

УДК 004.942+574.51

*Д. Д. ДУБОВИК***АЛГОРИТМ РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОЕМОВ**

Рассматривается моделирование состояния искусственных водохранилищ. Разработан алгоритм построения информационной модели для оценки экологического состояния искусственных водоемов. Для сравнения уровней концентраций веществ в воде по зонам водохранилища в информационной модели используется ранговый анализ. Каждое вещество характеризуется динамикой изменения его концентрации, которая описывается соответствующей графической характеристикой. Подобные графики позволяют определить уровень загрязнения в нужный момент времени, допускают возможность изучения динамики загрязнения в определенном интервале времени наблюдения, что дает возможность получить статистические оценки для решения задачи наблюдения, например, по сезонам.

Ключевые слова: информационная модель, искусственное водохранилище, математическая модель, база данных, элемент, система, мониторинг, полином, оптимизация.

© Д. Д. Дубовик. 2015

Введение. Для формирования информационной модели будем рассматривать систему «искусственное водохранилище – территория водосбора» как территориальную систему, включающую взаимосвязанные природные компоненты и комплексы более низкого таксономического ранга, и формирующаяся под влиянием природных и антропогенных процессов. Функционирование такой системы определено многочисленными связями, внутренними и внешними. Выделяем две подсистемы модели: структурно-компонентную и структурно-морфологическую, которые позволят разработать математическую модель объекта экологического мониторинга для управления экологическим состоянием [1].

Компонентная составляющая состоит из набора всех природных компонентов и связей между ними, синтезирующих обобщенное свойство (эмерджентность - возникающее новое качество системы, как эффект синергии) - природные условия системы. Структурно-морфологическая (территориальная) модель представлена зонами с определенным набором локальных свойств, характерных для выделенной части территории.

Для нормального функционирования антропогенной подсистемы необходим постоянный контроль за состоянием системы «искусственное водохранилище – территория водосбора». Для решения задач управления экологическим состоянием территории требуется создание инструмента для мониторинга, обеспечивающего информацией управляющую систему.

Искусственное водохранилище (ИВ), как объект исследования, мониторинга и управления характеризуется обязательным условием – все входные переменные, или факторы, $x_1, x_2, \dots, x_n$ являются управляемыми, изменяемыми по заданному алгоритму на заданном интервале времени. При этом ИВ рассматривается как единая система с набором определенных качеств.

Введем следующие обозначения. - факторы $x_1, x_2, \dots, x_n$ – измеряемые и управляемые входные переменные ИВ (независимые переменные);

– помехи $z_1, z_2, \dots, z_s$ — неконтролируемые, случайным образом изменяющиеся переменные объекта, недоступные для измерения; они проявляются лишь в том, что изменяют влияние факторов на выходные переменные.

– выходные параметры $y_1, y_2, \dots, y_t$ – контролируемые переменные, которые определяются факторами и связаны с целью управления и мониторинга. Они могут выступать в качестве параметров оптимизации (показатели экологического состояния ИВ). Если удастся ограничиться одним параметром оптимизации, то вектор Y превращается в скаляр y . Тогда функция отклика $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, свяжет параметр оптимизации с факторами, которые в общем случае могут изменяться. Факторы и выходная переменная должны иметь области определения, заданные принципиальными ограничениями. Для решения задачи оптимизации необходимо получить качественную, как правило, статистическую информацию о факторах и зависящей от них выходной переменной. На этой основе строится информационная или математическая модель объекта экологического мониторинга и управления экологическим состоянием [3, 5].

Если пространство с координатами $x_1, x_2, \dots, x_n$ рассматривать как факторное, то графическое изображение функции отклика в факторном пространстве характеризуется поверхностью отклика.

В стационарном состоянии, математическую модель представим полиномом:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n, \beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n). \quad (1)$$

После обработки экспериментальных данных найдем коэффициенты регрессии $b_0, b_1, \dots, b_i, \dots, b_n$, то есть оценки теоретических коэффициентов:

$$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_i, \dots, \beta_n.$$

Математическая модель в форме уравнения регрессии в общем случае будет иметь вид:

$$\hat{y} = b_0 + \sum_i b_i x_i + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + \sum_i b_{ii} x_i^2 + \dots \quad (2)$$

Наряду со статистическими математическими моделями в информационную модель должны быть включены физико-химические модели, описывающие физико-химические закономерности моделируемых процессов. Эти модели представляются системами алгебраических и различных дифференциальных уравнений. Численные значения коэффициентов модели по данным статистической информации находятся на основе решения задачи идентификации. Определим основные термины, которые будут использоваться при разработке информационной модели искусственного водохранилища, которое рассматривается как система, обладающая некоторым набором уникальных свойств и характеристик. При этом будем понимать систему как совокупность связанных элементов, объединенных в одно целое для достижения определенной цели. Под понятием элемент будем подразумевать минимальный неделимый объект. Свойства элемента— это его свойства как целого. Неделимость элемента при этом есть формальное понятие, но не его свойство. Свойства элемента будут зависеть от того, из чего состоит элемент (вода, вещества, микроорганизмы, организмы). При необходимости (в зависимости от целей) элементы могут быть представлены разложением на составляющие или интегрированы в более крупные. Под целью понимается совокупность результатов, определяемых назначением системы. Цель определяет условия объединения элементов в систему [4, 5].

ИВ как инженерные системы описываются с использованием понятий функций и структур. Под функцией системы понимают правила получения результатов, предписанных целью (назначением) системы. При решении различных задач функции системы будем описываться с различной степенью детализации [2, 3].

Под структурой системы будем понимать фиксированную совокупность элементов и связей между ними.

Важнейшим понятием при анализе свойств и качеств ИВ является эффективность как степень соответствия ИВ (системы) своему назначению. Для формализованной оценки эффективности ИВ необходимо

выбрать или сформировать показатель эффективности как меру свойства (характеристик) системы. Показатель эффективности может быть многокомпонентным, то есть может содержать несколько количественных характеристик, относящихся к различным свойствам водохранилища. Для оценок эффективности могут применяться, например, такие показатели, как производительность (рыбное хозяйство, водоснабжение, стоимость единицы объема, надежность, площадь, объем и т. п.). Степень эффективности системы оценивается значением критерия эффективности, который имеет количественный характер, обобщает все ее свойства в одной оценке, мере эффективности системы. Будем использовать два типа критериев – прямой и инверсный. Прямой, если при увеличении эффективности значение критерия возрастает, в противном случае – критерий инверсный.

Для обеспечения адекватности ИМ на всех этапах ее разработки будем обеспечивать сохранение свойств изоморфизма, то есть взаимно-однозначного соответствия свойств ИВ и соответствующей информационной модели [1, 6].

Работа по анализу и конструированию информационных систем выполняется в следующей последовательности.

1. Разработка принципиальной и структурной схемы информационной системы: выявление функций и структуры системы; разработка логической схемы моделирования; анализ алгоритмов модульных задач.
2. Создание математических моделей операций.
3. Разработка алгоритмов, их обоснование, создание рекомендаций по применению.
4. Сортировка и компоновка входных массивов исходных данных.
5. Совокупность систем показателей, языков записи данных, систем кодирования и классификации,

унифицированных систем документации и массивов информации для определения состава информационного обеспечения.

Информационное обеспечение включает:

1. Структуру информации, т. е. правила построения показателей, агрегации документов, и декомпозиции информационных единиц, для целей преобразования информационных единиц в цепочке «вход – система – выход».
2. Перечень информационных единиц или информационных совокупностей (показателей, констант, переменных, документов, других сообщений, необходимых для решения комплекса задач системы).
3. Характеристики качества информации, т. е. систему количественных оценок полезности, значимости, полноты, своевременности, достоверности и других качеств информации.
4. Характеристики движения информации, т. е. количественные оценки потоков информации (объем, интенсивность), определение маршрутов движения документов, построение схем документооборота, временные характеристики функционирования источников информации, получения первичных данных, использования исходных данных, продолжительности хранения, старения и обновления данных.
5. Способы преобразования информации, т. е. методы отбора, доставки, распределения информации, методики расчета показателей, схемы обеспечения информацией подразделений системы управления, подготовки рабочих массивов для решения задач.

При разработке обеспечивается методическое единство информационного обеспечения, т. е. разработка различных подсистем на основе единых принципов, и обеспечение взаимосвязи между системами, подсистемами и модулями ИС.

Таблица 1 – Характеристика стадий исследования и анализа процесса экологического мониторинга искусственного водоема при разработке информационной системы

Тип наблюдения	Исследование управляющей и управляемой систем	Диагностический анализ	Исследование и формализация частей ИМ
Объект наблюдения: ИВ, бассейн ИВ, территориальные единицы водопользования	Установление входа, выхода, внутренней структуры системы	Влияние элементов входа, выхода, внутренней структуры на показатели экологического мониторинга ИВ	Процессы и процедуры в системе и объекте управления экологическим мониторингом ИВ
Единица наблюдения	Материальные и информационные потоки	Результаты решения задач анализа и управления	Информационные или материальные процессы
Программа наблюдения	Получение сведений о процессах развития, функционирования и состояния ИВ и его бассейна	Получение сведений о критических параметрах экологического состояния ИВ	Прогноз и анализ возможных состояний
Орган наблюдения	Установление графика наблюдений Используемый инструментальный и источники информации.	Обработка информации в соответствии с задачами и функциями системы	Формализация результирующей информации. Состав, периодичность получения

Территории водосборных районов искусственных водохранилищ представляются зонально-функциональной структурой [2, 4]. Общие площади территорий характеризуются распределением площадей функциональных зон: промышленных предприятий; селитебных многоэтажных; селитебных зон индивидуальной застройки; рекреационных ландшафтных зон (отдыха); балок, оврагов и пустошей; естественных водных

поверхностей на территории водосбора (реки и озера). Второй блок информации содержит данные о суммарных объемах выбросов токсических веществ в поверхностные воды от подвижных и стационарных источников, площадях территорий, разделяющихся по уровням загрязнения, данные о степени загрязнения воздушной среды, почв, воды по территориям, другие характеристики необходимые для общего экологиче-

ского анализа. Структурирование информации об экологическом состоянии территорий и непосредственно водоемов является основой для разработки баз данных входящих в информационную модель, выбора их структуры, ключей, типа СУБД и т. д. [8]. База знаний информационной модели содержит: методики экологического анализа, методики формирования частных и комплексных показателей загрязне-

ния, методики зонального анализа территории водосбора, классификации территорий водосбора по уровням загрязнения, выделение территорий для наблюдения и контроля, справочники, необходимые для экологического анализа и др.) [6, 7, 9].

Разработка информационной модели осуществляется в соответствии со следующим проектом алгоритма (табл. 2.).

Таблица 2 – Проект алгоритма разработки информационной модели

№	Действие в соответствии с алгоритмом	Результат выполнения
1	Вербальное описание территории водосбора искусственного водохранилища	Общие характеристики территории водосбора
2	Зональное представление водохранилища	Выбор обобщенных зон водохранилища с учетом характера и уровня загрязнения
3	Схема распределения локальных источников экологической информации по территории водохранилища	Структура информационной модели по локальным территориям
4.	Анализ информационных возможностей других источников информации о состоянии водохранилища	Состав измеряемых характеристик и их периодичность, оценка объема накопленных статистических данных за изучаемый период
5.	Анализ распределения локальных источников экологической информации по территории водосбора	Состав измеряемых характеристик и их периодичность, оценка объема накопленных статистических данных за изучаемый период
6.	Оценка диапазонов изменения концентраций химических соединений в водах водохранилища	Диапазоны изменения концентраций химических веществ
7.	Модель динамики концентраций химических соединений в водах водохранилища	Графики изменения концентраций на исследуемом интервале времени
8.	Расчет средних значений приоритетных загрязняющих веществ по локальным зонам на интервале времени	Средние значения приоритетных загрязняющих веществ по локальным зонам на интервале времени
9.	Анализ источников поступления материалов наилка в водохранилище	Зональное распределение территории водосбора по характеру вносимых в воду веществ
10.	Вычисление объемов наносов, вносимых в водохранилище с зональных территорий водосбора по известным методикам	Вычислительные модули, реализующие различные методики расчета объема наносов, модули баз данных, обеспечивающих работу вычислительных модулей
11.	Сбор данных о характере распределения наносов по территории водохранилища на основании известной картографической информации, данных ДЗЗ, экспедиционных измерений	Модуль базы данных о распределении глубин в зональной системе координат (уровень НПУ)
12.	Вычисление объемов воды квазипараллелепипедов зонального распределения на заданные моменты времени	Динамика изменения объема наносов как функции изменения объемов воды в зональной системе координат.
13.	Построение зонального распределения наносов для различных интервалов времени	Динамические характеристики процесса заиления
14.	Оценка экологического состояния наносов по комплексному коэффициенту K_{Σ}	Иерархическая структура зон водохранилища по комплексному коэффициенту K_{Σ}
15.	Определение категории загрязнения наилка в зонах по комплексному коэффициенту и объединение зон с заданными диапазонами его значений	Площади загрязнения интегрированные по категориям в зависимости от значений комплексного коэффициента
16.	Разработка карты наносов	Карта наносов
17.	Выбор экологических характеристик для оценок по специальным заявкам	Оперативный протокол экологического состояния зоны водохранилища или водохранилища в целом
18	Формирование планового протокола об экологическом состоянии искусственного водохранилища за месяц, квартал, год.	Протокол об экологическом состоянии
19	Разработка модели прогноза заиления искусственного водохранилища на различные интервалы времени	Протокол прогноза
20.	Формирование интегрального показателя экологических характеристик территории водосбора	Определение зональных территорий для экологического анализа

Для информационного моделирования используется информация государственных органов статистики, городских управлений экологии, данных област-

ных и городских СЭС, облгидрометеоцентра, данные, опубликованные учеными академических, отраслевых и региональных исследовательских учреждений. При

моделировании состояния искусственных водохранилищ принято выделять обобщенные зоны наблюдения, которые определяются по географическим и экологическим признакам. Это первый этап разработки информационной модели. Для сравнения уровней концентраций веществ в воде по зонам водохранилища в информационной модели используется ранговый анализ. Каждое вещество характеризуется динамикой изменения его концентрации, которая описывается соответствующей графической характеристикой. Такие графики позволяют определить уровень загрязнения в нужный момент времени. Они допускают возможность изучения динамики загрязнения в определенном интервале времени наблюдения, что дает возможность получить статистические оценки для решения задачи наблюдения.

Ниже приведен пример графика сезонных изменений загрязняющего вещества (рис. 1).

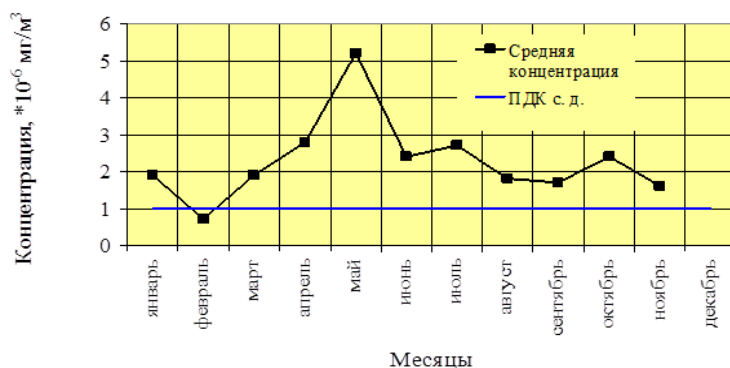


Рис. 1 – Динамика среднемесячных концентраций вещества в воде искусственного водохранилища

Выводы. Построена математическая модель объекта экологического мониторинга и управления экологическим состоянием. Разработана информационная модель, которая позволяет оперативно получать необходимую информацию из базы данных, которая содержит методики экологического анализа, методики формирования частных и комплексных показателей загрязнения, методики зонального анализа территории водосбора, классификации территорий водо-

сбора по уровням загрязнения, выделение территорий для наблюдения и контроля, справочники, необходимые для экологического анализа и графики изменений концентраций химических веществ в воде.

Список литературы: 1. Оксанич, А. П. Інформаційні системи і технології маркетингу [Текст] / А. П. Оксанич. – К.: «Видавничий дім „Професіонал», 2008. – 320 с. 2. Россинский, К. И. Термический режим водохранилищ [Текст] / К. И. Россинский. – М.: Наука, 1975. – 168 с. 3. Колесов, Ю. Б. Моделирование систем. Объектно-ориентированный подход. Учебное пособие [Текст] / Ю. Б. Колесов, Ю. Б. Сениченков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 192 с. 4. Душин, В. К. Теоретические основы информационных процессов и систем: Учебник [Текст] / В. К. Душин. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и Ко», 2006. – 348 с. 5. Волкова, В. Н. Информационные системы: Учебное пособие [Текст] / В. Н. Волкова // под ред. В. Н. Волковой, Б. И. Кузина. – СПб.: СПбГТУ, 2001. – 216 с. 6. Светлов, Н. М. Информационные технологии управления проектами: Учеб. Пособие [Текст] / Н. М. Светлов, Г. Н. Светлова // 2-е издание, перераб. и доп. – М.: ИД. "Форум": ИНФРА, 2012. – 232 с. 7. Мартишин, С. А. Проектирование и реализация баз данных в СУБД MySQL с использованием MySQL Workbench: Учебное пособие [Текст] / С. А. Мартишин, В. А. Симонов, М. В. Храпченко. – М.: ИД. "Форум": ИНФРА, 2012. – 160 с. 8. Michel, B. Ice accumulation at freeze-up or break up. Proc. IAHR Symp. On Ice Problems [Text] / B. Michel Lulea. – 1978. – Part 2. – P. 301–307. 9. Люха, В. О. Основы экологии [Текст] / В. О. Люха, И. Дерий. – К.: Фітосоціоцентр, 2000. – 200 с.

Bibliography (transliterated): 1. Oksanich, A. P. (2008). Informacijni sistemi i tehnologii marketingu. Kiev: «Vidavnichij dim „Profesional», 320. 2. Rossinskij, K. I. (1975). Termicheskij rezhim vodoxranilishh. Moscow: Nauka, 168. 3. Kolesov, Yu. B., Senichenkov, Yu. B. (2006). Modelirovanie sistem. Obektno-orientirovannyj podhod. Uchebnoe posobie. SPb.: B XV-Peterburg, 192. 4. Dushin, V. K. Teoreticheskie osnovy informacionnyx processov i sistem: Uchebnik. Moscow: Izdatelsko-torgovaya korporacija «Dashkov i Ko», 2006. – 348 s. 5. Volkova, V. N. (2001). Informacionnye sistemy: Uchebnoe posobie. Pod red. V. N. Volkovoj, B. I. Kuzina. SPb.: SPbGTU, 216. 6. Svetlov, N. M., Svetlova, G. N. (2012). Informacionnye tehnologii upravleniya proektami: Ucheb. Posobie. 2-e izdanie, pererab. i dop. Moscow: ID. "Forum": INFRA, 232. 7. Martishin, S. A., Simonov, V. A., Xrapchenko, M. V. (2012). Proektirovanie i realizaciya baz dannyx v SUBD MySQL s ispolzovaniem MySQL Workbench: Uchebnoe posobie. Moscow: ID. "Forum": INFRA, 160. 8. Michel Lulea, B. (1978). Ice accumulation at freeze-up or break up. Proc. IAHR Symp. On Ice Problems, 2, 301–307. 9. Ilyuxa, V. O., Derij, I. (2000). Osnovi ekologii. Kiev: Fitosociocentr, 200.

Поступила (received) 20.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Дубовик Денис Дмитриевич – аспирант, Институт технической механики и государственное космическое агентство НАН Украины, ул. Ляшко-Попеля, 15, г. Днепрпетровск, Украина, 49600; email: denic3d@gmail.com.