

A. V. Ecologicheskoye ruslovedeniye. – M.: GEOS, 2000. – 331 s.

4. Reki Dagestanskoy ASSR / K. K. Gyul, S. V. Vlasova, I. M. Kisin, A. A. Terterov. – Makhachkala: Dagknigaizdat, 1961. – 260 s.

5. Kondratjev N. E., Popov I. V., Snishcenko B. F. Osnovy gidromorfologicheskoy teorii ruslovogo protsessa. – L.: Gidrometeoizdat, 1982. – 272 s.

6. Makkaveev N. I., Chalov R. S. Ruslovyje protsessy. – M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1986. – 264 s.

7. Chalov R. S. Osnovnyepolozheniya teorii obshchego i geograficheskogo ruslovedeniya // Vesti. Mosc. un-ta. Ser.5. Geografiya. – 2003. – № 6.

8. Cherepanova E. S. Poimennenno-ruslovyje complexy v sisteme landshaftov Permskogo Prikamya // Geograficheskyy vestnik. Permsky gosudarstvennyy universitet. – 2012. – № 2(21). – S. 22–29.

9. Chernov A. V. Metodologiya i metodika geograficheskogo ruslovedeniya // Eroziya

pochv i ruslovyje protsessy. – 2005. – Vyp. 15. – S.102–125.

10. Priamurye: vodokhozyajstvennyy problem I perspektivy; otv. Red. I. M. Saipulaev, E. M. Eljdarov. – Makhachkala: DGPU, 2003. – 154 s.

Received on 16.01.2016.

Information about the authors

Guruev Magomed Abdulaevich, candidate of biological sciences, senior researcher, laboratory of hydrobiology and chemical exology of sea, FGBNU PIBR DNTS RAN; 367025, Makhachkala, ul. M. Gadzieva, 45; e-mail: perspektivard@mail.ru.

Amaeva Frangiz Shamiljevna, candidate of biological sciences, a researcher, laboratory of hydrobiology and chemical exology of sea, FGBNU PIBR DNTS RAN; 367025, Makhachkala, ul. M. Gadzieva, 45; e-mail: a_frana@mail.ru.

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 имени К. А. Тимирязева», г. Москва

О. А. БАЮК

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации», г. Москва

МНОГОФАКТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОГНОЗА ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАССИВА СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Для повышения объективности, сокращения стоимости, трудозатрат и сроков проведения обследования необходимо применять комплексный подход к оценке надежности и безопасности грунтовых плотин, с применением регрессионных многофакторных моделей использующих массив данных наблюдений за изменением величины обобщенного показателя эксплуатационной надежности. В силу физико-механических свойств низконапорных грунтовых сооружений, задача эксплуатационной надежности и долговечности требует решения ряда методологических и теоретических вопросов. К таким вопросам можно отнести проблему построения статистического и динамического прогноза долговечности и эксплуатационной надежности низконапорного гидротехнического сооружения в среде с ограниченным числом исчерпывающих исходных данных о сооружении. Однако возникают две математические проблемы: автокорреляция и мультиколлинеарность. Поэтому помимо скрупулезного изучения физико-механических свойств грунтов, при построении многокритериальных моделей оценки эксплуатационной надежности низконапорных грунтовых плотин и прогноза их дальнейшего состояния важно учитывать правильность постановки и реализации математического аппарата применительно к данной проблеме.

Низконапорные грунтовые плотины, долговечность, многофакторная модель, период наблюдений, временной ряд, статистические данные, фактические уровни временного ряда, прогноз состояния.

Введение. Долговечность и надежность напорных грунтовых сооружений – это гарантированная в течение определенного срока исправная их работа в конкретных условиях без нарушения прочности и устойчивости.

Обеспечение безопасной эксплуатации уже построенных и строящихся плотин чрезвычайно важно, требует пристального внимания и по-прежнему беспокоит научную общественность разных стран.

Более 100 тысяч плотин построено в мире. Сведения о 35 000 сооружений содержит издание Мирового регистра плотин [1]. Анализ распределения по типам плотин показывает, что грунтовые плотины являются наиболее распространенным видом напорных гидротехнических сооружений и составляют 82,9 % от общего числа плотин мира. Это обусловлено их максимальной экономичностью, строительством в относительно короткие сроки, использованием грунтов полезных выемок, возможностью возведения в различных природных условиях [2].

При значительных достижениях техники и совершенствовании технологии строительства, повышении общего уровня знаний, опыта и технических решений, аварии грунтовых плотин имеют место. Во всех известных случаях разрушений и повреждений плотин, последние были вызваны действием различных объективных и субъективных факторов. К числу первых относят природные стихийные явления: ураганы, катастрофические ливни (паводки), горные обвалы (оползни), землетрясения и т. п. К субъективным факторам относят ошибки в проектировании, низкое качество используемых грунтовых материалов, неудовлетворительное качество работ, отсутствие надежных методов контроля, устанавливающих качество текущей работы и ошибки в эксплуатации таких сооружений [2].

В этой связи возникает необходимость в создании новых подходов к оценке надежности гидротехнических сооружений отвечающих современным требованиям по точности результатов времени и стоимости проведения обследования. Для повышения объективности и достоверности, сокращения стоимости, трудозатрат и сроков проведения обследования можно применить комплексный подход к оценке безопасности грунтовых плотин, с применением регрессионных многофакторных моделей использующих массив данных наблюдений за изменением величины обобщенного показателя эксплуа-

тационной надежности [3].

Материалы и методы исследований. Многофакторное прогнозирование применительно к низконапорным гидротехническим сооружениям является сложной и не до конца изученной проблемой. В силу физико-механических свойств низконапорных грунтовых сооружений, задача эксплуатационной надежности и долговечности требует решения ряда методологических и теоретических вопросов. К таким вопросам можно отнести проблему построения статистического и динамического прогноза долговечности и эксплуатационной надежности низконапорного гидротехнического сооружения в среде с ограниченным числом исчерпывающих исходных данных о сооружении. Область рассматриваемых значений, за которую можно принять тело сооружения в конкретные периоды эксплуатации в свою очередь не является статичной и может меняться в результате воздействия на него различных сил и нагрузок.

Многофакторная модель низконапорного гидротехнического сооружения в разный период эксплуатации и соответственно с разной степенью восприятия внешних сил и нагрузок может быть представлена, как в статическом, так и в динамическом виде. Статическая модель может быть использована для анализа и нормирования физико-механических показателей грунта в теле сооружения. Динамическая – для анализа и прогнозирования изменчивости свойств грунта в теле сооружения на конкретный период с целью выявления остаточного ресурса сооружения. Применительно к гидротехническим сооружениям многофакторная модель является динамической, если она учитывает [5]:

- общие закономерности изменения степени уплотнения грунта в теле плотины в изучаемом интервале времени;
- закономерности изменения во времени влияний факторов-аргументов;
- запаздывание влияния факторов-аргументов.

Многофакторная модель изменчивости характерных критериальных показателей, строится по информации, относящейся к различным периодам времени. В этой связи выделяют основные типы исходной информации:

- временные ряды, характеризующие средние величины изучаемых показателей применительно к рассматриваемому сооружению в целом;
- временные ряды, характеризующие

степень уплотнения грунта в среднем по отдельным рассматриваемым областям сооружения;

информацию, характеризующую средние величины изучаемых показателей применительно к рассматриваемому сооружению за определенный период времени, принятую за единицу измерения, например за три года;

пространственную информацию, характеризующую изучаемое явление в каждой отдельной области грунтового массива относящейся к одному и тому же конкретному гидротехническому сооружению; временные ряды, описывающие явление на каждом изучаемом объекте.

Пространственная информация о состоянии и степени уплотнения грунта в теле сооружения отражает влияние предшествующих периодов времени [5]. В свою очередь она оказывает влияние на формирование информации, которая будет характеризовать состояние сооружения в будущем. В этом и заключается динамический характер пространственной информации. В то же время при использовании пространственной информации для построения уравнений регрессии трудно выяснить изменение влияния характерных факторов-аргументов во времени. Кроме того она не позволяет учесть запаздывание влияния факторов. В этом заключается статичность пространственной информации. Совместное использование информации, характеризующей динамику явления, и пространственной информации позволит построить модели, пригодные для практического использования [5].

Модели, при построении которых используется информация такого рода, широко применяются, как в отечественной практике, так и за рубежом, однако при этом возникают две математические проблемы – автокорреляция и мультиколлинеарность.

Метод наименьших квадратов, для нахождения оценок коэффициентов регрессии, основан на предпосылке о независимости друг от друга отдельных наблюдений по одной и той же переменной. При обследовании гидротехнического сооружения и выявления характерных показателей, наблюдения зависят друг от друга, то есть между ними существует автокорреляция. Поэтому оценки коэффициентов регрессии не имеют оптимальных статистических свойств. Наличие автокорреляции приводит к искажению величины среднеквадратических ошибок коэффициентов регрессии,

что затрудняет построение доверительных интервалов, для коэффициентов регрессии, а также проверку их значимости. Кроме того автокорреляция приводит к сокращению числа эффективных наблюдений, так как разброс степени уплотнения грунта в теле одного сооружения ни одно и то же, чем разброс степени уплотнения пяти различных низконапорных грунтовых плотин. В первом случае мы имеем дело лишь с одним независимым наблюдением по ряду переменных ввиду того, что состояние этого объекта в n -м году определяется его состоянием в предыдущие годы. Во втором же случае рассматриваются пять независимых наблюдений.

Автокорреляция в отклонениях от проектных значений, а также в случайных остатках уравнений регрессии, построенным по многомерным временным рядам возникает по следующим причинам. Во-первых, если в модели неучтен существенный фактор, например влажность грунта, то его влияние отражается на величине отклонений, которые показывают закономерность в изменении, связанную с изменением неучтенного фактора. Во-вторых, когда в модели не учитывается несколько факторов, влияние каждого из которых в отдельности незначительно, то при совпадении изменения этих факторов по направлению и по фазе, в отклонениях может возникнуть автокорреляция. В-третьих, автокорреляция в отклонениях может появиться в случае, когда неправильно выбрана форма связи между зависимой и независимой переменными. И на конец, в-четвертых, автокорреляция может возникнуть не в результате допущенных ошибок при построении модели, а вследствие особенностей внутренней структуры случайного компонента [5].

Для выявления наличия автокорреляции в отклонениях от регрессионной модели используется критерий Дурбина-Уотсона d , который определяется по формуле:

$$d = \frac{\sum_{t=1}^n (\varepsilon_{t+1} - \varepsilon_t)^2}{\sum_{t=1}^n \varepsilon_t^2}, \quad (1)$$

где ε_t – случайные отклонения от тренда или регрессионной модели.

Например, при проведении обследования низконапорной грунтовой плотины и выявления значения характерного критерия k_{com} (коэффициент уплотнения), естественно возникает разброс значений данного показателя. Такой разброс возникает в силу естественных причин, например, k_{com} в нижней части будет иметь большее соответствие

проектным значениям, чем в верхних слоях в силу того, что исследуемый образец грунта испытывает большее давление от грунтовой массы тела плотины, чем образец грунта в верхних частях сооружения и т. д. Поэтому можно рассмотреть распределение значений критерия k_{com} для положительной автокорреляции

реляции при 5%-ом уровне значимости, представив результаты обследования в сводной таблице. В этой таблице d_1 и d_2 , – соответственно нижняя и верхняя границы критерия $K_{\text{уп}}$; V_i – число переменных в исследуемом образце грунта, n – длина временного ряда.

Распределение характерного значения $K_{\text{уп}}$ для положительной автокорреляции (для 5% -ного уровня значимости) по примеру распределения критерия Дурбина-Уотсона

№ слоя	V=1		V=2		V=3		V=4		V=5	
	d_1	d_2	d_1	d_2	d_1	d_2	d_1	d_2	d_1	d_2
1	0,1	0,36	0,45	0,6	0,36	0,62	0,25	0,71	0,68	0,81
2	0,1	0,37	0,48	0,6	0,36	0,62	0,25	0,72	0,68	0,81
3	0,13	0,38	0,52	0,61	0,37	0,62	0,26	0,73	0,69	0,82
4	0,16	0,39	0,55	0,61	0,38	0,63	0,27	0,74	0,70	0,83
5	0,18	0,40	0,58	0,62	0,39	0,64	0,28	0,75	0,71	0,84
6	0,20	0,41	0,58	0,63	0,39	0,65	0,29	0,76	0,71	0,85
7	0,22	0,42	0,59	0,64	0,40	0,66	0,30	0,77	0,72	0,86
8	0,24	0,43	0,60	0,65	0,41	0,67	0,31	0,78	0,73	0,87
9	0,26	0,44	0,62	0,65	0,42	0,68	0,32	0,79	0,74	0,88
10	0,27	0,45	0,64	0,66	0,43	0,69	0,33	0,79	0,75	0,89
11	0,29	0,45	0,66	0,67	0,44	0,70	0,34	0,79	0,76	0,90
12	0,30	0,46	0,68	0,68	0,45	0,71	0,35	0,80	0,77	0,91
13	0,32	0,47	0,69	0,73	0,46	0,72	0,36	0,81	0,78	0,92
14	0,33	0,48	0,70	0,74	0,46	0,72	0,37	0,81	0,79	0,93
15	0,34	0,48	0,70	0,75	0,47	0,73	0,38	0,82	0,80	0,94
16	0,35	0,49	0,71	0,76	0,47	0,73	0,39	0,82	0,81	0,94
17	0,36	0,5	0,72	0,77	0,48	0,74	0,40	0,83	0,82	0,95
18	0,37	0,5	0,73	0,78	0,49	0,75	0,41	0,83	0,83	0,95
19	0,38	0,51	0,74	0,78	0,50	0,76	0,42	0,84	0,84	0,95
20	0,39	0,51	0,75	0,79	0,51	0,77	0,43	0,85	0,85	0,96
21	0,40	0,52	0,75	0,8	0,52	0,78	0,44	0,86	0,86	0,96
22	0,41	0,52	0,75	0,81	0,53	0,79	0,45	0,87	0,87	0,96

Таким образом, величина d , рассчитанная по формуле (1), сравнивается с d_1 и d_2 (таблица). Возможны три случая:

если $d < d_1$, гипотеза об отсутствии автокорреляции в отклонениях отвергается;

если $d < d_2$, то гипотеза об отсутствии автокорреляции принимается;

если $d_1 \leq d \leq d_2$, то необходимы дальнейшие исследования (например, по большому числу наблюдений);

Величина d может принимать значения в интервале $0,1 \leq d \leq 1$, причем различные для положительных, и отрицательных коэффициентов. Чтобы проверить значимость отрицательных автокорреляций, нужно вычислить величину $(1 - d)$. Далее проверка осуществляется аналогично тому, как и в случае положительной автокорреляции.

Существует ряд способов исключения или уменьшения автокорреляции во временных рядах. Наиболее очевидным является исключение тренда из временного ряда и переход к случайной компоненте.

Результаты исследований. Для устранения автокорреляции можно использовать прием, основанный на включении времени

в уравнение множественной регрессии в качестве аргумента. Множественная регрессия с отклонениями от линейных тенденций точно эквивалентна прямому введению времени в уравнение регрессии. Это свойство впервые заметили Фриш и Воу. Теорема Фриша и Воу применима не только для линейных тенденций, но и для тенденций, выражающихся многочленами, и вообще для всех ортогональных функций [5].

Но при построении такой модели может возникнуть другая проблема - мультиколлинеарность. Под мультиколлинеарностью понимают наличие сильной корреляции между переменными, которая может существовать вне всякой зависимости между функцией и факторами-аргументами [5]. Она является одновременно и характеристикой и признаком экспериментального исследования, построенном на весьма скудном статистическом материале. При построении модели оценки эксплуатационной надежности низконапорных грунтовых сооружений, мультиколлинеарность представляет собой серьезную опасность, для правильного определения

и эффективной оценки взаимосвязи. При мультиколлинеарности между аргументами существует линейная связь. Если в модель включается два или несколько линейно связанных факторов-аргументов, то наряду с уравнением регрессии имеются и другие линейные отношения.

Мультиколлинеарность затрудняет проведение анализа. Во-первых, усложняется процесс выделения наиболее существенных факторов, поскольку правило, по которому степень влияния аргумента на функцию однозначно определяется абсолютной величиной β – коэффициента, справедливого при условии взаимной некоррелированности или достаточно слабой коррелированности всех факторов, теряет свою силу. Во-вторых, искажается смысл коэффициентов регрессии при попытке их практической интерпретации. В-третьих, возникают осложнения вычислительного характера, а именно эффект слабой обусловленности матрицы системы нормальных уравнений (т. е. близость ее определения к нулю). В такой ситуации получается неопределенной множество значений оценок коэффициентов регрессии.

Формально диагональные элементы матрицы, обратной к матрице системы нормальных уравнений, которые соответствуют линейно зависимым аргументам, обращаются в бесконечность, так же как и дисперсии вышеупомянутых оценок этих коэффициентов надежности, порождаемые мультиколлинеарностью независимых переменных, свидетельствуют о слабой информативности статистических данных, а, следовательно, о низком качестве определяемых параметров. Увеличение дисперсий оценок для коэффициентов мультиколлинеарной регрессии фактически порождает тенденцию неоправданного исключения некоторых существенных переменных из уравнения регрессии.

Мультиколлинеарность составляет проблему только в том случае, если она оказывает, по меткому выражению Феррара и Глобера, «пагубное воздействие» на ту часть множества независимых переменных, например плотность грунта, влажность грунта, плотность частиц грунта и т. д. которая играет решающую роль в анализе. В отношении этих переменных необходимо ввести соответствующую процедуру, основанную на получении некоторой новой дополнительной информации. Получение

этой информации может состоять в использовании некоторых субъективных оценок, в дополнительном сборе исходных данных, при применении некоторых оценок полученных в других аналогичных исследованиях (условная регрессия) и т. д. [5].

Решение проблемы мультиколлинеарности можно разбить на пять основных этапов:

определение самого факта существования мультиколлинеарности;

измерение степени мультиколлинеарности;

определение области мультиколлинеарности на множестве независимых переменных;

установление причин мультиколлинеарности;

определение мер по установлению мультиколлинеарности.

При исследовании гидротехнических сооружений и построении многофакторной модели, между аргументами существуют линейные соотношения, которые в простейшем случае находят свое выражение в высокой величине коэффициентов парной корреляции между отдельными факторами. Поэтому два аргумента коллинеарны, если парный коэффициент корреляции между ними по абсолютной величине больше 0,8.

Более точным, но также достаточно грубым методом является следующий: аргумент W_i (влажность грунта в i -ом образце) можно отнести к числу мультиколлинеарных переменных лишь в том случае, если коэффициент множественной корреляции, характеризующий зависимость этой переменной от всех остальных аргументов, больше, чем коэффициент множественной корреляции, показывающий силу связи между зависимой переменной и множеством всех независимых переменных. Однако, как показывают исследования, мультиколлинеарность характеризует не просто линейную зависимость множества переменных, а их внутреннюю взаимозависимость. Поэтому для определения мультиколлинеарности, очевидно, требуется применить некоторые другие методы. Удачное и вполне верное, определение мультиколлинеарности, данное Ферраром и Глобером, которое формулирует мультиколлинеарность как степень отклонения от ортогональности множества независимых переменных, позволяет продвинуться в статистическом решении проблемы мультиколлинеарности, поскольку ортого-

нальность может быть четко сформулирована, как статистическая гипотеза [5]. Для проверки наличия мультиколлинеарности во множестве независимых переменных эти авторы предлагают использовать показатель:

$$\chi^2 = - \left[n - 1 - \frac{1}{6} (2p + 5) \right] \ln |X^* X|, \quad (2)$$

где n – число наблюдений в каждом исследуемом слое грунта; p – число факторов оказывающих влияние на степень надежности гидротехнического сооружения; X – матрица изучаемых факторов-аргументов; X^* – матрица, транспонирования к матрице X .

Причем этот показатель приближенно имеет распределение χ^2 с $0,5p(p - 1)$ степенями свободы.

С помощью такого критерия можно проверить гипотезу о степени отклонения множества независимых переменных от ортогонального множества, т. е. о наличии мультиколлинеарности. Далее необходимо определить те независимые переменные [4]: ρ_i – плотность грунта, г/см³; W_i – влажность грунта, %; s_i – плотность частиц грунта, г/см³; W_{Li} – влажность на границе текучести (верхний предел пластичности), %; $m_{<5i}$ – содержание в пробе грунта частиц менее 5 мм (%), которые наиболее сильно подвержены влиянию взаимозависимости.

В качестве критерия оценки степени мультиколлинеарности на рассматриваемые независимые переменные можно использовать диагональные элементы матрицы, обратной к матрице системы нормальных уравнений

$$\omega = (C_{ii} - 1) \left(\frac{n - p}{p - 1} \right), \quad (3)$$

где C_{ii} – i -ый диагональный элемент матрицы, обратной к матрице системы нормальных уравнений.

Зная, какие независимые переменные из всего множества независимых переменных являются мультиколлинеарными, можно с достаточной степенью точности определить характер взаимозависимости между мультиколлинеарными членами множества независимых переменных.

Для этой цели можно использовать недиагональные элементы матрицы или полученные на их основе коэффициенты частной корреляции между мультиколлинеарными независимыми переменными и всеми остальными независимыми переменными изучаемыми в ходе обследования гидротехнического сооружения. При этом существенную помощь может оказать величина t -критерия для коэффициента

частной корреляции.

Причины мультиколлинеарности могут быть установлены в ходе глубокого практического анализа образцов грунта и возможной взаимосвязи одних показателей грунта между другими. Среди мер по устранению или уменьшению мультиколлинеарности можно отметить следующие [5]:

построение уравнений регрессии по отклонениям от тренда или по конечным разностям;

привлечение дополнительной информации путем введения дополнительных критериев оценки эксплуатационной надежности низконапорной грунтовой плотины, а также назначения дополнительных контрольных точек для отбора проб грунта, с целью повышения базы статистических данных о состоянии сооружения;

преобразование множества независимых переменных в несколько ортогональных множеств, используя для этой цели методы многомерного статистического анализа (факторного анализа и метода главных компонент);

исключения из рассмотрения одного или нескольких линейно связанных аргументов, хотя последнее нужно применять с особой осторожностью потому, как ошибочное исключение характерного аргумента может в итоге привести к увеличению ошибки конечного результата.

Решение проблемы прогнозирования эксплуатационного состояния низконапорных гидротехнических сооружений возможно только на основе анализа определенного объема данных и его обобщения. Построение многофакторных моделей оценки надежности низконапорных гидротехнических сооружений есть задача многокритериальная и требующая комплексного подхода к сбору, анализу и обобщению результатов статистических данных и практических показателей грунтов сооружения на момент обследования. Помимо скрупулезного изучения физико-механических свойств грунтов, при построении многокритериальных моделей оценки эксплуатационной надежности низконапорных грунтовых плотин и прогноза их дальнейшего состояния необходимо также учитывать правильность постановки и реализации математического аппарата применительно к данной проблеме.

Выводы

Все вышеизложенное в комплексном применении позволит с достаточной для

практических целей точно оценить эксплуатационное состояние сооружения и, при его квалификации как аварийного или потенциально опасного, принимать необходимые меры по обеспечению его надежности и безопасности.

Библиографический список

1. World Register of Dams. – Paris: ICOLD, 1985. – 753p.

2. Жарницкий В. Я., Андреев Е. В. Особенности влияния неэксплуатационных динамических нагрузок на гидротехнические сооружения // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 5. – С. 25–29.

3. Жарницкий В. Я., Андреев Е. В. Принципы мониторинга технического состояния низконапорных грунтовых плотин, попадающих в группу риска на основании экспертного заключения // Природообустройство. – 2013. – № 1. – С. 38–42.

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

5. Кильдешев Г. С., Френкель А. А.

Анализ временных рядов и прогнозирование. – М.: Статистика, 1973. – 104 с.

Материал поступил в редакцию 11.01.2016.

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.

Баяк Олег Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Теория вероятностей и математическая статистика»; ФГБОУ ВО Финансовый университет; Москва, ГСП-3, 125993, Ленинградский проспект, д. 49; e-mail; oleg_bayuk@mail.ru; тел. 8-926-135-12-69.

V. YA. ZHARNITSKY, E. V. ANDREEV

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Russian Timiryazev State Agrarian University», Moscow

O. A. BAYUK

The Federal state budget educational institution of higher education
«Financial university under the Government of the Russian Federation», Moscow

MULTIPLE-FACTOR MODELING OF THE FORECAST OF RELIABILITY ASSESSMENT OF HYDRAULIC STRUCTURES USING DATA ARRAY

For increasing the objectivity, reduction of cost, labor costs and terms of carrying out inspection it is necessary to apply an integrated approach to the assessment of reliability and safety of soil dams, with application of regression multiple-factor models using a data array of observations over the value change of the generalized indicator of operational reliability. Owing to physical-mechanical properties of low pressure soil constructions, the task of operational reliability and durability demands the solution of a number of methodological and theoretical questions. It is possible to carry out a problem of creation of the statistical and dynamic forecast of durability and operational reliability of the low pressure hydraulic engineering construction in the environment with a limited number of comprehensive basic data about the construction. However there are arising two mathematical problems: autocorrelation and multicollinearity. Therefore besides scrupulous studying of physical-mechanical properties of soils, when building multicriteria models of assessment of the operational reliability of low pressure soil dams and forecast of their further state it is important to consider the correctness of statement and realization of the mathematical apparatus in relation to this problem.

Low pressure soil dams, longevity, multiple-factor model, period of observations, time series, statistical data, actual levels of a time series, forecast of the state.

References

1. World Register of Dams. – Paris: ICOLD, 1985. – 753p.
2. Zharnitsky V. Ya., Andreev E. V. Osobennosti vliyaniya neeksploatatsionnykh dinamicheskikh nagruzok na gidrotehnicheskiye sooruzheniya // Izvestiya vuzov. Geodeziya I aerofotosjemka. – 2012. – № 5. – P. 25–29.
3. Zharnitsky V. Ya., Andreev E. V. Printsipy monitoring tehnicheskogo sostoyaniya nizkonapornykh gruntovykh plotin, popadayushchih v gruppu riska na osnovanii ekspertnogo zaklyucheniya // Prirodoobustroystvo. – 2013. – № 1. – S. 38–42.
4. Zharnitsky V. Ya., Andreev E. V. Metody operativnogo ustanovleniya stroitelnykh pokazatelej glinistykh gruntov, ulozhennykh v telo nizkonapornykh plotin // Prirodoobustroystvo. – 2014. – № 1. – S. 44–49.
5. Kiljdeshev G. S., Frenkelj A. A. Analiz vremennykh ryadov I prognozirovaniye. – M.: Statistika, 1973. – 104 s.

Received on 11.01.2016.

Information about the authors

Zharnitsky Valeriy Yakovlevich, doctor of technical sciences, professor of the chair «Bases and foundations, construction and expertise of objects of estate property»; FSBEI HERSAU-MAA named after C. A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. B. Academicheskaya, 44; e-mail: zharnitskiy@mail.ru; tel. +7-905-720-30-72. of technical sciences.

Andreev Evgeniy Vladimirovich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair «Bases and foundations, construction and expertise of objects of estate property»; FSBEI HE RSAU-MAA named after C. A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. B. Academicheskaya, 44; e-mail: andreev-rf@mail.ru, тел. +7-929-648-09-27.

Bayuk Oleg Alexandrovich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair «Theory of probabilities and mathematical statistics»; FSBEI HE Financial university; Moscow, GSP-3, 125993, Leningradsky prospect, 49; e-mail: oleg_bayuk@mail.ru; тел. 8-926-135-12-69.

УДК 502/504:551.48:626.81:627.81

В. И. КЛЁПОВ

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

И. В. РАГУЛИНА

Областное государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Курский институт развития образования», г. Курск

СООТНОШЕНИЕ СОСТАВЛЯЮЩИХ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО БАЛАНСА В БАССЕЙНЕ РЕКИ МОСКВЫ

Рассмотрены основные особенности составления водохозяйственного баланса речного бассейна на примере бассейна р. Москва. Показана роль и место обводнительных попусков в составе водохозяйственного баланса на основе анализа проектных материалов и литературных источников. В настоящее время не существует единой методики оценки допустимых объемов обводнительных попусков в водные объекты, в том числе в нижние бьефы водохранилищ гидроузлов, отсутствует также единообразие в терминах. Различными авторами понятие обводнительных попусков в нижние бьефы гидроузлов и водозаборов определяется по-разному: минимально допустимые, минимально необходимые расходы воды, рыбохозяйственные попуски, сельскохозяйственные попуски, транспортные попуски, санитарные попуски и др. Попуски из водохранилищ в бассейне р. Москвы должны обеспечивать гарантированный расход воды в створе Рублевской плотины в размере 29 м³/с с расчетной обеспеченностью 97 % по числу бесперебойных лет. Только в чрезвычайных условиях допускается его снижение до 20 м³/с. Водный режим реки на этом участке определяется также переброской волжской воды по каналу имени Москвы через судоходные шлюзы по деривационному каналу из Химкинского водохранилища в р. Сходню и по Лихоборскому сбросу в р. Яузу.

Речной сток, обводнительные попуски, водохранилище, система водохранилищ, водообеспечение.