

§ 3.7 Моделирование технологического процесса биохимической очистки сточных вод полимерной промышленности

§ 3.7 Modeling of the technological process of wastewater biochemical treatment polymer industry

Аннотация

Рассматривается методика информационного обеспечения реструктуризации технологических процессов очистки сточных вод полимерных производств с переводом в режим оборотного водоснабжения. Решается актуальная задача разработки системы управления технологическими процессами, направленная на реализацию принципов энергосбережения, обеспечения экологической безопасности окружающей среды. В работе представлен системный метод математического моделирования технологического процесса очистки сточных вод полимерных производств на основе применения модифицированных сетей Петри. Построена модель в виде модифицированной сети Петри и на ее основе разработан программный комплекс системы управления очистки сточных вод полимерных производств.

Ключевые слова: *биоочистка сточных вод, оборотное водоснабжение, полимерные производства, системное моделирование, сети Петри.*

Abstract

A method of dataware of restructuring process of purification wastewater of polymer production is considered with switch mode of recycling water supply. Here is determined the urgent task of developing control systems of technological processes aimed at achievement the principles of energy resource saving, support ecological safety of the environment. A systematic method of mathematical modeling of the technological process of wastewater treatment of polymer production through the application of modified Petri nets is presented in this paper. A model in the form of a modified Petri net is constructed. By means of SCADA TRACE MODE, software package to control biochemical wastewater treatment technology system is designed.

Keywords: *bioremediation of effluent water, water recycling, polymer production, system simulation, Petri nets.*

Введение

Важной проблемой экологической безопасности является защита водного бассейна от выброса загрязненных сточных вод полимерных производств. Очистка технологических стоков - обязательное условие сохранения экологического равновесия окружающей среды. Однако существующие технологии очистки сточных вод недостаточно совершенны и не обеспечивают ее действенного уровня.

Постановка задачи

Оптимальный вариант в минимизации потребления воды в промышленном производстве – это обеспечение оборотного водоснабжения. Решение такой задачи определено разработкой систем информационного обеспечения на основе записи структурных сетевых математических моделей технологических процессов биохимической очистки сточных вод (БОСВ).

Методы исследования

При решении поставленных в исследовании задач использовались методы системного анализа, компьютерного моделирования, теории сетей Петри, теории графов.

Теория

Современные очистные сооружения крупных химических предприятий являются структурно сложными систе-

мами. Поэтому существенный интерес представляют условия их внештатного функционирования, в которых сточные воды имеют динамически варьирующие параметры, как по составу, так и интенсивности потока, вплоть до показателей залпового сброса [1]. 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].

В соответствии с принципами системного анализа промышленная установка представляет собой биохимико-технологическую систему, включающую совокупность взаимосвязанных материальными, тепловыми и информационными потоками аппаратов, каждый из которых имеет свою иерархическую структуру [3]. можно подразделить на взаимосвязанные подсистемы, характеризующиеся иерархической структурой. Задачи управления на каждом уровне иерархии производства различны, но общей задачей является очистка сточных вод до нормативных показателей или до уровня обеспечения оборотного водообеспечения [4].

Одним из основных направлений исследования сложных систем, в качестве которых выступают БОСВ, является информационный подход на основе математического моделирования объекта [5]. Моделирование и компьютерные эксперименты с моделью-заменителем объекта являются эффективным средством, позволяющим создавать системы управления, рассматривать поведение объекта во внештатных ситуациях, оценивать его структуру и законы управления, а также учитывать стохастиче-

скую природу возмущающих воздействий [6, 7]. Выделяют два подхода к моделированию реальных объектов. В соответствии с первым подходом объект представляется в виде динамической системы с непрерывной переменной. Этот подход широко применяется при моделировании химико-технологических систем с непрерывной организацией технологического процесса [8, 9] при условии его стационарности и неизменности физико-химических параметров. В соответствии со вторым подходом объект представляется в виде динамической системы с дискретными событиями (ДСДС). К ним относятся производственные системы, сборочные линии, компьютерные сети.

К классу ДСДС относятся также дискретно-непрерывные биохимико-технологические системы. Решение задач организации управления подобных дискретных динамических систем требует применения специальных математических методов. Традиционно для этих целей используются методы конечных автоматов, логико-лингвистического и имитационного моделирования, а также аппарат теории графов и сетей, сети Петри (СП) [10]. На основе сравнительного анализа в качестве основного аппарата математического моделирования выбран аппарат теории СП [10]. СП позволяют моделировать дискретные параллельные асинхронные процессы [10], получать графическое представление сети, описать системы на различных уровнях абстракции, представить системную иерархию [11], анализировать модели с помощью современных пакетов прикладных программ.

Полученные результаты

Использование методов системного анализа позволяет разработать систему управления установки биоочистки технологических стоков полимерных производств (рис. 3.7.1), которая предусматривает построение математической модели на основе СП.

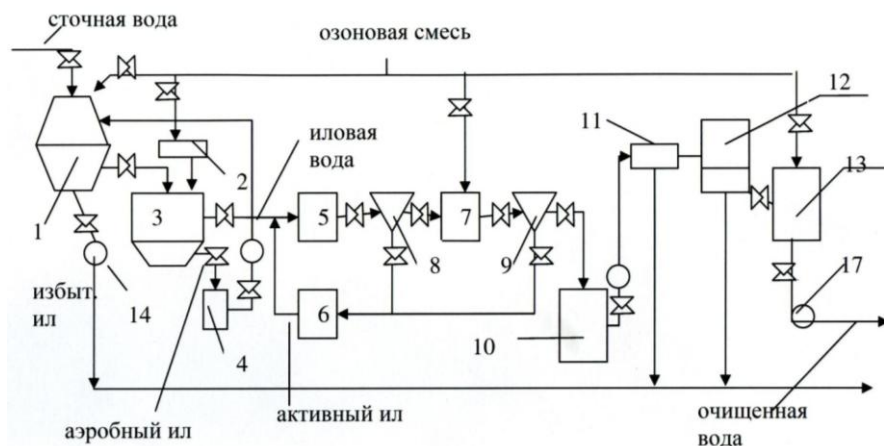


Рис. 3.7.1. Структурная схема установки биоочистки полимерных производств

Структурная схема установки включает: 1 – накопитель стоков; 2а и 2б – насосы; 3 - первичный отстойник; 4 – усреднитель; 5 - емкости для микроорганизмов и биостимуляторов; 6а и 6б - струйно-отстойные аппараты; 7 - вторичный отстойник; 8 - шламонакопитель.

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 [12].

При анализе биохимико-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). МСП - сеть Петри вида

$$C = \langle P, T, I, O, M, \tau_1, \tau_2 \rangle,$$

где $T = \{t_j\}$ – конечное непустое множество символов (переходы), оцениваемые исходя из количества условных порций продукции при непрерывной подаче в аппараты технологической схемы;

$P = \{p_i\}$ – конечное непустое множество символов (позиции) под которыми понимают 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, меняющееся 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:

$$M'(p) = M(p) - I(t_j) + O(t_j) \quad (3.7.1)$$

Уравнение (1) означает, что переход t_j изымает по одной метке из каждой своей входной позиции и добавляет

по одной метке в каждую из выходных позиций.

$\tau_1: T \rightarrow N$ 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.

Рассмотренная модификация СП позволяет провести анализ функционирования аппаратов системы в условиях нештатных ситуаций, переключения управления на сетевом уровне, а также технологических схем дискретно - непрерывных производств для обеспечения устойчивого, стабильного состояния системы.

Для управления процессом БОСВ разработана математическая модель технологической схемы и ее программная реализация. Математическая модель системы БОСВ разработана в виде МСП, реализация которой позволила исследовать системные связи и законы функционирования установки в целом. Построены также модели основных аппаратов, реализующих технологический процесс БОСВ [12].

Первым в цепочке аппаратов находится **реактор-метантенк**, который представлен на рис. 3.7.2.

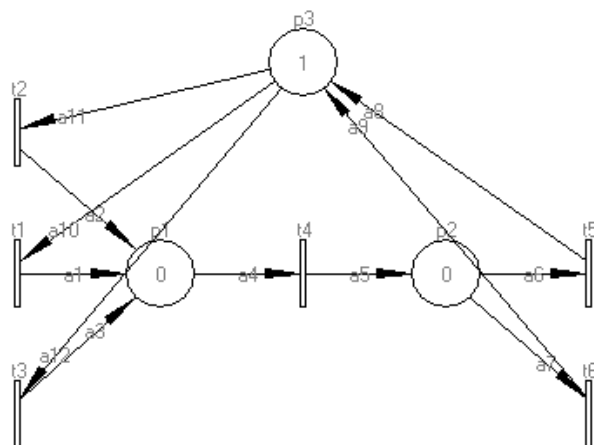


Рис. 3.7.2. СП – модель реактора метантенка

Интерпретация элементов модели следующая:

p1 – позиция, моделирующая процесс загрузки продуктов в реактор;

p2 – моделирует процесс перемешивания сточных вод с активным илом;

p3 – позиция, моделирующая вместимость реактора-метантенка;

t1 – переход, моделирующий подачу сточных вод в реактор-метантенк;

t2 – переход, моделирующий загрузку озоновой смеси в реактор;

t3 – переход, моделирующий отправку в реактор аэробного ила из емкости;

t4 — переход, моделирующий перемешивание продуктов процесса в реакторе-метантенке;

t5 – переход, моделирующий выгрузку иловой смеси

из метантенка (загрузка в отстойник-осветлитель);

t6 – переход, моделирующий вывод избыточного ила из системы;

Следующий аппарат технологического модуля **отстойник-осветлитель**. СП-модель отстойника представлена на рис. 3.7.3.

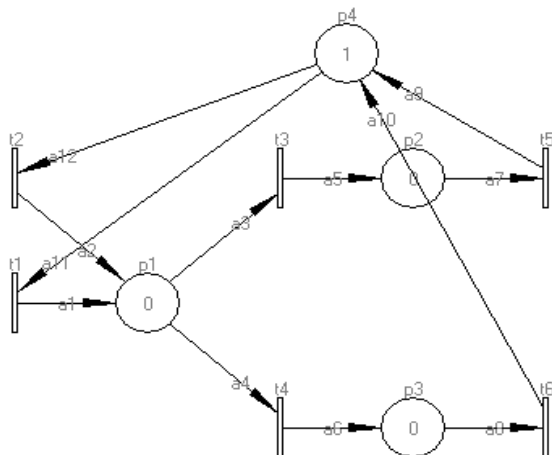


Рис. 3.7.3. СП – модель отстойника - осветлителя

Интерпретация элементов модели следующая:

p1 – позиция, моделирующая процесс загрузки продуктов в отстойник-осветлитель;

p2 – позиция, моделирующая процесс получения иловой воды в результате обработки смеси;

p3 – позиция, моделирующая процесс образования аэробного ила в процессе обработки смеси;

p4 – моделирует вместимость отстойника-осветлителя;

t1 – переход, моделирующий загрузку иловой смеси из реактора в отстойник-осветлитель;

t2 – переход, моделирующий подачу озоновой смеси в отстойник;

t3 – переход, моделирующий получение иловой воды;

t4 – переход, моделирующий получение аэробного ила;

t5 – переход, моделирующий выгрузку иловой воды из отстойника (загрузка в аэротенк 1 степени);

t6 – переход, моделирующий вывод аэробного ила из отстойника (подача ила в емкость).

Построенная модель **емкости** представлена на рис. 3.7.4.

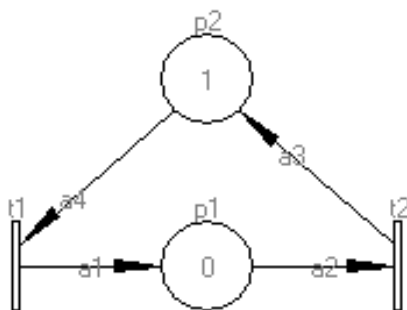


Рис. 3.7.4. СП – модель емкости

Интерпретируем элементы модели:

p1 – моделирует текущий уровень смеси в емкости;

p2 – позиция, моделирующая вместимость емкости;

t1 – переход, моделирующий вывод ила в реактор-метантенк;

t2 – переход, моделирующий загрузку в емкость аэробного ила из отстойника;

СП-модель **аэротенка** представлена на рис. 3.7.5.

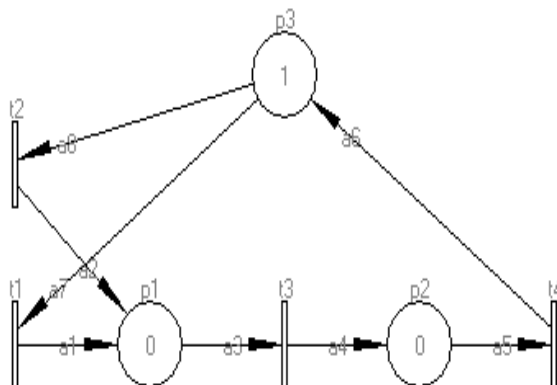


Рис. 3.7.5. СП – модель аэротенка 1 и 2 ступени

Интерпретация элементов модели следующая:

p1 – позиция моделирующая процесс загрузки продуктов технологического процесса в аэротенк 1 ступени;

p2 – моделирует процесс завершения аэрации в аэротенке 1 ступени;

p3 – моделирует вместимость аэротенка 1 ступени;

p1 – моделирует процесс загрузки сырьевого продукта в аэротенк 2 ступени;

p2 – моделирует процесс завершения аэрации смеси в аэротенке 2 ступени;

p3 – позиция, моделирующая вместимость аэротенка 2 ступени;

t1 – переход, моделирующий загрузку иловой воды в аэротенк 1 ступени;

t2 – переход, моделирующий подачу в аэротенк 1 ступени, через регенератор, активного ила из отстойника;

t3 – переход, моделирующий выполнение процесса аэрации в аэротенке 1 ступени;

получения осветленной воды;

p3 – позиция моделирующая образование активного ила на дне отстойника;

p4 – позиция моделирующая вместимость отстойника первичного (вторичного);

t1 – переход, моделирующий загрузку иловой воды, выходящей из аэротенка, в первичный (вторичный) отстойник;

t2 – переход, моделирующий образование в отстойнике осветленной воды;

t3 – переход, моделирующий получение активного ила;

t4 – переход, моделирующий подачу осветленной воды, выгружаемой из отстойника первичного (вторичного), в аэротенк 2 степени (резервуар приемный);

t5 – переход, моделирующий подачу через регенератор активного ила, выгружаемого из отстойника первичного (вторичного), в аэротенк 1 степени;

СП-модель **приемного резервуара** представлена на рис. 3.7.7.

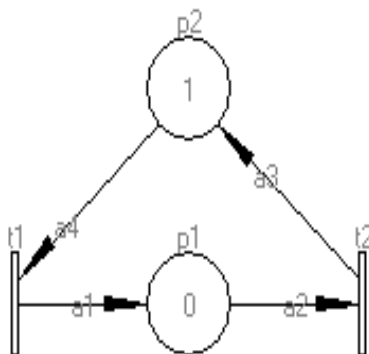


Рис. 3.5.7. СП – модель приемного резервуара

Интерпретация элементов модели следующая:

p1 – позиция, моделирующая текущий уровень смеси в резервуаре;

p2 – моделирует вместимость приемного резервуара;

t1 – переход, моделирующий подачу в приемный резервуар осветленной воды, выходящей из вторичного отстойника;

t2 – переход, моделирующий подачу смеси, на микрофильтр для удаления частичек активного ила.

СП – модель **микрофильтра и фильтра с зернистой загрузкой**. представлена на рис. 3.7.8.

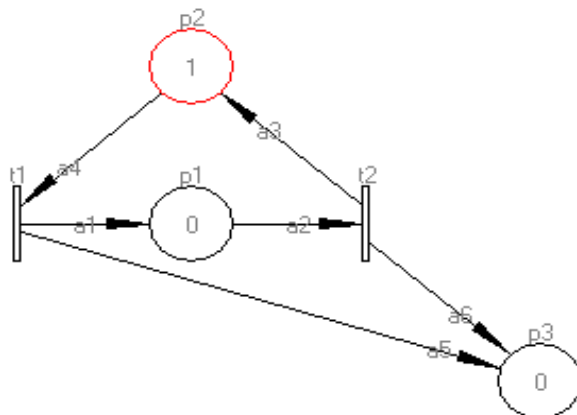


Рис. 3.7.8. СП – модель микрофильтра и зернистого фильтра

Интерпретируем элементы модели:

p1 – позиция показывает уровень наполненности зернистого фильтра;

p2 – позиция, моделирующая вместимость фильтра с зернистой нагрузкой;

p3 – позиция, моделирующая выгрузку отходов после фильтрации;

t1 – переход, моделирующий микрофильтр;
t2 – переход, моделирующий выгрузку смеси из зернистого фильтра.

СП-модель **контактного резервуара** представлена на рис.3.7.9.

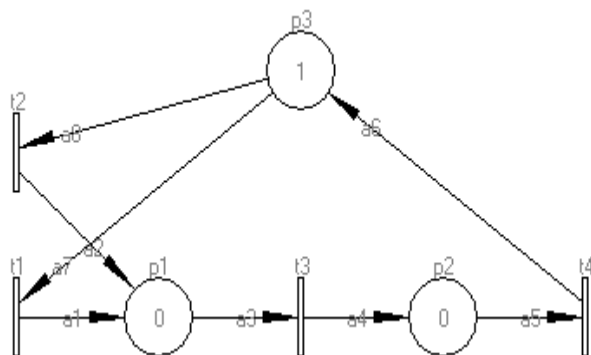


Рис.3.7.9. СП - модель контактного резервуара

Интерпретация элементов модели следующая:

r1 – моделирует процесс загрузки сырьевых продуктов в резервуар;

r2 – моделирует процесс очищения осветленной воды;

r3 – позиция, моделирующая вместимость контактного резервуара;

t1 – переход, моделирующий загрузку в контактный резервуар сточных вод, прошедших процесс фильтрации;

t2 – переход, моделирующий подачу озоновой смеси в резервуар;

t3 – переход, моделирующий выполнение процесса обеззараживания воды;

t4 – переход, моделирующий выгрузку очищенной во-

ды;

СП-модель **насоса** (запорной арматуры) представлена на рисунке 3.7.10.

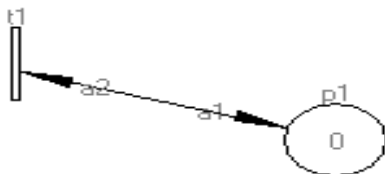


Рис. 3.7.10. СП - модель насоса

Из СП-моделей типовых аппаратов была синтезирована модель всей установки (рис. 3.7.11).

С использованием СП-модели нами разработан программный комплекс системы технологического модуля БОСВ полимерных производств, имитирующей функционирование биоочистки в виртуальном времени. Средствами SCADA-технологии TRACE MODE разработан программный комплекс системы управления технологическим процессом БОСВ полимерных производств [13].

Система управления технологическим процессом позволяет выполнять диспетчерский контроль основных элементов системы управления БОСВ полимерных производств, останавливать систему и анализировать ее состояние как в целом, так и в целях прогнозирования развития внештатных ситуаций [14].

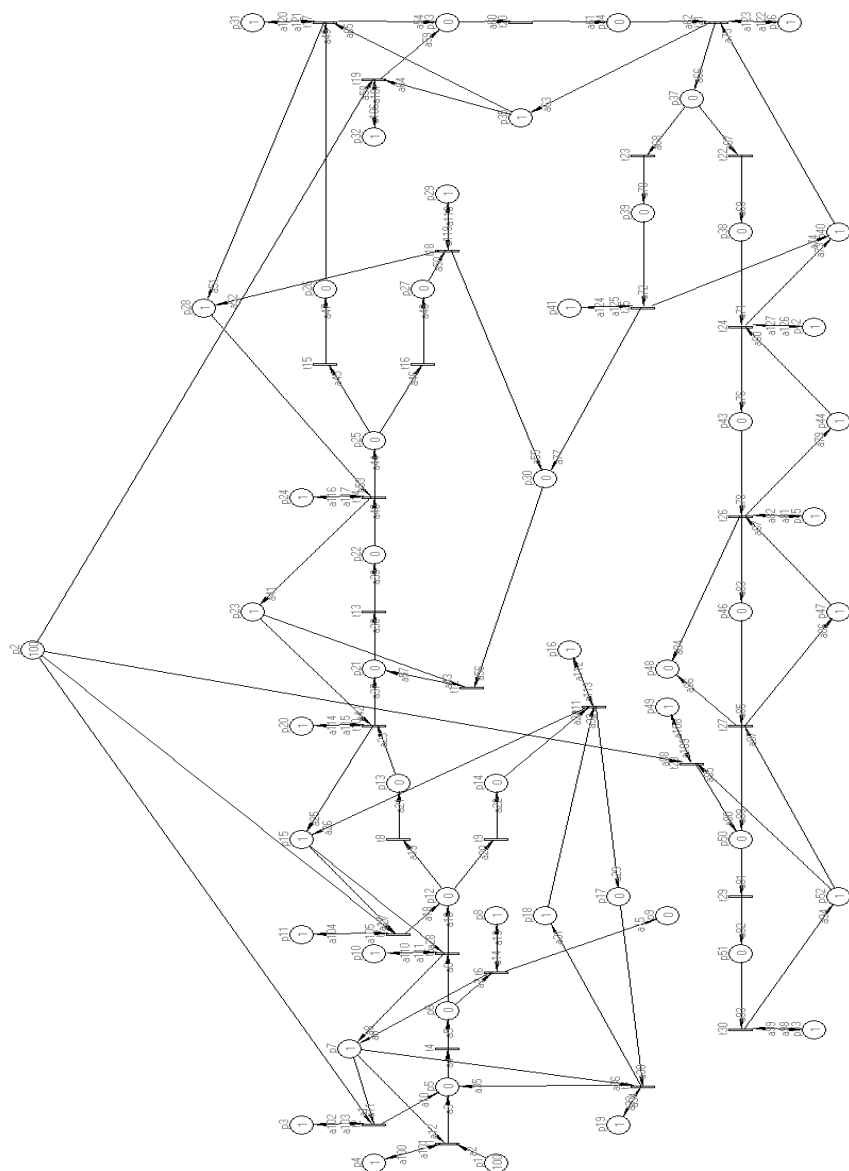


Рис. 3.7.11. Модель технологического модуля в виде МСП

Заключение

При анализе химико-технологических (биохимико-технологических) систем установлено основное ограничение формализма N-схем, заключающееся в отсутствии учета N-схемами временных характеристик моделируемых систем. Это приводит к необходимости использования модификации СП, ориентированной на моделирование и анализ дискретно-непрерывных БХТС, путем включения приоритетных переходов, а также времени задержки меток в позициях и переходах. Построение математической модели функционирования систем биоочистки технологических стоков полимерных производств, реализованные в виде модифицированной сети Петри, позволяет исследовать системные связи и законы функционирования установки в целом. Разработанный программный комплекс системы БОСВ, позволяет анализировать состояния системы биоочистки в целом и прогнозировать развитие внештатных ситуаций.

Литература

1. Кафаров В.В., Дорохов И.Н. Системный анализ процессов химической технологии: Основы стратегии. М.: Наука, 1976. 500 с.
2. Островский Г.М., Бережинский Т.А. Оптимизация химико-технологических процессов: Теория и практика. М.: Химия, 1984. 239 с.
3. Вавилин В.А., Васильев В.Б. Математическое моделирование процессов биологической очистки сточных вод активным илом. М.: Наука, 1979. 119 с.
4. Зиятдинов Н.Н. Системный подход к повышению эффективности биологической очистки промышленных сточных вод: дис. ... док. тех. наук. М., 2001. С. 16 -22.
5. Якушева О.И. Биохимическая очистка сточных вод и газовых

выбросов нефтехимических комплексов: дис. ... канд. биол. наук. Казань, 1998. 121 с.

6.Справочное руководство по компонентному составу водотоков и сточных вод различных производств / Л.М. Климовицкая, Ю.С. Котов, Ю.Н. Почкин [и др.] / под ред. проф. В.З. Латыповой. Казань: Изд-во Казан. ун - та, 1992. 84 с.

7.Евилевич А.З., Евилевич М.А. Утилизация остатков сточных вод. Л.: Стройиздат, 1988. 248 с.

8.Peter P. Determination of Biological Degradability of Organic Substrates // Water Research. 1976. V. 10. P. 231-235.

9.Инструкция по приему сточных вод в горканализацию. М: Минжилкомхоз РСФСР, 1967.

10.Buswell A.M., Mueller M.F. Mechanisms of Methane Fermentation // Industrial and Engineering Chemistry. 1952. V. 44.

11.Яковлев С.В., Карюхина Т.А. Биохимические процессы в очистке сточных вод. М.: Стройиздат, 1980. 200 с.

12.Питерсон, Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Дж. Питерсон. – М.: Мир, 1984. – 264 с.

13.Савдур С.Н., Понкратова С.А. Системный подход в моделировании технологического процесса очистки нефтесодержащих сточных вод. // Вестник Казанского технологического университета. Казань: КГТУ, 2010. № 7. С. 218 – 226.

14. Yu. I.Azimov, S.N.Savdur, E.L.Fesina, 2014.Ensuring environmental safety based on the modeling of biological process of oily SEW-AGE. Mediterranean Journal of Social Sciences, 5 (24): 372-377.

15. Демиденко Д.С., Бабкин А.В., Кудрявцева Т. Ю. Теоретические аспекты оценки эффективности бюджетных расходов // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного университета. Экономические науки. – 2009. - № 3 (79). - С. 255-262.

16. Крошилин А.В., Бабкин А.В., Крошилина С.В. Особенности построения систем поддержки принятия решений на основе нечёткой логики // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление . - 2010. Т. 2. № 97. С. 58-63.