

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.141.34>

**СЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОЙ  
УСТАНОВКИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ**

Научная статья

**Савдур С.Н.<sup>1,\*</sup>, Кузнецов М.Г.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Казанский государственный аграрный университет, Казань, Российская Федерация

<sup>2</sup> Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (savdur.svetlana[at]yandex.ru)

**Аннотация**

В статье рассматривается технологический комплекс очистки сточных вод (ОСВ) нефтехимических производств. С помощью методов моделирования дискретно-непрерывных химико-технологических систем (ХТС) обоснована целесообразность применения теории сетей Петри (СП) для моделирования процесса ОСВ нефтехимических производств. Предложено использовать модификацию сетей Петри, которая ориентирована на моделирование и анализ дискретно-непрерывных ХТС, с помощью включения приоритетных переходов, времени задержки меток в переходах и позициях. Построена модель модифицированной сети Петри (МСП). А с помощью SCADA-технологии TRACE MODE можно разработать программный комплекс системы управления технологическим процессом ОСВ.

**Ключевые слова:** модифицированные сети Петри, очистка сточных вод нефтехимических производств, компьютерное моделирование, химико-технологическая система, моделируемые системы.

**NETWORK MODELLING OF THE FUNCTIONING SYSTEM OF A PETROCHEMICAL WASTEWATER  
TREATMENT PILOT PLANT**

Research article

**Savdur S.N.<sup>1,\*</sup>, Kuznetsov M.G.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Kazan State Agrarian University, Kazan, Russian Federation

<sup>2</sup> Kazan National Research Technological University, Kazan, Russian Federation

\* Corresponding author (savdur.svetlana[at]yandex.ru)

**Abstract**

The article examines the technological complex of wastewater treatment (WWT) of petrochemical enterprises. With the help of modelling methods of discrete-continuous chemical and technological systems (CTS) the expediency of Petri nets theory (PNT) application for modelling the process of WWT of petrochemical productions is substantiated. It is proposed to use a modification of Petri nets, which is oriented on modelling and analysis of discrete-continuous CTS, by means of including priority transitions, delay time of labels in transitions and positions. A modified Petri net (MPN) model is constructed. And by means of SCADA-technology TRACE MODE it is possible to develop a software complex of the OSV technological process control system.

**Keywords:** modified Petri nets, petrochemical wastewater treatment, computer modelling, chemical and technological system, modelled systems.

**Введение**

На сегодняшний день работа по очистке сточных вод представляет собой сложную структуру, состоящую из несколько уровней. Именно по этой причине многие связывают этот процесс с разными кибернетическими системами. В частности, применяется системный анализ. Анализирование и моделирование систем является сложнейшей задачей, поэтому следует применять методы компьютерного и математического моделирования.

При решении поставленных задач использовались следующие методы исследования: системный анализ, теория графов, компьютерное моделирование, теория сети Петри.

**Основные результаты**

В современном мире постоянное увеличение добычи нефти, рост производства нефтепродуктов ведет к росту сточных вод, где могут содержаться большое количество нефтепродуктов. Поэтому для защиты окружающей среды необходимо найти пути очистки данных водных объектов.

Многие большие организации по добыче нефти и нефтепродуктов имеют свои очистные сооружения. Их структура считается очень сложной. Из-за этого появляется интерес к изучению их работы, потому что по составу и по объему потока у воды в данных сооружениях бывают различные показатели [1]. Результат работы системы обеспечивается при помощи обработки информации методом системного анализа, который связан с приемом: математическое описание технологического процесса [2].

Если смотреть со стороны системного анализа, то рассматривая деятельность сооружений по очистке сточных вод с точки зрения системного анализа, то она имеет технологическую и химическую систему, которая связана между собой информационными, тепловыми и материальными линиями [3]. Все ОСВ делятся на уровни или подсистемы. В

процессе производственных работ ставятся цели и реализуются задачи. Среди задач, главной является очистка воды до необходимых показателей или до нормального функционирования водообеспечительной деятельности.

Изучая систему по очистке сточных вод, можно выделить информационный подход, в основе которого лежит математическое моделирование [4]. Такой подход и методы с использованием компьютерных технологий – результативный показатель, который помогает пользоваться системой управления, увидеть результат деятельности во внештатных ситуациях, дать оценку структурным аспектам, учитывать все показатели, которые связаны с непредсказуемостью возмущающих воздействий [5], [6]. Чтобы составить модель того или иного объекта, имеется 2 подхода:

1. Объект рассматривается как растущая система с постоянной переменной. Подход применяется при моделировании технологических или химических систем с постоянным технологическим процессом [7], [8].

2. Объект рассматривается как растущая система с дискретными событиями (ДСДС). Это линии сборки, система по производству, компьютерные технологии.

Также можно отметить дискретно-непрерывные технологические системы с использованием математических методов и приемов (логическое и лингвистическое моделирование, система теории СП и графов) [9]. После сравнения и анализа, аппарат теории СП был выбран как главный аппарат математического моделирования [9]. Именно этот аппарат помогает строить моделировать прерывистые параллельные процессы [9], увидеть сетевую графику, показать структуру на разных ступенях абстракции [10], провести сравнение и анализ модели с прикладными программами. Сети Петри, как и сети конечных автоматов, совмещают в себе возможности отображения динамики параллельных процессов в целом, с сохранением представления о динамике каждого из этих процессов в отдельности. Это сочетается с простотой и выразительностью отображения взаимодействия элементов сети и процессов в них, простым синтаксисом, наглядностью и широкими функциональными возможностями. Сети Петри более адекватно отражают организацию процессов в ДСДС по сравнению с моделями других видов.

### Обсуждение

Системный анализ, его различные методы и приемы помогают при создании системы опытно – промышленной установки для очищения сточных вод в нефтехимических предприятиях (рис. 1). Она построена по математической модели.

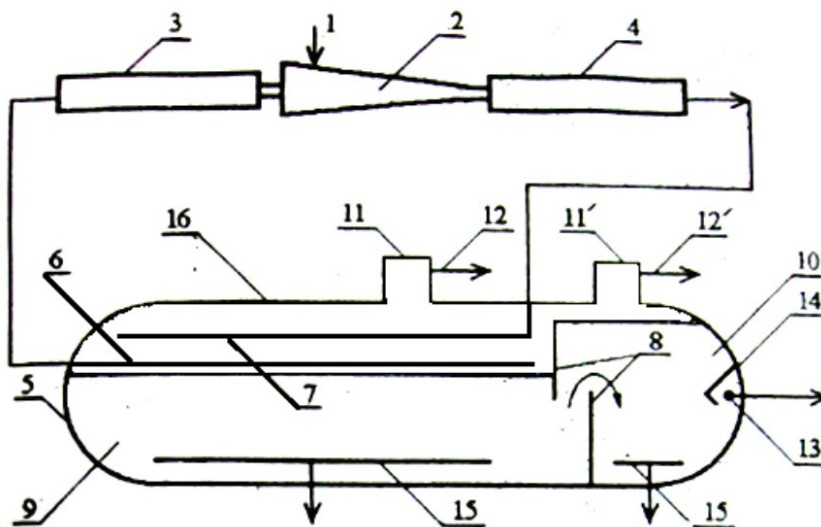


Рисунок 1 - Технологическая схема опытно – промышленной установки:

1 - патрубок; 2 - гидроциклон; 3 - цилиндрическая камера; 4 - цилиндрическая камера; 5 - отстойник; 6 - нижний распределитель; 7 - верхний распределитель; 8 - перегородка; 10 - буферная зона; 11 - нефтесборник; 11' - нефтесборник; 12 - патрубок; 12' - патрубок; 13 - патрубок; 14б - отбойник; 15 - патрубок

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.141.34.1>

Чтобы получить систему, необходимо использовать N-схемы, основанные на математическом аппарате СП, эффективность которой увеличивается от работы сетевой модели в графической и аналитической форме.

При сравнении и анализе технологических и химических схем необходимо учитывать ограниченность N-схем, так как здесь отдельные критерии модели не учитываются, потому что время ( $T$ ) = 0. Учитывая эти условия, мы использовали МСП - сеть Петри следующего вида:

$$C = \langle P, T, I, O, M, L, t_1, t_2 \rangle \quad (1)$$

где  $T = \{t_i\}$  – конечное непустое множество символов – *переходы*, на которые влияют количество условных порций продукции при непрерывной подаче в аппарат технологической схемы.

$P = \{p_i\}$  – конечное непустое множество символов – *позиции*, большое количество аппаратов технологической схемы;

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

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

Каждый переход показывает множество входных  $I(t_j)$  и выходных позиций  $O(t_j)$  как:

$I(t_j) = \{p_i \mid P/I(p_i, t_j) = 1\}$ ;  $O(t_j) = \{p_i \mid P/O(p_i, t_j) = 1\}$

$M: P \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\}$  – функция маркировки (разметки) сети, которая ставит в соответствие каждой позиции положительное целое число, равное числу меток в этой позиции, изменяемое в процессе работы сети».

Срабатывание перехода меняет разметку  $M(p) = (M(p_1), M(p_2), M(p_3), \dots, M(p_n))$  на разметку  $M'(p)$  по формуле:

$$M'(p) = M(p) - I(t_j) + O(t_j) \quad (2)$$

Уравнение показывает, что переход  $t_j$  удаляет по одной метке из каждой входной позиции и добавляет по метке в каждую из выходных.

$t_1: T \rightarrow N$  и  $t_2: P \rightarrow N$  функции, которые определяют время задержки в позиции и при срабатывании перехода.

Линия увеличения МСП устанавливается движением меток, которые дают баланс точечных потоков по ограниченности объема аппаратов установки ОСВ.

Данное направление СП помогает сравнить и анализировать работу аппаратов системы в различных неожиданных ситуациях, отключения управления сети и технологических линий производства по обеспечению непрерывной работы системы.

Чтобы вести работу ОСВ, создана математическая модель технологической схемы и программа ее выполнения. Такая модель системы ОСВ построена на основе МСП. Работа по данной модели помогает исследованию системы и законы данной функции полностью. Имеются еще модели, которые ведут технологический процесс на основе ОСВ [11]. Из СП-моделей данных систем была разработана модель всей установки (рис. 2).

С помощью СП-модели можно получить единую систему технологического модуля ОСВ. Она показывает очистку в настоящем времени. Аппаратами SCADA-технологии TRACE MODE можно построить программу деятельности технологическим процессом ОСВ [12]. Структура и система анализа технологии помогает проводить постоянный контроль основных направлений, приостановить ОСВ, провести полный или частичный анализ для предотвращения разных внештатных ситуаций [4].

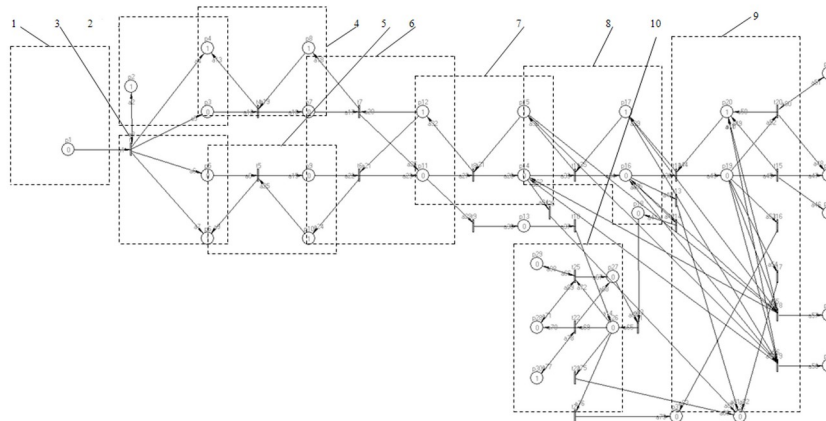


Рисунок 2 - Общая СП - модель опытно – промышленной установки:

1 – гидроциклон; 2, 3 – цилиндрические камеры; 4 – нижний распределитель; 5 – верхний распределитель; 6 – слой нефти; 7 – отстойник; 8 – буферная зона; 9 – емкость очищенной воды; 10 – емкость уловленной нефти

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.141.34.2>

### Заключение

После исследования химических и технологических систем определено главное ограничение функций N-схем. Оно заключается в том, что учет N-схемами уменьшается или совсем отсутствует. Из-за этого появляется необходимость применения СП, которая основана на модели и системный анализ дискретно-непрерывных ХТС. Данная математическая модель деятельности системы очистки воды при нефтехимических предприятиях, показанные по модифицированной сети Петри, помогает изучить системные связи и работу установки полностью.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

### Conflict of Interest

None declared.

### Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Fesina E. Modeling of Sewage Bioremediation as a Modified Petri Net / E. Fesina, S. Savdur // World Applied Sciences Journal. — 2014. — № 31(6). — P. 1191-1197.
2. Hunt J.C.R. System Dynamics Applied to Operations and Policy Decisions / J.C.R. Hunt, Y. Timoshkina, P.J. Baudains [et al.] // European Review. — 2012. — № 20(3). — P. 324–342.
3. Motameni H. Software with an Object-Oriented Petri Net Model / H. Motameni, A. Movaghar, B. Shirazi [et al.] // World Applied Sciences Journal. — 2008. — № 3(4). — P. 565-576.
4. Huilnir C. Modeling of the Denitrification/Anaerobic Digestion Process of Salmon Fishery Wastewater in a Biofilm Tubular Reactor / C. Huilnir, E. Aspe, M. Roeckel // Journal of Environmental Management. — 2011. — № 92. — P. 1591-1608.
5. A Novel Method for Behavior Modeling in Uncertain Information Systems / A. Haroonabadi, M. Teshnehlab, A. Movaghar // World Applied Sciences Journal. — 2008. — № 3(5). — P. 797-805.
6. Ruiz M. Multivariate Principal Component Analysis and Case-Based Reasoning for monitoring, fault detection and diagnosis in a WWTP / M. Ruiz, G. Sin, X. Berjaga [et al.] // Water Science, Technology. — 2011. — № 64 (8). — P. 1661–1667.
7. Peter P. Determination of Biological Degradability of Organic Substrates / P. Peter // Water Research. — 1976. — 10. — P. 231-235.
8. Buswell A.M. Mechanisms of Methane Fermentation / A.M. Buswell, M.F. Mueller // Industrial and Engineering Chemistry. — 1952. — № 44. — P. 550-552.
9. Meng C.Z. Special issue on «Petri Nets for System Control and Automation» / C.Z. Meng, Z.W. Li // Asian Journal of Control. — 2010. — № 12(3). — P. 237-239.
10. Barzegar B. Modeling and Simulation Firewall Using Colored Petri Net / B. Barzegar, H. Motameni // World Applied Sciences Journal. — 2011. — № 15(6). — P. 826-830.
11. Albert W. A Petri Nets-based Process Planning System for Wastewater Treatment / W. Albert, L. Yao, J. Zhiming [et al.] // Asian Journal of Control. — 2010. — № 12(3). — P. 281-291.
12. Nasby G. SCADA Standardization: Modernization of a Municipal Waterworks with SCADA Standardization: Past, Present, and Planning for the Future / G. Nasby, M. Phillips // Tech. — 2011. — № 58(5-6). — P. 1.