УДК 504.06

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЯХ

© 2021 Е.В. Муравьева[1], Е.В. Арефьева[2], Д.О. Копытов[3], А.И. Шакирова[1]

[1] Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань, Россия
[2] Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций (федеральный центр науки и высоких технологий), г. Москва, Россия
[3] Учебно-методический центр Минобрнауки России при Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

Статья поступила в редакцию 02.06.2021

В статье рассматривается актуальная проблема чрезвычайных ситуаций на гидротехнических сооружениях. С незапамятных времен человек непрерывно разрабатывал различные методы и технику, чтобы воспользоваться преимуществами водных ресурсов, а также защитить себя от разрушительного действия воды. Таким образом, на территории Республики Татарстан было возведено большое количество гидротехнических сооружений, которые относятся к гидродинамическим опасным объектам. Аварии на указанных объектах являются источниками техногенных чрезвычайных ситуаций. Ряд гидротехнических сооружений на территории эксплуатируются без реконструкции более 70 лет, и большинство из них находятся в аварийном состоянии [1]. Проблема обеспечения безопасности гидротехнических сооружений остается не до конца изученной и актуальной на сегодняшний день. Как правило, в основном все гидротехнических сооружений находятся в черте или выше населенных пунктов и являются объектами повышенного риска, так как разрушение плотин может привести к экологической катастрофе. Также неполное разрушение плотины, когда безопасная эксплуатация сооружения уже невозможна, может привести к серьезным экономическим потерям в результате прекращения производства энергии, гидравлического регулирования и сбора воды в водохранилище [2-3]. Поэтому, требуется тщательное наблюдение с целью выявления любых возможных чрезвычайных ситуаций. Одним из выходов в сложившейся ситуации видится использование различных методов прогнозирования аварийных ситуаций на гидротехнических сооружениях. В связи с этим, в работе авторами была адаптирована математическая модель на основе цепей Маркова, отличающаяся оперативностью вычислений и высокой степенью приближения к статистическим данным. Данная модель позволяет прогнозировать состояние гидротехнических сооружений при изменении данных по уровню воды и объему просачивания в гидротехническом сооружении. На основе адаптированной модели получены результаты прогнозирования уровня воды для реальных гидротехнических сооружений.
Ключевые слова: гидротехнические сооружения, экологическая катастрофа, чрезвычайные ситуации, плотины, цепь Маркова.
DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-5-82-89

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках соглашения № 075-11-2019-087 от 18.12.2019.

ВВЕДЕНИЕ

За последние несколько лет катастрофически выросло количество чрезвычайных ситуаций природного характера, практически в 2 раза за последние 20 лет. Прежде всего, такие явления происходят из-за резкого изменения климата и экстремальных погодных условий. Ежегодно из разных уголков земли можно услышать о таких стихийных бедствиях, как наводнения, оползни, штормы, лесные пожары и засуха. Вместе с этим природные катаклизмы с каждым годом приносят все больший экологический, экономический и социальный ущерб для обширных территорий [4].

В России в соответствии с климатическими особенностями закономерно сменяются половодье и межень. Половодье обычно приходится на время весеннего снеготаянья, когда уровень водыэкстремально повышается и выходят из своих берегов. Межень обычно повторяется ежегодно в летний период. При таком режиме изменчивости уровня воды необходимо, чтобы избыток воды в период половодья использовался

Муравьева Елена Викторовна, доктор педагогических наук, профессор, заведующая кафедрой промышленной и экологической безопасности. E-mail: elena-kzn@mail.ru
Арефьева Елена Валентиновна, доктор технических наук, главный научный сотрудник. E-mail: elaref@mail.ru
Копытов Дмитрий Олегович, директор Учебно-методического центра. E-mail: dokopytov@mail.ru
Шакирова Алсу Ильнуровна, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной и экологической безопасности. E-mail: alsugal92@mail.ru

для устойчивой поддержки сельскохозяйственного производства [5-7]. С таким стратегическим подходом на территории Республики Татарстан было возведено большинство гидротехнических сооружений, которые обеспечивают максимальное использование водных ресурсов для увеличения животноводства и растениеводства.

В некоторых случаях гидротехнические сооружения, такие как плотины, водосбросы, водосливы, водопропускные каналы, не выполняет свои главные функции, для которых они были сооружены, и оказывают вредное воздействие на окружающую среду, так, например,в случае прорыва плотины энергия воды, хранящейся за плотиной, способна вызвать быстрое и неожиданное наводнение в нижнем бьефе, что приведет к гибели людей и значительному материальному ущербу. Таким образом, гидротехнические сооружения можно отнести к объектам повышенной опасности.

Гидротехническое сооружение – это искусственно созданное сооружение, основное предназначение которого является накопление водных ресурсов. Кроме того, гидротехнические сооружения используются для регулирования стоков, борьбы с наводнениями и гидроэнергетики. Для того, чтобы избежать катастрофического разрушения необходимо обеспечить исправность конструкции, плотины, которое может привести к серьезным последствиям.

Недавние бедствия и необходимость защиты окружающей среды требуют принятия нестандартных мер, таких как зонирование поймы, контроль за развитием, предупреждение о бедствиях, прогнозирование и смягчение последствий бедствий.

В связи с этим на территории Республики Татарстан в 2018 году была утверждена Концепция построения и развития аппаратно-программного комплекса «Безопасный город» в Республике Татарстан на 2018-2022 годы. Основной целью данной концепции является повышение общего уровня общественной безопасности и безопасности среды обитания за счет создания комплексной информационной системы, обеспечивающей прогнозирование, мониторинг и предупреждение возможных угроз, а также контроль устранения последствий чрезвычайных ситуаций и правонарушений с интеграцией под ее управлением действий информационно-управляющих подсистем различных организаций (дежурных, диспетчерских, муниципальных служб) с обеспечением их оперативного взаимодействия в интересах муниципального образования [8]. Одной из задач данной концепции является прогнозирования существующих и потенциальных угроз для обеспечения безопасности населения муниципального образования.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

По данным международной комиссии по большим плотинам в мире насчитывается около300 тыс. гидротехнических сооружений. В России общее количество поднадзорных ГТСсоставляетоколо 30 тысяч, из которых более 1225 на территории Республики Татарстан. Из общего количества ГТС 79% имеет высоту менее 30м и только 1% сооружений высотой более 100м [9]. Признаков, по которым классифицируют ГТС, несколько, основные показаны на рисунке 1. В зависимости от высоты и типа грунтов основания, социально-экономическойответственности и последствий возможных гидродинамическихаварий подразделяют на 4 класса [10]. 96% от общего количества ГТС относятся к IV классу, 2,6% к III классу, 1,3% коII классу, и всего лишь 0,4% к Iклассу. По типу, больше всего земляных плотин, они составляют 64%, далее каменные – 14%, гравитационные – 13%, арочных – 5%, и оставшиеся контрфорсные и многоарочные в совокупности составляют 4%, также различают смешанный тип плотин, например, каменно-земляная [11].

В последние годы количество аварий на ГТС с катастрофическими последствиями повысилось. Одними из главных причин таких аварий являются:

- старение плотин, больше часть из них были возведены еще 60-70 лет назад, когда эксплуатационной нормой считается 40 лет, не редко бывает, что конструкции сооружения заржавели и не способны выполнять свою функцию;

- антропогенный фактор, когда ответственный персонал, эксплуатирующий ГТС имеет низкую квалификацию и не подготовлен к ликвидации последствий аварийных ситуаций, а также при ошибках, возникающих во время проектирования, строительства или вводе в эксплуатацию сооружения, а также неэффективного надзора за их безопасностью;

- бесхозность ГТС, только за 2020 на территории РФ было выявлено более 3тысяч сооружений, не имеющих собственника;

- повышения уровня воды во время весеннего половодья и паводков, когда водосбросы не справляются с сверхрасчетными объемами воды, а также при отсутствии в нужное время персонала для своевременного открытия гидротехнических затворов[12].

Аварии на гидротехнических сооружениях могут представлять угрозу населению, природным и хозяйственным объектам, инфраструктуре, находящихся в нижнем бьефе плотины.Чаще всего происходят аварии на земляных плотинах в 53% случаях, в 23 % случаях на гравитационных, 3% – на арочных, 4% – каменных и 17% – другие типы.Более 35% разрушений земляных

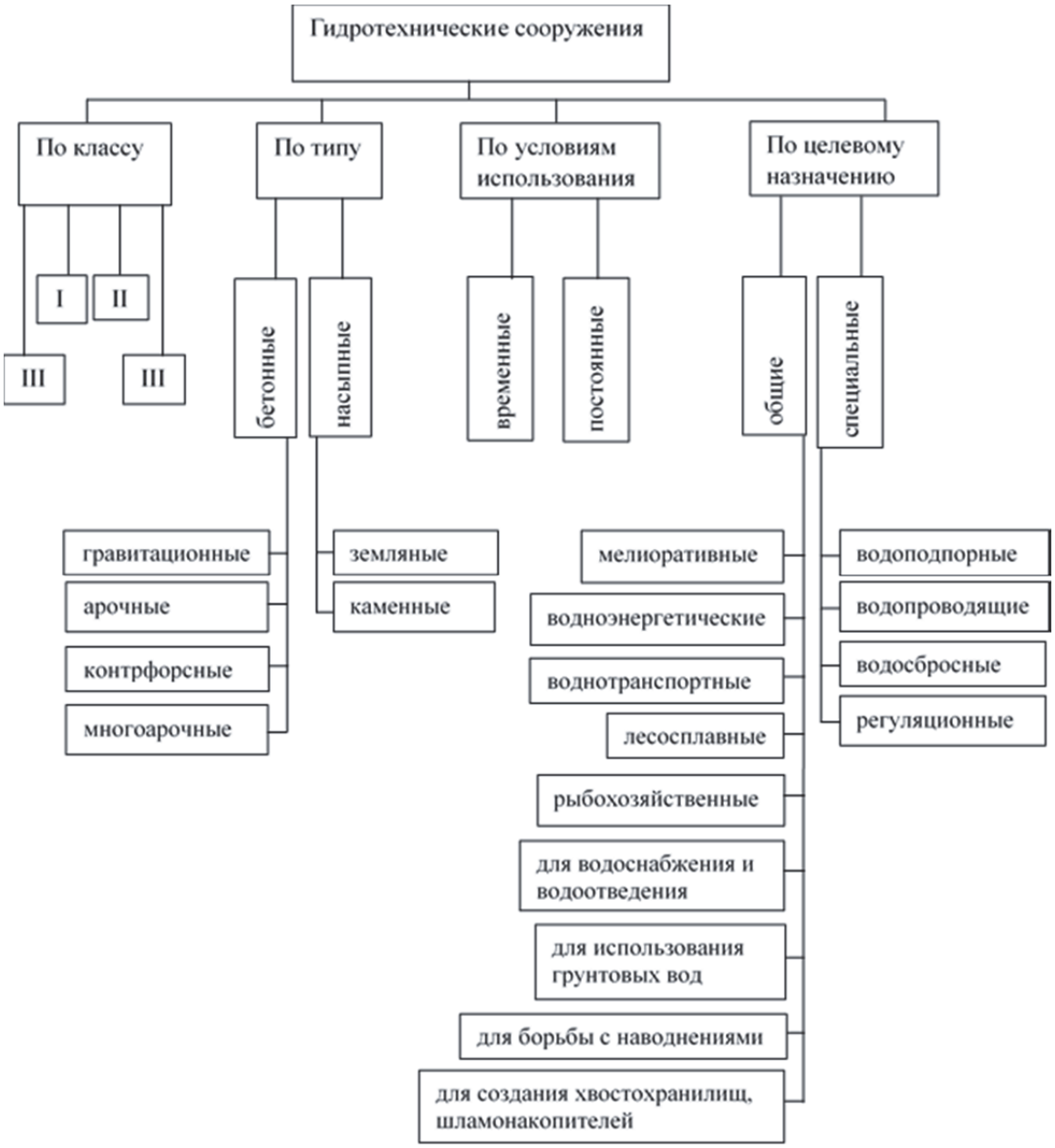

Рис. 1 – Классификация гидротехнических сооружений

плотин происходило из-за перелива воды через тело плотины, 1/3 из них в свою очередь повреждалась из-за отказов в работе затворного оборудования[2]. Именно земляные плотины будут рассматриваться в дальнейшем исследовании.

Деформации в насыпных плотинах возникают из-за неравномерного оседания и чрезмерных растяжений материала насыпи, фундамента, также из-за обильных осадков, сейсмических явлений, природных стихийных бедствий, деятельности животных и давления воды во время и после заполнения (рис. 2). Такого образа деформации проявляется при строительстве и эксплуатации гидротехнических сооружений. Образование трещин и деформаций на грунтовых водоподпорных элементах плотины представляет угрозу, особенно в зоне повышенного насыщения грунта водой [7]. Чрезмерное просачивание воды в грунт становится проблемой и может представлять угрозу целостности конструкции, что может привести к разрушению плотины.

Рост разрушения гидросооружений заставляет обратить внимание на проблему их безопасности. Всего лишь 40% ГТС в России соответствуют нормальному уровню безопасности. Около 13% имеют неудовлетворительный уровень, а почти 10% не подлежат эксплуатации из-за превышения предельно допустимых значений критериев безопасности, что грозит потерей их работоспособности [2].

Для понижения разрушительных последствий вод на гидротехнических сооружениях вводят мероприятия организационного и технического характера. Организационныемеры непосредственно связаны с применением

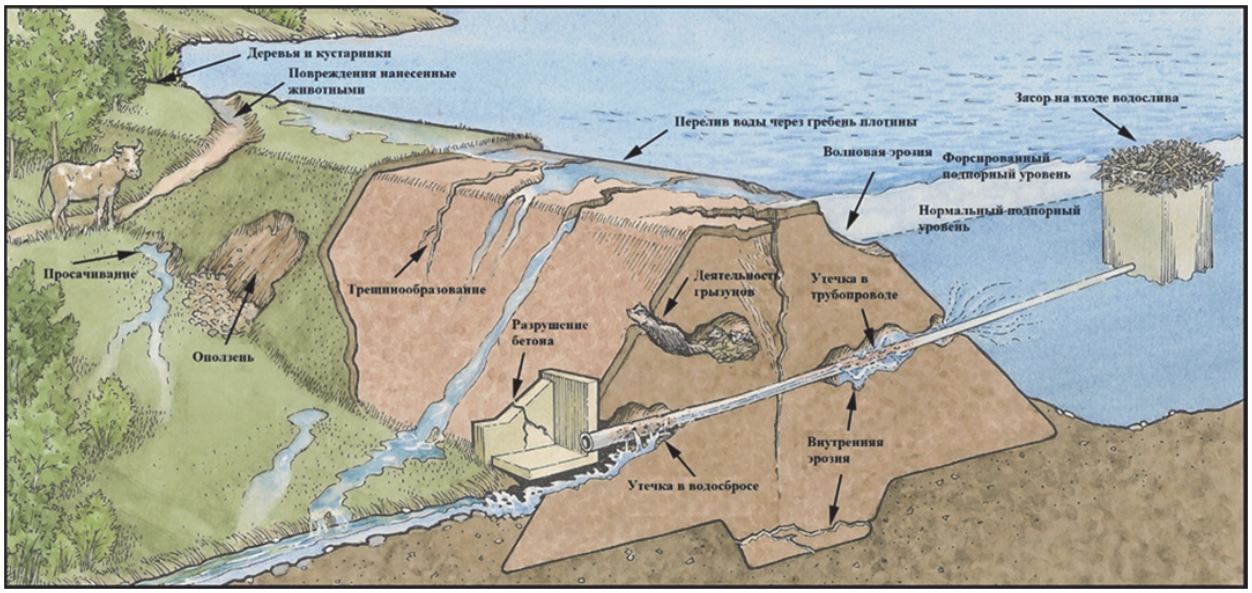

Рис. 2 – Плотина с наиболее вероятными причинами разрушений [12]

управленческих решений и включают в себя проведения оценки риска согласно ФЗ №117 [12]. Как правило, анализ риска имеет качественную и количественную части. Качественная часть определяет возможные способы отказа, а также условия и события, которые должны произойти для возникновения отказа. Количественная часть дает численную оценку вероятности и последствий отказа плотины. При количественном анализе эта оценка выполняется с помощью модели риска, которая включает в себе вероятность событий, вероятность отказа плотины и величину неблагоприятных последствий данной аварии плотины.

Деревья событий являются наиболее распространенным математическим инструментом, используемым для построения моделей риска [7].

К техническим относятся все технические средства, осуществляющие мониторинг ГТС.

Плотины требуют постоянного обслуживания, мониторинга, прогнозирования разрушения плотины, проверок безопасности ииногда даже восстановления для продолжения безопасной эксплуатации.

Прямой ущерб от наводнений зависит от высоты и скорости подъема уровня воды, их продолжительности, времени года, степени освоенности и экономического развития территории, плотности населения, от своевременности прогноза и принятия предупредительных мер. В настоящее время точность прогнозирования стихийных бедствий, таких как наводнения, представляет собой серьезную проблему для инженерного мира. Для прогнозирования наводнения использовался ряд методов. Некоторые из этих методов включали варианты метода Монте-Карло или методы математического моделирования.

Для прогнозирования аварийной ситуации на гидротехнических сооружениях можно применить цепь Маркова. Цепи Маркова представляют собой математические системы, которые переходят от одного «состояния» (ситуации или набора значений) к другому. Цепь Маркова – это случайный процесс, который включает случайную величину $\{X_0, X_1, \ldots, X_n\}$: X_t описывает состояние системы в момент времени t. Цепь Маркова условно не зависит от всех остальных предшествующих случайных величин. На рисунке 3 показан процесс цепи Маркова.

Данная модель позволяет прогнозировать различные случайные, слабо детерминированные численные ряды. Для построения модели цепей Маркова используют «матрицу перехода» для подсчета вероятностей перехода. Каждое состояние в матрице включается один раз в виде строки и еще раз в виде столбца, и каждая ячейка в матрице сообщает вероятность перехода из состояния своей строки в состояние своего столбца. Если в модель состояния добавить еще одно состояние, добавляется еще одна строка и один столбец к каждому существующему столбцу и строке. Это означает, что количество ячеек растет квадратично по мере добавления состояний в цепь Маркова. Таким образом, модель цепи Маркова прекрасно походят для прогнозирования нежелательных событий на гидротехнических сооружениях. Так, например с по-

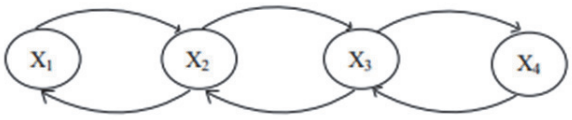

Рис. 3 – процесс Марковской цепи [14]

мощью данной модели можно спрогнозировать уровень воды на гидротехническом сооружении. Критическое повышение уровня воды во время весенних половодий грозит переливом воды через гребень плотины, который в свою очередь может привести к аварийной ситуации на гидротехническом сооружении.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для построения теоретической модели с помощью цепи Маркова были взяты трехмесячные значения отметок уровней воды $X^t = x_k^t$ на гидротехническом сооружении Республики Татарстан, где *t* – год измерения, а *k* – порядковый номер измерения. Построили прогноз уровня воды на летний период 2021 года, основываясь на теории Марковских цепей, по имеющимся данным за летний период 2019 и 2020 года. Данные уровня воды фиксировались еженедельно в течение двух месяцев. Значения собранных данных в течение 3-ех месяцев за 2019 и 2020 года:

$$X^{2019} = \begin{pmatrix} 142.5 & 142.8 \\ 142.4 & 141.5 \\ 142.6 & 143.6 \\ 143.8 & 144.3 \\ 144.54 & 145 \\ 144.8 & 143.5 \end{pmatrix} \quad X^{2020} = \begin{pmatrix} 143.5 & 142.4 \\ 142.1 & 142.7 \\ 141.8 & 142.2 \\ 142 & 143.3 \\ 143.6 & 144.2 \\ 144.5 & 145 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

Имеющиеся уровни воды, которые попадут в одну из пяти градаций ξ_n минимальным, нормальный, выше нормы, критический и недопустимый (таблица 1).

Из имеющихся данных построим матрицу вероятностей переходов. Каждый элемент этой матрицы представляет собой вероятность перехода из заданного *i*– состояния (строка) к следующему *j*– состоянию (столбец), то есть в дискретный момент времени *t* уровень воды будет принадлежать к одному из категорий ξ_n где $n = \{1,2 \dots 5\}$.

В 2019 году система в начальный момент времени t=2018 вычисляется по формуле $S^{2019} = \{E_i\}$, где *i*=1…5, E_i – это значения 12 наблюдений? попавшие в *i*- категорию [15]. Изменение состояния системы в 2019, 2020 и 2021 годах – связано с переходом данных наблюдений из одной категории в другую.

$$S^{2019} = \begin{pmatrix} 3 \\ 3 \\ 2 \\ 3 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

По данным таблицы 1 составлена таблица 2 частот перехода от одного состояния к другому:

Данные за 2020 год запишем в матрицу следующим образом (4):

$$E^{2020} = \{e_{ij}^{2019}\}, \quad (3)$$

$$E^{2020} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где e_{ij}^{2019} – количество замеров уровней воды, которые принадлежали *i*-категории в 2019 году и попали в *j*-категорию в 2020 году.

Просуммировав столбцы матрицы E^{2020} получим следующий результат (5):

$$S^{2020} = \begin{pmatrix} 5 \\ 3 \\ 1 \\ 2 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (5)$$

Если поделить каждое число на сумму по соответствующей строке таблицы 2, получим вероятность перехода от одного состояния к другому. Это, безусловно, будет не истинное значение вероятности, а ее статистическая оценка. Эти оценки приведены в матрицу (6):

$$P = \{e_{11}^{2020}/E_1\} = \begin{pmatrix} 0.33 & 0.67 & 0 & 0 & 0 \\ 0.67 & 0 & 0 & 0 & 0.33 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.33 & 0.33 & 0.33 & 0.33 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad (6)$$

В матрице каждый элемент отображает вероятность перехода из состояния *t*=2019 в *t*=2021. Матрица прогнозированных вероятностей получается возведением в квадрат матрицы *P* [15]:

$$P^2 = \begin{pmatrix} 0.56 & 0.22 & 0 & 0 & 0.22 \\ 0.22 & 0.45 & 0 & 0.33 & 0 \\ 0.33 & 0.67 & 0 & 0 & 0 \\ 0.55 & 0.11 & 0.11 & 0.11 & 0.11 \\ 0 & 0.33 & 0.33 & 0.33 & 0 \end{pmatrix}, \quad (7)$$

Таблица 1 – разделение уровней воды по категориям

Минимальный уровень, ξ_1	$x_k^t \le 142.5$
Нормальный уровень, ξ_2	$142.5 < x_k^t \le 143.5$
Уровень выше нормы, ξ_3	$143.5 < x_k^t \le 144$
Критический уровень воды, ξ_4	$144 < x_k^t < 145$
Недопустимый уровень воды, ξ_5	$145 \le x_k^t$

Таблица 2 – Частота переходов от состояния значений уровня воды 2019 года к состоянию значений уровня воды 2020 года.

2019 г.	ξ_1	ξ_2	ξ_3	ξ_4	ξ_5	S^{2019}
ξ_1	e_{11}	e_{12}	e_{13}	e_{14}	e_{15}	E_1
ξ_2	e_{21}	e_{22}	e_{23}	e_{24}	e_{25}	E_2
ξ_3	e_{31}	e_{32}	e_{33}	e_{34}	e_{35}	E_3
ξ_4	e_{41}	e_{42}	e_{43}	e_{44}	e_{45}	E_4
ξ_5	e_{51}	e_{52}	e_{53}	e_{54}	e_{55}	E_5
S^{2020}	$\sum e_{i1}^{2019}$	$\sum e_{i2}^{2019}$	$\sum e_{i3}^{2019}$	$\sum e_{i4}^{2019}$	$\sum e_{i5}^{2019}$	

В результате получается матрица, где каждый элемент показывает прогнозируемое количество наблюдений уровня воды, которые перешли из категории i в категорию j. Например, значение в ячейке, где i=2, j=1, равно 0,22, что значит, что вероятность перехода из нормального в минимальный уровень воды равна 2,2%.

В результате можно вычислить матрицу прогнозируемых значений с помощью уравнения (8):

$$E_{\text{прог}}^{2021} = P^2 \times S^{2019} = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (8)$$

В результате получаем прогнозируемое состояние (9):

$$S_{\text{прог}}^{2021} = P^2 \times S^{2019} = \begin{pmatrix} 6 \\ 4 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (9)$$

Всего возможных исходных событий может быть 12. И из этих 12 возможных событий 6 попадают в интервал с минимальным уровнем воды, т.е. вероятность наступления события с минимальным уровнем воды в 2021 году составит 6/12 или 0,5; и также с оставшимися прогнозируемыми состояниями: вероятность наступления события с нормальным уровнем воды составит 4/12 или 0,33; с критическим – 1/12 или 0,083 и недопустимым – 1/12 или 0,083.

За 2021 год были получены данные с уровнем воды на данном ГТС (10):

$$X^{2021} = \begin{pmatrix} 142.3 & 142.5 \\ 145 & 143.5 \\ 143.2 & 142.6 \\ 143.1 & 142.4 \\ 144.4 & 142.2 \\ 143.3 & 142.4 \end{pmatrix}, \quad (10)$$

Реальное состояние системы в 2021 году (11):

$$S_{\text{реал}}^{2021} = \begin{pmatrix} 5 \\ 5 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (11)$$

В результат получается, что прогнозируемое и реальные состояния уровня воды имеют приближенные значения. Погрешность в измерениях составила 8%. Модель не дает конкретных значений уровня воды, а только предполагает динамику изменения уровня воды на конкретный период. Таким образом, с помощью модели цепи Маркова можно рассчитать не только уровень воды для последующих годов, но и другие нежелательные процессы, происходящие на гидротехническом сооружении, например, фильтрационные утечки, эрозионные процессы и т.д.

Ввиду простоты и достоверности модели, она может быть использована для дальнейшего анализа состояния гидротехнического сооружения. Но для осуществления данного метода необходимы средства инструментального контроля. Почти во всех гидротехнических сооружениях на территории Республики Татарстан отсутствуют всяческие средства контроля, что и усложняет процесс прогнозирования.

ВЫВОДЫ

В последние годы количество случаев с разрушением плотин увеличивается во всем мире. Основными причинами разрушений является старение и износ конструктивных элементов плотины, низкая квалификация и невнимательность обслуживающего персонала, неправильные технические решения при проектировании и нарушения правил при вводе в эксплуатацию сооружения, катастрофы природного и техногенного характера, а также в случае терроризма.

Беря во внимание события за последние несколько лет можно с точностью сказать, что количество аварий на гидротехнических сооружениях будут расти, если вовремя не предпринимать превентивных мер. Затронутая тема пока остается актуальной и тому причиной является отсутствие должного внимания безопасности гидротехнических сооружений, а именно из-за бесхозности большинства ГТС, отсутствия средств контроля и изношенности технических элементов гидротехнических сооружений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Рыбаков А.В.* Методика оценки защищенности плотин из грунтовых материалов от действия поражающих факторов паводка / А.В. Рыбаков, Е.В. Иванов, Д.Ш. Сибгатулина //XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2020. Т. 9. № 1 (49). С. 145-150.
2. *Рыбаков А.В*. Оценка устойчивости гидротехнических сооружений к воздействию поражающих факторов опасных природных явлений / А.В. Рыбаков, Е.В. Иванов, Д.Ш. Сибгатулина, Г.С. Алёшкин // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2020. № 4. С. 539-546.
3. *Muraveva E.V.* Provision of ecological safety of water supplying system of industrial enterprises / *E.V.* Muraveva, O.A. Stepuschenko, D.Sh. Sibgatulina, A.I. Galimova, V.Yu. Vinogradov // В сборнике: Proceedings of the Sixth International Environmental Congress (Eighth International Scientific-Technical Conference) «Ecology and Life Protection of Industrial-Transport Complexes» ELPIT 2017. 2017. С. 217-229.
4. *Arefieva, E. V.* The issues of sustainability of historical and cultural areas associated with their periodic underflooding and solutions / E.V. Arefieva, E.V. Muraveva, E. I.Alekseeva // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety - 6. Analysis, Assessment and Technologies of Natural and Man-Made Disasters Reduction, Chelyabinsk, 25–27 сентября 2019 года. – Chelyabinsk: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 066031. – DOI 10.1088/1757-899X/687/6/066031.
5. *Алексеева, Е. И.* Оценка подверженности объектов культурного наследия Республики Татарстан к опасным экзогенным геологическим процессам / Е. И. Алексеева, Е. В. Арефьева // Вестник НЦБЖД. 2021. № 3(49). С. 73-80.
6. *Alekseeva E.I.* Assessment of the Vulnerability of Architectural Monuments to Dangerous Natural Processes / *E.V. Arefyeva, L.N. Gorina, E.I. Alekseeva* // Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. 180. P. 159-170.
7. *Romanovsky, V. L.* Conducting a comparative analysis of the system state options under various external influences / V.L. Romanovsky, E.I. Alekseeva, L.N. Gorina // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety, ICCATS 2020, Sochi, 06–12 сентября 2020 года. – Sochi, 2020. – P. 042035. – DOI 10.1088/1757-899X/962/4/042035.
8. Постановление Кабинета Министров Республики Татарстан от 29 декабря 2018 г. № 1318 “ Об утверждении Концепции построения и развития аппаратно-программного комплекса “Безопасный город” в Республике Татарстан на 2018 - 2022 годы”. URL: https://docs.cntd.ru/document/550323991 (дата обращения 12.05.2021).
9. Малик Л.К. Чрезвычайные ситуации, связанные с гидротехническим строительством (ретроспективный обзор) / Л.К. Малик // Гидротехническое строительство. 2009. № 12. С. 2-16.
10. СНиП 33-01-2003 «Гидротехнические сооружения. Основные положения»
11. Официальный Татарстан: [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Казань. –2017. –URL: https://tatarstan.ru/about/geography.htm (дата обращения 12.05.2021).
12. Шакирова А.И. Системы мониторинга технического состояния и предупреждения аварийных ситуаций на гидротехнических сооружениях с использованием волоконно-оптических средств инструментального контроля: дисс. … канд. техн. наук. Казань, 2020. 225 с.
13. Федерального закона от 21.07.1997 № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружениях»
14. *Tun P.P.* Flood Prediction System by using Markov Chain / *P.P.Tun, M.M.Sein*// 2019 the 9th International Workshop on Computer Science and Engineering. 2019. 198-202.
15. Титов Н.Г. Построение теоретической модели прогнозирования уровня воды в реке горного типа с применением цепей Маркова / Н.Г. Титов, М.В. Кузякина, К.А. Лебедев // Научный журнал КубГАУ. 2015. №114(10). С. 1528-1538.

FORECASTING EMERGENCIES AT HYDRAULIC STRUCTURES

© 2021 E.V. Muravyeva[1], E.V. Arefieva[2], D.O. Kopytov[3], A.I. Shakirova[1]

[1] Kazan National Research Technical University Named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan, Russia
[2] All-Russian Research Institute for Civil Defence of the EMERCOM of Russia (the Federal Science and High Technology Center), Moscow, Russia
[3] Educational and Methodological Center of the Ministry of Education and Science of Russia at the Moscow State Technical University named after N.E. Bauman, Moscow, Russia

The article deals with the actual problem of emergencies at hydraulic structures. Since time immemorial, man has continuously developed various methods and techniques to take advantage of the benefits of water resources, as well as to protect himself from the ravages of water. Thus, on the territory of the Republic of Tatarstan, a large number of hydraulic structures were erected, which are classified as hydrodynamic hazardous facilities. Accidents at these facilities are sources of man-made emergencies. A number of hydraulic structures on the territory have been in operation without reconstruction for more than 70 years, and most of them are in disrepair. The problem of ensuring the safety of hydraulic structures remains not fully understood and relevant today. As a rule, basically all hydraulic structures are located within or above settlements and are objects of increased risk, since the destruction of dams can lead to an environmental disaster. Also, incomplete destruction of the dam, when the safe operation of the structure is no longer possible, can lead to serious economic losses as a result of the cessation of energy production, hydraulic regulation and water collection in the reservoir. Therefore, careful monitoring is required to identify any possible emergencies. One of the solutions in this situation is the use of various methods for predicting emergencies at hydraulic structures. In this regard, in the work, the authors adapted a mathematical model based on Markov chains, which is distinguished by the efficiency of calculations and a high degree of approximation to statistical data. This model makes it possible to predict the state of hydraulic structures when the data on the water level and the volume of seepage in the hydraulic structure changes. Based on the adapted model, the results of forecasting the water level for real hydraulic structures were obtained.

Key words: hydraulic structures, ecological disaster, emergency situations, dams, Markov chain.

DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-5-82-89

Elena Muravyeva, Doctor of Pedagogy, Full Professor, Head of the Department of Industrial and Environmental Safety. E-mail: elena-kzn@mail.ru
Elena Arefyeva, Doctor of Technical Science, Associate Professor, Chief Researcher. E-mail: elaref@mail.ru
Dmitry Kopytov, Director of the Educational and Methodological Center. E-mail: dokopytov@mail.ru
Alsu Shakirova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial and Environmental Safety. E-mail: alsugal92@mail.ru