

УДК 666.9.017:620.179

УЧЁТ ВЛАЖНОСТИ БЕТОНА ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ МАРКИ ПО ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

¹Семененко С.Я., ^{1,2}Арьков Д.П., ¹Марченко С.С.

¹Поволжский научно-исследовательский институт эколого-мелиоративных технологий – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН», Волгоград, e-mail: Pniiemt@yandex.ru;

²ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет», Волгоград

Многие мелиоративные сооружения, ввиду длительного срока работы, имеют разрушения. Анализ состояния этих конструкций показывает, что они находятся в ограниченно работоспособном и недопустимом состоянии и представляют угрозу населенным пунктам, объектам экономики. Необходимо регулярно проводить мониторинг таких сооружений с определением прочностных, проектных параметров, для своевременного выполнения мероприятий направленных на сохранение и восстановление физико-механических свойств конструкций. Абсолютный контроль невозможен без определения марки бетона по водонепроницаемости, по которой устанавливается техническое состояние бетонных и железобетонных конструкций мелиоративных сооружений. Разработка методов ультразвукового диагностирования бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических и мелиоративных сооружений, эксплуатируемых в условиях водонасыщения, является актуальной проблемой. Достоинство ультразвукового метода заключается в том, что он дает возможность получать и сравнивать характеристики материала, как в лабораторных условиях, так и на эксплуатируемых сооружениях. Стандартные методы ультразвукового контроля, предусмотренные ГОСТами и другими нормативно-методическими документами РФ, не позволяют получать достоверные данные для определения технического состояния эксплуатируемых объектов в условиях водонасыщения. Разработанные математические соотношения в совокупности с другими методами позволяют выполнять качественную и количественную оценку эксплуатационных характеристик гидротехнических сооружений, без которой невозможно сделать достоверный прогноз дальнейших сроков службы.

Ключевые слова: ультразвук, влажность, диагностика, класс бетона, неразрушающие методы контроля, прочность, гидротехническое сооружение

ACCOUNTING FOR HUMIDITY OF CONCRETE IN THE DIAGNOSIS OF STAMPS ON WATER RESISTANCE OF CONCRETE STRUCTURES OF HYDRAULIC STRUCTURES

¹Semenenko S.Ya., ^{1,2}Arkov D.P., ¹Marchenko S.S.

¹Volga Research Institute of Ecological Technology (branch FNTS agroeco-ogy RAS), Volgograd, e-mail: Pniiemt@yandex.ru;

²Volgograd State Agrarian University, Volgograd

Many reclamation facilities, due to the extended period of operation, have destruction. Analysis of the condition of these structures shows that they are in limited functional and an invalid state, and pose a threat to human settlements, objects of economy. It is necessary to conduct regular monitoring of such structures with the determination of strength, design parameters, for the timely implementation of measures aimed at preserving and restoring the physical and mechanical properties of the structures. Absolute control is impossible without determining the type of concrete on water resistance, which is established by the technical condition of concrete and reinforced concrete structures drainage structures. Development of methods of ultrasonic diagnostics in concrete and reinforced concrete structures hydraulic engineering and reclamation facilities operating in conditions of saturation, is an important issue. The advantage of ultrasonic method is that it allows you to receive and compare the characteristics of the material, both in the laboratory and on operating installations. Standard methods of ultrasonic control are stipulated by GOST and other normative-methodical documents of the Russian Federation do not allow to obtain reliable data to determine the technical condition of facilities operated under conditions of water saturation. Developed mathematical ratio in combination with other methods allow to perform qualitative and quantitative performance assessment of hydraulic structures, without which it is impossible to make a reliable prediction of further lifetimes.

Keywords: ultrasound, humidity, diagnosis, grade of concrete, non-destructive testing, durability, hydraulic structure

Инновационное, социально-ориентированное развитие мелиоративно-водохозяйственного комплекса, отнесённое к национальным приоритетам России по обеспечению роста уровня жизни населения и конкурентоспособности сельскохозяйственной продукции, невозможно без должного контроля за безопасностью

гидромелиоративных систем (ГМС) и отдельно стоящих гидротехнических сооружений (ГТС). Согласно Водной стратегии агропромышленного комплекса России на период до 2020 г., одной из стратегических целей развития водохозяйственного комплекса АПК является обеспечение безопасности гидротехнических сооружений [1].

В данном документе определены мероприятия, направленные на охрану окружающей среды, представлен необходимый план по обеспечению требуемой экологической безопасности на территории действия мелиоративных сооружений. К 2017 г. срок работы подавляющего большинства бетонных мелиоративных сооружений достигает предельных значений, а именно 50 и более лет.

Обострение проблемы наводнений в России непосредственно связано со старением основных производственных фондов водного хозяйства страны. В капитальном ремонте нуждаются свыше 20% гидротехнических сооружений. В аварийном состоянии находятся более 1400 сооружений. Ввиду длительного срока работы, подавляющее большинство сооружений имеют разрушения, некоторые из них находятся в аварийном или нерабочем состоянии. С ухудшением технического состояния гидротехнических сооружений возрастает риск их разрушения во время паводков и половодий, что представляет угрозу населенным пунктам, объектам экономики и сельскохозяйственным угодьям [2].

Решение задачи о повышении надежности экологической безопасности функционирования гидромелиоративных систем невозможно без определения такого важнейшего фактора, устанавливающего эксплуатационную надежность и долговечность ГТС, как коэффициент фильтрации бетона. Зная марку бетона по водонепроницаемости, определяемую по коэффициенту фильтрации, возможно достоверно установить техническое состояние бетонных и железобетонных конструкций, обеспечить соблюдение запроектированных параметров надежности и экологической безопасности гидромелиоративных систем.

Цель исследований заключается в разработке неразрушающего метода контроля состояния ГТС с применением ультразвука, позволяющего учитывать влажность бетона при диагностировании его марки по водонепроницаемости в конструкциях действующих гидротехнических сооружений.

Материалы и методы исследования

Разработанные ранее методы определения коэффициента фильтрации, необходимые для установления марки бетона по водонепроницаемости в реальных условиях действующих мелиоративных сооружений практически невозможно использовать по причине специфического режима работы и конструктивных особенностей сооружений. Стандартные способы диагностики бетонных конструкций – многооперационны, трудоемки, при их использовании в полевых условиях требуется длительное время. Приведенные выше обстоятельства указывают на необходимость разработки неразрушающих методов определения эксплу-

атационных показателей, таких как марка бетона по водонепроницаемости, применение которых возможно в процессе мониторинга и комплексного обследования действующих сооружений [3].

Проведенный целостный ряд экспериментальных исследований по установлению зависимости водонасыщения бетона и скорости ультразвуковых волн, проходящих через него, а также марки бетона по водонепроницаемости позволили разработать универсальный метод неразрушающего контроля. Основной предпосылкой для использования ультразвукового метода в исследованиях свойств бетона явилось то обстоятельство, что при определенных условиях между динамическим модулем упругости, прочностью и скоростью распространения продольных ультразвуковых волн имеется статистическая связь.

Предложенный метод основан на использовании корреляционных (статистических) связей между скоростью ультразвука или динамическим модулем упругости, и коэффициентом фильтрации (марки бетона по водонепроницаемости). Связь между фильтрационными и акустическими характеристиками устанавливается на партии контрольных образцов, прошедших акустические и фильтрационные испытания. Однажды проведенные эталонные испытания данного состава бетона позволяют в последующем определять по скорости ультразвука или динамическому модулю упругости качество бетона непосредственно в конструкции или сооружении в любые сроки.

Известно выражение, полученное математической обработкой и анализом графической интерпретации экспериментальных данных, выявляющее зависимость изменения скорости (C) ультразвуковых колебаний в бетоне от его влажности (V), описываемое уравнением следующего вида [4]:

$$C = C_0 + 2,85 V^{3,2}, \quad (1)$$

где C_0 – скорость распространения УЗК (м/с) в бетоне при $V = 0\%$ (для бетона класса В12,5 – В 40, изменяется в пределах 4050...4600 м/с); 2,85 и 3,2 – коэффициенты, определенные в результате обработки данных.

Ранее введено понятие универсального показателя C_0/C_j относительного параметра скорости распространения ультразвука в бетоне в зависимости от его влажности [4].

В процессе проведенных экспериментов и выполненных теоретических исследований выявлено, что предложенный показатель с погрешностью 0,12...0,35% будет описан уравнением следующего вида:

$$C_0/C_j = 1 - 0,00069 V^{3,1}, \quad (2)$$

где C_j – скорость распространения ультразвука в бетоне при соответствующей влажности, м/с; 0,00069 и 3,1 коэффициенты, установленные в результате проведенных исследований.

Коэффициент корреляции полученной зависимости (2) составляет $K = 0,996$.

В лаборатории исследования безопасности гидротехнических сооружений и промышленных объектов Поволжского научно-исследовательского института эколого-мелиоративных технологий (филиал ФНИЦ агроэкологии РАН) проведены комплексные экспериментальные исследования по оценке влияния влажности бетона на скорость распространения ультразвуковых волн при положительных температурах окружающей среды.

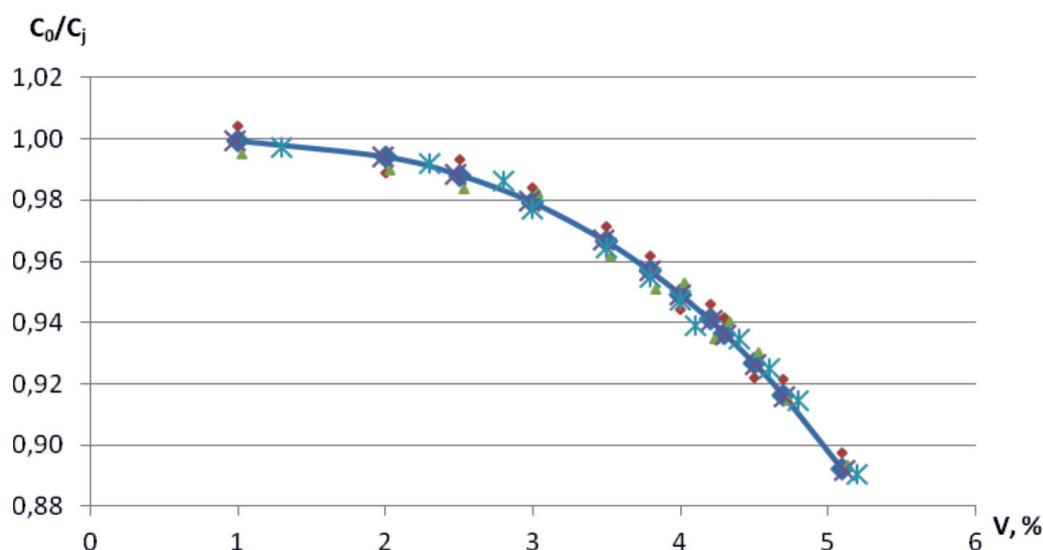


Рис. 1. График изменения относительного параметра (C_p/C_i) скорости распространения ультразвука (УЗК) в экспериментальных бетонных образцах от их влажности (V):
 × B 12,5; ♦ – B 22,5; ▲ – B 25; ■ – B 35...40 – маркеры, соответствующие прочности образцов бетона, полученной в процессе эксперимента

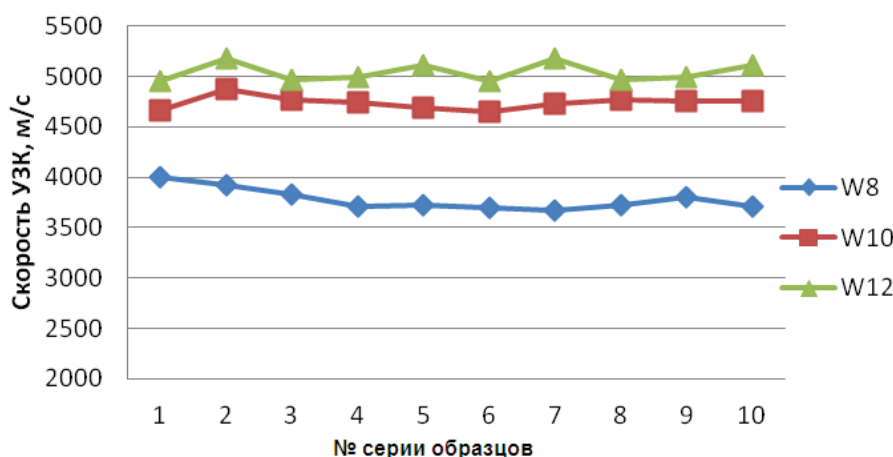


Рис. 2. График значений ультразвуковых колебаний в бетоне для образцов различных марок по водонепроницаемости

Лабораторные исследования проводились на бетонных образцах в форме цилиндра диаметром и высотой 150 мм, изготовленных по ГОСТ [5]. Варьируя водоцементным отношением, подготовлены образцы следующих классов бетона по прочности: B15; B20; B22,5; B25; B30. Одновременно из того же раствора, для подтверждения классов по прочности, были подготовлены образцы кубической формы в соответствии с [6].

Исследования проводились в следующем порядке:

Первый этап – измерение скорости распространения ультразвука в бетонных образцах. Для этого использован ультразвуковой прибор «Пульсар-1.2». Обработав полученные значения, сгенерированы гра-

фики (рис. 2), отражающие диапазон скоростей и свидетельствующие о том, что для образцов одной марки по водонепроницаемости скорость находится в определенных пределах [7].

Далее определена марка бетона по водонепроницаемости, для чего применялось устройство типа «Агама-2РМ», используемое при экспрессной оценке водонепроницаемости бетона по его воздухопроницаемости. Выделены следующие марки бетона по водонепроницаемости: W8, W10, W12.

Второй этап – замачивание образцов до постоянной влажности, затем высушивание при регулярном контроле влажности ($V\%$) и скорости распространения УЗК (C_p) в каждом образце (рис. 3).



Рис. 3. Бетонные образцы в процессе замачивания

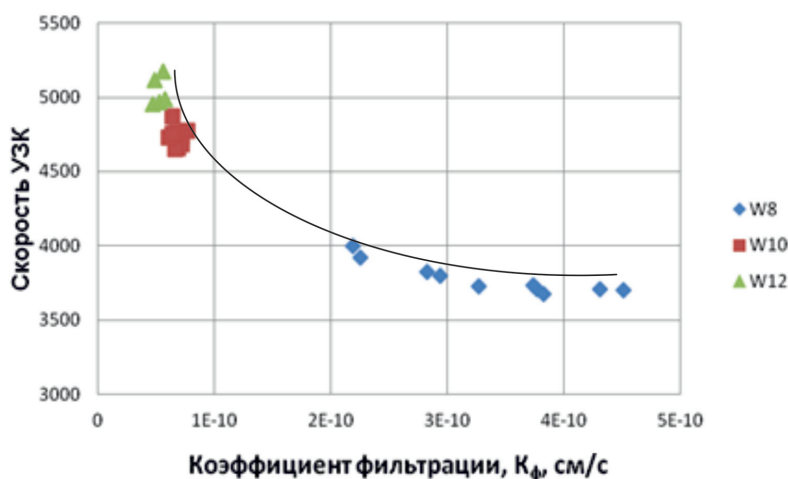


Рис. 4. Экспериментальные значения скоростей УЗК в образцах с различным коэффициентом фильтрации

Результаты исследования и их обсуждение

Используя измеренные в процессе эксперимента значения скоростей УЗК в бетонных образцах разных марок по водонепроницаемости, имеющих различные коэффициенты фильтрации, для известного процента влажности, построен график (рис. 4), на котором прослеживается зависимость скорости распространения УЗК (в образцах одной марки) и коэффициента фильтрации. График может быть описан степенной функцией следующего вида:

$$C = 248,63 K_{\phi}^{-0,126}. \quad (3)$$

Используя данное уравнение, можно, по известной скорости распространения

ультразвуковой волны при известной влажности, рассчитывать коэффициент фильтрации бетонных конструкций, воспользовавшись которым в свою очередь определить марку бетона по водонепроницаемости.

На рис. 5 представлены зависимости интегрального показателя C_0/C_j – величины, обратной относительно параметру скорости распространения ультразвука в бетонах разных марок по водонепроницаемости от их влажности. Графики зависимости описываются уравнением степенной функции вида

$$C_0/C_j = C_0 + 1,11 V^{-0,11}, \quad (4)$$

где C_j – скорость распространения УЗК в бетоне при $V > 0\%$;

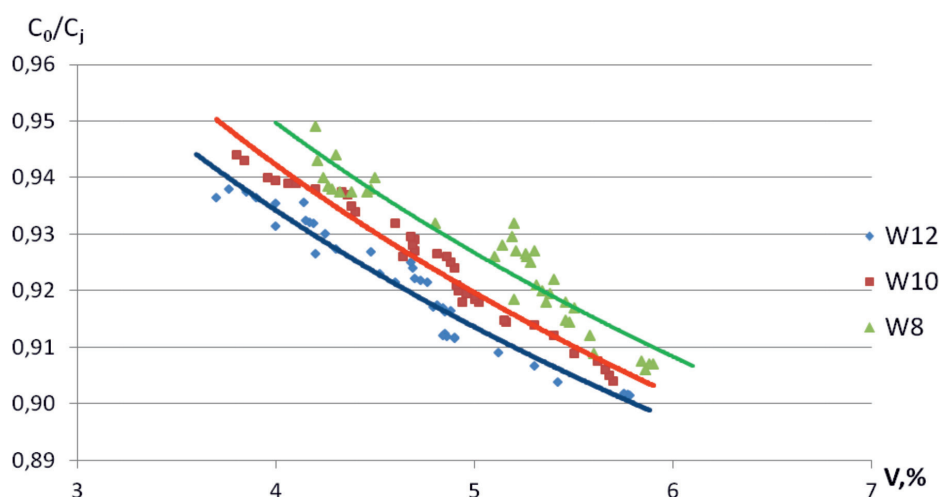


Рис. 5. График зависимости относительного параметра (C_0/C_i) скорости распространения ультразвука (УЗК) в экспериментальных бетонных образцах от их влажности (V) для разных марок бетона по водонепроницаемости

C_0 – скорость распространения УЗК в бетоне при $V = 0\%$, м/с;
1,11 и 0,11 – эмпирические коэффициенты, полученные в результате математической обработки экспериментальных данных;
 V – влажность бетона, % (по массе).

Коэффициент корреляции данной зависимости (4) составляет 0,89.

Полученные зависимости (2), (3) и (4) являются основой разработанного современного метода ультразвукового диагностирования в условиях высокого водонасыщения эксплуатируемых бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений.

Закключение

Влажность материала конструкции значительно изменяет скорость распространения ультразвуковых волн в материале и, как следствие, приводит к недостоверной диагностики состояния эксплуатируемых сооружений, учет влажности имеет неоспоримое значение. Достоинство предложенного ультразвукового метода, основанного на полученных уравнениях, заключается в возможности получения и сравнения характеристики материала не только на лабораторных образцах, но и непосредственно работающих в экстремальных условиях (высокое водонасыщение, переменное замораживание и оттаивание и др.) эксплуатируемых сооружениях, учитывая влажность конструкции. Данный метод может стать дополнением к существующим стандартам, позволит своевременно

и качественно обследовать гидротехнические сооружения.

Список литературы

1. Об утверждении водной стратегии [Текст]: распоряжение Правительства РФ от 27 августа 2009 г. № 1235-р // Собрание законодательства Российской Федерации, № 36, 07.09.2009, ст. 4362.
2. Краснощеков В.Н. Методика оценки экономической эффективности мероприятий по реконструкции мелиоративных систем с учетом технического состояния гидромелиоративных объектов, вероятностного характера изменения природно-климатических условий, хозяйственных, экологических и социальных условий функционирования мелиорируемых агроландшафтов, экологической ценности природных экосистем, степени эрозии, структуры природных ландшафтов и ущерба здоровью человека: научн. издание / В.Н. Краснощеков, Д.Г. Ольгаренко. – Коломна: ИП Воробьев О.М., 2015. – 116 с.
3. Семененко С.Я. Ультразвуковой способ диагностирования конструкций гидротехнических сооружений по водонепроницаемости / С.Я. Семененко, Д.П. Арьков, С.С. Марченко // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 10–3. – С. 518–522.
4. Алимов А.Г. Современные методы ультразвукового диагностирования бетонных и железобетонных конструкций сооружений, эксплуатируемых в условиях высокого водонасыщения и низких температур, для предупреждения чрезвычайных ситуаций / А.Г. Алимов, В.В. Карпунин // Технологии гражданской безопасности. – 2006. – № 3. – С. 36–44.
5. ГОСТ 12730.5-84 Бетоны. Методы определения водонепроницаемости (с Изменением № 1) – взамен ГОСТ 12730.5-78, ГОСТ 19426-74; Введ. с 1985.07.01. – М.: Изд-во Стандартиформ, 2007. – 12 с.
6. ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам – взамен ГОСТ 10180-90; Введ. с 01.07.2003. – М.: Изд-во Стандартиформ, 2013. – 30 с.
7. Семененко С.Я. Методика ультразвукового диагностирования водонепроницаемости бетона конструкций гидротехнических сооружений / С.Я. Семененко, Д.П. Арьков, С.С. Марченко // Известия нижевожского агроуниверситетского комплекса. – 2015. – № 1 (37) – С. 186–191.