

Рис. 3. Поворот с 30° на 45°

Заключение. Как показывают результаты экспериментов предложенные в данной работе алгоритм и программа обеспечивают эффективное выполнение поворотов подводного робота в автоматическом режиме.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ястребов В.С. Подводные роботы. СПб.: Судостроение, 1977.
2. Гайдук А.Р. Оптимальные и адаптивные системы автоматического управления. – М.: Училищевиз, 2007.
3. Дьяконов В.П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6. Основы применения. Серия «Библиотека профессионала». – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 800 с.

Го Пэн

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: jarod77@gmail.com.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 88634371689.

Guo Peng

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: jarod77@gmail.com.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: 88634371689.

УДК 518.5.001.57

В.И. Финаев, Н.И. Битюцкая

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ СИСТЕМНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕГИОНА КМВ

Обоснована необходимость системного исследования экологического состояния региона. Выполнено формальное описание экосистемы как сложной системы. Приведен обзор математических моделей окружающей среды. Предложена концепция моделирования экосистемы.

Экосистема; модель распространения загрязнения.

V.I. Finaev, N.I. Bituzkaya

THE WORKING OUT OF THE SYSTEM RESEARCH OF THE CAUCASIAN MINERAL WATERS REGION ECOLOGICAL CONDITION CONCEPTION

The region ecological condition system research necessity has been substantiated. The ecological system formal description has been realized as a composite system. The review of the environment mathematical models has been made. The ecological system modeling conception has been proposed.

Ecological system; the pollution the environment spreading model.

1. Обоснование необходимости системного исследования экологического состояния региона. Во многих регионах наблюдается нарастание локальных и глобальных экологических проблем, угрожающих не только благополучию, но и дальнейшему существованию природы и человека. Антропогенное воздействие на природную среду приводит к нарушению естественного состояния атмосферы, природных вод и ландшафтов, флоры и фауны. Каждый регион имеет свои экологические проблемы.

Кавказские Минеральные Воды широко известны своими уникальными минеральными источниками. Однако состояние этих источников вызывает серьезное опасение из-за их истощения и техногенного вмешательства человека в окружающую среду. Изучению экологического состояния КМВ, особо охраняемого курортного региона, посвящено большое количество исследований [1-4].

Одной из важнейших экологических проблем региона КМВ являются техногенные отходы. До начала 90-х годов велась активная добыча урана в районе горы Бештау. В 1991 году добыча была прекращена, однако загрязненность поверхностных и подземных вод южной части горы Бештау и почв прилегающей территории естественными радионуклидами и другими токсическими элементами остается и сейчас. Ухудшают экологическое состояние грунтовых вод и повышенные (1,5-5 ПДК) природные концентрации различных элементов: Ва, Al, Mn, Sr, В, Li, поступающих в воду в результате выщелачивания из коренных пород. Такие участки выделяются на склонах гор Бештау, Змейка и др.

В районе гор-лакколитов Змейка, Кинжал, Шелудивая и др. интенсивно велась добыча строительных материалов, обладающих высокими радиационными параметрами, которая была прекращена с введением ужесточенных радиационно-гигиенических нормативов в строительные нормы и правила. Однако добытые материалы из гранитоидов, слагающих лакколиты, успели широко распространиться по территории региона, ими нередко вымощены полотна дорог, площадей, тротуаров, а иногда и фундаментов зданий во многих городах и поселках КМВ.

Утилизация отходов, интенсивная добыча минеральных ресурсов, выбросы вредных веществ промышленными предприятиями и автомобильным транспортом негативно влияют как на атмосферный воздух, состояние почв и водных ресурсов, так и на все живое.

Экосистема – это ограниченное пространство, объединенное, с одной стороны, живыми организмами и окружающей средой, в которой они развиваются, и, с другой стороны, взаимодействие организмов друг с другом и с их окружением. Другими словами, экосистема – комплекс биотических (таких живых организмов как растения и животные) и абиотических факторов (неживые компоненты, такие как минералы и вода), которые взаимодействуют и существуют в природе, преобразуются в энергетические потоки и способствуют круговороту веществ.

Примером экосистемы и ее элементов может служить курортный парк города Кисловодска или гора Машук с многочисленными минеральными источниками. Это сотни видов растений и животных, населяющих воздух и землю и, к тому же, тысячи взаимодействий, происходящих между организмами и окружающей их средой.

Экосистема относится к сложным системам, поэтому она должна рассматриваться с позиций системного анализа. Однако системного изучения экологии региона КМВ пока не проводилось.

2. Формализация объекта исследования, как сложной системы. Сложные системы вначале делят на подсистемы или на компоненты. Подсистема – это относительно независимая часть системы, обладающая ее свойствами, имеющая подцель, на достижение которой ориентирована подсистема. Если части системы не обладают всеми ее свойствами, а представляют собой совокупности однородных элементов, то такие части принято называть компонентами.

Используя вышесказанное и известные определения сложных систем [5,6], экосистему можно определить следующим набором:

$$S \equiv \langle A_1, A_2, \dots, A_k, Q_A, R, Q_R, B, Z, U, \Delta T, N, L_N \rangle, \quad (2.1)$$

где A_1, A_2, \dots, A_k – множество компонентов экосистемы; k – количество ее компонентов; $A_i = \{a_{ij}\}$, $i \in \{1, 2, \dots, k\}$, $j \in \{1, 2, \dots, n_i\}$ – множество элементов i -й компоненты экосистемы; n_i – количество элементов i -й компоненты, Q_A – множество свойств компонентов системы и элементов компонент; $R = \{r_j\}$, $j \in \{1, 2, \dots, m\}$ – множество связей между компонентами системы и элементами компонент; m – количество таких связей; Q_R – множество свойств этих связей; B – вектор конструктивных параметров экосистемы; Z – цель или совокупность целей; U – условия целеобразования, ΔT – интервал времени, в течение которого будет изучаться состояние экосистемы, N – наблюдатели или лица, принимающие решения; L_N – язык общения наблюдателей.

В определении (2.1) под компонентами A_1, A_2, \dots, A_k экосистемы будем понимать: атмосферу, поверхностные, грунтовые и минеральные воды, минералы, почву, флору, фауну и т.п.

Под элементом понимается простейшая, неделимая часть каждой компоненты экосистемы, например: конкретный водоем, минеральный источник, вид животных или растений. Понятие неделимости является неоднозначным. Поэтому элемент – это предел членения системы с точки зрения поставленной цели данными наблюдателями. По определению системы В.Н. Садовского и Э.Г. Юдина [7] «элементы любой исследуемой системы выступают как системы более низкого порядка».

Под свойствами компоненты или ее элемента можно понимать, например, количество загрязняющих веществ в почве или водоеме; способность элемента к накоплению или выведению этих веществ; количество минеральных веществ, содержащихся в источнике.

Связи R характеризуют строение и функционирование системы. Под связями между компонентами экосистемы будем понимать их влияние друг на друга. Например, влияние атмосферных явлений на состояние поверхностных, грунтовых вод, почв и флоры или зависимость качественного состава минеральных вод от загрязненности грунтовых вод. В качестве примера связей между элементами одной компоненты экосистемы можно рассмотреть переток вод из одного водного бассейна в другой.

Биотические элементы могут вызывать ответную реакцию после изменения физических состояний окружающей среды. Например, последствиями вырубки

леса или пожара могут быть изменения плодородия почвы, что также оказывает влияние на растительный и животный мир данной территории.

При исследовании экосистемы необходимо дать формальное понятие элемента, определить его свойства и ввести вектор конструктивных параметров B элемента, определяющий его свойства и состояния, а также задать правила (функции) смены состояний или параметров вектора и формирования сигналов воздействия на другие элементы под воздействием возмущающих и управляющих факторов.

Цель Z задает требования к значениям конструктивных параметров согласно принимаемому критерию оптимизации. Под целью можно понимать идеальные желаемые устремления или конечные результаты, достижимые в пределах некоторого интервала времени ΔT . Например, минимальным должно быть отклонение минерализации воды в источнике от эталонного значения или количество радиоактивных элементов в грунтовых водах.

Условия целеобразования U – это условия на значения параметров элементов экосистемы.

Конкретизация определения системы в процессе исследования требует уточнения ее взаимодействия со средой и определения среды. Если под экосистемой понимать некоторое ограниченное пространство, то под средой можно понимать соседние территории и верхние слои атмосферы.

Рассмотрим *характеристики экосистемы* с точки зрения теории систем.

Известно [6], что открытые системы способны обмениваться со средой массой, энергией и информацией.

В самоорганизующихся системах цели формируются внутри системы. Такие системы характеризуют следующие особенности:

- ◆ нестационарность отдельных параметров и стохастичность поведения;
- ◆ уникальность и непредсказуемость поведения системы в конкретных условиях;
- ◆ способность адаптироваться к изменяющимся условиям среды и помехам;
- ◆ способность противостоять энтропийным тенденциям, разрушающим систему;
- ◆ способность вырабатывать варианты поведения и изменять свою структуру, сохраняя при этом целостность и основные свойства;
- ◆ способность и стремление к целеобразованию.

Таким образом, экосистему можно считать *открытой самоорганизующейся* системой. Ее стремление к целеобразованию выражается, к примеру, в том, что природные объекты имеют свойства самовосстанавливаться, «очищаться».

Закономерность *целостности* (эмерджентность) проявляется в системе в возникновении у нее «новых интегративных качеств, несвойственных ее компонентам» [6]. Экосистема, несомненно, обладает свойством эмерджентности, так как вода, воздух, плодородные почвы способствуют возникновению живых организмов, в том числе и новых видов. Другим примером появления новых свойств объектов являются мутации или уничтожение видов живого, как результат загрязнения окружающей среды.

Экосистема подчиняется также закономерности *историчности*, проявляющейся в том, что любая система возникает, функционирует, развивается, стареет и погибает [6]. Подтверждением тому являются: процесс эволюции живых организмов, высыхание рек и морей, появление новых или истощение имеющихся минеральных источников.

Экосистему региона КМВ можно разбить на следующие подсистемы: экосистема г. Пятигорска, г. Кисловодска, г. Ессентуки, г. Железноводска, г. Лермонтов

и других населенных пунктов. В экосистеме г. Пятигорска, в свою очередь, можно выделить экосистему горы Машук, горы Бештау, реки Подкумок и др. Каждая из этих подсистем будет иметь свою подцель.

В таком понимании экосистемы ее структура будет иметь *иерархический вид*, причем *со «слабыми» связями*, так как элемент нижележащего уровня может быть подчинен двум и более элементам вышестоящего уровня. Например, экосистема горы Бештау будет являться частью экосистем нескольких населенных пунктов КМВ так же, как и река Подкумок, протекающая по достаточно протяженной территории.

В процессе дальнейшего изучения экосистемы КМВ ее структура и характеристики будут уточняться.

3. Обзор математических моделей компонент экосистемы. Основной экологической проблемой в настоящий момент является техногенное загрязнение воздушной и водной среды. Поэтому рассмотрим модели распространения загрязнений в различных средах.

3.1. Модели оценки и прогноза загрязнения атмосферы промышленными выбросами. Процессы распространения примесей в атмосфере представляют чрезвычайный интерес для многих видов человеческой деятельности. Изначально заказ на подобные исследования формировался военными задачами и безопасностью АЭС, позднее – задачами экологии. В настоящее время в качестве важнейшего приложения результатов подобных исследований является задача прогнозирования заражения территории при аварийных выбросах ядовитых веществ.

Существует множество моделей самых различных типов. Прежде чем дать их обзор, необходимо ввести хотя бы простейшую *классификацию моделей*.

Главным определяющим признаком модели является ее *эмпирический или теоретический характер*. Строго говоря, во всех моделях присутствуют оба начала, но в одних – это простейшие и не слишком обоснованные рассуждения при тщательном достижении соответствия экспериментальным данным, а в других – фундаментальные уравнения теории диффузии в турбулентных средах со сложным математическим аппаратом и огромным объемом вычислений на ЭВМ. Классическими образцами эмпирических моделей являются модели, созданные Паскуиллом и Гиффордом [9] и в Институте экспериментальной метеорологии [10]. Именно эти эмпирические модели являются утвержденными в разных странах на государственном уровне для практического использования.

Фундаментальные теоретические модели в настоящее время используются только для научных целей, они позволяют качественно объяснить некоторые наблюдаемые эффекты. Примером такой модели является трехмерная модель переноса и диффузии примеси.

Наибольший интерес представляют так называемые *полуэмпирические* модели. Примером является модель, созданная в Институте экспериментальной метеорологии [10]. В таких моделях эмпирика дополнена довольно развитым математическим аппаратом, что позволяет анализировать достаточно сложные ситуации, значительно отличающиеся от исходных экспериментов, и фактически объединять результаты разнородных экспериментов, например, метеорологических и диффузионных. В этом главное отличие от чисто эмпирических моделей, которые описывают весь процесс в целом: на входе – параметры выброса, на выходе – концентрация в данной точке пространства. Примером такой модели является [11]. В этой модели в явном виде учитывается распределение ветра и коэффициента диффузии по высоте. Это сделано для того, чтобы добиться соответствия диффузионных моделей эмпирическим. Особую роль такой учет играет при моделировании распро-

странения примесей в приземном слое, т.е. на высотах менее 50 метров. Общим недостатком такого рода моделей является их преимущественно исследовательская направленность, в связи с чем они не вполне доведены до практического использования. Относительно современного состояния модели [11] такое утверждение сделано в [8].

Вторым признаком для классификации является *богатство учитываемых в модели физических процессов*. В эмпирических моделях зачастую физика процессов почти не учитывается или сильно искажается. Так, эмпирические модели с гауссовым распределением концентрации в струе и близкими к линейному закону расширения струи (то есть практически все эмпирические модели) не могут быть проинтерпретированы как диффузионные.

В монографии [8] показана возможность такой интерпретации при учете еще одного физического процесса – изменчивости ветра за время измерения концентрации. Ведущие зарубежные специалисты смогли указать как причину реального линейного расширения струи, противоречащего теории диффузии, только поворот ветра с высотой. По-видимому, важны оба эффекта, и оба не связаны, с диффузией. Но эта разница представлений о физических процессах ярко демонстрирует разрыв между эмпирикой и теорией.

В более сложных моделях учитывают законы движения воздуха и диффузии, причем используют очень разные наборы упрощающих предположений. Почти все модели распространения дополняются учетом специальных процессов, таких как начальный подъем нагретых выбросов, оседание тяжелых частиц, вымывание примесей осадками. Для задач экологии важную роль играет также учет химических превращений веществ в процессе распространения, в частности модели фотохимического смога. Для прогноза, необходимого при авариях, необходимо явно разделить модель воздушных течений вблизи места аварии и модель распространения примеси.

Третьим признаком для классификации является *тип используемого математического аппарата*. В значительной мере он связан с первым признаком и еще более непосредственно – со вторым. Эмпирические модели используют явные формулы, которые при реализации на ЭВМ не вызывают никаких затруднений, трудоемким является только ввод и вывод информации. Полуэмпирические модели содержат уже процедуры численного решения дифференциальных уравнений в частных производных. Теоретические же модели чрезвычайно разнообразны по аппарату: от теории подобия и чисто аналитических выкладок до численного решения уравнений мезометеорологии с диффузией и трансформацией примесей как разностными методами, так и методом Монте-Карло. Особо следует отметить использование аппарата теории вероятности, который был основным у классиков, но в современных моделях играет весьма скромную роль. Вместе с тем вероятностный характер процессов принципиален для всех моделей, и в особенности для случаев кратковременных выбросов в атмосферу.

Модели можно разделить также на *стационарные* (таких большинство среди эмпирических моделей) и *нестационарные*.

Следует сказать, что различные модели используют весьма разнообразные исходные данные, и зачастую отсутствие необходимых метеорологических данных диктует применение простейших грубых моделей.

Рассмотрим подробнее перечисленные выше модели.

Эмпирические модели распространения примесей в атмосфере создавались для прогноза загрязнения стационарными источниками и для случаев повышенных технологических или аварийных выбросов. В [12] предлагается использовать три

различные модели в зависимости от интересующего масштаба. Для расстояний в десятки и сотни километров – это мезомасштабная и региональная модели Института экспериментальной метеорологии. Для расстояний до 10 км используют модель Паскуилла-Гиффорда, которая является также рабочей моделью Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ). В ее основе лежит представление концентрации примеси, выбрасываемой непрерывным точечным источником в атмосфере, как струи с гауссовыми распределениями по вертикали и в поперечном к ветру направлении:

$$q(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y(x)\sigma_z(x)u} \cdot f_F \cdot f_W \cdot e^{-y^2/2\sigma_y^2(x)} \cdot (e^{-(z-h)^2/2\sigma_z^2(x)} + e^{-(z+h)^2/2\sigma_z^2(x)}),$$

где x, y, z – декартовы координаты, ось z – вверх, ось x – по ветру;

h – эффективная высота источника (т.е. высота с учетом первоначального подъема перегретой струи);

Q – мощность источника выброса;

q – концентрация примеси в данной точке пространства;

u – скорость ветра, усредненная по слою перемешивания;

$\sigma_y(x)$ и $\sigma_z(x)$ – вертикальная и поперечная дисперсии облака примеси;

f_F и f_W – поправки на обеднение облака за счет сухого осаждения примеси и ее вымывания осадками.

Сумма экспонент в этой формуле соответствует поверхности земли, не поглощающей примесь, при абсолютном поглощении будет разность. Основным содержанием модели являются обобщающие многочисленные экспериментальные данные, конкретные функции для $\sigma_y(x)$ и $\sigma_z(x)$ и выражения для h, f_F и f_W . Распределение скорости ветра считают степенной функцией. Конкретные формулы для дисперсий $\sigma_y(x)$ и $\sigma_z(x)$ различны для разных рельефов местности.

Отметим, что реализация этой модели на ЭВМ достаточно проста и время расчетов по ней пренебрежимо мало по сравнению с вводом и выводом информации. Поскольку модель Паскуилла-Гиффорда проста и имеет официальный статус, ее целесообразно реализовать, даже если запланировано создание более совершенных моделей.

Модель Института экспериментальной метеорологии является наиболее совершенной из практически применимых отечественных моделей. Практическая форма этой модели изложена в [12] как официальная модель для расстояний до 100 км. Модель в равной степени пригодна для описания распространения облака, созданного мгновенным источником, и струи от непрерывного источника. Распределения концентрации примеси по всем трем координатам имеют гауссову форму, как и в модели Паскуилла-Гиффорда, однако положение центра облака или струи находят интегрированием кинематического уравнения

$$\frac{d\vec{x}}{dt} = \vec{u}(t),$$

где $\vec{u}(t)$ – скорость ветра в точке, где облако в настоящий момент находится;

$\vec{x}(t)$ – вектор координат центра облака,

t – время движения.

Процесс диффузии в перпендикулярных к ветру направлениях рассматривают как функцию времени, в отличие от чисто пространственных распределений в модели Паскуилла-Гиффорда.

Таким образом, модель включает важные свойства так называемых моделей "лагранжева облака". Это позволяет учесть изменения направления и скорости ветра в процессе распространения облака, и это главное, что позволяет применять модель для расстояний много больших 10 км.

Зависимости дисперсий облака по всем координатам как функции от времени задают формулами, в которые входит параметр Монина-Обухова, заменяющий в качестве характеристики устойчивости атмосферы классы устойчивости Паскуилла. Известна приближенная связь между этими двумя параметрами. В модели учитывают поворот и изменение модуля скорости ветра с высотой.

Данная модель при наличии только простейших метеоданных, т.е. однократного измерения скорости и направления ветра на уровне флюгера, почти не имеет преимуществ по сравнению с более простой моделью Паскуилла-Гиффорда. Ее преимущества реализуются с увеличением информации.

Во-первых, необходимы измерения вектора скорости ветра в процессе распространения облака. Эти сведения могут быть отчасти заменены использованием модели атмосферных течений при заданных метеословиях.

Во-вторых, нужно знать высоту слоя перемешивания. Фактическое измерение практически невозможно, если не ориентироваться на специальный комплекс измерений, в частности, запуск шаров-зондов во время аварии.

Основное отличие *трехмерных моделей* состоит в явном расчете диффузии и переноса примеси. Для этого приходится численно решать начально-краевую задачу для трехмерного уравнения параболического типа:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} + w \frac{\partial c}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} (D_x \frac{\partial c}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (D_y \frac{\partial c}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (D_z \frac{\partial c}{\partial z}) + Q,$$

где $C(x, y, z, t)$ – искомая функция концентрации примеси;

$u(x, y, z), v(x, y, z), w(x, y, z)$ – составляющие поля скорости ветра,

$D(x, y, z, t)$ – тензор коэффициентов турбулентной диффузии,

$Q(x, y, z, t)$ – плотность источника примеси.

Компоненты скорости ветра, коэффициенты тензора диффузии и плотность источника примеси при решении этого уравнения рассматривают как заданные функции. Для задания коэффициентов тензора диффузии используются различные эмпирические модели атмосферной турбулентности, в которых необходимо, прежде всего, задать распределение скорости ветра. К определению пространственного распределения скорости ветра есть принципиально различные подходы.

Авторы обзора [12] выражают скептическую точку зрения: не существует моделей, которые позволили бы предсказывать поле ветров на масштабах 10-100 км. Поэтому единственным путем задания необходимой информации о ветрах они считают методы интерполяции и экстраполяции данных непосредственных измерений. При этом строится распределение ветра на многих уровнях по высоте и на достаточно подробной горизонтальной сетке. Такой путь может быть обобщен за счет типизации метеорологических условий, что позволяет привлечь измерения, выполненные ранее. В любом случае, это большая метеорологическая работа, требующая организации сети постоянно действующих метеодатчиков.

3.2. Модели распространения загрязнений в водной среде. Математическое моделирование водных экосистем является интенсивно развивающейся научной

отраслю. В связи с тем, что прямые эксперименты с природными экосистемами затруднены и часто недопустимы, а возможности их лабораторного моделирования весьма ограничены, математические модели являются одним из основных инструментов количественного и практического регулирования водных экологических систем.

Большинство используемых непрерывных моделей распространения загрязняющего вещества в водоемах включают в себя уравнения Навье – Стокса («гидродинамическую составляющую») и уравнения конвекции – диффузии. Особенностью многих естественных водотоков (реки, каналы) является их протяженность, слабая искривленность и относительная мелководность. Это может быть использовано для значительного упрощения математического описания рассматриваемых процессов без существенной потери точности результатов, поэтому задача построения редуцированных моделей, адекватно описывающих процесс рассеяния примесей, оказывается весьма актуальной. Выделение же «гидродинамической составляющей» оправдано в случае, когда примесь не оказывает влияния на характер движения жидкости в водоеме.

Математическая формулировка задачи о распространении примеси в водоемах. Поведение примеси в водной среде зависит от многих факторов: химических (распад, соединение с другими веществами, выпадение в осадок); физических (переход в другое агрегатное состояние, адсорбция, коагуляция); гидродинамических (перенос течениями и рассеяние в процессе турбулентной диффузии); биологических (аккумуляция и перенос морскими организмами).

Задачи распространения вещества в стационарном водном потоке в общем случае описываются системой дифференциальных уравнений в частных производных, включающей в себя уравнения Навье – Стокса (1), уравнение неразрывности (2) и уравнение переноса вещества (3), учитывающее физико-химическое взаимодействие примеси со средой и наличие источников примеси [13]:

$$\begin{aligned} u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu_1 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \nu_2 \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \nu_3 \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + f_1; \\ u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu_1 \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \nu_2 \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \nu_3 \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} + f_2; \\ u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu_1 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu_2 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu_3 \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} + f_3. \end{aligned} \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0. \quad (2)$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} + w \frac{\partial c}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} (D_x \frac{\partial c}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (D_y \frac{\partial c}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (D_z \frac{\partial c}{\partial z}) - \lambda c + W. \quad (3)$$

Здесь неизвестные функции $u(x, y, z), v(x, y, z), w(x, y, z)$ – составляющие поля скорости; $p(x, y, z)$ – поле давления в стационарном потоке; $c(t, x, y, z)$ – концентрация примеси. Известные параметры: ρ – плотность жидкости, ν_i – коэффициенты вязкости, f_i – компоненты вектора внешней силы, λ – параметр распада вещества, W – источник загрязнений. Параметры D_x, D_y и D_z – коэффициенты диффузии, для упрощения задачи полагают постоянными.

Для системы (1)–(3) ставятся соответствующие краевые и начальные условия. Как правило, это условие равенства нулю скорости на твердых стенках и условия для свободной поверхности, на расход воды или градиент давления, условия на поток примеси через границу, начальное распределение вещества.

Строго говоря, параметры гидродинамической подсистемы (плотности жидкости, ее вязкость) должны зависеть от концентрации примеси. Однако в большинстве случаев, с целью упрощения модели, этой зависимостью пренебрегают, т.е. примесь считается пассивной. В моделях, где концентрация примеси относительно мала (в большинстве задач водной экологии оказывается именно так), такое упрощение вполне оправдано. При таком предположении гидродинамическую подсистему (1) можно решать независимо от уравнения для концентрации (3).

4. Концепция моделирования экосистемы. Компоненты экосистемы региона и взаимосвязи между ними можно представить в виде следующей схемы (рис. 1).

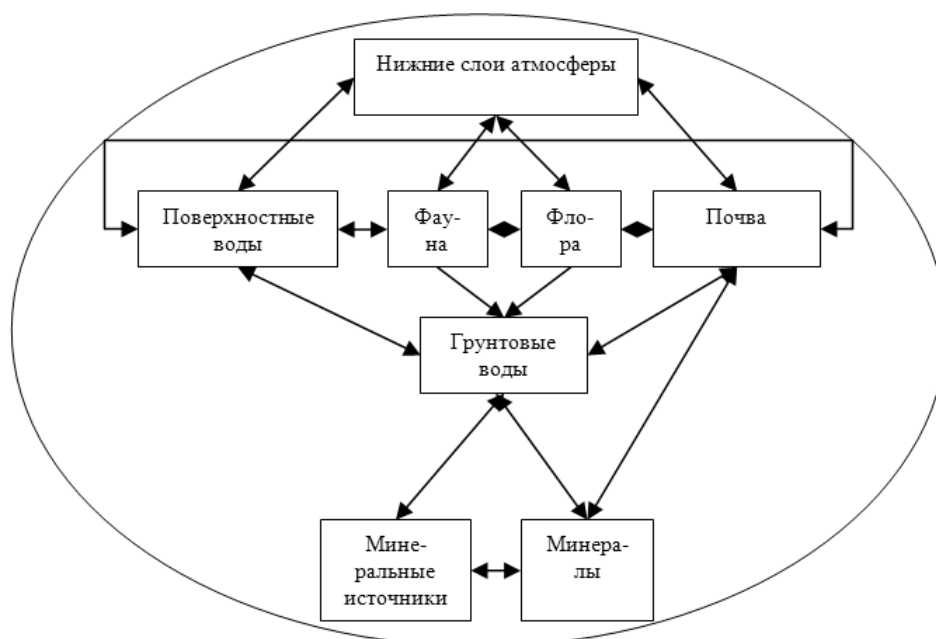


Рис. 1. Структурная схема экосистемы региона

Под регионом можно понимать как весь регион КМВ, так и его территориальные подразделения (подсистемы), к примеру, конкретный населенный пункт, водоем, минеральный источник или горный массив.

При моделировании экосистемы каждый ее компонент необходимо разбить на элементы и ввести вектор конструктивных параметров элемента, определяющий его свойства и состояния. Необходимо также задать правила смены состояний элементов и изучить их воздействие на другие элементы. Например, необходимо изучить, как возникновение загрязнения в нижнем слое атмосферы повлияет на загрязненность поверхностных вод и почвы, на состояние флоры и фауны.

Основная цель моделирования – разработать методы и алгоритмы прогнозирования изменения состояния различных элементов экосистемы под воздействием внешних и внутренних факторов. Целью моделирования является также поиск управляющих воздействий, приводящих систему в желаемое состояние.

Упрощенную схему управления состоянием экосистемы можно представить в виде рис. 2.

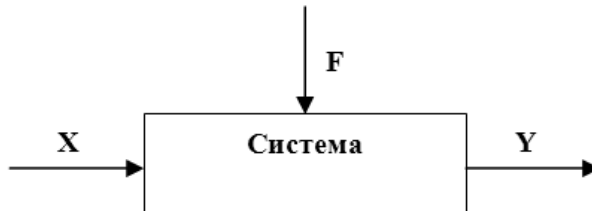


Рис. 2. Схема управления состоянием экосистемы

Допустим, на систему действуют возмущающие параметры F . Основная задача управления заключается в поиске управляющих параметров X , под действием которых система перейдет в желаемое состояние Y . В результате системного анализа экосистемы необходимо определить вид зависимости $Y=W(F, X)$.

Под возмущающими воздействиями можно понимать концентрацию загрязняющих веществ на границе системы, силу и направление ветра и т.п. Под желаемым состоянием Y можно понимать концентрацию загрязняющих веществ в точке с заданными координатами в данный момент времени.

Таким образом, для решения главной задачи моделирования – принятия решения, необходимо получить *выражение, связывающее цель со средствами ее достижения*. Поиску решения данной проблемы и будут посвящены дальнейшие исследования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Малков А.В., Першин И.М. Синтез распределенных регуляторов для систем управления гидролитосферными процессами. – М.: Научный мир, 2007. – 260 с.
2. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеоздат, 1985. – 272 с.
3. Владимиров А.М., Ляхин Ю.И., Матвеев Л.Т., Орлов В.Г. Охрана окружающей среды. – Л.: Гидрометеоздат, 1991. – 424 с.
4. Дубогрей В.Ф., Малков А.В. Математическая модель Кисловодского месторождения минеральных вод. Межвузовский научный сборник. «Управление и информационные технологии». – Пятигорск, 2006. – С. 57-64.
5. Волкова В.Н., Денисов А.А. Теория систем: Учебное пособие. – М.: Высш.шк., 2006. – 511 с.
6. Финаев В.И., Глод О.Д. Основы теории систем: Учебное пособие. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. – 80 с.
7. Садовский В.Н., Юдин Э.Г. Исследования по общей теории систем: Сб. переводов. – М.: Прогресс, 1969. – 520 с.
8. Замай С.С., Якубайлик О.Э. Модели оценки и прогноза загрязнения атмосферы промышленными выбросами в информационно-аналитической системе природоохранных служб крупного города: Учебное пособие. – Красноярск: КГУ, 1998. – 109 с.
9. Учет дисперсионных параметров атмосферы при выборе площадок для атомных электростанций. Руководство по безопасности АЭС. Международное агентство по атомной энергии. Вена, 1980. – 106 с.
10. Бызова Н.Л., Гаргер Е.К., Иванов В.Н. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчет распространения примеси. – Л.: Гидрометеоздат, 1991.
11. Динамическая метеорология. – Л.: Гидрометеоздат, 1967. – 607 с.
12. Махонько К.П. Руководство по организации контроля состояния природной среды в районе расположения АЭС. – Л.: Гидрометеоздат. 1990. – 264 с.
13. Ландау Л.Е., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. – М.: Наука, 1988. – 736 с.

Финаев Валерий Иванович

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: fin_val_iv@tsure.ru.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 88634371773.

Кафедра систем автоматического управления; заведующий кафедрой.

Битюцкая Наталья Ивановна

ГОУ ВПО Пятигорский государственный технологический университет.

E-mail: pgtufist@yandex.ru.

357500, г. Пятигорск, ул. 40-летия Октября, 56.

Тел.: 88793399172.

Finaev Valery Ivanovich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: fin_val_iv@tsure.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: 88634371773.

The Department of Automatic Control Systems; post-graduate student; head chair.

Bitutsaya Nataliya Ivanovna

State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Pyatigorsk State University of Technology”.

E-mail: pgtufist@yandex.ru.

56, 40 Let Ocyabrya, Pyatigorsk, 357500, Russia.

Phone: 88793399172.

УДК 55:504

Б.В. Мамутов

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ

Рассматривается решение задачи автоматизированного контроля качества воды. Рассматриваемая система обладает универсальностью, позволяющей ее при незначительных изменениях переключаться из достаточно специфичной области информирования водоочистных сооружений о качестве поступающей воды, на целый круг новых проблем, таких как экологический мониторинг.

Вода; экология; контроль.

B.V. Mamutov

CAS OF WATER QUALITY CONTROL

The decision of task of the automated control of quality of water is examined. The examined system possesses universality, allowing it at insignificant changes commuted from the specific enough area of informing of waste-water treatment facility about quality of acting water, on the whole circle of new problems, such as an ecological monitoring.

Water; ecology; control.

Работа предприятий энергетической промышленности является ощутимым фактором воздействия на окружающую среду. Тепловое, химическое, радиоактив-