

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра промышленной экологии

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В ОХРАНЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Программа, методические указания и контрольные задания для студентов специальности 1-57 01 01 «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов» заочной формы обучения

Минск 2007

УДК 519.6:502.17(073)

ББК 22.174:20.1я7

С 40

Рассмотрены и рекомендованы к изданию редакционно-издательским советом университета

Составители:

доцент *В. Н. Марцуль*;

ст. преподаватель *В. Т. Липик*

Рецензент

доцент, кандидат технических наук *И. А. Хмызов*

По тематическому плану изданий учебно-методической литературы университета на 2007 г. Поз. 147.

Для студентов специальности 1-57 01 01 «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов» заочной формы обучения.

© УО «Белорусский государственный
технологический университет», 2007

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Системный анализ в охране окружающей среды» изучается студентами заочной формы обучения V курса специальности 1-57 01 01 «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов» в 9-м семестре.

Системный анализ – это совокупность методов и средств исследования сложных многоуровневых систем, объектов, процессов, которые используются при подготовке и принятии решений по сложным проблемам политического, экономического, военного, социального, экологического характера. Системный анализ базируется на общей теории систем и системном подходе и широко использует элементы математической статистики, теорию вероятностей и другие разделы высшей математики, а также современные информационные технологии. Ключевым этапом системного анализа является создание модели исследуемой системы или ситуации, которая позволяет изучить ее поведение для различных условий. Полученная модель исследуется на предмет адекватности и соответствия результатов моделирования реальным (фактическим) значениям параметров, описывающих состояние системы.

Цель изучения дисциплины – профессиональная подготовка в области исследования систем различного уровня сложности, которые являются объектом изучения при решении практических задач в охране окружающей среды.

Объектом системного анализа в охране окружающей среды являются системы с ярко выраженной иерархией, со сложной, не всегда четко выраженной структурой, не поддающиеся строгому математическому описанию. Предметом системного анализа являются прогнозы, выводы, решения, оценки, полученные при анализе исследуемой системы.

Процесс системного анализа складывается из постановки проблемы, определения цели и критериев оценки рассматриваемой комплексной проблемы, структурного анализа исследуемой системы, разработки концепции развития системы, подготовки возможных вариантов решения, непосредственного анализа выбранных вариантов и их результатов и выбора оптимального решения из нескольких возможных.

Инструментарий системного анализа применительно к охране окружающей среды в большинстве случаев используется для оценки

воздействия на окружающую среду. Для этого необходимо выявить все взаимосвязи в производственных или региональных системах, получить модели, описывающие реальные процессы в системе, результатом которых является описание «нового» состояния системы.

Применение методологии системного анализа к исследованию эколого-экономических систем является одним из интенсивно развивающихся направлений прикладного системного анализа. Обычные методы исследования непригодны для анализа систем, сравнимых по сложности с экологическими, эколого-экономическими, которые характеризуются наличием положительных и отрицательных обратных связей, изменением во времени. Для них не всегда удается однозначно определить входные и выходные переменные, получить математическую модель, пригодную для проведения имитационного моделирования.

Основные этапы системного анализа применительно к оценке воздействия на окружающую среду представляются в виде следующей последовательности действий: постановка задачи; определение (выявление) возможных воздействий, в том числе требующих более детального рассмотрения; предсказание (прогноз) величины воздействий; оценка значимости воздействий; выработка мер по уменьшению воздействий; оценка остаточных воздействий (с учетом планируемых природоохранных мероприятий).

Для определения величины некоторых первичных воздействий используются аэро- и гидродинамические модели, базирующиеся на уравнениях гидро- и аэродинамики.

Для предсказания воздействий более высокого порядка необходимо создание модели эколого-экономической (природно-промышленной) системы. Однако такие системы настолько сложны, что с трудом поддаются строгому математическому описанию даже при значительном упрощении задачи и представлении самого объекта моделирования.

Неоправданно большое количество переменных в многоуровневых нелинейных моделях делает их аналитическое решение практически невозможным. Поэтому для определения величины вторичных воздействий и воздействий более высокого порядка разрабатывают динамическую модель системы, которая пригодна для проведения имитационного моделирования. Ее использование позволяет «проигрывать» различные сценарии развития и вырабатывать на модели оптимальные или близкие к

оптимальным стратегии управления, что невозможно осуществить на реальной системе.

Важной областью применения системного анализа является выбор проектных решений при разработке градостроительной документации на уровне схем комплексной территориальной организации, генеральных планов, проектов детальной планировки, а также выбор проектных решений по охране окружающей среды.

Наиболее широко используемым в настоящее время инструментом системного анализа является метод экспертных оценок, когда группа экспертов на основе ограниченного набора данных и некоторых выбранных им натуральных или расчетных показателей формулирует проблему, определяет цели и задачи, разрабатывает концепцию развития системы и т. д. При известном опыте и информированности экспертов, наличии информации об источнике воздействия и природных условиях территории такой подход может дать определенные результаты и необходимую в рамках поставленной задачи достоверность полученных оценок.

В результате изучения дисциплины студент должен получить навыки применения методологии системного анализа для решения практических задач, которые стоят перед инженером-химиком-экологом, касающихся состояния окружающей среды. При решении задач студент должен владеть такими методами системного анализа, как функция цели, функция желательности, распознавание образов, разрабатывать простейшие модели по результатам измерений и наблюдений и применять их для целей планирования, прогнозирования и при проектировании природоохранных мероприятий.

1. ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

РАЗДЕЛ 1. ОСНОВЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

Системный анализ

1.1. Определение понятия «система», общая характеристика систем. Примеры систем. Понятия «элементы системы», «надсистемы», «подсистемы». Система и внешняя (окружающая) среда. Системный подход и его особенности. Системный анализ.

1.2. Этапы системного анализа. Формулировка проблемы, определение цели и постановка задачи исследования, построение концептуальной модели системы, построение и исследование модели в виде машинной программы, планирование эксперимента, экспериментирование, анализ результатов эксперимента, формулирование и документирование выводов и предложений объединения результатов.

1.3. Круг задач, решаемых в охране окружающей среды с использованием системного анализа. Оценка воздействия на окружающую среду. Планирование и проектирование. Прогнозирование глобальных и региональных изменений в природной среде в результате антропогенного воздействия.

Модели и моделирование

1.4. Понятие модели. Классификация и типы моделей. Возможности моделирования. Требования к модели. Этапы построения модели: постановка задачи, определение задачи, составление математической модели, анализ полученной модели и метода ее решения, верификация (тестирование) модели, проверка адекватности модели, проведение вычислений с использованием модели, использование результатов.

1.5. Системно-динамическое моделирование. Принципы системной динамики, системная диаграмма. Описание загрязнения окружающей среды с помощью диаграммы. Уровни и темпы. Естественные запаздывания в природных экосистемах.

1.6. Кибернетические модели с обратной связью. Положительные и отрицательные обратные связи. Управляющий элемент и управляемая система. Модель черного ящика. Черный ящик «функция» и «автомат».

1.7. Математическое моделирование. Построение модели первого

порядка методом наименьших квадратов. Оптимизационные и имитационные модели. Основная стратегия оптимизационных моделей. Эндогенные, экзогенные и управляющие переменные. Формы имитационного моделирования. Машинная имитация. Сферы применения оптимизационного и имитационного моделирования.

1.8. Методы поиска оптимального решения в моделировании. Градиентные методы: метод релаксации, метод градиента, метод наискорейшего спуска. Безградиентные методы: метод золотого сечения, метод сканирования, симплексный метод. Метод случайного поиска: слепой поиск, метод случайных направлений, метод обратного шага с линейным пересчетом. Понятие о целевой функции. Определение относительной значимости показателей целевой функции.

1.9. Метод Монте-Карло. Алгоритм использования метода для решения практических задач. Использование метода Монте-Карло в задачах системного анализа.

Экспертные оценки в системном анализе

1.10. Метод экспертных оценок. Общая характеристика. Выбор экспертов. Метод снежного кома. Оценка согласованности мнений экспертов. Коэффициент конкордации.

1.11. Организация опроса экспертов. Метод Дельфи. Анкетирование, интервьюирование, мозговой штурм. Методы измерений, используемые при экспертном оценивании. Ранжирование. Парное сравнение. Непосредственная оценка, последовательное сравнение.

1.12. Обработка результатов экспертного оценивания. Коэффициент ранговой корреляции. Коэффициент несовпадения Тейла.

РАЗДЕЛ 2. ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА В ОХРАНЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Моделирование и прогнозирование глобальных процессов

2.1. Римский клуб, его история, проекты. Модели мировой системы. Развитие модели мировой системы и их применение.

2.2. Системный анализ мировой эколого-экономической системы. Стандартная модель мировой системы. Стабилизированная модель мировой системы. Модель с неограниченными ресурсами. Основные

показатели, рассматриваемые в моделях мировых систем. Результаты глобального моделирования.

2.3. Решение задач системного анализа при прогнозировании изменения климата. Глобальные климатические модели. Положительные и отрицательные обратные связи в моделировании климата. Прогнозы изменения климата и их использование.

2.4. Модели, используемые при исследовании процессов, протекающих в атмосфере. Моделирование фотохимических процессов в стратосфере. Химические реакции и поведение загрязняющих веществ в стратосфере. Моделирование фотохимических процессов в тропосфере. Этапы моделирования фотохимического процесса в тропосфере. Определение сроков пребывания загрязняющих веществ в тропосфере и стратосфере. Источники и стоки загрязняющих веществ.

Системный анализ в эколого-экономических и природно-промышленных системах

2.5. Системный анализ региональных эколого-экономических систем. Подсистемы региона. Программный комплекс по созданию модели региона. Функции системы регионального моделирования. Экономические, экологические и социальные индексы в моделировании региона.

2.6. Моделирование распространения загрязняющих веществ в водных объектах. Модель баланса массы загрязняющих веществ для системы «озеро». Время удерживания загрязняющего вещества. Седиментационное поведение частиц.

2.7. Моделирование распространения загрязняющих веществ в почве.

2.8. Моделирование процессов переноса и рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Гауссова модель переноса загрязняющих веществ в факеле. Модели рассеивания загрязняющих веществ для региона, населенного пункта.

2.9. Использование системного анализа в определении воздействий на окружающую среду. Выявление воздействий, оценка воздействий. Матричные методы, контрольные списки, сетевые диаграммы.

2.10. Информационные системы прогнозирования и контроля качества атмосферного воздуха. Виды информационных систем. Задачи прогнозирования загрязнения атмосферного воздуха.

Классификация прогнозов загрязнения воздуха.

2.11. Распознавание образов. Метод отпечатков пальцев. Корреляционное сравнение, сравнение по особым точкам, сравнение по узору. Эвристические и стохастические методы в распознавании образов. Алгоритм идентификации источников загрязнения атмосферного воздуха с помощью метода распознавания образов. Корреляционное сравнение. Выявление виновника несанкционированного загрязнения.

Проектирование и оптимизация функционирования производственных систем с учетом воздействия на окружающую среду

2.12. Использование системного анализа при выборе места размещения производственных объектов, проектировании генеральных планов предприятий. Оптимизация транспортных потоков в территориально-промышленных комплексах.

2.13. Анализ производственных систем с использованием метода материальных балансов.

2.14. Системный анализ и моделирование процессов очистки и обезвреживания выбросов и сбросов. Использование стохастических и детерминированных моделей. Критерии оптимизации.

2.15. Сравнение и оценка возможных вариантов решений. Метод линий одинаковой полезности, метод фиксирования одной из переменных, метод максимизации отношения Е/С (эффективности и стоимости), метод кривых одинаковой полезности.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ОСНОВНЫХ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Системный анализ в охране окружающей среды» изучается после освоения таких общенаучных, общепрофессиональных и специальных дисциплин, как «Основы экологии», «Мониторинг окружающей среды», «Химия окружающей среды», «Технология основных производств и промышленная экология», «Технические основы охраны окружающей среды».

К настоящему времени уже опубликовано достаточно много работ, посвященных применению системного анализа и разработке его инструментария. Методология системного анализа нашла применение в разных отраслях, поэтому информация о моделях, использовании целевой функции и других инструментов системного анализа приведена в публикациях по экономике, информатике, экологии и др. При ответе на вопросы темы «Системный анализ» можно руководствоваться сведениями, приведенными в источниках [1–2]. При ответе на вопросы, касающиеся этапов, структур, классификаций, ответ необходимо пояснять примерами.

Освещая вопросы темы «Модели и моделирование», необходимо использовать схемы и рисунки, поясняющие ответ и делающие его более полным. При ответе на вопросы, касающиеся системно-динамического моделирования, необходимо приводить графические примеры в виде схем с указанием положительных и отрицательных обратных связей. Вопросы моделирования и применения моделей в экологии подробно освещены в литературе [3–4]. При ответах, касающихся моделирования, можно использовать примеры применения моделей не только в охране окружающей среды и экологии, но и в других областях техники и технологии. При изложении вопросов применения системного анализа можно воспользоваться источниками [5–6].

При ответе на вопросы можно использовать примеры из глобальной сети Интернет. Например, некоторые аспекты основ системного анализа изложены на сайте [7]. Полезно использовать информацию официальных сайтов Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь [8], Главного информационно-аналитического центра Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь [9], других

учреждений и организаций, работающих в области охраны окружающей среды и использующих системный анализ при решении прикладных задач. При описании модели черного ящика можно использовать информацию сайтов [10–12]. Некоторые вопросы, касающиеся кибернетических моделей и их математической составляющей, приведены в источнике [13]. При ответе на вопросы о системно-динамическом моделировании можно использовать источник [14].

При ответе на вопросы, посвященные методу поиска оптимального решения, можно использовать источники [15–17]. При ответе на вопросы, касающиеся методов оптимизации (градиентных, безградиентных, методов случайного поиска), можно пользоваться источниками [18–22]. Сведения о целевой функции и методе линий одинаковой полезности достаточно полно представлены в источнике [1]. Сведения о методе Монте-Карло можно почерпнуть из источников [23–24].

При ответе на вопросы темы «Экспертные оценки в системном анализе» рекомендуется пользоваться источником [25]. При приведении примеров, поясняющих использование экспертных оценок, желательно приводить информацию, касающуюся решения именно природоохранных задач. При ответе на вопросы данного раздела можно также пользоваться источниками [26–27] с приведением примеров расчета коэффициентов ранговой корреляции и несовпадения.

Вопросы, входящие в п. 2.1–2.2 программы дисциплины, достаточно полно освещены в источниках [28–29]. Допускается также использовать материалы о проектах, касающихся прогнозирования и глобального моделирования, приведенные на сайтах различных международных природоохранных организаций. При описании моделей глобальных систем пояснить ход кривой и причинно-следственные связи по изменению факторов, оцениваемых в модели. При освещении вопросов по использованию моделирования в прогнозировании изменения климата (пункт 2.3 программы) необходимо пользоваться литературными источниками [30–31]. Для дополнений, приведения примеров по вопросам климатологии рекомендуется использовать материалы из научных и научно-популярных журналов «Science et la vie», «Универсум», «Природные ресурсы» и др. Национальный доклад «Состояние окружающей среды

Республики Беларусь» полезно использовать для вопросов, касающихся климата в масштабах Беларуси [32].

При ответе на вопросы п. 2.4 программы рекомендуется пользоваться источниками [33–39]. При описании моделей и приведении в ответе уравнений необходимо ограничивать их количество, указывая на наиболее значимые с пояснением приведенных в них переменных. Процессы, протекающие в различных слоях атмосферы, необходимо сопровождать примерами реакций, которые можно почерпнуть из источников [40–42].

При ответе на вопросы темы «Системный анализ в эколого-экономических и природно-промышленных системах» можно пользоваться источниками [43–44]. По вопросам, касающимся моделирования процессов в гидросфере, полезно использовать примеры, приведенные в литературных источниках [45–46]. При ответе на вопрос о распространении загрязняющих веществ в почве можно опираться на информацию, приведенную в источниках [47–50].

При ответе на вопросы п. 2.9 программы можно пользоваться источниками [51–52]. Полезную информацию по данным вопросам программы можно почерпнуть из журнала «Экологические системы и приборы». При освещении тематики процесса переноса и рассеивания примесей в воздухе полезно воспользоваться литературой [53–56]. Некоторые аспекты моделирования распространения загрязнений в атмосфере можно почерпнуть из источника [57]. При ответе на вопросы о распознавании образов можно сослаться на источники [58–60]. При этом полезно привести примеры, касающиеся применения метода распознавания образов в области охраны окружающей среды. Ориентироваться при этом можно на источник [61].

При ответе на вопросы темы «Проектирование и оптимизация функционирования производственных систем с учетом воздействия на окружающую среду» рекомендуется воспользоваться литературными источниками [44–51]. При ответе на вопросы раздела 6 программы необходимо приводить упрощенные технологические системы очистки отходящих газов и сточных вод. Ряд примеров моделей, описывающих процессы очистки, приведены в источнике [62–64].

При ответе на вопросы не допускается приводить избыточную, не имеющую отношения к сути излагаемых понятий информацию, а также приводить отрывочные, логически не связанные сведения из разных источников.

3. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Учебным планом предусматривается выполнение одной контрольной работы, которая включает 6 вопросов и четыре задачи. Контрольная работа считается выполненной, если студентом даны правильные и полные ответы на все вопросы и правильно решены все задачи по своему варианту.

3.1. Методические рекомендации по выполнению контрольной работы

Выполняя контрольную работу, необходимо руководствоваться следующими общими указаниями. При изложении ответов на вопросы программы дисциплины целесообразно ответы сопровождать примерами как для Республики Беларусь, так и других стран, в частности России, Украины, Польши. При рассмотрении таких прикладных моментов системного анализа, как целевая функция, распознавание образов, экспертные оценки, следует комментировать ответы, опираясь на применение данных методов применительно к вопросам, касающимся природоохранной тематики, экологической экспертизы, оценки воздействия и т. д. Ответы должны быть полными, но не перегруженными избыточной, не относящейся к рассматриваемому вопросу информацией. В конце контрольной работы приводится список использованных источников, в том числе и Интернет-сайтов. Помимо рекомендуемой литературы приветствуется использование других как отечественных, так и зарубежных источников.

При решении задач (подраздел 3.3) вначале приводится условие задачи с исходными данными по соответствующему варианту. Само решение излагается таким образом, чтобы четко прослеживался его алгоритм. Все расчетные формулы записываются вначале в общем виде, а затем с численными значениями величин и ответом с указанием единиц измерения. Задачи контрольной работы базируются на методиках расчета, которые используются при применении системного анализа для решения конкретных реальных задач.

Задача 1 касается такого аспекта системного анализа, как моделирование, которое предполагает создание (получение) модели и ее использование для исследования изучаемой системы. В задаче необходимо получить простейшую линейную модель вида

$$Y = B_0 + \sum_{i=1}^n B_i \times X_i , \quad (1)$$

где B_i , B_0 – коэффициенты модели; X_i – переменная (фактор) модели; i – число коэффициентов модели.

В задаче 1а при наличии трех переменных, влияющих на процесс и учитываемых при получении модели, уравнение зависимости будет иметь следующий вид:

$$Y = B_0 + B_1 \times X_1 + B_2 \times X_2 + B_3 \times X_3 . \quad (2)$$

В задаче 1б уравнение модели должно иметь вид

$$Y = B_0 + B_1 \times X_1 + B_2 \times X_2 . \quad (3)$$

Уравнения учитывают все значимые факторы моделируемого процесса, которые являются переменными. Для нахождения коэффициентов модели вначале оформляют таблицу, в которой отражаются все факторы, а при необходимости и их парные взаимодействия. Также вводится псевдофактор (псевдопеременная), который необходим для нахождения коэффициента B_0 и равен единице. Для получения модели могут использоваться известные данные об объекте, полученные в результате наблюдения (контроля), анализа имеющейся информации, или данные, полученные при проведении специального эксперимента. Пример построения такого плана эксперимента приведен в условии задачи, а часть его для лучшего наглядного восприятия моделирования приведена в табл. 1. Суть построения планов эксперимента достаточно полно описана в источнике [16] и не является целью задачи.

Таблица 1

Построение плана эксперимента для нахождения коэффициентов модели

№(i)	x_0	x_1	x_2	x_3	Y
1	1	10	5	3	40
2	1	20	5	6	70
3	1	30	5	9	80
...
N	1	x_{1n}	x_{2n}	x_{3n}	Y_n

В данной таблице, построенной на основе плана эксперимента, специальным образом чередуются значения факторов x_1 , x_2 и x_3 ,

которые влияют на моделируемый процесс и описываются в модели. Y – это значения выходного параметра, измеренные в результате проведения эксперимента.

Следующим этапом является определение коэффициентов модели с использованием метода наименьших квадратов, согласно которому сумма квадратов отклонений, рассчитанных по уравнению модели и определенных экспериментально значений выходного параметра системы, будет стремиться к минимуму. В нашем случае в задаче 1а при исключении парных взаимодействий и наличии только трех факторов система уравнений для нахождения коэффициентов линейной модели примет вид

$$\left. \begin{aligned}
 B_0 + B_1 \times \sum_{i=1}^n x_{i1} + B_2 \times \sum_{i=1}^n x_{i2} + B_3 \times \sum_{i=1}^n x_{i3} &= \sum_{i=1}^n Y_i \\
 B_0 \times \sum_{i=1}^n x_{i1} + B_1 \times \sum_{i=1}^n (x_{i1})^2 + B_2 \times \sum_{i=1}^n (x_{i2} \times x_{i1}) + B_3 \times \sum_{i=1}^n (x_{i3} \times x_{i1}) &= \sum_{i=1}^n Y_i \times x_{i1} \\
 B_0 \times \sum_{i=1}^n x_{i2} + B_1 \times \sum_{i=1}^n (x_{i1} \times x_{i2}) + B_2 \times \sum_{i=1}^n (x_{i2})^2 + B_3 \times \sum_{i=1}^n (x_{i3} \times x_{i2}) &= \sum_{i=1}^n Y_i \times x_{i2} \\
 B_0 \times \sum_{i=1}^n x_{i3} + B_1 \times \sum_{i=1}^n (x_{i1} \times x_{i3}) + B_2 \times \sum_{i=1}^n (x_{i2} \times x_{i3}) + B_3 \times \sum_{i=1}^n (x_{i3})^2 &= \sum_{i=1}^n Y_i \times x_{i3}
 \end{aligned} \right\} (4)$$

В случае задачи 1б получится система из трех уравнений:

$$\left. \begin{aligned}
 B_0 + B_1 \times \sum_{i=1}^n x_{i1} + B_2 \times \sum_{i=1}^n x_{i2} &= \sum_{i=1}^n Y_i \\
 B_0 \times \sum_{i=1}^n x_{i1} + B_1 \times \sum_{i=1}^n (x_{i1})^2 + B_2 \times \sum_{i=1}^n (x_{i1} \times x_{i2}) &= \sum_{i=1}^n Y_i \times x_{i1} \\
 B_0 \times \sum_{i=1}^n x_{i2} + B_1 \times \sum_{i=1}^n (x_{i1} \times x_{i2}) + B_2 \times \sum_{i=1}^n (x_{i2})^2 &= \sum_{i=1}^n Y_i \times x_{i2}
 \end{aligned} \right\} (5)$$

Все численные значения x и Y в составленной системе уравнений являются известными величинами и берутся из таблицы плана эксперимента в условии задач. После подсчета их сумм и формирования системы уравнений получаем четыре (в задаче 1а) и три (в задаче 1б) линейных уравнения с соответственно четырьмя и тремя неизвестными: B_0, B_1, B_2, B_3 (B_0, B_1, B_2). Допускается решение системы разными способами, но наиболее простой – метод выражения одной неизвестной из первого уравнения и подстановки полученной зависимости во второе. Из модифицированного таким образом второго уравнения уже с двумя неизвестными выражаем одну

неизвестную через другую и подставляем в третье уравнение, и т. д. до последнего, которое сводится до зависимости с одной переменной. Таким образом находят все коэффициенты модели. С целью уменьшения объема вычислений проверка моделей на адекватность не проводится. При решении вопросов, поставленных в задаче 1, необходимо руководствоваться известными из курсов физики и химии уравнениями и соотношениями.

При ответе на вопросы, связанные с изменением одного из параметров и необходимостью подбора условий для поиска другого, необходимо пользоваться полученной моделью, в которую необходимо подставить известные параметры и получить искомую величину. Вопросы, связанные с поиском оптимального решения, необходимо решать с применением производной. Приравнивание производной функции к нулю позволяет найти экстремумы функции (максимумы и минимумы). При этом в качестве переменной рассматривается интересующая нас величина, а все остальные факторы рассматриваются как постоянные. При решении вопроса, связанного с затратами на увеличение степени очистки при изменении одного или другого параметра модели, необходимо определить затраты, связанные с изменением одного и второго параметра и, сравнивая их, выбрать наиболее подходящий вариант.

Задача 2 касается такого важного свойства систем, которое учитывается в системном анализе как положительные и отрицательные обратные связи.

Петля обратной связи – это замкнутая цепочка взаимодействий, которая связывает исходное действие с его результатом, изменяющим характеристики окружающих условий, которые, в свою очередь, являются «информацией», вызывающей дальнейшие изменения. Отрицательная обратная связь уменьшает входящий сигнал, а положительная обратная связь увеличивает его.

В системах с обратными связями имеются два типа переменных: уровни и темпы. Уровни – это накопители системы. Темпы – потоки, вызывающие изменение уровней. Изменение уровней вызывается соответствующими темпами потоков.

Так, например, уровень «численность населения» зависит от двух темпов – темпа «рождаемость» и темпа «смертность». Эти темпы называют нормальными, т. к. они соответствуют нормальной системе мировых условий, когда величины уровня питания, материального уровня жизни, плотности населения и

загрязнения окружающей среды соответствуют стандартным значениям. В данном примере рождаемость будет характеризоваться положительной обратной связью, поскольку она приводит к увеличению уровня численности населения, смертность – отрицательной обратной связью, поскольку снижает уровень численности населения. Когда вся система находится в равновесии, то численность населения не изменяется. Это равновесие должно поддерживаться за счет противоположно действующих системно-индивидуальных механизмов регуляции темпов рождаемости и смертности.

С увеличением плотности населения уровень рождаемости падает, поскольку происходит снижение количества ресурсов на душу населения. К тому же при увеличении плотности населения происходит увеличение темпа смертности по причине социальных конфликтов, неурядиц, миграций, вспышек эпидемий. Таким образом, плотность населения и темпы рождаемости и смертности связаны соответственно отрицательной и положительной обратными связями, которые и являются регулятором сохранения оптимального уровня численности населения на уровне максимально допустимой плотности. Данные вышеизложенной зависимости отражены на рис. 1.



Рис. 1. Численность населения и его темпы

В задаче 2 необходимо построить схему из всех уровней и темпов, касающихся изменения климата, представленных в условии задачи, руководствуясь примером изображения связей, приведенных на рис. 1.

При ответе на вопросы, составлении схемы, рассмотрении темпов и уровней климатической схемы необходимо руководствоваться сведениями, опубликованными в научной

литературе, касающимися парникового эффекта и проблемы глобального потепления климата.

Задача 3 касается такого сложного вопроса, который имеет место в самых разных областях науки и производства, как распознавание образов. Под термином «распознавание образов» подразумевается целый класс разнообразных алгоритмов, позволяющих производить классификацию и идентификацию изучаемых объектов. В настоящее время выделяют три класса алгоритмов распознавания образов: корреляционное сравнение, сравнение по особым точкам, сравнение по узору. Применяется распознавание образов при сопоставлении неизвестного образца с известными эталонами. При этом, используя соответствующие характеристики сравниваемых и сопоставляемых предметов по определенным признакам, делают вывод о принадлежности неизвестного объекта к одному из стандартных эталонов-образцов. Данная задача возникает при выявлении виновника превышения сбросов при большом спектре загрязняющих веществ в воде, нахождении источника выбросов при большом количестве предприятий и разнообразном составе загрязняющих веществ. Часто данный метод используется в криминалистике для сопоставления улик, обнаруженных на месте преступления с теми или иными подозреваемыми.

В задаче 3 необходимо определить вид полимерного изделия, которое является основным источником выделения загрязняющих веществ, определяющих уровень загрязнения воздуха помещения, в котором имеются в наличии изделия из трех видов полимеров.

При решении задачи 3 необходимо руководствоваться алгоритмом, который можно отнести к группе алгоритмов распознавания образов по узору. Образец алгоритма приведен в табл. 2. Изначально необходимо составить столбец данных, включающий последовательно времена выходов пиков на обоих сравниваемых хроматограммах: эталона (образца, с которым сравнивают) и самого сравниваемого образца, выписывая их в порядке очереди времен выхода. При этом в данный столбец для удобства вместе с номером можно записывать времена выходов пиков. Затем необходимо, ориентируясь на созданный столбец данных, в один соседний столбец занести площади пиков эталона, а в другой – сравниваемого образца, соответственно по временам выхода. В случае если на хроматограмме сравниваемого образца или эталона нет пика, соответствующего времени выхода пика в созданном

столбце данных, то на это место в строке заносят ноль или прочерк. При этом площади пиков заносятся в столбцы не в абсолютном значении единиц сигнала детектора, а нормализованном значении, т. е. записывается относительное содержание площади пика по отношению к суммарной площади пиков. При отсутствии сведений об общей площади пиков, выполняя математическую обработку, необходимо просто сложить площади всех пиков и определить относительную площадь каждого пика по отношению к сумме. Данный способ нормализации позволяет избежать неточностей, связанных с различной концентрацией веществ, например, в сточной воде и в загрязнении в реке ниже по течению.

На следующем этапе производят суммирование совпавших площадей пиков в двух сравниваемых хроматограммах, сопоставляя пики эталона и сравниваемого образца для каждого времени выхода. Цель – определить долю от суммарной площади пиков хроматограммы эталона, заполненной площадями пиков сравниваемого образца. Если для конкретного пика сравниваемого образца его площадь меньше, чем у эталона, то к сумме (Δ) добавляют площадь сравниваемого образца, т. е. площади перекрываются частично на величину площади сравниваемого образца. Если площадь пика сравниваемого образца больше площади эталона, то к сумме (Δ) добавляют площадь эталона, т. е. в этом случае площадь пика эталона полностью закрывается пиком сравниваемого образца. Если же на хроматограмме сравниваемого образца присутствует пик, а на хроматограмме эталона его нет, то к сумме (Δ) не добавляют ничего. Значения совпавших площадей записывают в отдельный столбец для соответствующей строки времени выхода пиков. Таким образом, последовательно проводят сопоставление и обсчет для всех образцов, которые необходимо сравнить с эталоном. Например, сравнивают хроматограммы сточных вод ряда предприятий, подозреваемых в превышении нормативов допустимых сбросов, с эталоном загрязнения – хроматограммой анализа речной воды ниже по течению. На конечном этапе распознавания образов суммируют площади совпавших пиков у всех сравниваемых образцов. Виновником сброса будет то предприятие, у которого суммарная сходимость пиков наибольшая. Для упрощения расчетов проводить сопоставление лучше всего, сравнивая попарно каждый образец сравнения с эталоном и формируя столбец данных из времен выхода пиков для каждой пары. Упрощенный пример такого расчета

приведен в табл. 2, где определяется принадлежность загрязнения в реке к сбросу одного из трех предприятий.

Таблица 2

Расчет распознавания образов на примере речного загрязнения и сбросов сточных вод нескольких предприятий

№ пика/ время выхода	Площади пиков эталона	Нормализованные площади сравниваемых образцов			Сходимость пиков		
	Вода в реке	Молокоза- вод № 1	Хлебоза- вод № 2	Консерв- ный комбинат № 3	Δ по № 1	Δ по № 2	Δ по № 3
1 /T1	12	0	4	5	0	4	5
2 /T2	3	4	15	0	3	3	0
3 /T3	7	12	32	11	7	7	7
4 /T4	0	2	0	1	0	0	0
5 /T5	15	1	4	6	1	4	6
6 /T6	32	0	3	0	0	3	0
7 /T7	0	4	0	4	0	0	0
8 /T8	54	43	17	3	43	17	3
9 /T9	4	2	3	21	2	3	4
10 /T10	11	12	0	25	11	0	11
11 /T11	3	2	4	7	2	3	3
12 /T12	0,5	0	0	0	0	0	0
13 /T13	6	3	5	6	3	5	6
Сумма					72	49	45

В столбцах табл. 2 отражены времена выходов пиков, соответствующие пикам на всех сравниваемых хроматограммах, площади пиков эталона (речного загрязнения) и площади хроматографических пиков для сравниваемых образцов. В правой части таблицы определена сходимость пиков и подсчитана сумма совпавших площадей. Расчет производился следующим образом. Например, для сравниваемого образца молокозавод № 1 и эталона – вода в реке пик по времени выхода T1 у образца сравнения не существует. Значит, в (Δ) по № 1 записываем 0. Пик по времени выхода T2 у образца сравнения равен 4, у эталона – 3. Значит, в (Δ) записываем площадь эталона – 3. Для пика по времени выхода T5 площадь эталона равна 15, площадь образца сравнения – 1. Пики перекрылись только на 1. Значит, в (Δ) запишем 1 и т. д. Из результатов расчета таблицы, просуммировав значения всех

перекрывшихся пиков в столбцах (Δ), видно, что, вероятнее всего, загрязнителем является молокозавод, поскольку при всем разнообразии пиков у него хроматограмма в наибольшей степени повторяет рисунок образа речного загрязнения.

Задача 4 касается вопроса экспертных оценок и определения согласованности мнений экспертов. Модели поведения экспертов, по которым проводят оценку результатов, основаны на предположении, что эксперты оценивают измеряемый параметр с некоторыми ошибками. Таким образом, эксперта рассматривают как прибор с некоторыми метрологическими характеристиками. При ранжировании эксперты обычно расходятся в «измерении» объектов оценивания, и поэтому возникает необходимость количественной оценки степени согласия мнений экспертов. Получение количественной меры согласованности мнений экспертов позволяет более обоснованно интерпретировать причины расхождения во мнении. Согласованность мнений группы экспертов можно оценить с помощью коэффициента конкордации. Коэффициент конкордации равен 1, если все оценки (мнения) экспертов одинаковы. Коэффициент конкордации равен нулю, если все оценки различны, т. е. совершенно нет совпадения. Для определения значимости оценки коэффициента конкордации необходимо знать распределение частот для различных значений числа экспертов m и количества объектов n .

Величина коэффициента конкордации, определяя который можно оценивать согласованность мнений экспертов, определяется по формуле 6:

$$W = \frac{12 \times S}{n^2 \times (m^3 - m)}, \quad (6)$$

где S – сумма квадратов отклонений всех оценок каждого объекта экспертизы от среднего значения; n – число экспертов; m – число объектов экспертизы.

Например, три эксперта ранжировали три объекта экспертизы следующим образом: для первого объекта ранги были равны 1, 2, 1; для второго объекта – 2, 3, 2; для третьего объекта – 3, 1, 3.

Сумма рангов для первого объекта будет равна $1 + 2 + 1 = 4$, для второго – 7, для третьего – 7.

Среднее значение равно $(4 + 7 + 7)/3 = 6$.

Отклонения суммы рангов для первого, второго, третьего объектов экспертизы от среднего значения равны соответственно:

$$4 - 6 = -2; 7 - 6 = 1; 7 - 6 = 1.$$

Сумма квадратов отклонений от среднего равна $(-2)^2 + 1^2 + 1^2 = 6$.

Тогда коэффициент конкордации для данных экспертов данных объектов будет равен

$$W = \frac{12 \times 6}{3^2 \times (3^3 - 3)} = 0,33.$$

Для определения эксперта, мнение которого в наибольшей степени расходится с мнением группы, необходимо рассчитать коэффициент конкордации для всей группы из четырех экспертов и для групп экспертов по три. По результатам расчета коэффициента конкордации для групп экспертов, включающих по три эксперта, можно определить, отсутствие какого эксперта в группе из четырех экспертов в наибольшей степени увеличивает коэффициент конкордации.

Например, дана группа экспертов: 1, 2, 3, 4. Необходимо определить коэффициент конкордации для всей группы, а затем для групп: 1, 2, 3; 2, 3, 4; 3, 4, 1; 1, 2, 4. В каждой из групп по три эксперта не хватает какого-то эксперта. Отсутствие эксперта для группы, в которой конкордация будет наибольшей, и укажет на наибольшее расхождение его ответов с мнением группы.

Коэффициент ранговой корреляции Спирмена (r_s) определяет связь между рангами величин в двух рядах измерений и рассчитывается по формуле 7:

$$r_s = 1 - \frac{6 \times \sum_{i=1}^n d_i^2}{n^3 - n}, \quad (7)$$

где i – номер пары; d – разность между рангами сопряженных значений признаков; n – число пар.

3.2. Вопросы контрольной работы

1. Определение понятий «система», «подсистема», «надсистема», «элемент системы», общая характеристика систем. Примеры систем.

2. Определение понятий «системный анализ», «системный подход».

3. Круг задач, решаемых в охране окружающей среды с помощью системного анализа на микро-, мезо-, макро-, мегауровнях.

4. Основные этапы системного анализа.

5. Постановка задачи. Операции, выполняемые на этапе «постановка задачи».

6. Моделирование и анализ. Операции, выполняемые на этапе «моделирование и анализ».

7. Классификация моделей, требования, предъявляемые к моделям.

8. Математические модели.

9. Основные этапы получения математических моделей.

10. Оптимизационные и имитационные модели. Стратегия оптимизационного моделирования. Виды переменных в оптимизационном моделировании.

11. Имитационное моделирование, его формы и области применения.

12. Модель черного ящика. Черные ящики «функция» и «автомат».

13. Кибернетические модели с обратной связью. Область их применения.

14. Положительная и отрицательная обратные связи в моделировании. Управляющий элемент и управляемая система.

15. Построение математической модели с использованием факторного планирования. Определение коэффициентов модели с использованием полного плана.

16. Основы метода наименьших квадратов при построении модели.

17. Градиентные методы поиска оптимального решения: метод релаксации, метод градиента, метод наискорейшего спуска.

18. Безградиентные методы поиска оптимального решения: метод золотого сечения, метод сканирования, симплексный метод.

19. Методы случайного поиска: слепой поиск, метод случайных направлений, метод обратного шага с линейным пересчетом.

20. Метод Монте-Карло и его использование в целях системного анализа.

21. Метод экспертных оценок. Общая характеристика.

22. Методы измерений, используемые при экспертном оценивании.

23. Экспертные оценки. Ранжирование.

24. Экспертные оценки. Парное сравнение.

25. Экспертные оценки. Непосредственная оценка, последовательное сравнение.

26. Организация опроса экспертов. Анкетирование, мозговой штурм, интервьюирование.

27. Выбор экспертов. Оценка согласованности мнений экспертов.
28. Обработка результатов экспертного оценивания. Коэффициент ранговой корреляции Спирмена. Коэффициент несовпадения Тейла.
29. Системно-динамическое моделирование. Системная диаграмма. Уровень. Темп. Использование диаграммы при описании загрязнения. Естественные запаздывания в экологических процессах.
30. Системный анализ мировой эколого-экономической системы.
31. Римский клуб, его история, проекты и основные труды.
32. Стандартная модель мировой системы. Основные показатели модели.
33. Модель мировой системы с неограниченными ресурсами. Основные показатели модели.
34. Модели, используемые при исследовании процессов, протекающих в атмосфере.
35. Моделирование фотохимических процессов в стратосфере.
36. Моделирование фотохимических процессов в тропосфере.
37. Моделирование процессов переноса и рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.
38. Определение времени пребывания загрязняющих веществ в атмосфере. Источники и стоки загрязняющих веществ.
39. Системный анализ региональных эколого-экономических систем. Функции системы регионального моделирования.
40. Экономические, экологические и социальные индексы в моделировании региона.
41. Решение задач системного анализа при прогнозировании климата. Региональные климатические модели.
42. Положительные и отрицательные обратные связи в моделировании климата.
43. Климатические прогнозы и их влияние на сельское хозяйство.
44. Тенденции в изменении климата и факторы, вызывающие парниковый эффект.
45. Моделирование процессов распространения загрязняющих веществ в водных объектах.
46. Модель поведения загрязняющих веществ в воде водоема. Время удерживания загрязняющего вещества.
47. Моделирование процесса распространения загрязняющих веществ в почве. Геохимические барьеры.

48. Использование системного анализа в ОВОС. Выявление воздействий.

49. Оценка воздействий. Матричные методы, контрольные списки, сетевые диаграммы.

50. Информационные системы прогнозирования и контроля качества атмосферного воздуха. Классификация прогнозов загрязнения воздуха.

51. Модели процесса переноса загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Гауссова модель распространения загрязняющих веществ в факеле.

52. Методы распознавания образов. Метод отпечатков пальцев, сравнение по точкам, сравнение по узору.

53. Корреляционные сравнения, коэффициенты корреляции. Выявление виновника несанкционированного загрязнения с помощью методов распознавания образов.

54. Анализ производственных систем с использованием метода материальных балансов.

55. Оптимизация технологических процессов, транспортных потоков, обращения с отходами в территориально-промышленных комплексах.

56. Моделирование процессов очистки и обезвреживания выбросов и сбросов. Стохастические и детерминированные модели.

57. Критерии оптимизации при моделировании очистных сооружений.

58. Понятие о целевой функции.

59. Выбор очистного оборудования на основе сравнения возможных вариантов с помощью функции цели, критериев оптимальности и других методов оптимизации.

60. Сравнение и оценка возможных вариантов решения. Метод линий одинаковой полезности, метод фиксирования одной из переменных, метод максимизации отношения E/C (эффективности к стоимости), метод кривых одинаковой полезности.

Вопросы выбирать по последнему числу в номере зачетной книжки.

Например, для цифры 0 будут вопросы 10, 20, 30, 40, 50, 60;

– для 1 – 1, 11, 21, 31, 41, 51;

– для 2 – 2, 12, 22, 32, 42, 52;

– для 3 – 3, 13, 23, 33, 43, 53;

– для 4 – 4, 14, 24, 34, 44, 54;

- для 5 – 5, 15, 25, 35, 45, 55;
- для 6 – 6, 16, 26, 36, 46, 56;
- для 7 – 7, 17, 27, 37, 47, 57;
- для 8 – 8, 18, 28, 38, 48, 58;
- для 9 – 9, 19, 29, 39, 49, 59.

3.3. Задачи контрольной работы

Контрольная работа включает решение 4-х задач. Все студенты решают задачи 2–4 по соответствующему варианту. Задачу 1а решают студенты, которые записаны в списке группы под четным номером, задачу 1б – под нечетным номером.

Задача 1а. Построение модели.

Получить модель, описывающую влияние условий проведения процесса (технических параметров) на степень очистки степени очистки воды электрохимическим методом в зависимости от силы тока, температуры раствора, показателя рН. Модель должна описывать влияние на степень очистки трех факторов. Для расчета коэффициентов математической зависимости и получения модели использовать данные, полученные при проведении эксперимента на промышленной установке, которые приведены в табл. 3.

Таблица 3

Исходные данные для построения модели

№ опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	Y
1	1	10	5	3	40
2	1	20	5	6	70
3	1	30	5	9	80
4	1	10	15	6	65
5	1	20	15	9	80
6	1	30	15	3	75
7	1	10	25	9	65
8	1	20	25	3	50
9	1	30	25	6	85

Примечание. x_0 – псевдофактор; x_1 – сила тока, А; x_2 – температура, С°; x_3 – рН среды; Y – средний результат измеренной степени очистки.

Полученную модель использовать для определения (выбора) условий проведения процесса очистки при заданных параметрах. Для этого необходимо ответить на вопрос, который сформулирован ниже под номером, соответствующим последнему числу номера зачетной книжки.

0 – Средняя температура обрабатываемой воды летом +22°C, зимой – +12°C. Определить, насколько надо изменить силу тока в зимнем варианте, чтобы поддерживать степень очистки воды на уровне летней степени очистки. Сила тока при обработке воды летом равна 5 А, рН воды в обоих случаях принять равным 5.

1 – Сколько соляной кислоты или гидроксида калия надо добавить к однократно обрабатываемому объему воды (1 м³) для компенсации снижения силы тока с 5 до 3 А?

2 – Определить значение рН обрабатываемой воды при силе тока 5 А и температуре 20°C, при которой достигается максимальная степень очистки.

3 – Повысится ли степень очистки, если к очищаемым сточным водам добавить промывные воды, в результате чего рН понижается с 8 до 5, а температура возрастает с 19 до 23°C? Сила тока при обработке составляет 5 А.

4 – Сточная вода объемом 1 м³ обрабатывается в течение 30 мин при силе тока 5 А, напряжении 220 В, при рН = 7 и температуре 20°C. Определить, что экономически выгоднее для повышения степени очистки на 5%: изменять силу тока или изменять рН среды с помощью соляной кислоты или гидроксида калия. Стоимость 1 кВт·ч электроэнергии принять 150 руб, килограмма соляной кислоты – 12 000 руб; щелочи – 22 000 руб. Напряжение остается постоянным.

5 – На сколько повысится степень очистки, если температура воды повысится с 15 до 20°C? Параметры обработки следующие: сила тока 5 А, рН воды – 7.

6 – В очищаемой воде с расходом 200 м³ сутки содержится 80 мг/л никеля. Параметры электрохимической обработки следующие: сила тока 5 А, температура 20°C, рН – 8. Как изменится суточный сброс никеля при изменении рН до 5,5?

7 – В сточную воду стала попадать соль, в результате чего увеличилась проводимость раствора и сила тока увеличилась с 5 до 6 А. Насколько изменилась степень очистки при температуре обрабатываемой воды 15°C и рН = 7?

8 – Повышение температуры воды с 16 до 20°C привело к увеличению сопротивления обрабатываемого раствора с 20 до 30 Ом. Напряжение на электродах составляет 220 В, рН обрабатываемой воды равна 7. Насколько изменилась степень очистки?

9 – Что приведет к наибольшему изменению степени очистки с начальными параметрами: температура – 20°C, рН = 7, сила тока 5 А

при изменении каждого из параметров на 5% в большую и меньшую сторону?

Задача 16. Построение модели.

Используя данные исследования, получить модель, описывающую зависимость содержания кадмия в донных отложениях от pH среды и его концентрации в воде. Модель разрабатывается для двух факторов. Необходимые данные для расчета представлены в табл. 4.

Таблица 4

Исходные данные для построения модели

№ опыта	x_1	x_2	Y
1	5	5	25
2	7	5	60
3	9	5	120
4	5	10	30
5	7	10	90
6	9	10	190
7	5	15	40
8	7	15	120
9	9	15	220

Примечание. x_1 – pH среды; x_2 – концентрация металла в воде, мг/л; Y – средний результат измеренного содержания металла в донных отложениях, мкг/кг.

Полученную модель использовать для ответа на вопрос, который сформулирован ниже под номером, соответствующим последнему числу номера зачетной книжки.

0 – Значение pH речной воды весной понижается с 6,5 до 5,1. Определить, насколько изменяется содержание кадмия в донных отложениях, если его концентрация в воде снижается в весенний период с 12 до 7 мг/л.

1 – Насколько нужно изменить pH речной воды, чтобы уменьшить содержание кадмия в донных отложениях с 190 до 100 мкг/кг при неизменной концентрации в воде?

2 – Содержание кадмия в донных отложениях уменьшилось с 210 до 130 мкг/кг. Насколько изменилось pH воды при неизменной концентрации кадмия в воде, равной 13 мг/л?

3 – В дождливый год pH речной воды снижается с 6,5 до 6,1. Насколько изменяется содержание кадмия в донных отложениях, если его концентрация в воде остается неизменной и равной 13 мг/л?

4 – Сколько кадмия перейдет обратно в воду из 1 кг донных отложений при снижении рН с 6 до 4?

5 – Сколько кадмия перейдет обратно в воду из 1 кг донных отложений при снижении концентрации кадмия в воде с 12 до 7 мг/л?

6 – Повышение рН с 7 до 9 привело к выпадению кадмия в донные отложения. При этом содержание кадмия в воде снизилось с 12 до 4 мг/л. Как изменилось при этом равновесное содержание кадмия в осадке?

7 – Повышение температуры с 4°C зимой до 16°C летом приводит к изменению рН с 6,9 до 5,1. Причем зависимость линейная. Как повлияет на содержание кадмия в донных отложениях сброс в реку вод охлаждения электростанции, приводящий к повышению температуры речной воды зимой до 6°C? Причем содержание кадмия в воде не изменяется и составляет 11 мг/л.

8 – Что приведет к наибольшему изменению содержания кадмия в донных отложениях с начальными параметрами: концентрация кадмия в воде – 10 мг/л, рН = 7, при изменении каждого из параметров на 5% в большую и меньшую сторону?

9 – Сброс сточных вод в реку привел к увеличению содержания ионов водорода в воде с 15 до 30 моль/л. Насколько при этом изменится содержание кадмия в донных отложениях при неизменном его содержании в воде, равном 10 мг/л?

Задача 2. Системно-динамическое моделирование. Положительные и отрицательные обратные связи.

Составить схему, иллюстрирующую влияние различных факторов на изменение климата Земли с учетом обратных связей. На схеме необходимо учесть следующие факторы и зависимости. Повышение температуры вызывает увеличение облачности, которая ограничивает поступление солнечных лучей на землю и способствует охлаждению (отрицательная обратная связь) и нагреву по причине задержки облаками теплового излучения Земли (положительная обратная связь). Повышение температуры приводит к таянию ледников и полярных шапок, что влечет за собой сокращение альбедо (положительная обратная связь), увеличение водной поверхности Земли, увеличение испарения, увеличение облачности (отрицательная обратная связь), увеличение доли поглощенных лучей и удерживание тепла (положительная обратная связь). Отступление вечной мерзлоты в результате потепления способствует увеличению площади болот и выделению большего количества метана, являющегося парниковым

газом, приводящим к повышению температуры (положительная обратная связь). Увеличение содержания углекислого газа в атмосфере приводит к росту температуры, что вызывает увеличение прироста растительной биомассы и более интенсивному поглощению углекислого газа (отрицательная обратная связь). В то же время увеличение прироста биомассы приведет к увеличению количества метана и углекислого газа, выделяющихся при разложении органического вещества (положительная обратная связь). Рост содержания углекислого газа и вызванное им потепление приведет к более интенсивному вымыванию его из атмосферы с осадками и поглощению водной поверхностью (отрицательная обратная связь). Увеличение температуры приведет к сокращению расхода топлива, сжигаемого с целью отопления, и соответственно к сокращению выбросов углекислого газа, обладающего парниковым эффектом.

Названные факторы изобразить на схеме (см. рис.1) в виде темпов, а в качестве уровней изобразить температуру, площадь океана, количество парниковых газов, количество древесной массы. Все уровни и темпы связать положительными и отрицательными обратными связями.

После составления схемы подробно описать темп или уровень под номером, соответствующим последней цифре номера зачетной книжки, его влияние на температуру Земли и влияние температуры на него.

- 0 – поверхность океана;
- 1 – площадь ледников и полярных шапок полюсов;
- 2 – количество растительности (древесной массы) на Земле;
- 3 – количество сжигаемого человеком топлива;
- 4 – площадь болот;
- 5 – облачность Земли;
- 6 – испарение влаги;
- 7 – количество фитопланктона в океане;
- 8 – количество углекислого газа;
- 9 – количество метана.

Задача 3. Определение источника загрязнения методом распознавания образов. В воздухе помещения присутствуют загрязняющие вещества. Стены помещения оклеены моющимися обоями (поливинилхлоридная пленка), подвесной потолок изготовлен из полистирола, на полу находится изопреновое покрытие. На рис. 2 представлена хроматограмма пробы воздуха, отобранного в

помещении. На рис. 3–5 представлены хроматограммы продуктов эмиссии отдельно из полистирола, поливинилхлорида, изопрена при комнатной температуре.

Установить, какой полимерный материал из находящихся в помещении вносит наибольший вклад в загрязнение воздуха. Вывод о доминирующем источнике загрязнения, сделав подсчет площадей совпадающих пиков, согласно алгоритму, приведенному в разделе 3.1. Распознавание образов проводить попарно, сравнивая образец и каждый предлагаемый вариант по отдельности.

На рисунках над каждым пиком даны его относительная (нормализованная) концентрация и время выхода (T). При разнице времен выхода пиков в 2 с принимать их как идентичные пики.

Распознавание образов применить, сравнивая хроматограммы для указанных в вариантах образцах, используя табл. 5. Номер варианта равен последней цифре в номере зачетки.

Таблица 5

Задание для задачи 3

Номер варианта	Сравниваемые образцы
0	Хроматограммы рис. 4 и рис. 5; хроматограммы рис. 4 и рис. 6
1	Хроматограммы рис. 4 и рис. 6; хроматограммы рис. 4 и рис. 7
2	Хроматограммы рис. 4 и рис. 5; хроматограммы рис. 4 и рис. 7
3	Хроматограммы рис. 4 и рис. 5; хроматограммы рис. 4 и рис. 6
4	Хроматограммы рис. 4 и рис. 5; хроматограммы рис. 4 и рис. 7
5	Хроматограммы рис. 4 и рис. 6; хроматограммы рис. 4 и рис. 7
6	Хроматограммы рис. 4 и рис. 5; хроматограммы рис. 4 и рис. 6
7	Хроматограммы рис. 4 и рис. 5; хроматограммы рис. 4 и рис. 7
8	Хроматограммы рис. 4 и рис. 6; хроматограммы рис. 4 и рис. 7
9	Хроматограммы рис. 4 и рис. 5; хроматограммы рис. 4 и рис. 6

Хроматограмма рис. 4 принимается при сравнении образов за эталон.

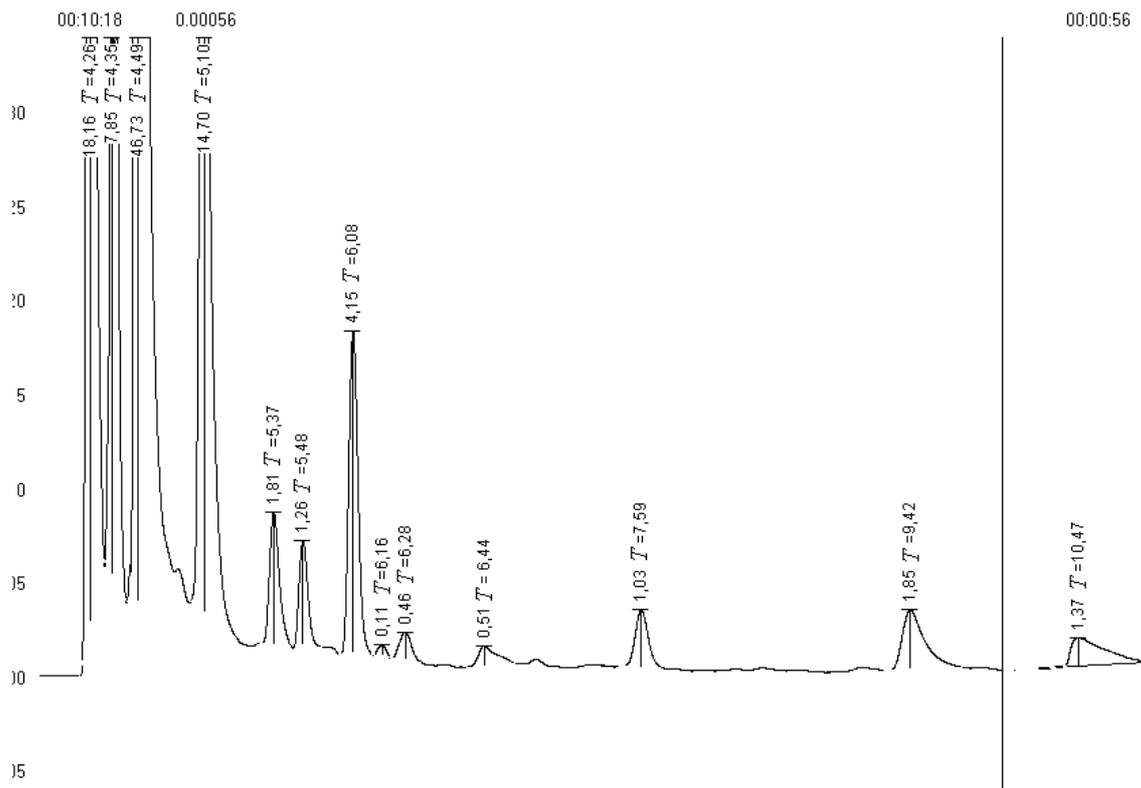


Рис. 2. Хроматограмма пробы воздуха в комнате

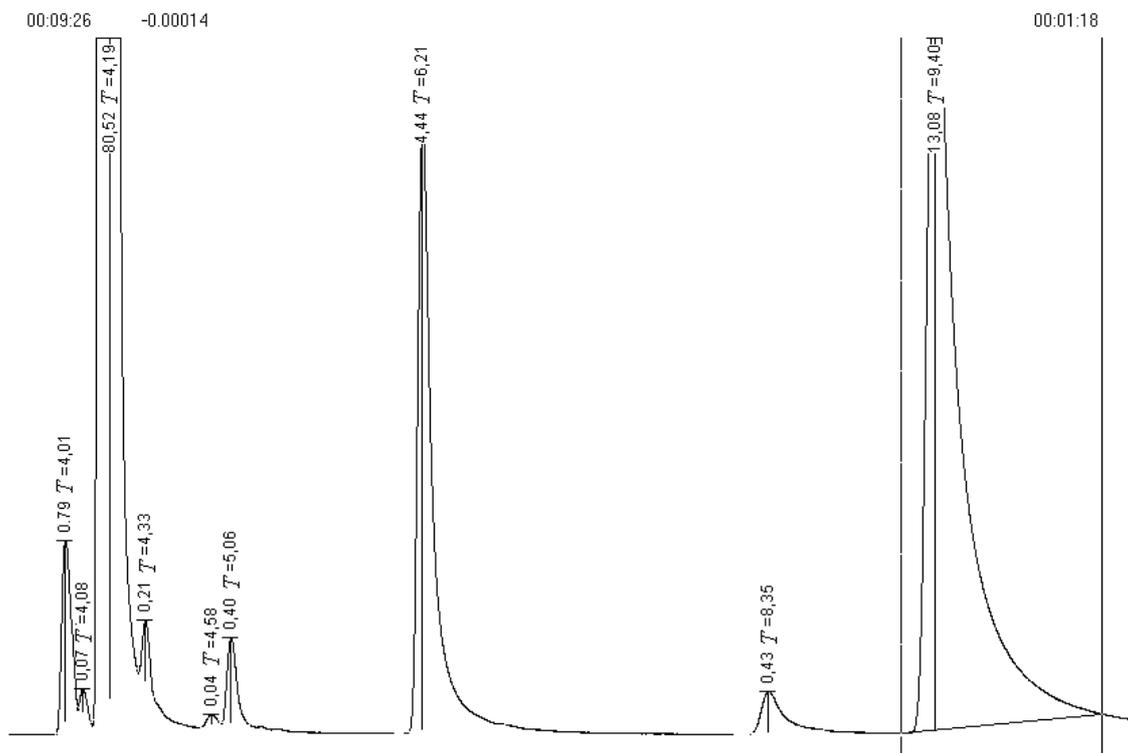


Рис. 3. Хроматограмма продуктов эмиссии из полистирола

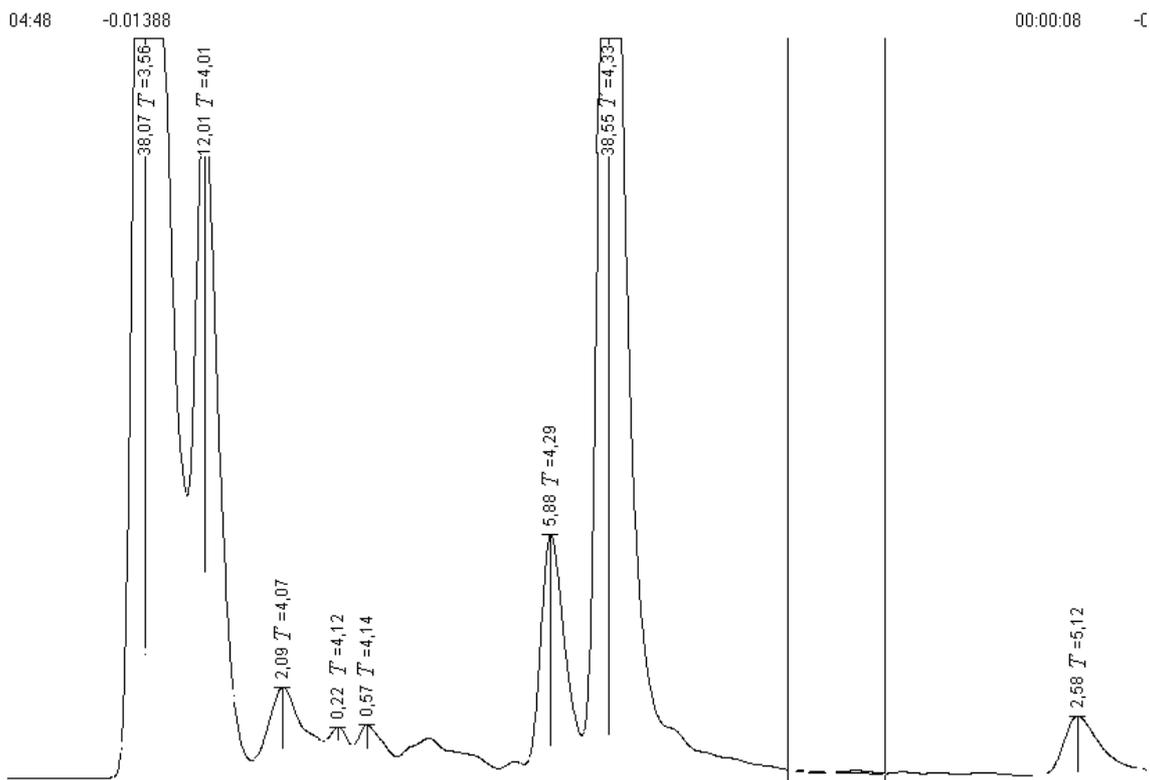


Рис. 4. Хроматограмма продуктов эмиссии из поливинилхлорида

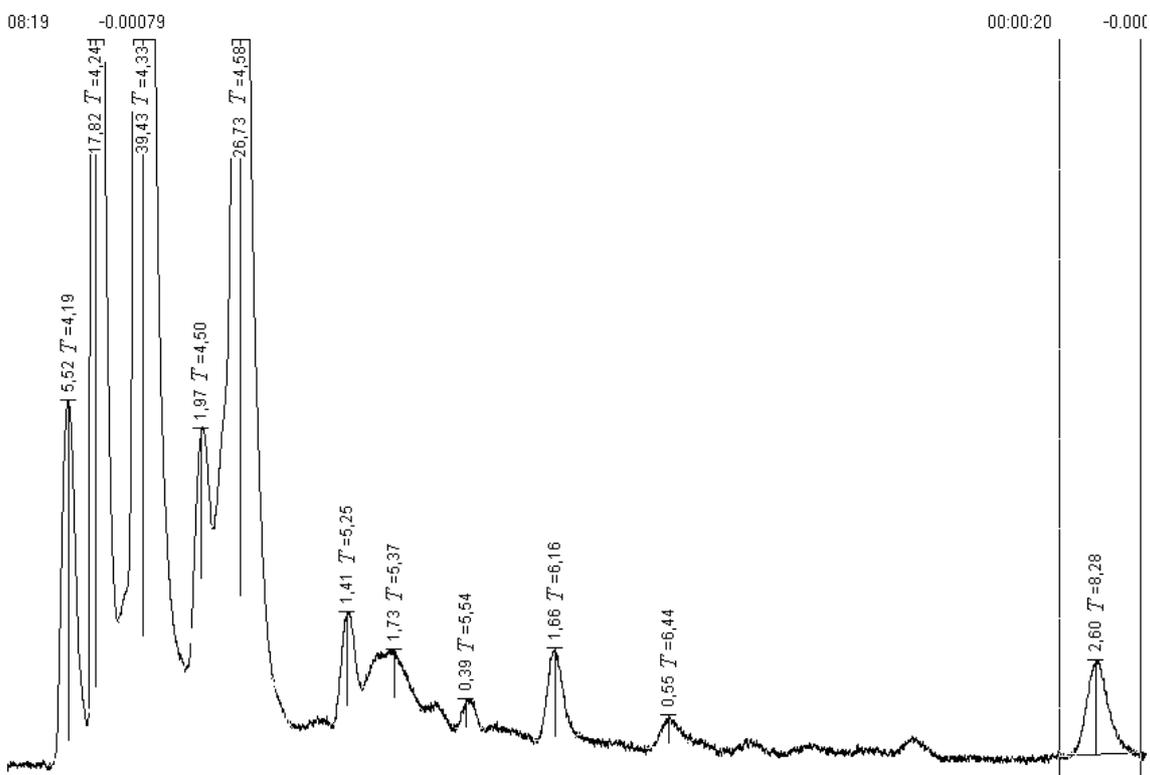


Рис. 5. Хроматограмма продуктов эмиссии из изопрена

Задача 4. Определение согласованности мнений экспертов.

Группа экспертов в составе шести человек оценивала применимость различных систем очистки для определенного производства методом ранжирования. В качестве рассматриваемых способов очистки сточных вод выступали: разбавление, химический метод, электрохимическая очистка, ионный обмен, обратный осмос. Результаты экспертизы в виде баллов, проставленных экспертами каждому из сравниваемых вариантов, представлены в табл. 6.

Таблица 6

Результаты экспертного оценивания в баллах

Объект экспертизы	Номер эксперта					
	1	2	3	4	5	6
Разбавление	2	1	1,5	1	1,5	2
Химический метод	4	2	4	3,5	4	4,5
Электрохимическая очистка	5	3	5	5	5	4,5
Ионный обмен	2	4	1,5	3,5	3	3
Обратный осмос	2	5	3	2	1,5	1

В задаче необходимо определить расхождение мнений экспертов в их оценке, касающейся ранжируемых методов очистки. Состав групп экспертов выбирать по последней цифре номера зачетной книжки из табл. 7.

Таблица 7

Выборка групп экспертов для задания задачи 4

Последняя цифра в номере зачетки	Группа экспертов
0	1, 2, 3, 4
1	2, 3, 4, 5
2	3, 4, 5, 6
3	4, 5, 6, 1
4	5, 6, 1, 2
5	6, 1, 2, 3
6	1, 2, 3, 4
7	2, 3, 4, 5
8	3, 4, 5, 6
9	4, 5, 6, 1

Оценить согласованность мнений экспертов путем расчета коэффициента конкордации. Для упрощения расчетов из всех экспертов для каждого варианта задания сформированы группы по

четыре человека в каждой. Для группы экспертов, соответствующей варианту задания, определить эксперта, мнение которого в наибольшей степени расходится с мнением группы, рассчитывая коэффициент конкордации для всей группы из четырех экспертов и для групп экспертов по три. По результатам расчета коэффициента конкордации для групп экспертов, включающих по три эксперта, определить, отсутствие какого эксперта в группе из четырех экспертов в наибольшей степени увеличивает коэффициент конкордации. Для всех возможных пар в группе экспертов, соответствующей варианту задания, определить коэффициент ранговой корреляции Спирмена. По результатам расчета коэффициента корреляции Спирмена определить, мнения какой пары экспертов согласованы в наибольшей и наименьшей степени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пэнтл, Р. Методы системного анализа окружающей среды / Р. Пэнтл. – М. : Мир, 1979. – 213 с.
2. Джефферс, Дж. Введение в системный анализ: применение в экологии / Дж. Джефферс. – М. : Мир, 1981. – 252 с.
3. Гринин, А. С. Математическое моделирование в экологии / А. С. Гринин. – М. : ЮНИТИ, 2002. – 254 с.
4. Иванченко, Т. Л. Моделирование и познание / Т. Л. Иванченко. – Минск : Наука и техника, 1974. – 211 с.
5. Моисеев, Н. Н. Математические задачи системного анализа / Н. Н. Моисеев. – М. : Наука, 1981. – 488 с.
6. Моделирование лесных биогеоценозов. – Петрозаводск: КФАН СССР, 1986. – 135 с.
7. <http://www.iis.nsk.su/solver/sokolov/steors.htm>
8. <http://www.minpriroda.by>
9. <http://ecoinfoby.net>
10. <http://www.businessvoc.ru>
11. <http://www.vivovoco.ru>
12. <http://elementy.ru/trefil/25>
13. Коршунов, Ю. М. Математические основы кибернетики / Ю. М. Коршунов. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 494 с.
14. http://www.econom.univ.kiev.ua/files/books/MDL/text_part.pdf
15. Асатурян, В. И. Теория планирования эксперимента / В. И. Асатурян. – М. : Радио и связь, 1983. – 248 с.
16. Бродский, В. З. Введение в факторное планирование эксперимента / В. З. Бродский. – М. : Наука, 1976. – 224 с.
17. Ивахненко, А. Г. Моделирование сложных систем по экспериментальным данным / А. Г. Ивахненко, Ю. П. Юрачковский. – М. : Радио и связь, 1986. – 119 с.
18. Бояринов, А. И. Методы оптимизации в химической технологии / А. И. Бояринов, В. В. Кафаров. – М. : Химия, 1975. – 576 с.
19. Ахназарова, С. А. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии / С. А. Ахназарова, В. В. Кафаров. – М. : Высшая школа, 1978. – 319 с.
20. Островский, Г. М. Методы оптимизации сложных химико-технологических схем / Г. М. Островский, Ю. М. Волин. – М. : Химия, 1970. – 328 с.

21. Моделирование и оптимизация химико-технологических процессов и систем / Под ред. И. П. Славченко. – М. : Химия, 1975. – 166 с.
22. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Программирование, введение в планирование эксперимента / Ю. П. Адлер. – М. : Радио и связь, 1971. – 243 с.
23. Соболев, И. М. Метод Монте-Карло / И. М. Соболев. – М. : Наука, 1985. – 80 с.
24. Ермаков, С. М. Метод Монте-Карло и смежные вопросы / С. М. Ермаков. – М. : Наука, 1975. – 471 с.
25. Евланов, Л. Г. Экспертные оценки в управлении / Л. Г. Евланов, В. А. Кутузов. – М. : Экономика, 1978. – 133 с.
26. Математическая статистика / Под ред. И. П. Кульшина. – М. : Высшая школа, 1975. – 388 с.
27. Ферстер, Э. Методы корреляционного и регрессионного анализа / Э. Форестер, Б. Ренц. – М. : Финансы и статистика, 1983. – 302 с.
28. Медоуз, Д. Л. Пределы роста / Д. Л. Медоуз, Н. Рэндерс, В. В. Бернс. – М. : МГУ, 1991. – 410 с.
29. Форрестер, Дж. Мировая динамика / Дж. Форрестер. – М. : Наука, 1978. – 168 с.
30. Стенчиков, Г. Л. Моделирование климатических процессов // Математическое моделирование. Методы описания и исследования сложных систем / Г. Л. Стенчиков, Д. С. Степанов. – М. : Наука, 1989. – С.74–98.
31. Климат вчера, сегодня и завтра / Под ред. И. П. Синченко. – М. : Гидрометеиздат, 1984. – 215 с.
32. http://www.ac.minpriroda.by/50_70.htm
33. Лайгна, К. Ю. Математическая модель прогноза состояния атмосферы в области регионального масштаба / К. Ю. Лайгна, Э. Л. Поташник. – Таллин: Знайтне, 1990. – 244 с.
34. Моделирование уровней загрязнения атмосферы лесной экосистемы с использованием ЭВМ. Методические указания для самостоятельной работы студентов специальности 31.12. – Л. : ЛТА, 1990. – 31 с.
35. Атмосферная турбулентность и моделирование распространения примесей / Под ред. П. Т. Клушева. – Л. : Гидрометеиздат, 1985. – 351 с.

36. Вагнер, Б. Т. Пограничный слой атмосферы в условиях горизонтальной неоднородности / Б. Т. Вагнер, Е. Д. Надежкина. – Л. : Гидрометеиздат, 1979. – 136 с.
37. Динамика верхних слоев атмосферы и солнечно-атмосферные связи / Под ред. И. В. Неналина. – Л. : Гидрометеиздат, 1976. – 98 с.
38. Радиационно-фотохимические модели атмосферы / Под ред. Т. М. Маджиева. – Л. : Гидрометеиздат, 1986. – 190 с.
39. Антонова, Л. А. Солнечная активность и ионосфера / Л. А. Антонова, Г. С. Иванов-Холодный. – М. : Наука, 1989. – 146 с.
40. Батгер, С. Введение в химию атмосферы / С. Батгер. – М. : Мир, 1977. – 270 с.
41. Исидоров, В. А. Органическая химия атмосферы / В. А. Исидоров. – Л. : Химия, 1985. – 265 с.
42. Кузнецов, В. А. Химия атмосферы / В. А. Кузнецов, Н. П. Тарасова. – М. : МГХИ им. Д. М. Менделеева, 1987. – 65 с.
43. Моделирование социо-эколого-экономической системы региона / Под ред. В. И. Гурмана, Е. В. Рюминой. – М. : Наука, 2003. – 175 с.
44. Моделирование формирования территориально-производственных комплексов / Под ред. К. Т. Кац. – Новосибирск: Наука, 1976. – 333 с.
45. Леонов, А. В. Математическое моделирование процессов трансформации органического вещества и соединений биогенных элементов в водной среде: предварительный анализ условий функционирования экосистемы Ладожского озера / А. В. Леонов, М. М. Осташенко, Е. Н. Лаптева // Водные ресурсы. – 1991. – № 1. – С. 51–72.
46. Леонов, А. В. Математическая модель совместной трансформации соединений азота, фосфора и кислорода в водной среде: ее применение для анализа динамики компонентов в эвтрофном озере / А. В. Леонов // Водные ресурсы. – 1989. – № 2. – С. 105–123.
47. Фелленберг, Г. Загрязнение природной среды. Введение в экологическую химию / Г. Фелленберг. – М. : Мир, 1987. – 212 с.
48. Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах / Под ред. Ц. И. Бобовниковой, С. Г. Малахова. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 252 с.
49. Миграция и превращение пестицидов в окружающей среде / Под ред. С. Г. Малахова, В. А. Борзилова. – М. : Гидрометеиздат, 1979. – 152 с.

50. Поведение пестицидов и химикатов в окружающей среде / Под ред. И. Н. Голубина. – Л. : Гидрометеиздат, 1991. – 431 с.
51. Вторжение в природную среду. Оценка воздействия. Основные положения и методы / Под ред. О. Я. Толибина. – М. : Наука, 1983. – 192 с.
52. Экологическая экспертиза. Обзорная информация. – М. : ВИНТИ, №1, 1992. – 80 с.
53. Бызова, Н. Л. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеивания примесей / Н. Л. Бызова. – Л. : Гидрометеиздат, 1991. – 277 с.
54. Вопросы циркуляции свободной атмосферы / Под ред. К. И. Солнцева. – М. : Гидрометеиздат, 1976. – 32 с.
55. Пристли, С. Х. Турбулентный перенос в приземном слое атмосферы / С. Х. Пристли. – Л.: Гидрометеиздат, 1964. – 123 с.
56. Атмосферная диффузия и загрязнение воздуха / Под ред. Л. М. Якущика. – Л. : Гидрометеиздат, 1979. – 132 с.
57. Колесников, В. Л. Применение ЭВМ в промышленной экологии: тексты лекций для студентов специальности 23.03 / В. Л. Колесников. – Минск : БГТУ, 1993. – 117 с.
58. Джурс, П. Распознавание образов в химии / П. Джурс, Т. Айзенхауэр. – М. : Мир, 1977. – 230 с.
59. Верхаген, К. Распознавание образов: состояние и перспективы / К. Верхаген [и др.]. – М.: Радио и связь, 1985. – 104 с.
60. Фомин, Я. А. Статистическая теория распознавания образов / Я. А. Фомин. – М. : Радио и связь, 1978. – 214 с.
61. Идентификация источников загрязнения атмосферного воздуха с использованием методов распознавания образов // Химическая промышленность. 2001. – № 9. – С. 14–19.
62. Найденко, В. В. Оптимизация процессов очистки природных и сточных вод / В. В. Найденко, А. П. Кулакова, И. А. Шеренков. – М. : Стройиздат, 1984. – 151 с.
63. Моделирование аэрационных сооружений для очистки сточных вод / Под ред. Е. И. Зацепина. – Л. : Химия, 1980. – 143 с.
64. Математическая модель прогноза показателей промышленных сточных вод // Пластические массы. – 1991. – № 8. – С. 58–59.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Программа дисциплины.....	6
2. Методические рекомендации по изучению основных разделов дисциплины.....	10
3. Контрольные задания по дисциплине.....	13
3.1. Методические рекомендации по выполнению контрольной работы.....	13
3.2. Вопросы контрольной работы.....	22
3.3. Задачи контрольной работы.....	26
Литература.....	36

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В ОХРАНЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Составители: **Марцунь** Владимир Николаевич,
Липик Виталий Тадеушевич

Редактор М. Ф. Мурашко

Подписано в печать 01.03.2007. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 2,3. Уч.-изд. л. 2,4.
Тираж 85 экз. Заказ .

Учреждение образования
«Белорусский государственный технологический университет».
220050. Минск, Свердлова, 13а.
ЛИ № 02330/0133255 от 30.04.2004.

Отпечатано в лаборатории полиграфии учреждения образования
Белорусский государственный технологический университет.
220050. Минск, Свердлова, 13.
ЛП № 02330/0056739 от 22.01.2004.