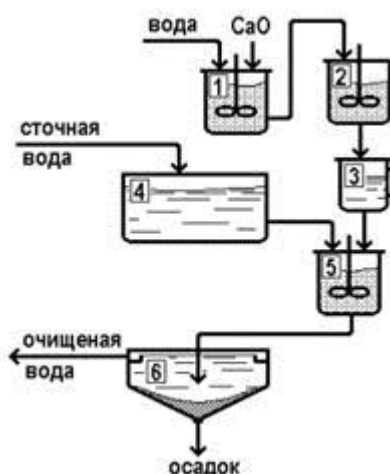


Рис. Технологическая схема химической очистки сточных вод

На рисунке изображены: 1 – аппарат для приготовления известкового молока; 2 – растворный бак; 3 – мерник; 4 – бак-осреднитель; 5 – нейтрализатор; 6 – отстойник.

Технологический процесс химической очистки сточных вод рационально может быть описан модифицированными сетями Петри. Для описания системы нами предлагается использование N–схем, опирающихся на математический аппарат сетей Петри, одним из достоинств которого является возможность представления сетевой модели как в аналитической форме, с возможностью автоматизации процесса анализа, так и в графической форме с обеспечением наглядности разрабатываемой модели [3].

При анализе технологических схем следует учитывать основное ограничение формализма N–схем, которое состоит в том, что они не учитывают временные характеристики моделируемых систем, так как время срабатывания перехода считается равным нулю. Учитывая эти условия, нами предложены модифицированные сети Петри (МСП). Модификация сетей Петри (МСП)- сеть Петри вида  $S = \langle P, T, I, O, M, L, \tau_1, \tau_2 \rangle$ , где  $T = \{t_j\}$  – конечное непустое множество символов, называемых *переходами*, оцениваются исходя из количества условных порций продукции при непрерывной подаче в аппараты технологической схемы;

$P = \{p_i\}$  – конечное непустое множество символов, называемых *позициями*. В нашем случае – это множество аппаратов технологической схемы;

$I: P \times T \rightarrow \{0, 1\}$  – входная функция, которая для каждого перехода  $t_j$  задает множество его позиций  $p_i \in I(t_j)$ ;

$O: P \times T \rightarrow \{0, 1\}$  – выходная функция, которая отображает переход в множество выходных позиций  $p_i \in O(t_j)$ ;

$M: P \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\}$  – 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.

Срабатывание перехода мгновенно изменяет разметку  $M(p) = (M(p_1), M(p_2), M(p_3), \dots, M(p_n))$  на разметку  $M'(p)$  по следующему правилу:

$$M'(p) = M(p) - I(t_j) + O(t_j) \quad (1)$$

Запись уравнения (1) означает, что переход  $t_j$  изымает по одной метке из каждой своей входной позиции и добавляет по одной метке в каждую из выходных.

$\tau_1: T \rightarrow N$  и  $\tau_2: P \rightarrow N$  функции, определяющие время задержки при срабатывании перехода и время задержки в позиции.

Динамика выполнения МСП определяется движением меток, моделирующих движение дискретных потоков полупродуктов.

Таким образом, рассмотренная модификация сетей Петри позволяет решать следующие задачи:

- 1) анализ функционирования аппаратов системы в условиях нештатных ситуаций;
- 2) анализа переключения управления на сетевом уровне;
- 3) анализа технологических схем дискретно – непрерывных производств для обеспечения устойчивого, стабильного состояния.

Для управления процессом химической очистки сточных вод разработана математическая модель технологической схемы и ее программная реализация. Математическая модель системы химической очистки сточных вод разработана в виде МСП, реализация, которой позволила исследовать системные связи и законы функционирования установки в целом [1]. Построены также модели основных аппаратов, реализующих технологический процесс химической очистки сточных вод. Из СП-моделей типовых аппаратов была синтезирована модель всей установки.

С использованием СП-модели нами разработан программный комплекс системы технологического модуля химической очистки сточных вод, имитирующей функционирование очистки в виртуальном времени. Средствами SCADA-технологии TRACE MODE разработан программный комплекс системы управления технологическим процессом химической очистки сточных вод. Система управления технологическим процессом позволяет выполнять диспетчерский контроль основных элементов системы управления, останавливать систему химической очистки сточных вод и анализировать ее состояние как в целом, так и в целях прогнозирования развития внештатных ситуаций [5].

#### Список литературы

1. Азимов Ю.И. Технологический модуль очистки нефтесодержащих сточных вод // Известия КазГАСУ. 2009. № 2 (12). С. 227-232.
2. Анаников С.В., Савдур С. Н., Басырова Д.И. Технологический модуль очистки сточных вод производства полимеров. // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15, № 6. С. 121-125.
3. Анаников С.В., Азимов Ю.И., Савдур С. Н. Разработка систем управления оборотного водоснабжения в нефтехимических производствах // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16, № 2. С. 136-139.
4. Новиков А. В. Улучшение качества природных и очистка сточных вод: Учебное пособие. Тверь: ТГТУ, 2006. 112 с.
5. Савдур С.Н., Понкратова С.А. Системный подход в моделировании технологического процесса очистки нефтесодержащих сточных вод // Вестник Казанского технологического университета. 2010. № 7. С. 218-226.