МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга (РЭТЭМ)

УТВЕРЖДАЮ
Зав. каф. РЭТЭМ, д.т.н.
____________ В.И.Туев
«_____»_______2012г.

Методические рекомендации по выполнению практических занятий и организации самостоятельной работы по дисциплине

ТЕХНОГЕННЫЕ СИСТЕМЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РИСК

для специальностей и направлений « Экология», «Экология и природопользование», «Безопасность жизнедеятельности в техносфере».

2012

«Техногенные системы и экологический риск». Методические рекомендации по выполнению практических занятий и организации самостоятельной работы по дисциплине

Разработчики – Н.Н. Несмелова, С.А.Полякова. – Томск: 2012.

Методические рекомендации по выполнению практических занятий и организации самостоятельных работ разработаны для студентов специальностей и направлений по экологии и природопользованию, геоэкологии, экологии и безопасности жизнедеятельности в техносфере. Пособие направлено на практическое изучение современных подходов к поддержанию безопасного, устойчивого взаимодействия человека и природы.

Пособие может быть рекомендовано студентам, аспирантам, преподавателям и работникам, специализирующимся по биологическим наукам.

Содержание

Практические работы (18 часов).

Практическая работа № 1. Загрязнение гидросферы при аварийных разливах нефти (2 часа)

Цель работы: знакомство с методиками оценки экологических последствий нефтяного загрязнения гидросферы при аварийных разливах.
Задание: 1) решите задачи:
Задача № 1. Определите площадь нефтяного пятна и объем морской воды, лишенной в результате разлива нефти кислорода, если при аварии танкера из него вытекло 100 тысяч тонн нефти. К каким экологическим последствиям может привести подобная катастрофа?
Рекомендации. По приблизительным оценкам плозадь нефтяного пятна может быть определена по формуле: S=A*M, где A=20 км^2/тыс.тонн, M – масса выливавшейся нефти, тыс. тонн. Объем морской воды, лишенной кислорода, может быть определена по формуле: $V_{воды}$=B*M, где B=40 тыс.л./кг, M – масса вылившейся нефти, кг.
Задача № 2. Оцените, сколько нефти должно разлиться при аварии танкера, чтобы нефтяная пленка покрыла всю поверхность озера Байкал. Площадь озера Байкал определите по карте.
Задача № 3. Определите, какое количество пролитой нефти разложится при естественном освещении за 4 недели с момента образования нефтяного пятна и на какое расстояние за это время переместится нефть. Скорость морского течения составляет 3 м/с, масса разлившейся нефти – 10 тысяч тонн. Температура воды 15°C. Известно, что при благоприятных условиях каждую неделю разлагается 50% пролитой нефти. При температуре воды ниже 10°C процессы разложения резко замедляются, поэтому в арктических бассейнах нефть сохраняется в течение десятилетий.

1) Прокомментируйте, будет ли эффективной экологическая политика государства, направленная на снижение затрат по ликвидации разливов нефти, если она предусматривает, что фирма-загрязнитель должна заплатить государству штраф за каждый аварийный разлив в размере средних затрат на ликвидацию одного разлива.

Практическая работа № 2. Элементы теории вероятностей (2 часа)

Почти каждому социальному или природному событию присущи неопределенности, анализировать которые люди пытаются с помощью интуитивного понятия вероятности. Например, в газетах приводятся вероятные исходы тех или иных спортивных событий или вероятность дождя на завтра.

Математические модели бывают детерминированные и вероятностные. В детерминированных моделях динамика состояния системы описывается математическими соотношениями таким образом, что, задавая начальное состояние, можно однозначно определить состояние системы в любой последующий момент времени. Однако, многие процессы в природе и в обществе носят стохастический, вероятностный характер. Поэтому, более адекватными для исследования экологических систем являются вероятностные модели. Вероятность изменяется в пределах от 0 до 1 и является мерой риска появления того или иного события. Если событие случится наверняка, его вероятность равна 1, если оно невозможно – вероятность события равна 0.

Исторически вероятность произошла из математического анализа азартных игр. В игры со случайным исходом люди играли более 5000 лет назад. Описана древняя игра в кости с помощью небольших, приблизительно прямоугольной формы, предметов, выточенных из кости ноги животного. Каждое бросание такой кости имело 4 возможных исхода (поскольку концы кости малы, вероятностью того, что кость приземлится на конец, можно пренебречь). Четыре исхода не были равновероятными из-за отсутствия строгой симметрии у костей. Очевидно, что у теории вероятностей крайне широкий диапазон применения – от предсказаний погоды до азартных игр и генетики. Вероятность – это фундаментальное понятие, возникающее в любой области человеческой деятельности. Общей чертой всех ситуаций, включающих вероятности, является некое событие (действие или явление), которое может иметь несколько исходов. Например, дождь может завтра пойти, а может и нет. Человек анализирует эти ситуации, сравнивая, насколько правдоподобена каждая альтернатива.

Общая теория, описывающая закономерности распределения вероятностей в множестве испытаний – это теория вероятностей. Теория вероятностей развивалась как изучение исходов испытаний в эксперименте. Эксперимент – это некое явление, которое мы наблюдаем, согласно четко определенной процедуре. Оно может быть простым, как подбрасывание монеты, или очень сложным. Испытание – это единичное исполнение эксперимента.

Выборочное пространство эксперимента (S) – это множество всех возможных исходов одного испытания. Если число вариантов ограничено выборочное пространство является конечным.

Введен некоторые дополнительные определения:

Элементарное событие в выборочном пространстве – любой из возможных исходов эксперимента, то есть любой элемент множества S.

Событие (E) – любое подмножество множества S, то есть любое сочетание (объединение) элементарных событий. Например, при бросании игральной кости событием является выпадение четного числа (E=$\{$2,4,6$\}$).

Выборочное пространство также является событием, так как один из исходов имеет место при каждом испытании, выборочное пространство является достоверным событием.

Другим особым событием является пустое подмножество S ($\varnothing$). Этот исход невозможен при испытании, поэтому называется невозможным событием.

Пример.

Рассмотрм эксперимент, который состоит в выборе целого числа от 1 до 4.

1) Каково выборочное пространство этого эксперимента? S=$\{$1,2,3,4$\}$
2) Каковы элементарные события? 1,2,3,4
3) Перечислить все события множества S. Событиями являются все подмножества множества S. Таких подмножеств имеется 16.

Из всех выборочных пространств легче всего поддаются анализу пространства равных вероятностей. Если в эксперименте все элементарные события выборочного пространства S могут появиться с одинаковой вероятностью, то говорят, что S является пространством равных вероятностей. Если эксперимент имеет N возможных исходов, тогда вероятность каждого элементарного события есть 1/N. Это записывается так: P(A)=1/N, где A – любое элементарное событие в S. Например при бросании шестигранной кости имеется всего шесть возможных исходов. Естественно допустить, что любой из 6 исходов одинаково правдоподобен. Это выражается словами: «вероятность каждого исхода равна 1/6».

Вопросы:

1. Что такое вероятность?
2. Что такое теория вероятностей?
3. Что такое эксперимент?
4. Что такое испытание?

5. Что такое выборочное пространство эксперимента?
6. В каких случаях выборочное пространство эксперимента является конечным?
7. Что такое элементарное событие?
8. Что такое событие?
9. Что такое достоверное событие?
10. Что такое невозможное событие?

Задание. Описать выборочные пространства следующих экспериментов:

1) Наблюдать, в какой последовательности подойдут к озеру олень, лось и американский лось.
2) Из плазмы, содержащей красные и белые кровяные клетки, выбрать четыре клетки и отметить, сколько из них оказались красными.
3) Обследовать трех человек на СПИД и определить, у скольких из них окажется это заболевание.
4) Лабораторная крыса помещена в лабиринт и должна выбрать один из пяти возможных путей. Лишь один из них ведет к поощрению в виде пищи. Если предположить, что крыса с одинаковой вероятностью может избрать любой путь, определите вероятность выбора пути, ведущего к пище.

Практическая работа № 3. Вероятностные модели и эксперименты с моделями (4 часа)

Цель работы: реализация и исследование вероятностной модели, в основе которой лежит стохастический процесс, определяемый цепью Маркова

Теоретические сведения.

Современная экология – это междисциплинарная область знания об устройстве и функционировании многоуровневых систем в природе и обществе в их взаимосвязи. Объектом экологии являются разнообразные экологические системы, в число которых входят не только исключительно природные, но и эколого-социальные, эколого-экономические и другие смешанные системы, имеющие отношения к окружающей среде. В настоящее время разработка методов прогнозирования и управления состоянием экологических систем имеет огромное научное и практическое значение. Одним из эффективных средств для этого является математическое моделирование.

Определения.

Модель – это абстрактная или материальная система, способная заменить объект исследования таким образом, что дает возможность получить о нем новую информацию.

Моделирование – процесс изучения объекта, явления с помощью модели.

Математическая модель – это система математических выражений, схематично описывающая изучаемый объект или явление.

Цель построения математической модели – установление количественных и логических зависимостей между элементами изучаемой системы. Математическая модель должна касаться только существенных свойств системы, для этого используется огрубление (упрощение, идеализация) объекта.

Математические модели бывают детерминированные и вероятностные. Детерминированные модели позволяют описывать процессы, состояние которых в любой момент времени полностью определено, если известно их состояние в предшествующие моменты. Однако широкий круг природных процессов имеет стохастическую (вероятностную) природу, и их адекватное описание невозможно при использовании детерминированных моделей. Вероятностная модель не позволяет точно предсказать изменения отдельных параметров процесса, но позволяет сделать достаточно точный прогноз их средних значений.

Стохастический процесс – это такая последовательность испытаний, в которой исход каждого эксперимента зависит от случайных обстоятельств. Если множество возможных исходов при каждом испытании ограниченно конечно – это конечный стохастический процесс. Если исходы первых n экспериментов известны, то можно определить все возможные исходы (n+1) эксперимента и их вероятности.

Стохастические процессы, не зависящие от прошлого даже на один шаг, то есть процессы без памяти, легче всего изучать, но они редко встречаются на практике. Примером такого процесса является бросание монеты. Следующий простейший тип стохастических процессов – процессы, память которых простирается в прошлое не более чем на одно испытание. Изучение подобных процессов – достаточно простая задача, которая имеет широкие приложения. Например, в исследовании о выпадении дождей в Тель-Авиве Габриэль и Нейман (1962) показали, что последовательность дождливых и солнечных дней за период наблюдений 27 лет можно считать стохастическим процессом с памятью в один день.

Определение 1. Марковская цепь (цепь Маркова - по имени русского математика Маркова) – это такая последовательность испытаний в некотором эксперименте, в которой исход любого m-го испытания зависит только от исхода (m-1)-го испытания и не зависит от исходов других предшествующих испытаний.

Стохастический процесс, который является цепью Маркова, обладает следующими свойствами:

1. Множество возможных исходов конечно.
2. Вероятность каждого исхода в определенном испытании известна, если известен исход предыдущего испытания, хотя информация об этом исходе не обязательно используется.
3. Зависимость вероятности каждого из возможных исходов определенного испытания от исхода предыдущего испытания инварианта относительно номера испытания, то есть она одинакова и для второго, и для тысячного испытания.

Марковская цепь характеризуется вероятностями того, что при последовательных испытаниях система переходит из одного состояния в другое.

Определение 2. Переходная матрица марковской цепи – это матрица $P=(p_{ij})$ размером n*n ij-ый элемент которой представляет собой вероятность того, что при последовательных испытаниях экспериментальная система переходит из состояния E_i в состояние E_j.

Пример. В любой данный день погода в Монреале может быть хорошей, посредственной или плохой. Если сегодня погда хорошая, то завтра она будет хорошей с вероятностью 0,6, посредственной с вероятностью 0,2 и плохой с вероятностью 0,2. Если сегодня погда посредственная, то завтра она будет хорошей, посредственной или плохой соответственно с вероятностями 0,25; 0,5 и 0,25. Если же сегодня плохая погода, то вероятности хорошей, посредственной и плохой погоды на завтра равны 0,25; 0,25 и 0,5. Этот процесс можно описать как марковскую цепь в эксперименте с тремя исходами E1, E2 и E3, соответствующими хорошей, посредственной и плохой погоде в любой данный день. Переходная матрица для этой марковской цепи такова:

$$P = \begin{matrix} 0{,}60 & 0{,}20 & 0{,}20 \\ 0{,}25 & 0{,}50 & 0{,}25 \\ 0{,}25 & 0{,}25 & 0{,}50 \end{matrix}$$

Задания.

Снабжение города водой осуществляется из некоторого естественного резервуара. Тщательные наблюдения за ним в течение 20 лет показали, что если резервуар был полон в начале лета, то он оказывается полным к началу следующего лета с вероятностью 0,8 независимо от состояния его наполнения в предшествующие годы. Аналогично, если резервуар был к началу лета незаполненным, то вероятность того, что к началу следующего лета он окажется полным, равна лишь 0,4. Сделать заключение о том, определяет ли последовательность состояний резервуара ("полный", "неполный") в начале каждого лета цепь Маркова. Построить переходную матрицу для этого процесса.

Построить в программе Excel компьютерную модель, позволяющую прогнозировать состояние данного резервуара в течение 100 лет.

Подсказка: для моделирования случайного события А, вероятность которого равна p, достаточно сформировать одно случайное число r, равномерно распределенное на интервале от 0 до 1. При попадании r в интервал от 0 до p считают, что событие А наступило, в противном случае – событие А не наступило.

Определить с помощью модельного эксперимента, сколько раз из рассматриваемых 100 лет резервуар в начале лета оказывался полным. Рассчитать вероятность того, что резервуар полон (независимо от предшествующего состояния). Дополнить модель таким образом, чтобы иметь возможность определять эту вероятность автоматически.

Провести 30 экспериментов с моделью, построить вариационный ряд из полученных значений вероятности заполнения резервуара, определить максимальное и минимальное значение вероятности, размах, среднее, моду и медиану.

Оформить отчет, включив в него название и цель работы, определение стохастической модели, описание свойств, характерных для цепей Маркова, описание модели, и результаты экспериментов с моделью. Включить в отчет таблицу с 30 значениями вероятности, полученными в эксперименте.

Практическая работа № 4. Марковские цепи в экологических задачах (4 часа)

Цель работы: закрепить и расширить знания о принципах моделирования стохастических процессов на основе теории марковских цепей.

Теория. Для удобства изучения цепей Маркова их полезно разделить на классы таким образом, чтобы различные классы обладали своими особыми свойствами.

Перед тем, как начать классификацию, введем ряд определений. Множество состояний является **замкнутым,** если, однажды попав в него, цепь Маркова никогда его не покинет, то есть вероятность перехода из этого множества состояний в какое-либо иное состояние равна 0. Замкнутое множество состояний называется **эргодическим,** если никакое его подмножество не замкнуто. Если цепь Маркова находится в состоянии, принадлежащем эргодическому множеству, она никогда не сможет его покинуть. **Неустойчивым, или переходным** множеством состояний называется такое множество, покинув которое цепь уже не может в него вернуться.

Если в цепи нет неустойчивых состояний, такая цепь называется **эргодической.** Изучение цепей Маркова с неустойчивыми состояниями можно разбить на две части: этап перед входом в эргодическое множество и последующий этап. Как только система вошла в эргодическое множество, она уже никогда не сможет его покинуть, и мы можем рассматривать ее поведение в этом множестве так, как если бы имели дело с эргодической цепью. До входа в эргодическое множество мы можем игнорировать его структуру, объединив все состояния этого множества в одно **поглощающее состояние.** Таким образом, как правило, изучение первого этапа истории цепи Маркова можно свести к исследованию цепи, где эргодические множества состоят каждое из единственного элемента. Такая марковская цепь называется **поглощающей цепью** или цепью с поглощающими состояниями.

Задача № 1. Рассмотрим элементарную модель прохождения молекулы фосфора через экосистему «Пастбище». Для простоты примем во внимание лишь четыре возможных состояния молекулы. В исходном состоянии молекула находится в почве (u1). Далее она может быть абсорбирована каким-либо растением и перейти в травяной покров (u2), выйти из экосистемы в результате эррозии почвы и выветривания (u4) или остаться в почве. Из травянного покрова молекула может в результате гибели и разложения растений вернуться в почву, может в результате поедания травы скотом перейти в организм животного (u3), либо остаться в травянном покрове. Из организма животного молекула также может вернуться в почву вместе с выделениями, может выйти из экосистемы при отправке скота на рынок или же остаться в организме животного в пределах экосистемы. Таким образом, находясь в одном из состояний молекула может переходить в другие состояния. Однако, как только молекула вышла из экосистемы, обратно она уже не возвращается. Матрица переходов для описанной модели приведена в таблице 1. Аналогичные модели можно построить для любого из пестицидов.

Табл.1

Матрица переходов для прохождения молекулы фосфора через экосистему «Пастбище»

	u1	u2	u3	u4
u1	3/5	3/10	0	1/10
u2	1/10	2/5	1/2	0
u3	¾	0	1/5	1/20
u4	0	0	0	1

Задания.

1) Определить, является ли модель прохождения молекулы фосфора через экосистему «Пастбище» марковской цепью и почему. К какому классу марковских цепей можно отнести данную цепь? Определить множества неустойчивых и поглощающих состояний для этой цепи.
2) Изобразить переходный ориентированный граф для модели прохождения молекулы фосфора через экосистему «Пастбище».
3) Построить имитационную модель для прохождения молекулы фосфора через экосистему «Пастбище» с помощью пакета Excel.
4) Считая, что переход молекулы в новое состояние происходит 1 раз в сутки, определить, какой период времени в среднем молекула находится в экосистеме после внесения в почву.
5) Определить, с какой вероятностью молекула фосфора покинет экосистему через неделю после внесения в почву.

Задача № 2. Владелец небольшого завода утверждает, что большая часть стоков его предприятия, спускаемых в проходящую рядом реку, очень быстро выносится в море. Более того, он утверждает, что вероятность выноса в море в течение одних суток какой-либо молекулы ртути, обнаруженной в стоках его завода, равна 0,999. Если же эта молекула остается на месте через несколько дней, то вероятность ее выноса в море в течение суток остается равной 0,999. Предполагается, что молекулы, вынесенные к морю, обратно не возвращаются.

Задание.

1) Пусть некоторая молекула ртути была помечена и в течение нескольких дней мы можем следить за ее присутствием или отсутствием в системе очистных сооружений завода. Обладает ли такая последовательность наблюдений свойствами марковской цепи? К какому классу марковских цепей можно ее отнести? Определить неустойчивые и поглощающие состояния в этой цепи.
2) Изобразить переходную матрицу и переходный орграф для данной цепи.
3) Построить имитационную модель движения молекулы ртути.

4) Определить вероятность того, что некоторая молекула ртути будет вынесена в море в течение 3 дней.
5) Определить среднюю продолжительность этого процесса в днях.
6) Модифицировать модель таким образом, чтобы вероятность выноса молекулы-загрязнителя в море можно было изменять. Определить среднюю продолжительность нахождения молекулы загрязняющего вещества в сточных водах, если вероятность выноса ее в течение суток равна 0,8; 0,6 и 0,4.

Практическая работа № 5. Моделирование сложных систем с помощью ориентированных графов (4 часа)

Цель работы: Познакомиться с принципами моделирования импульсных процессов в сложных системах на основе использования ориентированных графов.

Теоретические сведения. Анализ многих важных для человеческого общества проблем, в частности, экологических, затрагивает чрезвычайно сложные системы, которые содержат большое число взаимодействующих переменных. При математическом моделировании таких систем приходится искать компромисс между требованием к точности результатов моделирования и возможностью получить подробную информацию, необходимую для построения модели. Ориентированные графы (орграфы) можно использовать для моделирования сложных систем на основе минимальной информации.

Знаковый орграф как средство моделирования сложной системы. Существенные для решаемой проблемы переменные рассматриваются как вершины орграфа. От переменной U к переменной V проводится дуга, если изменение U непосредственно влияет на значение V. Эта дуга имеет положительный знак, если увеличение U ведет, при прочих равных условиях, к росту V, а уменьшение U – к снижению V (эффект “усиления”). Дуга имеет отрицательный знак, если рост U приводит к снижению V, а снижение U – к росту V (эффект «торможения»).

Пример. Рассмотрим знаковый орграф, который описывает ссущественные связи между группой переменных, относящихся к проблеме удаления из городов твердых отходов (Maruyama, 1963). Этот орграф представлен в виде **матрицы смежности**, в которой строки и столбцы соответствуют вершинам орграфа, а цифры на пересечении строки и столбца характеризуют дуги между этими переменными (0 – отсутствие дуги; 1 – положительная дуга; -1 – отрицательная дуга). Строки – влияющие переменные, столбцы – переменные, влияние на которые рассматривается.

Вершины: 1 – число жителей города (P);
2 – улучшение условий жизни в городе (M);
3 – миграция в город (C);
4 – количество очистных сооружений (S);
5 – количество заболеваний (D);
6 - бактериологическая зараженность на единицу территории (B);
7 – количество мусора на единицу площади (G).

	P	M	C	S	D	B	G
P	0	1	0	0	0	0	1
M	0	0	1	1	0	0	0
C	1	0	0	0	0	0	0
S	0	0	0	-1	-1	0	0
D	-1	0	0	0	0	0	0
B	0	0	0	0	1	0	0
G	0	0	0	0	0	1	0

Используя данную матрицу, постройте в тетрадях знаковый орграф и рассмотрите его.

Дуга (P,G) положительна, поскольку рост городского населения ведет, при прочих равных условиях, к увеличению количества мусора. Дуга (D,P) отрицательна, поскольку рост болезней ведет к уменьшению городского населения, а снижение заболеваемости ведет к росту населения. Остальные знаки определяются путем аналогичных рассуждений.

Следует отметить, что четыре переменные P, G, B и D образуют **контур, противодействующий отклонению (контур отрицательной обратной связи).** Увеличение любой переменной в данном контуре приводит к конечном счете, через другие переменные, к ее снижению и наоборот (Чем больше людей, тем больше отходов, тем больше бактерий, тем больше болезней, тем меньше людей и т.д.). С другой стороны, переменные P, M и C образуют **контур, усиливающий отклонения (контур положительной обратной связи).** Чем больше население, тем больше требования к улучшению условий жизни, чем больше мероприятий по улучшению условий жизни, тем сильнее миграция в город, тем больше городское население. Увеличение или уменьшение любой переменной в данном контуре приводит к ее дальнейшему увеличению (уменьшению).

Тип контура легко определить, используя следующее правило: **контур противодействует отклонению тогда и только тогда, когда он содержит нечетное число отрицательных дуг. В других случаях замкнутый контур усиливает отклонения.**

Нередко знаковый орграф оказывается наиболее детальной моделью сложной системы, которую удается создать. Это, в частности, верно, когда некоторые переменные не могут быть точно измерены (например – «состояние окружающей среды»). Такие переменные часто появляются при исследовании социальных проблем. Однако, даже при помощи таких упрощенных моделей можно получать некотрые строгие выводы о структуре и функционировании сложной системы, а также прогнозировать реакцию системы на воздействия.

Взвешанные и функциональные знаковые орграфы. Структурные модели на основе знаковых орграфов содержат много упрощений. В частности, взаимодействия переменных могут быть разной силы. Модель в виде знакового орграфа предполагает все воздействия одинаковыми по силе, поскольку веса на каждой дуге единичной величины. Возможно, более обоснованно приписывать дугам разные веса, пропорциональные силе воздействия. В этом случае мы получим **взвешанный знаковый орграф.** Еще более реалистичным было бы считать, что сила воздействия изменяется в зависимости от уровней связанных переменных. Эту зависимость можно промоделировать, приписывая каждой дуге орграфа функцию $f_{uv}(u,v)$. Такой орграф называется **функциональным знаковым орграфом.** Так, в примере с проблемой удаления твердых отходов, можно приписать дуге PM функцию, согласно которой рост населения до определенного уровня требует модернизации городского хозяйства и приводит к улучшению условий жизни, однако после достижения критического значения численности городской бюджет перестает справляется с проблемой модернизации. <u>Функциональные знаковые орграфы лежат в основе метода системной динамики, который был использован Форрестером и Медоузом для изучения глобальных экологических проблем.</u> В дальнейшем мы будем говорить о взвешанном орграфе, имея в виду, что веса некоторых дуг могут быть представлены только знаками, а веса других могут быть заменены функциями.

Прогнозирование с помощью структурной модели. Одно из преимуществ модели в виде взвешанного орграфа состоит в том, она позволяет решать проблемы прогнозирования поведения системы при различных воздействиях и может способствовать выбору оптимальной стратегии, результаты использования которой удовлетворяют заданным ограничениям (например на состояние окружающей среды). Чтобы понять, как это делается, допустим, что каждая вершина U_i принимает значение $U_i(t)$ в дискретные моменты времени t=0, 1, 2 …. При этом время может измеряться в часах, днях, месяцах, годах и т.п. Тогда проблема прогнозирования формулируется следующим образом: предсказать значение вершины U в момент времени t, или предсказать изменение этой вершины при заданном исходном значении. Для осуществления прогноза необходимо ввести правило **изменения значений импульсного процесса**, устанавливающие, каким образом отклонения значений переменных распространяются по системе. Если известно исходное состояние системы (t=0), а импульс, измененяющий значения одной из вершин, воздействует на систему только в момент времени t=1, такой импульсный процесс называется **автономным.** Состояние любой вершины в любой момент времени для автономного импульсного процесса определяется по формуле:

$$v_i(t+1)= v_i(t)+\sum_{i=1}^{n} (w(u_i,v_i)*p_i(t))$$

В этой формуле $w(u_i,v_i)$ – вес дуги, направленной от вершины u_i к вершине v_i. Если такая дуга отсутствует, то $w(u_i,v_i)=0$.

$p_i(t) = u_i(t)-u_i(t-1)$, то есть изменение значения вершины u_i на предшествуещем шаге.

$v_i(t)$ – предшествующее значение вершины v_i.

$v_i(t+1)$ – определяемое значение вершины v_i.

Можно ввести ограничения или **нормативы,** придавая некоторой вершине границы, в пределах которых она может изменять свои значения. Если такие ограничения заданы, можно попытаться найти стратегии, удовлетворяющие им. **Стратегией** является процедура, изменяющая систему. Если система представлена взвешанным орграфом, некоторые возможные стратегии состоят в следующем.

1. Изменить в определенное время значения некоторых вершин.
2. Добавить в заданное время некоторую новую вершину (фактор) и новые дуги к ней и от нее (взаимодействия нового фактора с прежними).
3. Изменить в определенное время знак некоторой дуги.
4. Изменить в заданное время вес некоторой дуги.
5. Добавить новую дугу между имеющимися вершинами.
6. Добавить новые контур, усиливающий или уменьшающий отклонения.

На практике соответствующие изменения в системе могут быть достигнуты, например, изменениями в законодательстве.

Когда множество допустимых стратегий определено, остается найти оптимальную стратегию (самую быструю, самую дешевую и др.) для перехода системы в желаемое состояние (например, максимизации или минимизации значений некоторых вершин) или для стабилизации состояния в границах нормативов (стабилизирующие стратегии).

Задание.

1. Постройте в тетрадях знаковый орграф для анализа проблемы удаления твердых отходов, матрица смежности для которого приведана в примере.
2. Отметьте (например, цветом линии) усиливающие и тормозящие дуги, укажите контуры орграфа, усиливающие и уменьшающие отклонения.
3. Реализуйте с помощью программы Excel имитационную модель отражающую логику функционирования системы, представленной знаковым орграфом. В исходном состоянии (t=0) все переменные системы можно задать равными 0.
4. Считая, что каждый шаг изменения состояния системы соответствует одному году, рассмотрите прогнозы динамики заболеваемости населения на ближайшие 15 лет при импульсных воздействиях на другие вершины орграфа. Для имитации импульсных воздействий поочередно вводите в нужные клетки, соответствующие

моменту времени t=1, «единицу» для моделирования роста значения данной вершины или «минус единицу» для моделирования уменьшения ее значения.

5. Постройте в тетрадях графики динамики заболеваемости при импульсных изменениях вершин. Определите средние, максимальные и минимальные значения заболеваемости за 15 лет. К изменению каких переменных модель наиболее чувствительна?
6. Определите наиболее эффективную стратегию для снижения заболеваемости населения в городе.

Практическая работа № 6. Экологический риск и проблемы взаимодействия с общественностью (2 часа)

По отношению ко многим неблагоприятным факторам среды как факторам риска объективные и субъективные оценки заметно расходятся.

Задание. Проранжируйте по степени опасности следующие объекты и действия: сигареты, алкогольные напитки, автомобили, огнестрельное оружие, электричество, мотоциклы, плавание, хирургические операции, железные дороги, личные самолеты, строительные работы, охота, домашнее хозяйство, пожары, гражданская авиация, атомная энергия, катание на коньках, пищевые красители, пестициды. Сравните ваши результаты с результатами расчетной оценки риска и с оценками разных групп экспертов. Для этого перенесите таблицу в свою тетрадь, дополните ее еще одним столбцом и внесите в него свои ранговые оценки. В клетки столбцов с оценками экспертов и с расчетными оценками внесите разность между соответствующим рангом и вашей ранговой оценкой. Определите сумму полученных чисел для каждого столбца. Минимальное значение будет соответствовать оценке той группы экспертов (либо расчетной оценки), которая оказалась ближе всего к Вашему мнению. Посмотрите результаты дрйгих студентов, обсудите их. Сделайте вывод.

Как видно из таблицы, различные социальные группы по-разному оценивают вклад различных факторов риска в общую смертность. Одни и те же люди или группы людей совершенно по разному ведут себя в отношении различных факторов риска. И очень часто отношение к этим факторам вообще не коррелирует с расчетной величиной риска.

Таблица

Вид риска	Число смертей в	Порядок приоритета в соответствии с оценками			
		расчетный*	студентов колледжа	членов академических и профессиональных объединений	членов женской лиги избирателей
Курение	150000	1	3	4	4
Алкоголь	100000	2	7	5	6
Автомобили	55000	3	5	3	2
Огнестрельное оружие	17000	4	2	1	3
Электротравмы	14000	5	19	19	18
Мотоциклы	3000	6	6	2	15
Плавание	3000	7	30	17	19
Хирургические операции	2800	8	11	9	11
Железные дороги	1950	10	23	20	24
Личные самолеты	1300	11	15	11	7
Строительные работы	1000	12	14	13	12
Охота	800	14	18	10	
Домашнее хозяйство	200	15	27	27	
Пожары	195	16	10	6	
Гражданская авиация	130	19	16	18	
Атомная энергия	100	20	1	8	
Катание на коньках	18	24	25	16	
Пищевые красители	Нет	26	20	30	
Пестициды	Нет	28	4	15	

*Приоритет в соответствии с числом смертей в год в США.

Изучите и обсудите в малых группах принципы восприятия риска обществом и целесообразность их учета для формирования позитивного общественного мнения по отношению к потенциально опасным хозяйственным объектам.

1. Добровольный риск всегда более приемлем, чем вынужденный.
2. При условии соблюдения законности, установленных норм и правил риск оценивается как более приемлемый.
3. Возможность участвовать в контролировании риска повышает его социальную приемлемость.
4. Информация вызывает тем большее доверие, чем лучше репутация источника распространения сведений.
5. Воспоминания о других неприятных событиях, субъективные, даже лишенные логики ассоциации усиливают негативное восприятие риска.
6. Опасности природного происхождения представляются более приемлемыми, чем антропогенные.
7. Степень опасности оценивается тем выше, чем более безнравственным представляется действие, послужившее ее причиной.
8. С источниками опасности, традиционно воспринимаемыми местным сообществом как ужасные, связывают более высокий риск.
9. Непривычный, новый по сути риск порождает значительно более серьезную напряженность в обществе, чем привычный, традиционный.
10. Опасность, недоступная восприятию, фантастическая, запредельная, порождает больший страх, чем доступная, понятная.
11. Тщательно изученные наукой источники и проявления опасности обычно более приемлемы, чем малоизученные.

Восприятие экологического риска социумом — реальность, определяющая отношение к предприятию не в меньшей степени, чем собственно характеристики воздействия (например, величины выбросов и сбросов загрязняющих веществ), изменения в состоянии здоровья населения. И если ваша цель— бесконфликтный диалог с общественностью, при обсуждении аспектов воздействия на окружающую среду, необходимых природоохранных мероприятий и планов совместных действий следует непременно учитывать факторы социальной приемлемости риска.

Литература:

1. Гридэл Т.Е., Алленби Б.Р. Промышленная экология: Учебное пособие для ВУЗов / Пер. с англ. Под редакцией проф. Гирусова Э.В. – М.: ЮНИТИ – ДАНА, 2004. – 527 с.
2. Катастрофы конца XX века / ред. В.А.Владимиров. – М.: 2001.
3. Коробкин В.И., Передельский Л.В. Экология. – Ростов- на-Дону: Феникс, 2003. – 576 с.
4. Николайкин Н.И., Николайкина Н.Е., Мелехова О.П. Экология. – М.: Дрофа, 2003. – 624 с.

5. Трифонова Т.А., Селиванова И.В., Мищенко И.В. Прикладаная экология: учебное пособие для ВУЗов. – М.: Академический проект: Традиция, 2005. – 384 с.
6. Хохлов Н.В. Управление риском: учебное пособие для ВУЗов. – М.: 1999.
7. Экология и безопасность жизнедеятельности / ред.Л.А.Муравей. – М.: ЮНИТИ, 2000. – 447 с.
8. Экология: учебное пособие / ред. В.В.Денисов. – Ростов н/Д: изд.центр «МарТ», 2002. – 640 с.
9. Экономика природопользования / ред. Папенов К.В.. – М.:ТЕИС, ТК Велби, 2006. – 928 с.