

помощью частотно-манипулированных сигналов на 79 частотах, выбор которых обеспечивается со скоростью 1600 с^{-1} случайным образом с помощью тактового генератора.

Основным недостатком устройства является ограничение в дальности передающей системы, что позволяет использовать ее только в условиях стационара. Перспективой развития технологии BLUETOOTH является сопряжения ее с системой мобильной либо сотовой связи, что позволит передавать информацию практически на любое расстояние.

3. Выводы

Рассмотренная беспроводная телеметрическая система позволяет произвести сбор данных ЭЭГ с поверхности головного мозга на расстоянии от 10 до 100 м, провести их анализ, зафиксировать появление характерных волн на ЭЭГ, предупреждающих о надвигающемся эпилептическом припадке, и предотвратить его посредством стимуляции тригеминального нерва головного мозга. Использование технологии BLUETOOTH, активно внедряемой в современных цифровых информационных системах, позволяет реализовать устройство в виде малогабаритного носимого блока, укрепленного на теле пациента. Передатчик устройства потребляет ток 29 мА, все приемо-передающее устройство может разместиться на плате размером $3 \times 3 \text{ см}$. Стоимость микросхемы приемо-передатчика составляет порядка \$5. Таким образом, данная

система может с успехом использоваться в клиниках для диагностики и лечения эпилепсии. При этом энергетические и материальные затраты сводятся к минимуму. Показаны перспективы развития многоканальной системы.

Литература: 1. <http://137.172.248.46/epilepsy.htm>. 2. *Остроухов В.Д.* Конспект лекций по курсу "Интроскопия". 3. *Зенков Л.Р., Ронкин М.А.* Функциональная диагностика нервных болезней, М.: Медицина. 1982. 432 с. 4. *Miguel L. Nicolelis* "Actions from thoughts", NATURE/VOL 49/18 January 2001. 5. *Erika E. Fanselow, Ashlan P. Reid and Miguel A. L. Nicolelis* Reduction of Pentylentetrazole-Induced Seizure Activity in Awake Rats by Seizure-Triggered Trigeminal Nerve Stimulation / The Journal of Neuroscience, November 1, 2000, 20(21). P.8160–8168. 6. Cambridge Silicon Radio, BlueCore 01b, DataSheet, www.csr.com

Поступила в редколлегия 30.07.2003

Рецензент: д-р физ.-мат. наук Рожницкий Н.Н.

Бей Дмитрий Сергеевич, стажер-исследователь каф. РЭУ ХНУРЭ. Научные интересы: моделирование биотелеметрических систем, программирование, цифровые технологии. Хобби: иностранные языки, программирование. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. (057)-7021-444.

Чумаков Владимир Иванович, д-р техн. наук, зав. кафедрой РЭУ ХНУРЭ. Научные интересы: генерирование мощных импульсных электромагнитных излучений и прикладные проблемы; радиоэлектронные медицинские системы и комплексы. Хобби: иностранные языки, музыка. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. (057)-7021-444.

УДК 658.5

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА НА СОСТОЯНИЕ ВОДНОГО ОБЪЕКТА

МУРАВЬЕВА И.С., ЧАЙНИКОВ С.И.

Рассматривается математическая постановка задачи, описывающей изменения показателей качества воды. Предлагается алгоритм для численного решения поставленной задачи. Проводится моделирование экологической обстановки в водном объекте, возникающей в результате аварийных ситуаций, вызванных разрушением плотины.

При планировании водохозяйственных мероприятий важное значение имеет учет качества воды. Это обусловлено тем, что вследствие развития промышленности, урбанизации обширных территорий и интенсивного развития сельского хозяйства происходят изменения состава водных объектов под влиянием сточных вод, содержащих различные минеральные и органические вещества. Увеличение емкостей шламонакопителей в связи с необходимостью сокращения занимаемых ими земель происходит за счет их наращивания. Рост высоты подпорных сооружений, а также ряд других причин

обуславливают повышение вероятности возникновения аварийных ситуаций, вызванных разрушением тела дамбы.

Цель статьи – реализация численного моделирования экологической обстановки в водном объекте в результате аварийной ситуации, вызванной разрушением тела дамбы.

Задачей статьи является проведение численного эксперимента для проверки эффективности разработанного алгоритма решения эволюционной задачи.

При проведении расчетов аварийный процесс делится на два этапа:

1. Разрушение тела плотины (размыв гребня и пляжной зоны, движение потока по внешнему откосу сооружения и размыв его).
2. Движение потока по прилегающей к плотине местности.

На первом этапе определяются параметры потока: скорость, расход, глубина, ширина.

На втором этапе – параметры зоны предполагаемого затопления.

Для выполнения расчетов в общем случае используется модель, описывающая динамику распространения субстанции в жидкой среде, следующего вида:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \operatorname{div} U \varphi + \sigma \varphi = D \varphi + f, \quad (1)$$

$$\text{где } D \varphi = \frac{\partial}{\partial x} \mu \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu \frac{\partial \varphi}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \eta \frac{\partial \varphi}{\partial z},$$

начальные условия: $\varphi = \varphi_0$ при $t = 0$,

граничные условия:

$$\varphi = \varphi_s \text{ на } \Sigma \text{ при } u_n < 0,$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial n} = 0 \text{ на } \Sigma \text{ при } u_n \geq 0,$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial z} = \alpha \varphi \text{ на } \Sigma_0,$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial z} = 0 \text{ на } \Sigma_H,$$

$$\operatorname{div} U = 0, w = 0 \text{ при } z = 0, z = H,$$

где $\varphi(x, y, z, t)$ – интенсивность субстанции, мигрирующей вместе с потоком жидкости в водоеме; $U = u\bar{i} + v\bar{j} + w\bar{k}$ – вектор скорости частиц жидкости; $\bar{i}, \bar{j}, \bar{k}$ – единичные векторы в направлении осей x, y, z ; $\mu \geq 0$ и $\eta \geq 0$ – соответственно горизонтальный и вертикальный коэффициенты диффузии; $\sigma \geq 0$ – величина, обратно пропорциональная времени; $f(x, y, z, t)$ – функция, описывающая источники рассматриваемой субстанции; φ_0 и φ_s – заданные функции; u_n – проекция вектора U на внешнюю нормаль к поверхности S ; $\frac{\partial \varphi}{\partial n}$ – производная по направлению внешней нормали к Σ ; Σ – боковая поверхность; Σ_H – сечение поверхности на уровне $z = H$; Σ_0 – сечение поверхности на уровне $z = 0$.

Однако во многих случаях целесообразно использование двумерных приближений. Проинтегрировав уравнение диффузии (1) по высоте, приходим к двумерной постановке задачи:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{\partial u \varphi}{\partial x} + \frac{\partial v \varphi}{\partial y} + \sigma \varphi = \mu \Delta \varphi + f,$$

$$\varphi = \varphi_0 \text{ при } t = 0,$$

$$\varphi = \varphi_s \text{ на } \Sigma \text{ при } u_n < 0,$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial n} = 0 \text{ на } \Sigma \text{ при } u_n \geq 0.$$

Для редукции данной эволюционной задачи к более простым используется метод расщепления по физическим процессам. В результате решение исходной задачи сводится к поочередному решению трех более простых задач:

1) перенос примесей по траекториям:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{\partial u \varphi}{\partial x} + \frac{\partial v \varphi}{\partial y} + \frac{\partial w \varphi}{\partial z} = 0;$$

2) турбулентная диффузия примесей:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \mu_x \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu_y \frac{\partial \varphi}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \eta \frac{\partial \varphi}{\partial z};$$

3) локальные преобразования примесей и влияние источников: $\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \sigma \varphi = f$.

Такое представление модели распространения субстанции упрощает ее программную реализацию. Решение каждого предыдущего этапа в момент времени $t = t_{j+1}$ служит начальным условием для последующего этапа в момент времени $t = t_j$. Аппроксимируя уравнения по пространственным координатам и по времени, получаем цепочку конечно-разностных уравнений, описанную в [1].

С помощью данного метода было выполнено моделирование распространения пятна загрязнения в Бугском лимане в результате аварийной ситуации, вызванной разрушением тела плотины.

Анализ аварий хвостохранилищ показывает, что примерно 50% их происходит вследствие перелива через гребень, 40% – от оползания откосов.

В общем случае процесс размыва – явление нестационарное: происходит быстрое изменение твердой границы и поверхности потока. При этом размыв происходит как в глубину, так и в ширину. В последующем – процесс роста глубины прорана завершается, но в хвостохранилище остается запас воды, который образует напоры, достаточные для создания скоростей в потоке, превышающих размывающие – происходит размыв в ширину.

Территория, в пределах которой возможно движение потока воды и разжиженного грунта, рассматривается как зона затопления (опасная зона). Ее размеры определяются максимальными значениями параметров потока. Для зоны затопления необходимо предусматривать специальные мероприятия по защите окружающей среды.

При выборе расчетных створов учитывалось фактическое состояние плотины шламонакопителя, ее топографическое местоположение и карта прогноза развития неблагоприятных физико-геологических процессов.

Оценка воздействия шламовых вод на состояние Бугского лимана в аварийных ситуациях проводилась в следующем порядке:

– определялись наименее благоприятные метеорологические условия;

– для выбранных метеоусловий расчетным путем определялись ветровые течения на прилегающем к плотине участке лимана;

– определялась группа загрязняющих веществ, характерных для фильтрационных вод, концентрации которых превышают соответствующие фоновые концентрации в воде лимана;

– для выбранной группы загрязняющих веществ определялся ореол распространения и степень загрязнения лимана.

Оценка влияния фильтрационных вод шламонакопителя на качество воды лимана (по гидрохимичес-

ким показателям) состоит в определении пятна «добавочного» загрязнения, формируемого в результате выклинивания фильтрационного потока в лиман.

«Добавочное» загрязнение - это концентрация загрязняющего вещества, добавляемая к фоновой концентрации для получения абсолютной концентрации вещества в воде лимана. Величина этой добавки и ее отношение к ПДК в совокупности определяют степень влияния фильтрационных вод шламонакопителя на качество воды лимана (по гидрохимическим показателям).

При выборе критических показателей качества вод лимана необходимо учитывать, что в его формировании участвуют нагонные течения Черного моря. Следовательно, нужно руководствоваться как речными, так и морскими ПДК.

Расчеты проводились по методу, описанному в [1].

В качестве расчетной концентрации примеси в фильтрационных водах принималась разница между концентрациями ее в фильтрационной воде и расчетной фоновой в воде лимана. Таким образом, при расчете пятна загрязнения выделялась приращиваемая часть концентрации примеси за счет воздействия фильтрационных вод шламонакопителя.

В качестве наименее благоприятного направления ветра было принято северное, так как оно способствует сносу загрязняющих веществ к пос. Лиманы. Скорость ветра принята равной 5 м/с (наиболее характерная скорость ветра для региона), как наименее способствующая перемешиванию и выносу загрязняющих веществ в устье лимана.

Размер рассматриваемого участка определялся из экологической целесообразности и был задан в границах: 1 км выше и 1 км ниже места расположения плотины (контрольный створ для нормирования загрязняющих веществ в поверхностных водных объектах при рыбохозяйственном водопользовании определяется радиусом 500 м от места водопользования).

Схема ветровых течений на участке Бугского лимана в районе Русской косы с указанием мест разлива шламовых вод в лиман в аварийных ситуациях показана на рис. 1.

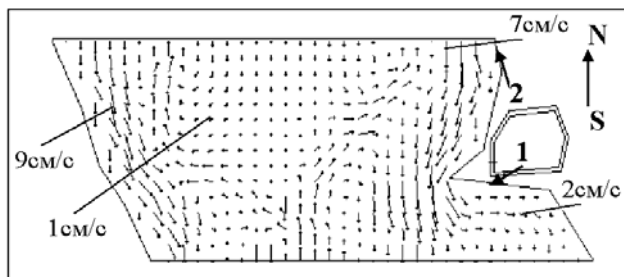


Рис. 1. Схема расчетных ветровых течений

Стрелками на рис. 1 показаны места разлива шламовых вод в Бугский лиман в аварийных ситуациях:

— южная стрелка (1) показывает место разлива шламовых вод в лиман в первом створе, когда прорыв дамбы шламонакопителя происходит в наиболее близко расположенном к лиману месте;

— северная стрелка (2) показывает место разлива шламовых вод в лиман во втором створе, когда прорыв дамбы шламонакопителя происходит в месте, наиболее близко расположенном к району порта, и шламовые воды попадают в акваторию порта.

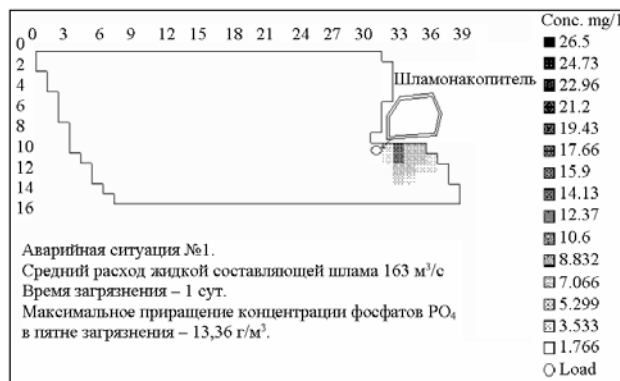


Рис. 2. Пятно загрязнения Бугского лимана фосфатами в аварийной ситуации №1 через 1 сут. после начала разлива

Как видно из расчета, на участке лимана в районе Русской косы имеются сильные водовороты и почти застойные обширные области, что ограничивает возможность разбавления и выноса загрязнений из региона.

Динамика распространения пятна загрязнения в лимане в результате аварийной ситуации на шламонакопителе определяется полем ветровых течений и параметрами источника загрязнения.

Динамика распространения пятна загрязнения в лимане показана на примере изменения концентрации фосфатов PO_4 (как среднего по концентрации вещества).

Хронологический срез динамического процесса распространения в лимане загрязняющего пятна при аварийной ситуации №1 через одни сутки после начала разлива приведен на рис. 2.

Как следует из результатов прогнозного моделирования, через 4 суток пятно загрязнения практически «растворяется» в воде лимана.

Хронологический срез динамического процесса распространения в лимане загрязняющего пятна при аварийной ситуации №2 через 12 часов после начала разлива приведен на рис. 3.

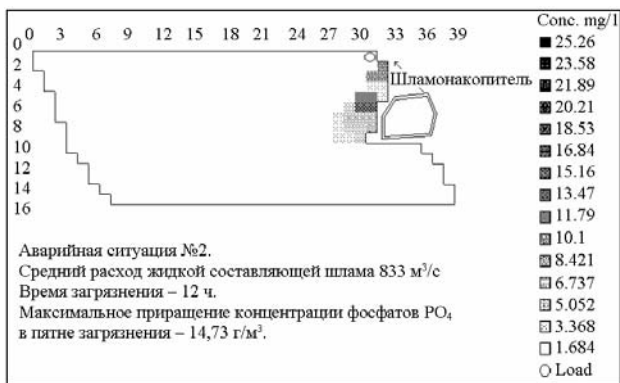


Рис. 3. Пятно загрязнения Бугского лимана фосфатами в аварийной ситуации №2 через 12 ч после начала разлива

Процесс практически полного разбавления (до фоновой концентрации) пятна загрязнения Бугского лимана происходит за 5-6 суток.

Динамика изменения максимальных концентраций загрязняющих веществ и максимальных значений показателей качества воды в пятне загрязнения при аварийной ситуации № 1 приведена на рис. 4.

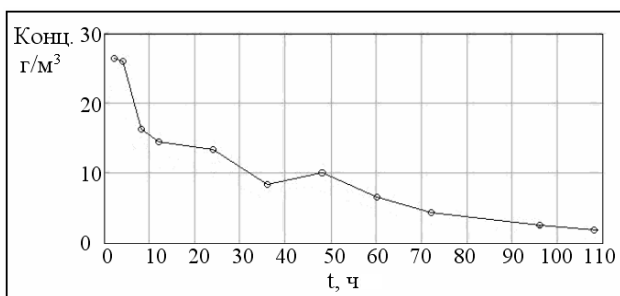


Рис. 4. Динамика изменения максимальных концентраций PO₄

Из рис. 4 видно, что на 48 часу распространения пятна все концентрации загрязняющих веществ и значения показателей качества воды повышаются, а затем они снижаются по экспоненциальному закону. Это происходит потому, что на этом участке пятно загрязнения попадает в водоворот, где его плотность повышается. После выхода из водоворота продолжаются обычные процессы перемешивания и переноса.

Динамика изменения максимальных приращений концентраций загрязняющих веществ и максимальных значений показателей качества воды в пятне загрязнения при аварийной ситуации № 2 приведена на рис. 5.

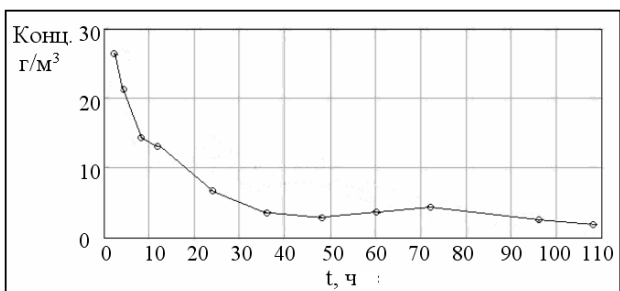


Рис. 5. Динамика изменения максимальных концентраций PO₄ при ситуации №2

Как было показано выше, процесс изменения максимальных концентраций веществ в пятне загрязнения не является монотонно убывающим. Возрастание концентраций отмечено в местах, когда пятно загрязнения целиком или частично попадает в водовороты. Поскольку ветровые течения лимана за пределами расчетного участка в рамках данной работы не изучались, при прогнозе временного процесса разбавления пятна загрязнения следует руководствоваться закономерностью разбавления, полученной на основании результатов моделирования на расчетном участке.

В обеих аварийных ситуациях излив шламовой воды произойдет в лиман. При аварии в первом отсеке шламонакопителя место разлива определено на берегу лимана в 100-150 м за плотиной. При аварии во втором отсеке поток поступит в лиман в районе заводского порта. При этом в зону затопления попадет часть территории промплощадки между отвалом и горизонталью 10,0 м.

Экологические последствия аварийных ситуаций оценивались по уровню их влияния на состояние воды в Бугском лимане.

Заключение

Рассмотрена математическая модель переноса субстанции в турбулентном потоке.

Осуществлена программная реализация, моделирующая перенос субстанции в жидкой среде.

С помощью разработанного программного продукта было выполнено моделирование распространения пятна загрязнения в Бугском лимане в результате аварийной ситуации, вызванной разрушением тела плотины.

Моделирование процесса загрязнения Бугского лимана шламовыми водами позволило определить динамику перемещения пятна загрязнения в акватории лимана за интервал времени продолжительностью 5 суток. Динамика распространения пятна загрязнения в лимане показана на примере изменения концентрации фосфатов PO₄ (как среднего по концентрации вещества). Как следует из результатов прогнозного моделирования, через 4 суток пятно загрязнения практически «растворяется» в воде лимана.

Литература: 1. *Муравьева И. С.* Расчет основного разбавления для водоемов // Радиотехника и информатика. 2003. №2. С. 137-140. 2. *Фельзенбаум А. И.* Теоретические основы и методы расчета установившихся морских течений. М.: Изд. Академии наук СССР. 1960. 127с.

Поступила в редколлегия 24.11.2003

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Авраменко В.П.

Муравьева Ирина Сергеевна, аспирантка кафедры системотехники ХНУРЭ. Научные интересы: экология, гидрология, системный анализ, автоматизация проектирования. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 702-13-06.

Чайников Сергей Иванович, доцент кафедры системотехники ХНУРЭ. Научные интересы: экология, гидрология, системный анализ, автоматизация проектирования. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 702-13-06.