

## МОНИТОРИНГ МАЛЫХ ВОДОЗАБОРОВ

Е.З. Арифиллин

В статье предложена математическая модель для точного прогнозирования подтопления, рассматривается соотношение количества малых водозаборов, подлежащих мониторингу и оценке риска вероятности перехода в аварийное состояние

Ключевые слова: мониторинг, водозабор, вероятность, моделирование

Мониторинг на объектах малых водозаборов, т.е. гидротехнических сооружений является основополагающей системой измерительных, визуальных наблюдений за техническим состоянием объектов, сооружений [1]. При проведении мониторинга прогнозирования чрезвычайных ситуаций целесообразно использование математической модели распространения воды.

С математической точки зрения процесс распространения воды при разрушении малых водозаборов с довольно высокой точностью может быть описан уравнением диффузии, учитывающей рельеф местности, впитывающие свойства грунта, динамику таяния снега, осадки, влажность.

$$\frac{\partial}{\partial t} W(\vec{r}, t) = \nabla [D(W, \vec{r}, t) \nabla W(\vec{r}, t)] \quad (1)$$

$W(\vec{r}, t)$  – высота слоя воды в данной точке

$\vec{r}$  местности; где  $t$  – время;  $\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j}$  –

оператор набла;  $x, y$  – декартовы координаты исследуемой точки местности;  $\vec{i}, \vec{j}$  – единичные векторы декартова пространства; – векторное произведение;  $D(W, \vec{r}, t)$  – коэффициент распространения воды (коэффициент диффузии), зависящий от высоты слоя воды, положения на местности и от времени.

Данное уравнение является чрезвычайно сложным и допускает аналитическое решение лишь в простейших случаях (одномерное приближение, максимально простая форма рельефа, постоянный коэффициент диффузии и т.п.).

Поэтому для исследуемого в настоящей работе процесса решение уравнения (2) сразу ориентируется на использование сеточных конечно-разностных численных методов.

Для каждого узла  $(i, j)$  на каждом шаге интегрирования высота слоя воды  $W_{i,j,k}$  зависит от высоты слоя воды в соседних узлах следующим образом.

$$\frac{\Delta W_{i,j}}{\Delta t} = D \left( \frac{(W_{i+1,j} + H_{i+1,j} - W_{i,j} - H_{i,j}) - (W_{i,j} + H_{i,j} - W_{i-1,j} - H_{i-1,j})}{(\Delta x)^2} + \frac{(W_{i,j+1} + H_{i,j+1} - W_{i,j} - H_{i,j}) - (W_{i,j} + H_{i,j} - W_{i,j-1} - H_{i,j-1})}{(\Delta y)^2} \right) \quad (2)$$

где  $\Delta t$  – шаг дискретизации по времени;  $H_{i,j}$  – высота поверхности в точке  $(i, j)$ ;

$\Delta x = \Delta y = d$  – шаг дискретизации пространства;  $D$  – коэффициент распространения воды. Преобразование этого уравнения приводит к следующему результату:

$$\frac{W_{i,j}^{\tau+1} - W_{i,j}^{\tau}}{\Delta t} = \frac{D}{d} \left( (W_{i+1,j}^{\tau} + W_{i-1,j}^{\tau} + W_{i,j+1}^{\tau} + W_{i,j-1}^{\tau}) + (H_{i+1,j}^{\tau} + H_{i-1,j}^{\tau} + H_{i,j+1}^{\tau} + H_{i,j-1}^{\tau}) - 4 \cdot (W_{i,j}^{\tau} + H_{i,j}^{\tau}) \right) \quad (3)$$

При использовании последней формулы можно на текущем шаге интегрирования по времени  $\tau$  пересчитать высоту слоя воды  $W_{i,j}^{\tau}$  каждого узла  $(i, j)$  для следующего шага интегрирования  $\tau + 1$ .

Коэффициент распространения воды  $D$  принят независимым от местности, высоты слоя воды, времени. Для иллюстрации возможностей разработанной модели приведены три характерных рельефа местности (рис. 1).

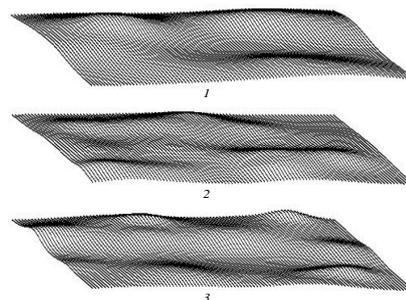


Рис.1. Рельеф местности для трех тестовых примеров

По рисунку можно определить специфику рельефа местности с отображением прудов малых водозаборов по различным уровням и контурам изолиний перепада высот, что является характерным примером при условном затоплении местности, скорости течения водяного потока и цвета впадин возможного установившегося затопления (рис.2).

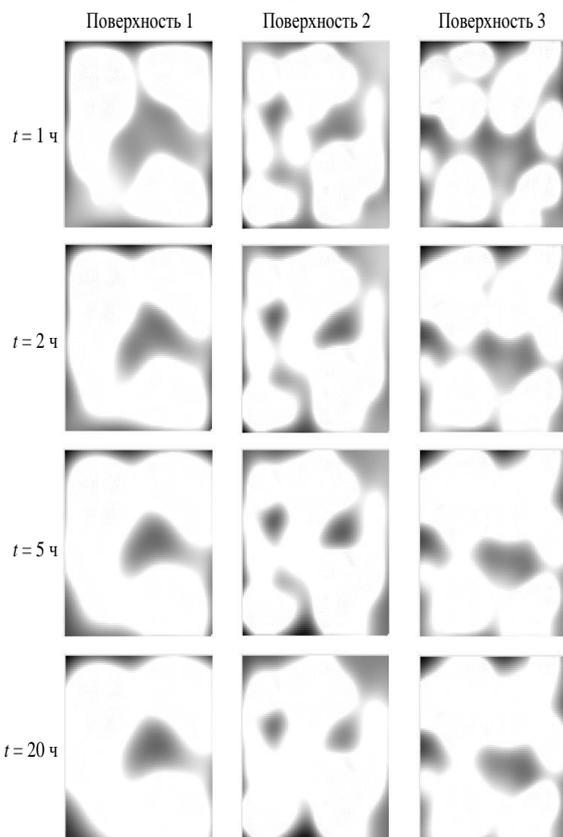


Рис. 2. Распределение вод местного стока по трем тестовым поверхностям. Степень затемнения соответствует высоте слоя воды

На территории Воронежского региона проведен мониторинг малых водозаборов, где значительную часть данных объектов составили малые водозаборы, водонапорные сооружения малых и средних водохранилищ, имеющих IV класс опасности, расположенных по 32 административным районам области (рис. 3).

Выявлено что, в Верхнехавском, Лискинском, Новоусманском и Семилукском районах Воронежской области, аварийными опасными объектами оставались 8 прудов и 1 земляная плотина.

На основании результатов фактического состояния водозаборов по четырем районам можно сделать вывод, что причины аварий, возникающих на данных объектах, являлись и остаются техническое состояние плотин, донный водоспуск и паводковый водосброс.

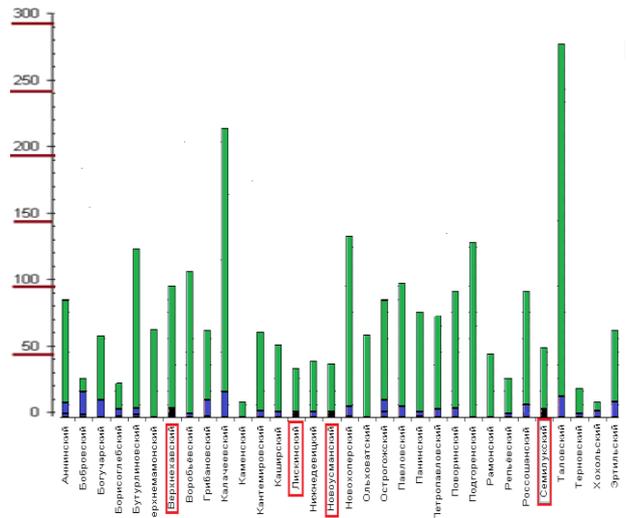


Рис. 3. Количество водозаборных сооружений расположенных в административных районах Воронежской области

Для более полной оценки опасности от аварий на малых водозаборах целесообразно использовать коэффициент потенциальной опасности [4]. Объясняется это тем, что коэффициент потенциальной опасности  $K_0$  определяется соотношением общего объема  $V_{ГТС}$  прудов и водохранилищ на территории данных районов к площади этого района  $S_{терр}$ .

$$K_0 = V_{ГТС}/S_{терр} \quad (4)$$

В данной работе использованы методы ранжирования и для определения перехода объектов в аварийное состояние вычисления математической вероятности.

Просчитана потенциальная опасность подтопления по четырем административным районам Воронежской области (формула 4). Итог результатов расчетов приведен в таблице.

Следовательно, что наибольшее опасное аварийное состояние и неудовлетворительные последствия от него могут возникнуть в случае прорыва малых водозаборов, в Верхнехавском, Новоусманском районах. Для них отмечаются самые высокие коэффициенты  $K_0$ . В остальных районах области (Семилукский, Лискинский) опасность является менее значительной.

Ранжирование по степени потенциальной опасности четырех административных районов Воронежской области

Административный район	Площадь S, км <sup>2</sup>	Полезный объём ГТС V, млн. м <sup>3</sup>	V/S, тыс. м <sup>3</sup> /км <sup>2</sup>	Результат ранжирования
Верхнехавский район	1300	29	22,31	7
Новоусманский район	1500	22	14,67	13
Семилукский район	1600	15	9,38	17
Лискинский район	2000	11	5,5	20

Проведены расчеты и получены результаты исследования в 13 административных районах Воронежской области по мониторингу предаварийных объектов.

Оценена математическая вероятность перехода 28 напорных сооружений находящихся в аварийном состоянии, в том числе: 12 аварийных земляных плотин, 9 паводковых аварийных водосбросов, 7 аварийных водоспусков. Рассчитаны, величины вероятности перехода в аварийное состояние объекта ( $P_{ГТС}$ ) за определенный отрезок времени с интенсивностью отказов  $\lambda(t)$  по выражению:

$$\lambda(t) = n(\Delta t)/(N_{cp} \Delta t) \quad (5)$$

где  $\lambda(t)$  – интенсивность отказов напорных сооружений;  $n(\Delta t)$  – число отказов сооружений за определенный промежуток времени;

$N_{cp} = (N_i + N_{i+1})/2$  – среднее число исправных сооружений рассматриваемого вида, в интервале  $\Delta t$ ;

$N_i$  – количество рассматриваемого вида напорных сооружений, исправно функционирующих в начале интервала  $\Delta t$ ;

$N_{i+1}$  – количество сооружений водозабора рассматриваемого вида, исправно функционирующих в конце интервала  $\Delta t$ . Для итогового практического расчета определения вероятности отказа каждого из видов напорных сооружений использована формула Пуассона [3]:

$$P_m = P(X=m) \approx \gamma^m \cdot e^{-\gamma} / m! \quad (6)$$

где  $\lambda$  – интенсивность отказов рассматриваемого вида напорных сооружений;  $m$  – число отказов реального напорного сооружения. Следовательно, определения вероятности отказа одного конкретного напорного сооружения рассматриваемого вида для  $m = 1$ , формула (4) примет вид:

$$P = \lambda \cdot e^{-\lambda} \quad (7)$$

Определено основное техническое состояние надежности работы малых водозаборов расположенных по соответствующим районам области, рассчитав  $N_{cp}$  – среднее число исправных сооружений рассматриваемого вида, в интервале  $\Delta t$

$$N_{cp} = (N_i + N_{i+1})/2 = 14;$$

$$\lambda(t) = n(\Delta t)/(N_{cp} \Delta t) = 0,13.$$

Рассчитана статистическая интенсивность отказов по данным районам, где располагаются гидротехнические сооружения  $\lambda(t)$  будет таковой  $1,3 \cdot 10^{-1}$  1/год.

Просчитана вероятность перехода в аварийное состояние малого водозабора как единого целого  $P_{ГТС} = \lambda \cdot e^{-\lambda} = 0,114$ . Проведены расчеты для отдельных водных объектов малых водозаборов: земляной плотины, паводковых аварийных водосбросов, аварийных водоспусков.

Вероятность для земляных плотин:

$$N_{cp} = (28 + (28 - 12))/2 = 22;$$

$$\lambda(t) = 12/(22 \cdot 15) = 0,036;$$

$$P_{з.п.} = 0,036 \cdot e^{-0,036} = 0,034$$

Вероятность для паводковых водосбросов:

$$N_{cp} = (28 + (28 - 9))/2 = 23,5;$$

$$\lambda(t) = 9/(23,5 \cdot 15) = 0,026;$$

$$P_{а.в.} = 0,025 \cdot e^{-0,025} = 0,024$$

Вероятность для аварийных водоспусков:

$$N_{cp} = (28 + (28 - 7))/2 = 24,5;$$

$$\lambda(t) = 7/(24,5 \cdot 15) = 0,019;$$

$$P_{а.в.} = 0,019 \cdot e^{-0,019} = 0,018$$

На основании результатов математических расчетов фактического состояния объектов по отдельным районам установлено, что причинами аварий, возникающих на данных объектах, является техническое состояние плотин, и переполнение водой на момент начала половодья.

Таким образом, была проведена оценка риска водных объектов геосистем, учитывающая показатели вероятности перехода в предаварийное и аварийное состояние, разработана математическая модель распространения воды при разрушении малых водозаборов по административным районам Воронежской области. Модель обладает достаточной универсальностью и может быть использована при проведении мониторинга прогнозирования чрезвычайных ситуаций.

1. Арифиллин Е.З. Мониторинг безопасности гидротехнических сооружений по Воронежской области [Текст] / Е.З. Арифиллин, В.И. Федянин // Материалы международной научно-практической конференции Воронеж: Научная книга, ВИВТ, - 2008. – С.15-19.

2. Арифиллин Е.З. Общая характеристика гидротехнических сооружений и основных поражающих факторов гидродинамической аварии [Текст] / Е.З. Арифиллин, А.В. Калач // Материалы всероссийской научно-практической конференции Воронеж: ВИ ГПС МЧС России, - 2013.- С. 214-216.

3. Акимов В.А. Надежность технических систем и техногенный риск [Текст] / В.А. Акимов, В.Л. Лапин, В. М. Попов // - М.: ЗАО ФИД "Деловой экспресс", - 2002 .- С. 368

4. Козлов К.А. Прогностические оценки опасностей субъектов (регионов) Российской Федерации [Текст] / К.А Козлов // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. М.: 2001, - Выпуск 3. - С.91-102.

Воронежский государственный технический университет

## **MATHEMATICAL MODELLING AND RISK ASSESSMENT FOR MONITORING OF THE SMALL WATER INTAKES**

**E.Z. Arifullin**

In article the ratio of quantity of small water intakes of subjects to monitoring and estimates of risk of probability of transition to a critical condition, and also computer mathematical modeling of possible flooding of the district is considered

Key words: monitoring, water intake, probability, modeling