

11. Определение емкости и мощности конденсаторной батареи согласно полученному численным методом  $\cos\varphi$ .

12. Согласование индукторов с источниками питания.

Результаты работы положены в основу методики определения оптимальных параметров двухчастотного индукционного нагревателя ферромагнитных заготовок под пластическую деформацию. Длина первой секции, мощность, количество заготовок в первой секции рассчитываются из условия максимального коэффициента полезного действия. Во второй секции, при нагреве на повышенной частоте, происходит нагрев заготовок до температуры пластической деформации с допустимым перепадом температур по сечению. Мощность второй секции рассчитывается из условия достижения заданного температурного перепада по сечению при обязательном выполнении дополнительного ограничения – температуры поверхности заготовки в процессе нагрева. Предлагаемое решение реализует оптимальный по критерию минимума длины нагревателя алгоритм стационарного распределения мощности.

Применение предлагаемой конструкции индукционного нагревателя методического действия позволит выполнить первую секцию нерегулируемой, а необходимая компенсация внешних возмущений будет осуществляться за счет применения регулируемого преобразователя частоты второй секции значительно меньшей мощности, чем полная мощность установки.

#### **Список литературы**

1. Вайнберг А.М. Индукционные плавильные печи. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1960. – 456 с.
2. Рапопорт Э.Я. Оптимизация процессов индукционного нагрева металла. – М.: Металлургия, 1993. – 279 с.
3. ООО "Тор" Руководство пользователя Elcut. 2013. – 295 с.
4. Лыков А.В. Теория теплопроводности. Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 1967. – 600 с.
5. Немков В.С., Демидович В.Б. Теория и расчет устройств индукционного нагрева. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 280 с.

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД КОКСОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА В ВИДЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ СЕТИ ПЕТРИ**

***Савдур С.Н.***

ассистент кафедры экономико-математического моделирования,  
канд. технич. 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 биоочистки сточных вод коксохимического производства. 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 биоочистки сточных вод коксохимического производства.

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

Фенольные сточные воды на коксохимических заводах являются самыми загрязненными и нуждаются в тщательной очистке. Наибольшее внимание уделяется очистке сточных вод от фенолов, что обусловлено их токсичностью, а также способностью образовывать при хлорировании воды хлорфенолы, обладающие повышенной токсичностью и резким неприятным запахом даже при низких концентрациях [3].

Как пароциркуляционное, так и экстракционное обесфеноливание не позволяют снизить содержание фенолов, в воде до санитарных норм или даже заметно приблизиться к ним. Поэтому остатки фенолов необходимо уничтожить. Наиболее рациональный путь – это окисление фенолов с получением  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . Основным способом глубокой очистки сточных вод является биохимическое окисление, при использовании которого окисляются не только фенолы, но и тиоцианиды, и цианиды [3].

Современные очистные сооружения крупных химических 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 биоочистки сточных вод химического производства, которая предусматривает составление математической модели на основе сетей Петри, что обеспечивает управление потоками в установке.

Принципиальная схема биологической очистки сточных вод коксохимического производства представлена на рисунке.

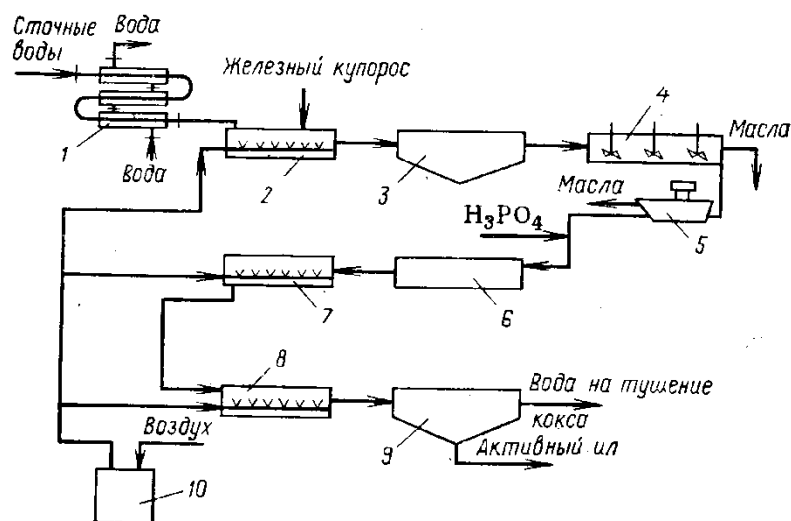


Рис. Технологическая схема биологической очистки сточных вод коксохимического производства: 1 – холодильник «труба в трубе»; 2 – преемник; 3, 9 – соответственно первичный и вторичный отстойники; 4 – маслоотделитель; 5 – флотационная машина; 6 – усреднитель; 7, 8 – аэротенки I и II ступеней; 10 – компрессор

Технологический процесс биологической очистки сточных вод коксохимического производства 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.

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 биологической очистки сточных вод коксо-

химического производства разработана математическая модель технологической схемы и ее программная реализация. Математическая модель системы биологической очистки сточных вод коксохимического производства 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 биологической очистки сточных вод коксохимического производства. Из СП – моделей типовых аппаратов была синтезирована модель всей установки.

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

#### **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. 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. Орлов Д.С. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении: Учеб. пособие / Орлов Д.С, Садовникова Л.К., Лозановская И.Н. – М.: Высшая школа, 2002. – 334 с.

## **СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К НАДЕЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

***Степович-Цветкова Г.С.***

доцент кафедры прикладной математики и компьютерных наук,  
канд. экон. наук,  
Ивановский государственный университет, Россия, г. Иваново

В статье рассматривается вопрос управления надежностью программного обеспечения с точки зрения системного подхода. Доказывается необходимость применения основных системных принципов при управлении надежностью, позволяющих выявлять новые возможные способы повышения надежности программ.

*Ключевые слова:* надежность, системный подход, программное обеспечение, теория надежности, системные принципы.

Надежность программного обеспечения, несмотря на большое количество проведенных исследований в данной области, остается весьма актуаль-