

3. Altunin V.I., Chernyh O.N. Otsenka bezopasnogo sostoyaniya nizkonapornyh гидрозловов в Москве // Vestnik MADI. 2014. № 2. S. 81-87.

4. Chernyh O.N., Volkov O.N., Sabitov M.A., Altunin V.I. O nekotorykh aspektah otsenki razmera veroyatnogo vreda v rezul'tate avarii гидротехнических сооружений // Prirodoobustroistvo. 2014. № 4. S. 46-52.

5. Chernyh O.N., Altunin V.I. Osobennosti tehničeskogo monitoring prudov na territorii tsentra Mosvy // Prirodoobustroistvo. 2015. № 1. S. 66-71.

6. Volkov V.I., Chernyh O.N., Altunin V.I., Sekisova I.A. Otsenka uslovij i posledstvij proryva napornogo fronta rechnogo гидрозла: Uchebnoye posobie. M.: Izd-vo RGAU-MSHA, 2015. 180 s.

7. Sabitov M.A., Chernyh O.N., Altunin V.I. Tendentsii rekonstruksii malyh vodoyomov v cherte megapolisov // тенденции реконструкции малых водоёмов в черте мегаполисов // Problemy razvitiya melioratsii i vodnogo hojyaistva i puti ih resheniya: Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-practicheskoy konferentsii. Ch. III. M.: FGOU VPO MGUP, 2011. S. 201-213.

8. Chernyh O.N., Volkov V.I. Altunin V.I. Problemy i puti resheniya voprosov obmeniya malyh vodoyomov Moscovskogo regiona // Prirodoobustroistvo. 2015. № 5. S. 51-58.

The material was received at the editorial office
11.04.2016

Information about the authors

Chernyh Olga Nikolaevna, candidate of technical sciences, professor of the chair «Hydraulic engineering structures», FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev, 127550, Moscow, ul. Bolshaya Akademicheskaya, d. 44; tel.: 8 (499) 190-53-43, e-mail: gtsmgup@mail.ru

Sabitov Mikhail Alexandrovich, hydraulic engineer, general director ООО «Scientific-implementation and design company «Erlend» (ООО «NVPK Erlend»), 115093, Moscow, ul. Lyusinovskaya, dom 39, stroenie 5; tel.: 8 (499) 972-07-36, e-mail: sabitoffms@mail.ru

Burlachenko Alena Vladimirovna, specialist AO «Mercedes-Bents RUS», 125167, Moscow, Leningradsky pr-t, 39A; tel.: 8 (499) 6180514; e-mail: alena.burlachenko@daimler.com.

УДК 502/504:627.82.034.93

В.Я. ЖАРНИЦКИЙ, Е.В. АНДРЕЕВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

ВЛИЯНИЕ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ПРОГНОЗ СОСТОЯНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ

Ввиду влияния на гидротехническое сооружение статических и динамических нагрузок возникает необходимость оперативной оценки степени воздействия этих нагрузок на тело плотины для предотвращения возможного разрушения гидротехнического сооружения, которое может привести к катастрофическим последствиям для объектов инфраструктуры, находящихся в нижнем бьефе напорного сооружения. В контексте математико-статистического аппарата анализа временных рядов и прогнозирования состояния гидротехнического сооружения следует исходить из того, что разрушение плотины имеет в определённой степени вероятностный характер ввиду малой изученности поведения тела сооружения в поле влияния кратковременных нагрузок. Наличие случайности в таких системах, как «Грунтовая плотина – основание», определяется чрезвычайно сложным сочетанием параметров, влиянием большого числа различных факторов действующих в разных направлениях и в разное время, и чаще всего – неизвестных. Такое сочетание факторов приводит в конечном счёте к большой вариации конечных показателей, особенно если рассматривать изменение физического состояния плотины во времени. В силу неоднородности свойств грунтов в теле сооружения появление случайной компоненты оценивается с определённой вероятностью. Если в статическом состоянии влияние нагрузок на гидротехническое сооружение просчитать несложно, пользуясь общеизвестными и принятыми методами, то при кратковременном динамическом воздействии на тело гидротехнического сооружения детерминированная компонента

выражается некоторой аппроксимирующей функцией, отражающей закономерности развития разрушения сооружения. Поэтому прогноз эксплуатационного состояния гидротехнического сооружения по его временным рядам рассматривается из прогноза детерминированной компоненты и прогноза случайной компоненты.

Низконапорные грунтовые плотины, уровень водопотребления, многофакторная модель, период наблюдений, временной ряд, прогноз, аппроксимирующая функция, нормированная автокорреляционная функция, фактические уровни временного ряда, прогнозируемые уровни временного ряда, коррелограмма.

Введение. В XX в. было построено более 45 тыс. крупных плотин. Эти сооружения возводились в целях водоснабжения городов, орошения сельскохозяйственных земель, бытового или промышленного использования, выработки электроэнергии или для регулирования водного режима рек, направленного на сглаживание половодья и паводков. Плотины меняли конфигурацию и положение русел рек, оказывали влияние на доступ людей к водным ресурсам, их воздействие на окружающую среду и т.п. В настоящий момент из озёр, рек и водохранилищ мира ежегодно изымается около 3800 куб. км пресной воды, в два раза больше, чем 50 лет назад, что влечёт

за собой рост конкуренции между водопотребителями за удовлетворение растущего спроса. По их прогнозам, в глобальной перспективе усиление борьбы будет происходить между тремя отраслями: на сельское хозяйство – около 67% водопотребления; на нужды промышленности – 19%; на муниципальное и бытовое хозяйство – 9% (рис. 1). Аналитики утверждают, что перечисленные виды водопотребления будут продолжать изъятие воды, столь необходимой природным экосистемам. Кроме того, в сухом климате испарение из крупных водохранилищ, которое, по оценкам, близко к 5% от общего водопотребления, также существенно повышает объём безвозвратной потери воды [1].

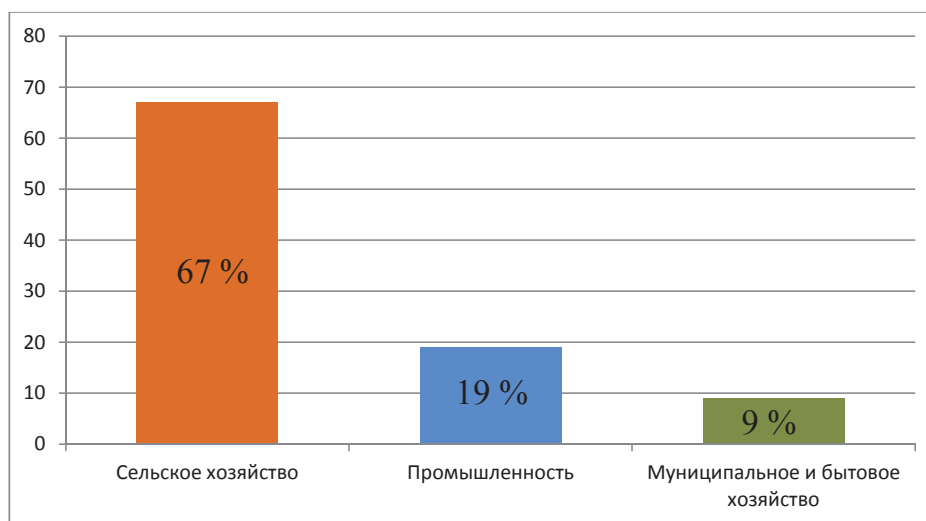


Рис. 1. Распределение уровней водопотребления по отраслям народного хозяйства

Крупные водохранилища обычно накапливают часть паводка, что позволяет задерживать или управлять пиками стока. Это даёт возможность снизить вероятность совпадения паводковых пиков из различных притоков реки, прорыва дамб и преодолеть другие негативные последствия наводнений. Главным показателем эффективности борьбы с наводнениями является снижение их пика. Индикаторами в этой связи выступают снижение площади затопляемых земель, предотвращение челове-

ческих жертв, экономических потерь, негативных социальных последствий и других воздействий на жизнь и здоровье людей [1].

Ввиду влияния на гидротехническое сооружение статических и динамических нагрузок возникает необходимость оперативной оценки степени влияния этих нагрузок на сооружение для предотвращения возможного его разрушения, которое может привести к катастрофическим последствиям для объектов инфраструктуры и человеческим жертвам [2].

Материалы и методы исследования.

К плотинам из грунтовых материалов трудно применить конкретный метод оценки степени надёжности от влияния динамических нагрузок ввиду разности физико-механических свойств грунтовых материалов, из которых выполнено данное сооружение, наличия большого числа критериев, оказывающих влияние на конечный уровень надёжности гидротехнического сооружения [3].

В контексте математико-статистического аппарата анализа временных рядов и прогнозирования состояния гидротехнического сооружения можно исходить из того, что разрушение плотины имеет в определённой степени вероятностный характер ввиду малой изученности поведения тела сооружения в поле влияния кратковременных нагрузок. Наличие случайности в таких системах, как «Грунтовая плотина – основание», определяется чрезвычайно сложным сочетанием параметров, влиянием большого числа различных факторов действующих в разных направлениях и в разное время, и чаще всего – неизвестных. Такое сочетание факторов приводит в конечном счёте к большой вариации конечных показателей, особенно если рассматривать изменение физического состояния плотины во времени (например, геометрическая неизменяемость плоскости тела сооружения). В силу неоднородности свойств грунтов в теле сооружения появление случайной компоненты оценивается с определённой вероятностью.

В статическом состоянии влияние нагрузок на гидротехническое сооружение просчитать несложно, пользуясь общеизвестными и принятыми методами. При кратковременном динамическом воздействии на тело гидротехнического сооружения детерминированная компонента выражается некоторой аппроксимирующей функцией, отражающей закономерности развития разрушения сооружения.

Таким образом, прогноз эксплуатационного состояния гидротехнического сооружения по его временным рядам можно рассмотреть в двух направлениях: из прогноза детерминированной компоненты и прогноза случайной компоненты. Расчёт по первому направлению не представляется сложным, если известны начальные характеристики гидротехнического сооружения и силы, дей-

ствующие на него. Прогноз случайной компоненты более сложен, так как не ко всякой динамической компоненте можно применить законы стационарных систем, что значительно усложняет задачу оценки эксплуатационной надёжности. Если случайная компонента не является статичной, то приходится производить соответствующие преобразования путём ввода различных коэффициентов, прежде чем начинать расчёт, но при этом необходимо помнить о величине конечной точности результата, который находится в конкретных пределах и характеризует степень повреждённости гидротехнического сооружения.

При анализе временных рядов состояния гидротехнического сооружения и прогнозировании его конечного состояния часто возникает вопрос увязки статической составляющей с динамическими факторами влияния, когда необходимо правильно классифицировать динамическую составляющую процесса. Процесс воздействия на гидротехническое сооружение может хорошо описываться и почти не содержать случайных отклонений. Описание процесса может быть иным, если некоторые характеристики влияния растянуты во времени, по величине и продолжительности воздействия на тело сооружения. А может быть и так, что основное влияние на конечный результат будет зависеть от величины запаздывания во времени: например, квазидинамические нагрузки в результате взрыва в непосредственной близости от гидротехнического сооружения или в теле самого сооружения [4].

Исходя из этого возникает необходимость построения многофакторной модели оценки уровня эксплуатационной надёжности сооружения на основании корреляционного или регрессионного анализа данных. С учетом внутренней структуры грунтового напорного сооружения δ_T по его реализации (y_t) применяется автокорреляционная функция $r_y(\tau)$, которая представляет собой множество коэффициентов корреляции между временным рядом y_t и этим же рядом, сдвинутым относительно первоначального положения (сооружения в состоянии покоя) на τ моментов времени. Нормированная автокорреляционная функция для временного ряда y_t определяется по нижеприведённой формуле [5]:

$$r_y(\tau) = \frac{(n-\tau) \sum_{t=1}^{n-\tau} y_t y_{t+\tau} - \sum_{t=1}^{n-\tau} y_t \sum_{t=1}^{n-\tau} y_{t+\tau}}{[(n-\tau) \sum_{t=1}^{n-\tau} y_t^2 - (\sum_{t=1}^{n-\tau} y_t)^2][(n-\tau) \sum_{t=1}^{n-\tau} y_{t+\tau}^2 - (\sum_{t=1}^{n-\tau} y_{t+\tau})^2]} \quad (1)$$

$$(t = 1, 2, \dots, n; \tau = 0, 1, 2, \dots, n-2;)$$

Величину τ называют сдвигом. На рисунке 2 наглядно показано, как часто и с каким запаздыванием изменение показателя y_t скажется на последних его значениях. На рисунке указан коррелограмм, построенный известным английским статистом Д.Э. Юлом. Из него следует что каждое предыдущее значение временного ряда оказывает влияние на два последующих значения, причём это влияние постепенно уменьшается, а после восьмого сдвига приближается к нулю [4]. Таким же образом можно описать состояние грунтового массива после восприятия квази-

динамических нагрузок: например, после прохождения взрывной волны через сооружение, за один период времени, колебания сооружения продолжают в другой период времени и имеют тенденцию затухания. Такой отрезок времени может быть различен, в том числе из-за величины напорного фронта.

Для одновременного сравнения и анализа двух случайных процессов y_t и x_t по их реализациям (y_t) и (x_t) используется взаимная корреляционная функция. Нормированная взаимная корреляционная функция определяется по формуле [5]:

$$r_{yx}(\tau) = \frac{(n-\tau) \sum_{t=1}^{n-\tau} y_t x_{t+\tau} - \sum_{t=1}^{n-\tau} y_t \sum_{t=1}^{n-\tau} x_{t+\tau}}{[(n-\tau) \sum_{t=1}^{n-\tau} y_t^2 - (\sum_{t=1}^{n-\tau} y_t)^2][(n-\tau) \sum_{t=1}^{n-\tau} x_{t+\tau}^2 - (\sum_{t=1}^{n-\tau} x_{t+\tau})^2]} \quad (2)$$

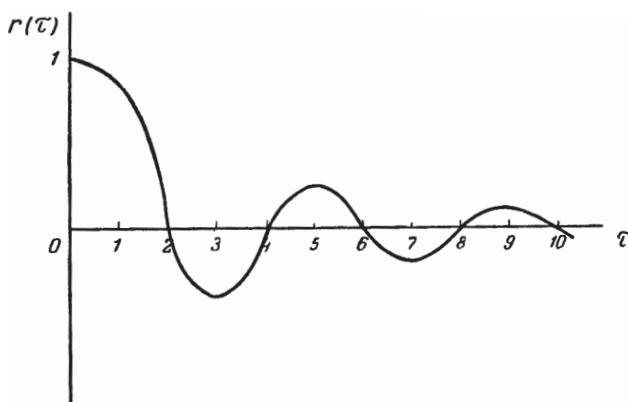


Рис. 2. График нормированной автокорреляционной функции после восприятия кратковременной нагрузки, приложенной к ГТС

Относительно прогнозов эксплуатационного состояния гидротехнического сооружения на основе данных наблюдений за более длительный период времени важно учитывать точность наблюдений, т.к. это может сказаться на величине конечного результата.

Таким образом, при построении многофакторной модели важную роль играет точность данных наблюдений, и критерием такой точности может служить средняя величина ошибки прогноза [4]

$$\bar{\varepsilon}_{np} = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l \left[\frac{y_{n+i} - y_{n+i}^*}{y_{n+i}} \right] \cdot 100\%, \quad (3)$$

где y_{n+i} – фактические уровни временного ряда; y_{n+i}^* – прогнозируемые уровни временного ряда; n – период предыстории ($n = 1, 2, \dots, N$); l – прогнозируемый период ($l = N + 1, N + 2, \dots, T$).

Точность прогноза может зависеть как от продолжительности периода предоставля-

емых данных об эксплуатационном состоянии гидротехнического сооружения, так и от величины прогнозируемого периода. При построении многофакторной модели расчёта можно учитывать зависимость средней ошибки прогноза от двух параметров n и l [4]:

$$\bar{\varepsilon}_{np} = f(n, l). \quad (4)$$

Процедура построения модели осуществляется следующим образом. Весь временной ряд $t(t = 1, 2, \dots, T)$ разбивается на две части:

- первая – $n(n = 1, 2, \dots, N)$ принимается за период предыстории;
- вторая – $l(l = N + 1, N + 2, \dots, T)$ – за прогнозируемый период.

Для периода n строится модель прогноза $y_t = a_0 + a_{1t}$, по которой прогнозируются уровни временного ряда y_t на период l . С этой целью в полученное уравнение модели прогноза последовательно подставляют значения t , равные $N + 1, N + 2, \dots, T$, т.е. порядковые номера лет периода прогноза, и получают прогнозируемые уровни временного ряда на период l . По существу получается ретроспективный прогноз. Поскольку фактические значения временного ряда за период l известны, можно определить величину средней ошибки за этот период. Далее период предыстории увеличивается на один момент времени, т.е. его длина становится $(n + 1)$, а период прогнозирования тем самым уменьшается на единицу. Для временного ряда $(n + 1)$ строится модель прогноза, по которой осуществляется прогнозирование на период $l - 1$, т.е. на $N + 2, N + 3, \dots, T$, и находится средняя ошибка прогноза. Такая процедура повторяется до тех пор, пока прогнозируемый период не будет равен

нескольким моментам времени, по которым ещё можно будет проверять ретроспективный прогноз, для низко- и средненапорных гидротехнических сооружений такой период должен составлять не менее 3-5 лет. В результате можно построить таблицу, в кото-

рой будут содержаться данные наблюдений за состоянием гидротехнического сооружения за пять лет для построения модели зависимости средней ошибки прогноза от длины периода предьстории и величины прогнозируемого периода [4].

Таблица 1

Данные для построения прогноза

| Средняя ошибка прогноза $\varepsilon_{\text{пр}}$ | Величина периода предьстории n | Величина прогнозируемого периода l |
|--|----------------------------------|---|
| $\overline{\varepsilon_{\text{пр}}^{(l)}}$ | $n; (1, 2, \dots, N)$ | $l; (N + 1, N + 2, \dots, T)$ |
| $\overline{\varepsilon_{\text{пр}}^{(l-1)}}$ | $n + 1; (1, 2, \dots, N + 1)$ | $l - 1; (N + 2, N + 3, \dots, T)$ |
| ... | ... | ... |
| $\overline{\varepsilon_{\text{пр}}^{(l-p)}}$ | $n + p; (1, 2, \dots, N + p)$ | $l - p; (N + p + 1, N + p + 2, \dots, T)$ |

Результаты исследования. На примере временного ряда покажем динамику развития осадки средненапорного гидротехнического сооружения признанного впоследствии аварийным по данным наблюдений эксплуатирующей организацией за период с 1994 по 2015 гг. Величина осадки со-

оружения имеет тенденцию увеличиз из-за ошибок при проектировании и строительстве плотины, а также недостаточных мероприятий по изучению физико-механических свойств грунтов основания и отсутствия противофильтрационного устройства в составе сооружения [3].

Таблица 2

Определение средней ошибки периода по данным наблюдений за 22 года

| Годы | № п/п | Осадка, мм | Относительные ошибки аппроксимации и прогноза в процентах | | | | | | |
|------|-------|------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1994 | 1 | 10,2 | +30 | +38,1 | +46,8 | +52,5 | +56,4 | +62,6 | +70,4 |
| 1995 | 2 | 12,1 | +13 | +17,8 | +23,1 | +26,5 | +29,2 | +33,3 | +38,6 |
| 1996 | 3 | 13,9 | -0,2 | +2,2 | +5,1 | +7,2 | +8,7 | +11,4 | +14,8 |
| 1997 | 4 | 16,0 | -8,2 | -7,7 | -6,7 | -5,8 | -5,0 | -3,6 | -1,6 |
| 1998 | 5 | 19,0 | -9,0 | -9,0 | -10,3 | -10,3 | -10,1 | -9,6 | -8,8 |
| 1999 | 6 | 22,5 | -7,1 | -8,9 | -10,4 | -11,0 | -11,3 | -11,5 | -11,5 |
| 2000 | 7 | 24,9 | -10,4 | -13,1 | -15,3 | -16,5 | -17,1 | -17,8 | -18,5 |
| 2001 | 8 | 28,9 | -6,9 | -10,0 | -12,8 | -14,3 | -15,2 | -16,3 | -17,4 |
| 2002 | 9 | 33,3 | -2,8 | -6,4 | -9,5 | -11,3 | -12,3 | -13,7 | -15,1 |
| 2003 | 10 | 38,3 | +3,0 | -0,7 | -4,0 | -5,9 | -7,0 | -8,5 | -10,2 |
| 2004 | 11 | 45,5 | +9,7 | +6,1 | +2,8 | +0,8 | -0,3 | -1,9 | -3,6 |
| 2005 | 12 | 50,9 | +12,6 | +8,9 | +5,5 | +3,4 | +2,2 | +0,6 | -1,3 |
| 2006 | 13 | 57,3 | +16,6 | +12,7 | +9,2 | +7,2 | +6,0 | +4,2 | +2,3 |
| 2007 | 14 | 61,0 | +16,1 | +12,1 | +8,4 | +6,2 | +4,9 | +3,1 | +1,0 |
| 2008 | 15 | 61,9 | +15,9 | +11,7 | +7,9 | +5,7 | +4,3 | +2,3 | +0,1 |
| 2009 | 16 | 72,4 | +19,9 | +15,9 | +12,2 | +9,9 | +8,6 | +6,6 | +4,4 |
| 2010 | 17 | 80,0 | +23,3 | +19,3 | +15,6 | +13,4 | +12,1 | +10,1 | +7,9 |
| 2011 | 18 | 84,8 | +23,6 | +19,6 | +15,8 | +13,6 | +12,1 | +10,3 | +8,0 |
| 2012 | 19 | 87,5 | +22,1 | +17,9 | +13,9 | +11,7 | +10,2 | +8,1 | +5,7 |
| 2013 | 20 | 89,7 | +20,2 | +15,8 | +11,7 | +9,3 | +7,8 | +5,6 | +3,1 |
| 2014 | 21 | 95,2 | +21,0 | +16,9 | +12,8 | +10,3 | +8,8 | +6,6 | +4,1 |
| 2015 | 22 | 100,3 | +21,8 | +17,4 | +13,4 | +10,9 | +9,4 | +7,1 | +4,6 |

Такие ошибки приводят к образованию установившегося фильтрационного потока через основание сооружения, и как следствие – к суффозии грунта основания.

Основной период наблюдений за осадками гидротехнического сооружения был разбит на два равных отрезка времени, т.е. $n = 11$; $l = 11$. Затем для отрезка исследуемого ряда за период с 1994 по 2004 гг. была построена линейная модель [4]:

$$y_t = 3,744 + 3,393t; (t = 1, 2, \dots, 11) \quad (5)$$

Подставляя в данное уравнение порядковые номера последующих лет ($t = 12, 13, \dots, 22$), получаем относительные ошибки прогноза для каждого года за период с 2004 по 2015 гг. [4]:

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \frac{y_{n+1} - y_{n+1}^*}{y_{n+1}} \cdot 100. \quad (6)$$

По формуле 3 находится средняя ошибка прогноза для этого отрезка временного ряда. Относительные ошибки прогноза и средняя ошибка прогноза осадки плотины представлены в таблице 2 (ст. 4). Далее период предыстории был увеличен до 12 лет с 1994 по 2005 гг., построена модель прогноза

$$y_t = 2,670 + 3,641 t; (t = 1, 2, \dots, 12)$$

и осуществлена экстраполяция на период с 2006 по 2015 гг., в результате которой были определены относительные ошибки прогноза по годам и средняя ошибка прогноза (табл. 2).

Таблица 3

Связь средней ошибки аппроксимации с прогнозом

| | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|------|
| $\bar{\varepsilon}_{\text{ап}}$ – средняя ошибка аппроксимации | 9,1 | 10,8 | 12,4 | 12,8 | 12,7 | 12,9 | 13,4 |
| $\bar{\varepsilon}_{\text{пр}}$ – средняя ошибка прогноза | 19,4 | 15,9 | 12,4 | 10,6 | 9,9 | 8,0 | 5,1 |

Модели прогноза осадки гидротехнического сооружения для всех проделанных этапов представлены в таблице 4; в таблице 2 представлены величины относительных и средних ошибок аппроксимации, а также относительных и средних ошибок прогноза.

В результате проделанных расчётов была получена информация для построе-

ния модели, характеризующей зависимость средней ошибки прогноза от длины периода предыстории, предоставленной эксплуатирующей организацией, и прогнозируемого периода осадки гидротехнического сооружения из-за установившегося процесса суффозии грунта основания обследуемого гидротехнического сооружения (табл. 5).

Таблица 4

Модели прогноза по этапам прогнозирования осадки ГТС

| Период предыстории годы | Период прогноза (годы) | Уравнения для моделей прогноза |
|-------------------------|------------------------|--------------------------------|
| 1994-2004 (11 лет) | 2005-2015 (11 лет) | $y_t = 3,744 + 3,393t$ |
| 1994-2005 (12 лет) | 2006-2015 (10 лет) | $y_t = 2,670 + 3,641t$ |
| 1994-2006 (13 лет) | 2007-2015 (9 лет) | $y_t = 1,546 + 3,881t$ |
| 1994-2007 (14 лет) | 2008-2015 (8 лет) | $y_t = 0,815 + 4,027t$ |
| 1994-2008 (15 лет) | 2009-2015 (7 лет) | $y_t = 0,326 + 4,119t$ |
| 1994-2009 (16 лет) | 2010-2015 (6 лет) | $y_t = -0,445 + 4,255t$ |
| 1994-2010 (17 лет) | 2011-2015 (5 лет) | $y_t = -1,398 + 4,414t$ |

На основании данных таблицы 5 построена модель зависимости средней ошибки прогноза от периода предыстории и периода прогноза [5]:

$$\bar{\varepsilon}_{\text{пр}} = 3,960 - 0,441n + 1,841l. \quad (7)$$

Коэффициент множественной корреляции, равный 0,978, указывает на довольно тесную связь между средней ошибкой прогноза и обоими факторами. Вариация сред-

ней ошибки прогноза на 96,3% объясняется переменчивостью результатов периода предыстории и прогнозируемого периода, о чём свидетельствует величина коэффициента множественной детерминации ($R^2 = 0,963$).

Данное уравнение показывает, что увеличение периода предыстории на один год снижает ошибку прогноза на 0,441%. В то же время увеличение прогнозируемого периода на один год ведёт к увеличению средней ошибки прогноза на 1,741% [4].

Таблица 5

**Средние ошибки прогноза
и величина периода предыстории
прогнозируемого периода состояния
гидротехнического сооружения**

| Средняя ошибка прогноза, %, $\varepsilon_{i\delta}$ | Период предыстории n , лет | Период прогноза l , лет |
|---|------------------------------------|---------------------------------|
| 19,4 | 11 | 11 |
| 13,9 | 12 | 10 |
| 12,4 | 13 | 9 |
| 10,6 | 14 | 8 |
| 9,9 | 15 | 7 |
| 8,0 | 16 | 6 |
| 5,1 | 17 | 5 |

Выводы

На основании приведённых данных можно заключить, что для повышения точности прогноза состояния гидротехнического сооружения необходимо сформировать многофакторную модель, которая будет учитывать совокупность факторов, влияющих на состояние сооружения. Главным образом на точность прогноза оказывает влияние совокупность периода предыстории данных наблюдений и периода прогноза. От этих величин в конечном счёте будет зависеть величина ошибки прогноза, а следовательно, и точность прогнозных данных.

Библиографический список

1. Отчет Всемирной комиссии по плотинам. М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2009. 200 с.

2. Жарницкий В.Я., Андреев Е.В. Анализ последствий разрушений гидротехнических сооружений в результате террористических актов // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. 2015. № 1. С. 18-22.

3. Жарницкий В.Я., Андреев Е.В. Методы оперативного установления строительных показателей глинистых грунтов, уложенных в тело низконапорных плотин // Природообустройство. 2014. № 1. С. 44-49.

4. Кильдешев Г.С., Френкель А.А. Анализ временных рядов и прогнозирование. М.: Статистика, 1973. 104 с.

5. Жарницкий В.Я., Андреев Е.В. Опасность прорыва ГТС и затопления прилегающих территорий // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. 2015 № 2. С. 51-57.

Материал поступил в редакцию 14.10.2016 г.

Сведения об авторах

Жарницкий Валерий Яковлевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Основания и фундаменты, строительство и экспертиза объектов недвижимости» ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Москва, ул. Б. Академическая, д. 44; e-mail: zharnitskiy@mail.ru; тел.: +7-905-720-30-72.

Андреев Евгений Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Основания и фундаменты, строительство и экспертиза объектов недвижимости» ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Москва, ул. Б. Академическая, д. 44; e-mail: andreev-rf@mail.ru; тел.: +7-929-648-09-27.

V.YA. ZHARNITSKY, YE.V. ANDREEV

Federal state budget educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow, Russian Federation

THE INFLUENCE OF OBSERVATION DATA ON THE FORECAST OF THE STATE OF THE HYDRAULIC ENGINEERING STRUCTURE

In view of the influence of static and dynamic loads on the hydraulic engineering structure there arises a need of the operational assessment of the influence extent of these loads on the dam body for prevention of possible destruction of the hydraulic engineering structure which can lead to the disastrous consequences for the infrastructure objects being downstream of the pressure construction. In the context of the mathematical–statistical device of the analysis of time series and forecasting of a condition of the hydraulic engineering structure it is possible to recognize that destruction of a dam has in a certain degree a probabilistic character due to the insufficient knowledge of the behavior of the construction body in the field of influence of short-term loads. The availability of randomness in such system as «Soil dam- foundation» is determined by an extremely complex combination of parameters, influence of a big number of different factors acting in different directions and at different time, and more often – unknown. Such combination

of factors finally results in a large variation of final indicators, especially if to consider changing of the physical state in time. Due to the heterogeneity of soil properties in the construction body the appearance of a random component is assessed with a definite probability. If in the static state it is not difficult to calculate the influence of loads on the hydraulic structure using well-known and accepted methods, under a short-term dynamic impact on the body of the hydraulic structure the determined component is expressed by some approximate function reflecting natural development of the structure destruction. Therefore the forecast of the operational condition of the hydraulic engineering construction according to its temporal series is considered from the determined component forecast and forecast of a random component.

Low pressure soil dams, water consumption level, multiple – factor model, the period of observations, time series, forecast, approximating function, rated autocorrelated function, the actual levels of time series, forecast levels of time series, correlogram.

References

1. Otchet Vsemirnoj commissii po plotinam. M.: Vsemirny fond dikoj prirody (WWF), 2009. 200 s.
2. Zharnitsky V.Ya., Andreev E.V. Analiz posledstvij pazrushenij hidrotehnicheskikh sooruzhenij v rezultate terroristicheskikh actov // Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotosjemka. 2015. № 1. S. 18-22.
3. Zharnitsky V.Ya., Andreev E.V. Metody operativnogo ustanovleniya stroitelnyh gruntov, ulozhennyh v telo nizkonapornyh plotin // Prirodoobustrojstvo. 2014. № 1. S. 44-49.
4. Kiljdeshev G.S., Frenkel A.A. Analiz vremennyh ryadov i prognozirovanie. M.: Statistika, 1973. 104 s.
5. Zharnitsky V.Ya., Andreev E.V. Opasnostj proryva GTS i zatopleniya privilegayushchih territorij // Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotosjemka. 2015 № 2. S. 51-57.

The material was received at the editorial office on 14.10. 2016

Information about the authors

Zharnitsky Valerij Yakovlevich, doctor of technical sciences, professor of the chair «Bases and foundations, building and expertise of objects of real property» FSBEU-HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. B. Academicheskaya, d. 44; e-mail: zharnitskiy@mail.ru; тел.: +7-905-720-30-72.

Andreev Yevgenij Vladimirovich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair «Bases and foundations, building and expertise of objects of real property» FSBEUHE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. B. Academicheskaya, d. 44; e-mail: andreev-rf@mail.ru; tel.: +7-929-648-09-27.

УДК 502/504: 627.82.042: 624.15: 536.2

Д.В. КОЗЛОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Д.А. КРУТОВ

Негосударственное образовательное учреждение «Корпоративный институт ПАО «Газпром», г. Москва, Российская Федерация

ПРИМЕНЕНИЕ УТЕПЛИТЕЛЯ В КОНСТРУКЦИИ БЕТОННЫХ ПЛОТИН, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХСЯ В УСЛОВИЯХ СУРОВОГО КЛИМАТА

Приведены результаты расчетов теплопроводности для оценки эффективности утеплителя, уложенного в галереях бетонной плотины Богучанской ГЭС. После получения распределения температур в плотине решалась задача напряженно-деформированного состояния, по результатам которой определялось необходимое количество арматуры. Полученные результаты имеют практическую значимость: 1) для оценки снижения сезонных колебаний температуры в конструкциях плотины; 2) для оценки уменьшения количества арматуры при использовании утеплителя. Самое неблагоприятное напряженно-деформированное состояние бетонных гравитационных и контрфорсных плотин, возведенных в районах с суровыми климатическими условиями, обусловлено максимальным раскрытием строительных