

- Применяя ромбический механизм в двигатели Стирлинга, делает его идеально сбалансированным амплитуда вибрации менее 0,0038 мм.

Так же стоит отметить, что двигатель Стирлинга имеет интересную и полезную особенность, за которую он получил прозвище “оборотень”. Особенность заключается в том, что если привести двигатель Стирлинга в движения другим двигателем то горячий цилиндр начнет охлаждаться и температура достигнет -200 С. Мы уже получаем не двигатель, а криогенную установку, вот такая особенность.

После того как в 1816 году двигатель Стирлинга был изобретен он пережил первый период своего массового распространения в конце XIX века после чего был практически забыт. Возможно сейчас настало самое время снова начать массово использовать экологически безопасный и эффективный двигатель Шотландского священника Роберта Стирлинга.

#### **Список литературы**

1. Бреусов В. Стирлинги уже давно работают в космосе.
2. Двигатели Стирлинга. Пер. с англ. Под ред. В.М.Бродянского. М.: Мир, 1975.
3. Двигатели Стирлинга / [В.Н. Даниличев, С.И. Ефимов, В.А. Звонок и др.]; под ред. М.Г. Круглова. – М.: «Машиностроение», 1977.
4. Ридер Г., Хупер Ч. Двигатели Стирлинга: Пер. с англ. – М.: Мир, 1986.
5. Уокер Г. Машины, работающие по циклу Стирлинга: Пер. с англ. М.: Энергия, 1978.
6. Уокер Г. Двигатели Стирлинга: Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1985. «Колеса» (статья).

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГЛУБОКОЙ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД С ПРИМЕНЕНИЕМ ФЛОКУЛЯНТОВ 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. экон. наук,  
Институт управления, экономики и финансов К(П)ФУ,  
Россия, г. Казань

Рассматривается технологический модуль глубокой очистки промышленных сточных вод с применением флокулянтов. 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.

В связи с возрастающими требованиями к качеству очищаемых сточных вод возникает проблема интенсификации работы действующих очистных сооружений. Использование флокулянтов на разных стадиях очистки промышленных сточных и обработки осадка позволяет повысить качество очищенной воды и увеличить пропускную способность очистных сооружений без значительных капитальных затрат [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.

Структурная схема глубокой очистки промышленных сточных вод с применением флокулянтов представлена на рис. [4].

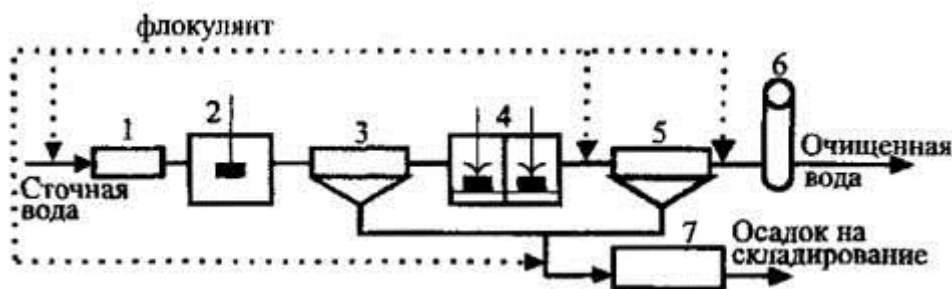


Рис. Структурная схема глубокой очистки промышленных сточных вод с применением флокулянтов

На рисунке изображены: 1 – сооружение смешения, 2 – сооружение флокуляции, 3 – сооружение механической очистки, 4, 5 – сооружение биологической очистки, 6 – сооружение глубокой очистки, 7 – сооружение обезвоживания осадка.

Технологический процесс глубокой очистки промышленных сточных вод с применением флокулянтов 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 предло-

жены 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 глубокой очистки промышленных сточных вод с применением флокулянтов разработана математическая модель технологической схемы и ее программная реализация. Математическая модель системы глубокой очистки промышленных сточных вод с применением флокулянтов 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 глубокой очистки промышленных сточных вод. Из СП – моделей типовых аппаратов была синтезирована модель всей установки.

С использованием СП-модели нами разработан программный комплекс системы технологического модуля глубокой очистки промышленных сточных вод с применением флокулянтов, имитирующей функционирование очистки в виртуальном времени. Средствами SCADA-технологии TRACE

MODE разработан программный комплекс системы управления технологическим процессом глубокой очистки промышленных сточных вод с применением флокулянтов. Система управления технологическим процессом позволяет выполнять диспетчерский контроль основных элементов системы управления, останавливать систему глубокой очистки промышленных сточных вод с применением флокулянтов и анализировать ее состояние как в целом, так и в целях прогнозирования развития внештатных ситуации [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. Гандурина Л. В. Практический опыт применения флокулянтов в водоочистке // Вода и экология. 2001. № 3. [http://бopak.pф/files/pdf/bopak\\_11.pdf](http://бopak.pф/files/pdf/bopak_11.pdf) (дата обращения: 30.05.2016).
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.

### **УЛУЧШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ПРИ ПОМОЩИ САПР ТП**

***Суровцева О.А.***

старший преподаватель кафедры управление качеством, канд. техн. наук,  
Донской государственный технический университет,  
Россия, г. Ростов-на-Дону

В статье изложены научно обоснованные технологические разработки в области автоматизации технологической подготовки производства обуви. Их внедрение обеспечит технологов доступным инструментом для проектирования технологических процессов сборки обуви, что будет способствовать повышению эффективности производства.

*Ключевые слова:* технологический процесс, автоматизация, информационное обеспечение.

В настоящее время на обувных предприятиях существует отставание развития систем автоматизированного проектирования технологического процесса от систем автоматизированного проектирования конструкторских работ.

Следуя принципу стандартизации при построении АСТПП, необходимо, по возможности, заниматься не разработкой собственных программных средств для автоматизации задач проектирования и управления, а стремиться к поиску уже готовых систем, которые, с одной стороны, отвечают необхо-