

УДК 502/504:620.1:624.01; 626.82:691.32

А. Г. АЛИМОВ

Государственное научное учреждение

«Поволжский научно-исследовательский институт эколого-мелиоративных технологий», Волгоград

УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДОПРОНИЦАЕМОСТИ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Результаты исследований водопроницаемости деформационных швов гидротехнических сооружений, приведенные в статье, внедрены на мелиоративных объектах Волгоградской области. Работа защищена патентом на изобретение.

Водопроницаемость деформационных швов, гидротехнические сооружения, Волгоградская область, мелиоративные объекты.

The research results of control joints water tightness of hydrological structures given in the article have been introduced on the reclamation objects of the Volgograd region. The work is patented for an invention.

Water tightness of control joints, hydrological structures, the Volgograd region, reclamation objects.

Противофильтрационная эффективность и эксплуатационная надежность защитных облицовок водопроводящих гидротехнических сооружений, в частности оросительных каналов гидромелиоративных систем и аккумулирующих водоемов различного комплексного назначения (мелиоративного, противопожарного, спортивно-оздоровительного и др.), в значительной степени зависит от качества герметизации деформационных швов.

Натурные исследования, выполненные различными научно-исследовательскими и проектными организациями в течение многих лет, позволили установить, что основные потери воды на фильтрацию из облицованных каналов происходят через деформационные швы и дефекты в бетоне (95...98 %). При этом потери воды через бетон составляют 2...5 % от общего объема фильтрации из каналов [1, 2].

Для оценки качества герметизации швов противофильтрационных облицовок каналов и водоемов применяют различные способы определения водопроницаемости. В частности, известны способы измерения потерь воды с помощью фильтромерного отсека, об-

разуемого приклеенным к бетону эластичным экраном из резины с рифленой поверхностью, и фильтромеров, плотно прижимаемых к облицовке через легкодеформируемый материал [3–8]. Указанные способы измерения потерь воды на фильтрацию отличаются значительной трудоемкостью и чрезмерной продолжительностью испытаний. Как правило, такие способы не всегда применимы для фильтрационных исследований противофильтрационных конструктивных элементов гидротехнических сооружений в связи со специфическим технологическим режимом работы водохозяйственных объектов.

Известна фундаментальная работа [3], выполненная в научно-исследовательском секторе Гидропроекта, в которой предложен апробированный метод ультразвукового контроля и дефектоскопии стыков сборно-монолитных водоводов гидроаккумулирующих электростанций. Однако применить этот метод к контролю водопроницаемости деформационных швов гидротехнических сооружений из различных герметиков (тиокола, битумно-полимерной мастики и др.) не представляется возможным без дополнительных исследований.

Автором проведены долговременные режимные натурные фильтрационные и ультразвуковые исследования деформационных швов из различных герметиков в противофильтрационных облицовках из сборных железобетонных плит НПК толщиной 6 см на мелиоративных системах Волгоградской области. Конструкция исследованных деформационных швов выполнена по патенту на изобретение RU № 22789221 С2 [9].

Потери воды на фильтрацию были установлены с помощью придонного фильтромерного отсека и фильтромеров [4, 5].

Ультразвуковые исследования деформационных швов выполнены методом их поверхностного прозвучивания по ГОСТ 17624–87 [10] прибором УК-14ПМ, оснащенный пьезоэлектрическими преобразователями с диапазоном частот 42...130 кГц и аттестованным в установленном порядке по ГОСТ 8.383–80 [11]. При выполнении ультразвуковых измерений указанным методом вносилась поправка на «временную задержку» сигнала в соединительных кабелях и мембранах ультразвуковых датчиков.

Результаты комплексных натуральных фильтрационных и ультразвуковых исследований деформационных швов в противофильтрационных облицовках каналов представлены в табл. 1.

По результатам исследований деформационных швов установлено следующее:

коэффициент водопроницаемости K_B деформационных швов из тиоколовой мастики КМ-0,5 в зависимости от качества их герметизации изменяется в пределах от $0,89 \cdot 10^{-7}$ до $45,4 \cdot 10^{-7}$ см/с при соответствующем изменении скорости распространения ультразвука C_{jk} в швах от 2300 до 1700 м/с;

коэффициент водопроницаемости K_B деформационных швов из битумно-полимерной мастики с учетом качества их герметизации составляет $1,3 \cdot 10^{-7}$... $120 \cdot 10^{-7}$ см/с, а скорость распространения ультразвука C_{jk} при поверхностном прозвучивании швов — соответственно 2 300...1 600 м/с [12];

при снижении скорости распространения ультразвука C_{jk} в деформационных швах из тиоколовой мастики КМ-0,5 в 1,35 раза (2300:1700) коэффициент водопроницаемости K_B увеличивается в 51 раз (45,4:0,89);

при снижении скорости распространения ультразвука C_{jk} в деформационных швах из битумно-полимерной мастики в 1,44 раза (2300:1600) коэффициент водопроницаемости K_B увеличивается в 92,3 раза (120:1,3) [12].

Таким образом, величина скорости прохождения ультразвука C_{jk} в деформационных швах отражает качество их герметизации, т.е. чем выше значение C_{jk} , тем ниже коэффициент водопроницаемости K_B и, следовательно, герметичнее шов.

На основании графической интерпретации, после анализа и математической обработки экспериментальных данных методом наименьших квадратов, установлены градуируемые зависимости «скорость распространения ультразвука C_{jk} — коэффициент водопроницаемости K_B » для деформационных швов в противофильтрационных облицовках каналов из сборных железобетонных плит НПК, которые описываются следующими уравнениями убывающих степенных функций [13]:

для деформационных швов из тиоколовой мастики КМ-0,5 —

$$K_B = 4,5 \cdot 10^{36} / C_{jk}^{13}; \quad (1)$$

для деформационных швов из битумно-полимерной мастики [9] —

$$K_B = 1,348 \cdot 10^{35} / C_{jk}^{12,5}, \quad (2)$$

где 4,5; 36; 13; 1,348; 35 и 12,5 — эмпирические коэффициенты, полученные в результате математической обработки экспериментальных данных.

Коэффициент корреляции зависимости (1) составляет 0,93, зависимости (2) — 0,92.

Среднее квадратическое отклонение изменения коэффициента водопроницаемости деформационных швов установлено по формуле [13]

$$S = \sqrt{\sum_{j=1}^N (K_j - K_B) / N}, \quad (3)$$

Таблица 1

Результаты натурных фильтрационных и ультразвуковых исследований деформационных швов в противофильтрационных облицовках каналов мелиоративных систем

Номер участка	Деформационные швы из тиоколовой мастики КМ-0,5		Деформационные швы из битумно-полимерной мастики (ВПМ)	
	Скорость распространения ультразвука в шве $C_{jк}$, м/с	Коэффициент водопроницаемости (фильтрации) шва K_p , 10^{-7} см/с	Скорость распространения ультразвука в шве $C_{jк}$, м/с	Коэффициент водопроницаемости (фильтрации) шва K_p , 10^{-7} см/с
1	1700	45,4	1600	120
2	1710	45,0	1620	110
3	1730	37,5	1650	75,4
4	1710	39,3	1670	71,1
5	1750	31,2	1700	56,2
6	1740	35,6	1710	49,6
7	1760	27,8	1730	47,8
8	1740	31,7	1760	35,0
9	1800	21,6	1800	27,4
10	1810	21,5	1810	26,9
11	1820	19,8	1820	23,0
12	1810	18,8	1840	22,1
13	1850	15,1	1850	19,5
14	1860	15,0	1860	17,4
15	1870	13,8	1870	17,7
16	1860	13,3	1890	14,5
17	1900	10,8	1900	14,0
18	1920	10,3	1920	12,5
19	1930	8,30	1930	10,8
20	1920	9,49	1940	11,3
21	1950	7,64	1950	10,0
22	1960	7,35	1960	9,1
23	1970	7,01	1970	9,3
24	1960	6,93	1990	7,6
25	2000	5,50	2000	7,4
26	2010	5,47	2010	7,3
27	2030	4,50	2030	5,9
28	2010	5,04	2040	6,1
29	2050	3,98	2050	5,4
30	2060	3,56	2060	4,9
31	2080	3,39	2070	5,0
32	2060	4,04	2080	4,4
33	2080	3,20	2090	4,3
34	2100	2,92	2100	4,0
35	2120	2,73	2120	3,4
36	2140	2,37	2130	3,5
37	2120	2,43	2140	3,1
38	2140	2,19	2140	3,6
39	2150	2,15	2150	3,0
40	2160	2,12	2160	2,6
41	2180	1,74	2180	2,6
42	2200	1,59	2200	2,3
43	2240	1,22	2240	1,7
44	2280	1,06	2280	1,5
45	2300	0,89	2300	1,3
46	2290	0,91	2280	1,4
47	2300	0,94	2300	1,4
48	2280	0,94	2290	1,3

где K_f , K_b — соответственно фактическое и расчетное значения коэффициента водопроницаемости деформационных швов, см/с; N — число участков испытаний.

Для деформационных швов из тиоколовой мастики КМ-0,5, согласно зависимости (1), $S = 0,42 \cdot 10^{-7}$ см/с; для

швов из битумно-полимерной мастики, согласно зависимости (2), $S = 0,66 \cdot 10^{-7}$ см/с.

Максимальное отклонение расчетных значений коэффициента водопроницаемости деформационных швов K_B , установленных по уравнениям (1), (2), от экспериментальных (фактических) значений K_j , варьирует в пределах $\pm 7...8$ % и составляет в среднем $3,6...3,7$ %.

На основании выполненных исследований автором разработан и защищен патентом РФ на изобретение современный метод ультразвукового контроля водопроницаемости деформационных швов гидротехнических сооружений (решение ФГУ ФИПС о выдаче патента по заявке № 2007102483/03 от 20.12.2007 г.). Экспериментально-производственная апробация разработанного метода контроля водопроницаемости деформационных швов гидротехнических сооружений выполнялась в 2007 г. по вышеописанной методике на участке (ПК 19+50 — ПК 22+00) магистрального канала Городищенской оросительной системы (МК ГОС) в Волгоградской области, облицованного сборными железобетонными плитами НПК со швами из тиоколовой мастики КМ-0,5 и введенного в эксплуатацию в 1975 г. [9].

Результаты натурных фильтрационных и ультразвуковых исследований деформационных швов в противофильтрационной облицовке МК ГОС (ПК 19+50 — ПК 22+00) представлены в табл. 2.

По результатам исследований деформационных швов из тиоколовой мастики КМ-0,5 в противофильтрационной облицовке магистрального канала Городищенской оросительной системы установлено следующее:

скорость распространения ультразвука при поверхностном прозвучивании деформационных швов на участке канала варьирует в пределах от 1700 до 1915 м/с и составляет в среднем 1781 м/с;

фактическое значение коэффициента водопроницаемости деформационных швов K_j составляет $1,0 \cdot 10^{-6}...4,5 \cdot 10^{-6}$ см/с и равно в среднем $2,976 \cdot 10^{-6}$ см/с, что соответствует требованиям СНиП

2.06.03–85 [14];

расчетное значение коэффициента водопроницаемости деформационных швов K_B изменяется в пределах от $1,0 \cdot 10^{-6}$ до $4,54 \cdot 10^{-6}$ см/с, что составляет в среднем $2,889 \cdot 10^{-6}$ см/с;

максимальное отклонение расчетных значений коэффициента водопроницаемости деформационных швов K_B , установленных по градуируемой зависимости (1), от экспериментальных значений K_j составляет ± 7 % и в среднем равно $\frac{\sum |\delta_j|}{n} = 5,7\%$, что свидетельствует о достаточно высокой точности предлагаемого метода контроля водопроницаемости швов.

Разработанный ультразвуковой метод контроля водопроницаемости деформационных швов в условиях эксплуатации гидротехнических сооружений позволяет исключить трудоемкую и не всегда возможную, в связи со специфическим технологическим режимом работы сооружений, установку фильтромеров и придонных фильтромерных отсеков и значительно снизить трудозатраты, стоимость и продолжительность исследовательских работ по определению фильтрации через швы бетонных и железобетонных конструкций (в основном противофильтрационных облицовок каналов и водоемов).

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных и приоритетных прикладных исследований Россельхозакадемии по научному обеспечению развития АПК РФ на 2006–2010 гг. по этапу 03.01.02.03 «Разработать комплекс высокотехнологичных приемов производства ремонтно-эксплуатационных работ на мелиоративных каналах для восстановления их функциональных проектных параметров».

Выводы

Существующие способы измерения потерь воды на фильтрацию через противофильтрационные конструкции с помощью фильтромеров и придонных фильтромерных отсеков отличаются значительной трудоемкостью, чрезмерной продолжительностью испытаний

Таблица 2

Результаты натуральных и теоретических фильтрационных и ультразвуковых исследований деформационных швов из тнколовой мастики КМ-0,5 в противофильтрационной облицовке МК ГОС (ПК 19+50 — ПК 22+00)

Номер шва	Скорость распространения ультразвука при поверхностном прозвучивании, C_{jk} , м/с	Коэффициент водопроницаемости деформационных швов, 10^{-6} см/с		
		Фактический K_j , 10^{-6} см/с	Расчетный по зависимости (1) K_B , 10^{-6} см/с	Погрешность δ_j , %
1	1870	1,242	1,317	-6,0
2	1810	2,121	2,010	5,2
3	1760	3,113	2,895	7,0
4	1900	1,161	1,085	6,5
5	1860	1,330	1,412	-6,2
6	1710	3,940	4,209	-6,8
7	1700	4,243	4,540	-7,0
8	1750	3,330	3,120	6,3
9	1900	3,015	1,085	-6,9
10	1760	2,710	2,895	-6,8
11	1910	1,070	1,000	6,5
12	1915	1,000	0,965	3,5
13	1710	4,500	4,209	6,5
14	1800	2,038	2,160	-6,0
15	1950	1,618	1,512	6,6
16	1740	3,142	3,363	-7,0
17	1730	3,875	3,626	6,4
18	1810	2,141	2,010	6,1
19	1710	4,377	4,209	3,8
20	1730	3,900	3,626	-7,0
21	1820	1,748	1,870	-7,0
22	1700	4,365	4,540	-4,0
23	1740	3,616	3,363	7,0
24	1750	2,930	3,120	-6,5
25	1715	4,364	4,059	7,0
26	1830	1,640	1,741	-6,2
27	1705	4,500	4,376	2,6
28	1720	4,200	3,905	7,0
29	1715	3,870	4,059	-4,9
30	1705	4,168	4,376	-5,0
Среднее значение	1781	2,976	2,889	$\frac{\sum \delta_j }{n} = 5,7 $

(их не всегда можно применить для фильтрационных исследований деформационных швов в связи со специфическим режимом эксплуатации гидротехнических сооружений).

Анализ действующих в России и за рубежом нормативно-технических и методических документов (санитарных норм и правил, государственных стандартов, руководств, инструкций, методических рекомендаций и др.) позволил установить, что в них отсутствуют методы ультразвукового контроля водопроницаемости деформационных швов

гидротехнических сооружений.

На основе теоретических и натуральных исследований автором разработан и защищен патентом на изобретение современный экспериментально-расчетный метод ультразвукового контроля водопроницаемости деформационных швов противофильтрационных конструкций мелиоративных гидротехнических сооружений, преимущественно защитных облицовок каналов и водоемов, учитывающий реальные условия их эксплуатации.

Проведенные исследования позволяют

рекомендовать разработанный метод ультразвукового контроля водопроницаемости деформационных швов гидротехнических сооружений для их диагностирования при строительстве, эксплуатации и реконструкции водохозяйственных объектов. Этот метод контроля, не требующий нарушения целостности конструкций, имеет достаточную для производственных условий точность и достоверность.

Список литературы

1. **Алимов, А. Г.** Натурные исследования противofильтрационных одежд оросительных каналов [Текст] / А. Г. Алимов, Э. И. Гольденберг, В. М. Иванов // Гидротехника и мелиорация. — 1977. — № 8. — С. 33–38.
2. **Алимов, А. Г.** Эффективность и надежность облицовок оросительных каналов [Текст] / Алимов А. Г. // Гидротехника и мелиорация. — 1982. — № 4. — С. 31–35.
3. **Филонидов, А. М.** Ультразвуковая дефектоскопия стыков сборно-монолитных водоводов Загорской ГАЭС [Текст] / А. М. Филонидов // Гидротехническое строительство. — 1988. — № 5. — С. 24–26.
4. **А. с. SU № 151137, А 1. М. кл³. G E 02 B 13/00.** Способ определения абсолютных фильтрационных потерь на участке ирригационного канала [Текст] / Г. В. Абелишвили. — № 754261/30-15 ; заявл. 30.11.61 ; опубл. В 1962 г., Бюл. № 20.
5. **А. с. SU № 592915. М. кл². E 02 B 3/16 А 01 G 25/00.** Устройство для определения потерь воды в канале через противofильтрационные облицовки [Текст] / В. М. Бойко, Е. А. Богатов. — № 2379895/29-15 ; заявл. 14.06.76 ; опубл. 15.02.78, Бюл. № 6.
6. **А. с. SU № 918385. М. кл³. E 02 B 3/16.** Способ измерения потерь воды [Текст] / В. М. Бойко. — № 3007185/29-15 ; заявл. 24.11.80 ; опубл. 07.04.82, Бюл. № 13.
7. **А. с. SU № 1532645, А 1. М. кл³. E 02 B 1/02.** Устройство для измерения фильтрационных потерь [Текст] / А. В. Ищенко, Р. Р. Галицкий, Т. С. Косенко, В. А. Рыбалкин. — № 4398887/23-15 ; заявл. 28.03.88 ; опубл. 30.12.89, Бюл. № 48.
8. **Зоценко, А. Ф.** Измерение потерь воды приборами фильтромерами [Текст] / А. Ф. Зоценко // Мелиорация и водное хозяйство. — 1990. — № 10. — С. 44–46.
9. **Пат. № 2278921 Российская Федерация, С 2 МПК⁷ E 02 B 3/16 (2006.01).** Деформационный шов сборной облицовки каналов [Текст] / Алимов А. Г. — № 2004126810/03 ; заявл. 06.09.04 ; опубл. 27.06.06, Бюл. № 18.
10. **ГОСТ 17624–1987.** Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности [Текст]. — М. : Изд. стандартов, 1987. — 26 с.
11. **ГОСТ 8.383–1980.** ГСИ. Государственные испытания средств измерений. Основные положения [Текст]. — М. : Изд. стандартов, 1980.
12. **А. с. № 1548200 А1, МКИ³ С 09 D 123/04, С 09 К 3/10.** Состав мастики для герметизации и гидроизоляции [Текст] / В. В. Карпунин, А. Г. Алимов (СССР) ; заявитель и патентообладатель Волж. госуд. проектно-изыскат. ин-т по проектир. водохоз. объектов. — № 4337440/23-05 ; заявл. 17.12.87 ; опубл. 07.03.90, Бюл. № 9. — 8 с.
13. **Длин, А. М.** Математическая статистика в технике [Текст] / А. М. Длин. — М. : Советская наука, 1958. — 466 с.
14. **Строительные нормы и правила 2.06.03-85.** Мелиоративные системы и сооружения [Текст] / Госстрой СССР. — М. : ЦНТП Госстроя СССР, 1986. — 60 с.

Материал поступил в редакцию 22.03.2008.

Алимов Анатолий Георгиевич, канд. техн. наук, зам. директора по науке

Тел. 8 (8442) 35-55-76

E-mail: pniimt@vistcom.ru