

- рных сооружений / Дмитриев С.В. // Вестник ОГАСА .- №36 .- Одесса: ОГАСА, 2009 .- С. 144-147.
5. Анисимов К.И. Аналитическое решение задачи о распространении температурной волны фильтрующимся потоком в теле земляной плотины и определение теоретической закономерности между температурой потока в данной точке и скоростью фильтрации / К.И. Анисимов, С.В. Дмитриев // Вестник ОГАСА .- №14 .- Одесса: ОГАСА, 2004 .- С. 39-44.
  6. Зедгенидзе В.А. Решение задачи о распространении температурной волны фильтрационным потоком в теле земляной плотины / В. А. Зедгенидзе, С. В. Дмитриев // Меліорація і водне господарство.-№93-94, 2006 .- С.178-183.
  7. Дмитриев С.В. Экспериментальное подтверждение решения задачи конвективного теплообмена в грунтовых сооружениях / С.В. Дмитриев // Гидромелиорация и гидротехническое строительство .- №31 .- Ровно: НУВХиП, 2006 .- сс. 133-138.
  8. Справочник по гидравлическим расчетам / под. ред. П. Г. Киселева .- Москва: Энергия, 1972 .- 312с.

УДК 626.862:666.973

**Вандоловский А.Г., Гасанов А.Б., Буцкий В.А.**

*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры*

**Шевчук Л.В.**

*Винницкий колледж строительства и архитектуры*

*Киевского национального университета строительства и архитектуры*

## **ЗАВИСИМОСТЬ ФИЛЬТРАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ БЕТОНА ОТ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОРИСТОГО ПРОСТРАНСТВА**

При изучении бетонов значительное внимание уделялось проблеме определения корреляционной связи между проницаемостью и пористостью.

При пропитке бетона метилметакрилатом И.Д. Омельченко (аспирант Д.А. Угинчуса) обнаружил, что при пропитке очень плотного бетона мало вязкий флюид с введенным в него отвердителем (гипериз) в мелких порах не полимеризовался. Дальнейшие исследования показали, что метилметакрилат (ММА) с введенным отвердителем хорошо пропитывает цементный камень, но отвердитель, состоящий из крупных молекул  $C_6H_5COOH(CH_3)_2$  не проходит сквозь мелкие поры, и таким образом, в очень мелких порах из-за непроникновения отвердителя ММА не полимеризуются.

Многие специалисты пытались решить эту проблему различными способами [1]. Так, на основе своей работы английский ученый WiggsP. сделал выводы, что в структурах, подобных цементному камню, прямой связи между пористостью и проницаемостью не наблюдается. Другое мнение по этому поводу

высказывается Ф.М. Ивановым в докторской диссертации [2]. Коррозионные процессы и стойкость бетона в агрессивных средах, предложено определять по объему сквозных пор по зависимости:

$$K_{\phi} = f(V_{СКВ}^n), \quad (1)$$

где  $K_{\phi}$  – коэффициент фильтрации;  $V_{СКВ}$  – сквозная пористость;  $n$ –показатель степени,  $n \geq 2$ .

Эта гипотеза однако, не учитывает многообразия связей и зарядов поверхности отдельных видов пор. Например, крупные поры размером более  $1 \cdot 10^{-2}$  мм практически не оказывают влияния на фильтрацию. Так как количество и концентрация их в бетоне весьма незначительна, а современные способы уплотнения бетонных смесей исключают скопление таких пор как сквозные каналы [3]. Не способствуют фильтрации и самые мелкие поры, близкие по размерам к молекулам фильтруемого флюида. Некоторое влияние на фильтрацию оказывает диффузионный обмен между жидкостями сообщающихся пор и тупиковых или застойных зон поровой системы. Поэтому сис-

тема пор, по которой в конкретных условиях и происходит фильтрация, которая отличается от сквозной и общей пористости, получила название активной пористости и может быть представлена зависимостью

$$m = \frac{V_p - V_n}{V_g} \quad (2)$$

где  $m$  – активная пористость;  $V_p$  – объем пор в материале;  $V_n$  – объем занимаемый порами, не действующими (не участвующими) в фильтрации;  $V_g$  – объем образца.

Для исследования активной пористости наиболее эффективен метод фильтрации жидкости с радиоактивной несорбирующейся меткой, вводимой в исчезающе малых, концентрациях [4]. Бетон, который используется для опытов, относится к системе, содержащей непористые жесткие частицы, что позволяет применять более простую методику.

При этом жидкость, содержащая радиоактивный изотоп, внедряется в систему пор материала, заполненную наметенную жидкостью и вытесняет последнюю. Под давлением радиоактивной жидкости из образца прежде всего выделяет фильтрат, заполнявший поры бетона. Появление активной метки в фильтрате свидетельствует о том, что жидкость прошла толще образца по большим порам за время  $\tau_{min}$ . В дальнейшем активность фильтрата увеличивается, что свидетельствует о проникновении жидкости во все более мелкие поры и по мере заполнения раствором всех водопропускающих капилляров в бетоне становится равной в отношении исходной. Это время, обозначаемое  $\tau_{max}$ , характеризует самые мелкие поры [3].

Образцы мелкозернистого бетона были изготовлены на ПЦ (портландцементе) М500 и мелком песке с  $M_{кр} = 1,8$  после отсева. В/Ц были определены на 12 образцах размером  $10 \times 10 \times 4$  см по методике проф. Г.П. Бовина [4].

Таким образом были подобраны и испытаны составы мелкозернистых пористых бетонов, имеющие В/Ц от 1,0 до 0,5. Из этих составов изготавливали по 15 образцов цилиндров диаметром 5 см. и

высотой 1 см для изучения активной пористости. Перед опытом их тщательно насыщали спиртом. Для этого вначале водную фазу в порах замещали спиртом путем его фильтрации сквозь образцы, затем освобождались от газообразной фазы, насыщая их спиртом под вакуумом.

По окончании фильтрационных испытаний определяли объем пор, после того как определяли их объем и массу.

Образец вставляли в резиновое кольцо, смазанное с внутренней и внешней стороны вакуумной смазкой, и помещали в сконструированный авторами разъемный цилиндрический оголовок фильтрационной установки. Оголовок состоял из верхнего опорного фланца, соединенного с камерой для фильтруемой «меченой» среды, нижнего фланца, выполненного в виде воронки и предназначенного для сбора профильтровавшейся сквозь образец жидкости и соединительной муфты с резьбой. Образец в резиновом кольце помещали между фланцами и зажимали с помощью муфты, что исключало краевую фильтрацию в обход образца.

Цилиндрический резервуар над образцом заполняли меченой фильтрующейся жидкостью известной активности  $N_0$ . На опорную площадку поршня помещали груз для создания постоянного градиента напора и включали секундомер для регистрации скорости фильтрации. Фильтрат на выходе из прибора собирали в мерную бюретку для измерения радиоактивности.

В последующих расчетах использовали отношение нарастающей в ходе испытания активности фильтрата  $N_t$  к исходной активности  $N_0$ , обозначаемое  $S$  и отношение объема фильтрата  $V_0$ , взятого для каждой последующей порции нарастающим итогом к объему дисперсионной среды образца  $V_n$ , обозначаемое –  $T$ .

В системе координат  $S$ - $T$  построили радиоиндикаторные кривые для исследованных составов мелкозернистых бетонов. Здесь же привели зависимость  $T = f(\tau)$  между объемом фильтрата и временем опыта, характеризующую скорость накопления фильтрата.

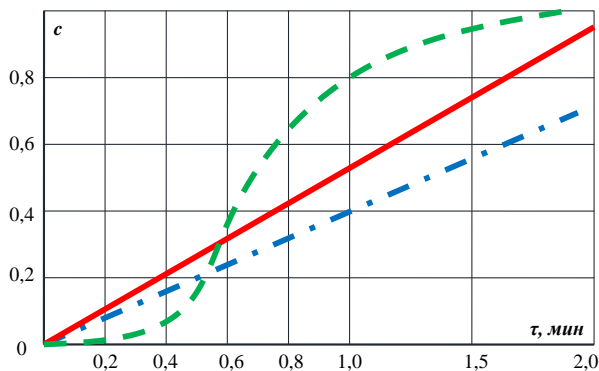


Рис. 1. Радиоиндикаторные кривые скорости накопления фильтрата для 2-х наиболее отличающихся по структуре образцов-близнецов из бетона водопроницаемостью 15 атм.

Из графика видно, что изучаемые зависимости для 2-х образцов-близнецов, степень водопроницаемости одинакова. Поскольку радиоиндикаторные кривые расположены очень близко друг к другу. Поэтому индивидуальность их выделить теоретически невозможно. Но при этом момент появления в фильтрате активной метки  $\tau_{min}$  различен и отличаются его значения  $\tau_{max}$ . Также отличается скорость наполнения фильтрата в виде  $T = f(\tau)$ . Эти графики используются для расчета и построения кривых распределения фильтрующих пор по размерам. Для этого рассчитывают эффективные диаметры пор  $D$  по формуле

$$D = 23,3 \sqrt{\frac{h\eta}{\tau p}}; \quad (3)$$

где  $h$  - высота образца;  $\tau$  - время прохождения метки через поры данного размера, мин;  $p$  - внешнее давление на фильтрующуюся жидкость;  $\eta$  - вязкость жидкости.

Сначала находили максимальный и минимальный размер пор, определяющих фильтрацию. Затем все промежуточные поры разбивали на равные интервалы путем решения уровня [3] относительно времени прохождения метки через поры  $\tau$ .

По полученным значениям времени из рис.1. определили значения  $C$ , а по ним рассчитывали изменение удельной активности  $\Delta N$  в пределах установленных ранее интервалов размеров пор.  $\sum \Delta N$  по интервалам должна быть близкой к исходной ак-

тивности меченой жидкости. Далее определяли количество фильтрата  $\Delta Q$  в процентном отношении, с учетом того, что изменение удельной активности  $\Delta N$  за интервал времени  $\Delta t$  пропорционально расходу меченой жидкости, прошедшей через поры данного интервала размеров:

$$\Delta V = \frac{\Delta N \cdot 100}{\sum \Delta N}. \quad (4)$$

Затем от распределения по расходу фильтрующейся жидкости переходили к распределению по объему водопроводящих пор:

$$\Delta V = \Delta Q \tau_{cp}, \quad (5)$$

где  $\tau_{cp}$  - среднее значение времени для каждого интервала  $\Delta \tau$ .

Далее рассчитывали относительные величины  $\Delta V / \Delta D$  и строили кривые распределения объема фильтрующих пор по размерам (рис. 2). Однако при рассмотрении зависимости водонепроницаемости бетона от структуры парового пространства пользоваться этой системой распределения фильтрующих пор по размерам неудобно.

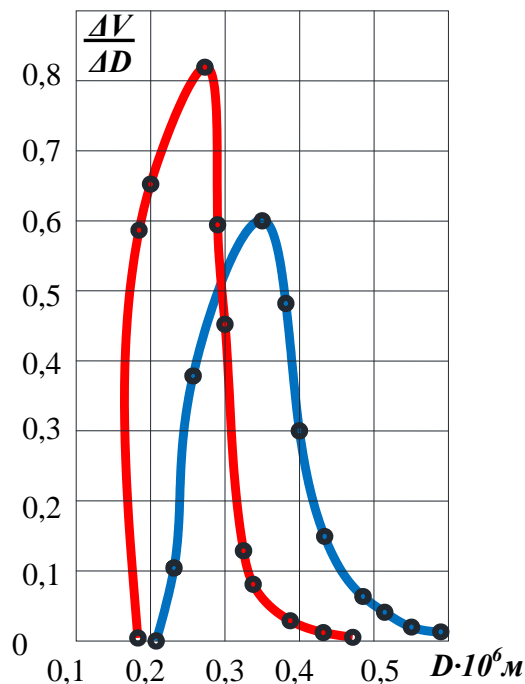


Рис. 2 Распределение объема фильтрующих пор по размерам для 2-х образцов.

Поэтому для каждого образца определяем средний диаметр

$$d_{cp} = \frac{\sum \Delta D_{cp} \cdot \Delta Q}{\sum \Delta Q} \quad (6)$$

где  $\sum \Delta D_{cp}$  - средний диаметр пор для

каждого интервала, мк.

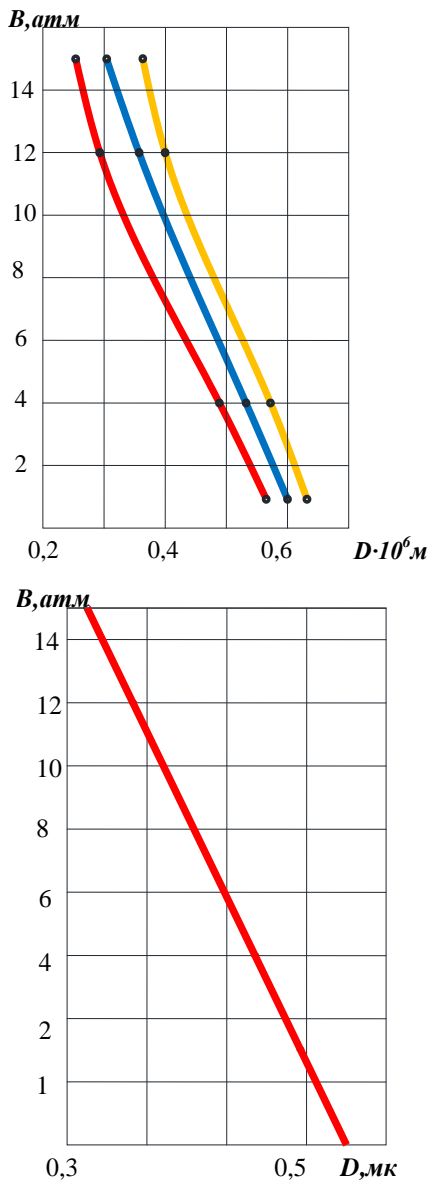


Рис. 3 Зависимость водопроницаемости мелкозернистого бетона от среднего диаметра фильтрующих пор а – в прямолинейных координатах с равномерной шкалой; б – в координатах с функциональными шкалами  $\sqrt[3]{D^2}$  и  $\sqrt[3]{B^2}$

Из графика видно, что колебания средних диаметров пор создают некоторую площадь, идущую расширяющейся полосой от низких давлений к высоким и характеризующую бетоны конкретной водопроницаемости. Используя методику «спрямления» кривых путем построения графика в координатах с неравномерными шкалами, удалось преобразовать криволинейную и выразить уравнением прямой в отрезках

$$\frac{x}{a} + \frac{y}{b} = 1 \tag{7}$$

Понимая, что  $x = \sqrt[3]{D^2}$ , а  $y = \sqrt[3]{B^2}$ , произвели подстановку значений и решили управление относительно степени водопроницаемости бетонного образца  $B$ .

$$B = \left[ b \left( 1 - \frac{D^{2/3}}{a} \right) \right]^{3/2}, \tag{8}$$

где  $B$  – водопроницаемость бетона;  $D$  – средний диаметр пор, рассчитанный по кривым распределения активной пористости;  $a, b$  – коэффициенты пропорциональности.

Необходимо отметить, что полученные результаты применимы только для исследованных видов бетона. Сюда следует отнести мелкозернистые бетоны, а также растворную часть обычных бетонов. Бетоны с крупным заполнителем имеют несколько иные структурные характеристики, и проверка зависимости (8) для них требует дополнительного изучения.

Однако в целом определение зависимости между размерами фильтрующих пор и водонепроницаемостью привела к положительному решению этого вопроса.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Wiggs P. The structure and properties of porous materials, London, 1958.
2. Иванов Ф.М. Коррозионные процессы и стойкость бетона в агрессивных средах: Автореферат дис на соиск. ученой степени док-ра техн. наук:- М., 1968.
3. Гасанов А.Б. Керамзитобетонные дренажные трубы повышенной прочности. Автореферат дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук: - Харьков., 2002.
4. Бовин Г.П. Возведение водопроницаемых сооружений из бетона и железобетона. М. Стройиздат.- 1969. - 183 с.
5. Лашнев В.И. Исследование пористой структуры дисперсных материалов радиоиндикаторным методом Автореферат дис на соиск. уч. степени канд. техн. наук. - 1969.
6. Чураев Н.В. Методы исследования водных свойств и структуры торфа с помощью радиоактивных изотопов. Изв. Госэнергоиздат. - 1960.