

$$\begin{aligned}
& + 2 \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\Delta t}{\tau}\right) \right]^2 (R_0 + R_X) + 2(2R_0 + R_X) + 2 \Bigg\} + 2 \left| \exp\left(-\frac{t_1}{\tau}\right) \times \right. \\
& \times \left[ R_0 - 2 \exp\left(-\frac{\Delta t}{\tau}\right) (2R_0 + R_X) + \exp\left(-\frac{2\Delta t}{\tau}\right) (R_0 + R_X) \right] - 2R_0 \Bigg| / \\
& \quad \left. / \left\{ R_X 2^n \exp\left(-\frac{t_1}{\tau}\right) \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\Delta t}{\tau}\right) \right]^2 \right\}, \right. \quad (2)
\end{aligned}$$

где  $n$  – разрядность аналого-цифрового преобразователя (АЦП).

Анализ (2) показывает, что погрешность зависит не только от разрядности АЦП, но и от отношений образцового интервала времени и интервала времени с момента подачи напряжения на ИЦ до начала измерения к  $\tau$ .

#### Список литературы

1. Мелентьев В.С., Латухова О.А., Обухова Т.С. (Евстифеева Т.С.) Метод раздельного определения параметров емкостных датчиков по мгновенным значениям переходных процессов // Ползуновский вестник. 2013. № 2. С. 106-108.
2. Обухова Т.С. (Евстифеева Т.С.), Левина К.Д. Анализ погрешности раздельного определения параметров емкостного датчика из-за не идеальности измерительной цепи // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. 2014. № 4 (44). С. 53-58.
3. Мелентьев В.С., Батищев В.И., Обухова Т.С., Левина К.Д. Исследование метода и средства измерения параметров емкостных датчиков перемещения // Мехатроника. Автоматизация. Управление. 2014. № 9. С. 45-49.
4. Мелентьев В.С., Обухова Т.С. (Евстифеева Т.С.), Левина К.Д. Оценка погрешности реализации метода раздельного определения параметров емкостных датчиков // Южно-Сибирский научный вестник. 2014. № 2(6). С. 29-31.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПИЩЕВОЙ И РЫБНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В ВИДЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ СЕТИ ПЕТРИ

**Савдур С.Н.**

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

**Половкина Э.А.**

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

Рассматривается технологический модуль физико-химической очистки сточных вод пищевой и рыбной промышленности. 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.

Сточные воды пищевых и рыбоперерабатывающих производств являются полидисперсной системой сложного состава, которая характеризуется высоким содержанием ценных компонентов органической и неорганической природы. На очистных сооружениях предприятий рыбной промышленности широко применяют методы реагентной очистки сточных вод. Но применяемые коагулянты и флокулянты безвозвратно переводят в бионеприемлемую форму биологически активные компоненты рыбного сырья, содержащиеся в сточных водах рыбоперерабатывающих производств, и исключают последующее использование осадка сточных вод [5].

Решением проблемы является поиск новых форм реагентов физико-химической очистки [5].

Современные очистные сооружения крупных пищевых 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 установки очистки сточных вод пищевого производства, которая предусматривает составление математической модели на основе сетей Петри, что обеспечивает управление потоками в установке.

Технологическая схема физико-химической очистки сточных вод пищевой и рыбной промышленности представлена на рис. 1 [5].

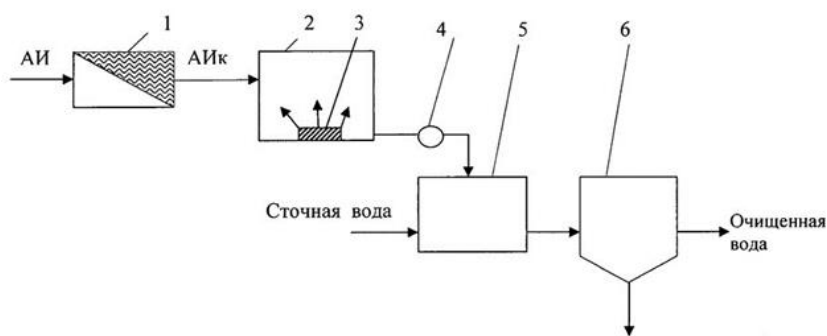


Рис. 1. Технологическая схема установки физико-химической очистки сточных вод пищевой и рыбной промышленности

На рисунке 1 изображены: 1 – аппарат, 2 – камера, 3 – пьезоэлектрический генератор, 4 – дозатор, 5 – камера смешения, 6 – камера хлопьеобразования.

Технологический процесс физико-химической очистки сточных вод пищевой и рыбной промышленности рационально может быть описан модифицированными сетями Петри. Для описания системы нами предлагается ис-

пользование 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  $C = \langle P, T, I, O, M, L, \tau_1, \tau_2 \rangle$ , 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 физико-химической очистки сточных вод пищевой и рыбной промышленности разработана математическая модель технологической схемы и ее программная реализация. Математическая модель системы физико-химической очистки сточных вод пищевой и рыбной

промышленности 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 физико-химической очистки сточных вод пищевой и рыбной промышленности. Из СП – моделей типовых аппаратов была синтезирована модель всей установки (рис. 2).

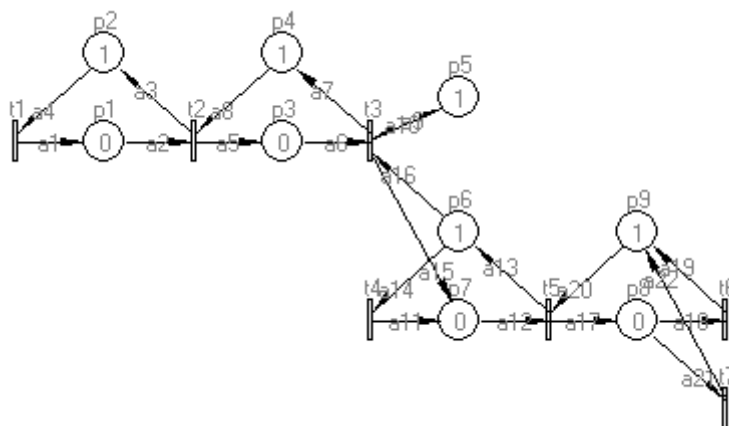


Рис. 2. Модель технологического модуля в виде МСП

С использованием СП-модели нами разработан программный комплекс системы технологического модуля физико-химической очистки сточных вод пищевой и рыбной промышленности, имитирующей функционирование очистки в виртуальном времени. Средствами SCADA-технологии TRACE MODE разработан программный комплекс системы управления технологическим процессом физико-химической очистки сточных вод пищевой и рыбной промышленности. Система управления технологическим процессом позволяет выполнять диспетчерский контроль основных элементов системы управления, останавливать систему физико-химической очистки сточных вод пищевой и рыбной промышленности и анализировать ее состояние как в целом, так и в целях прогнозирования развития внештатных ситуации [4].

#### Список литературы

1. Азимов Ю.И. Технологический модуль очистки нефтесодержащих сточных вод / Ю.И. Азимов, С. Н. Савдур // 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. / С.В. Анаников, С. Н. Савдур, Д.И. Басырова // Вестник Казанского технологического университета. Казань: КНИТУ, 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 / С.В. Анаников, Ю.И. Азимов, С. Н. Савдур // Вестник Казанского технологического университета. Казань: КНИТУ, 2013. – Т. 16, № 2. – С. 136 – 139.
4. Савдур С.Н., Понкраторова С.А. Системный подход в моделировании технологического процесса очистки нефтесодержащих сточных вод / С.Н. Савдур, С.А. Понкраторова // Вестник Казанского технологического университета. Казань: КГТУ, 2010. – № 7. – С. 218 – 226.
5. Швецов В.Н., Морозова К.М., Власкин В.М. Способ биологической очистки сточных вод от органических загрязнений. Патент на изобретение № 2085516 от 27.07.1997.