3. Коваленко А.Д. Основы термоупругости.– Киев: Наук.думка, 1970.– 308 с.
4. Партон В.З., Перлин П.И. Методы математической теории упругости - М.: Наука, 1981. – 688 с.
5. Зенкевич О.К., Ченг Ю.К., Метод конечного элемента в задачах строительной и непрерывной механики. М.: Наука,1971.– 453 с.
6. Городецкий А.С., Шмуклер А.В., Бондарев А.В. Информационные технологии расчета и проектирования строительных конструкций.– Харьков: НТУ «ХПИ», 2003 – 889 с.
7. Сізова Н.Д., Гречко Н.В. Комп'ютерне моделювання стійкості стержневих конструкцій. // Наук. вісник будівництва. – 2015.–Вип.80.– С. 265-270.
8. Сізова Н.Д., Гречко Н.В. Автоматизоване проектування конструкцій стержневих систем в ПК ЛІРА: Навчально-методичний посібник. – Харків: ХДТУБА, 2011.– 108 с.

УДК 626/627:532.5

Дмитриев С.В., Осадчий В.С.
Одесская государственная академия строительства и архитектуры

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЛН В ТЕЛЕ ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПОЛОЖЕНИЕ КРИВОЙ ДЕПРЕССИИ

Введение. В настоящее время наблюдения за температурным режимом грунтовых плотин используют только для поиска фильтрационных аномалий [1,2] и получения значения коэффициента фильтрации [3]. Рассматриваемая проблема [4] представляется следующим образом: сезонные изменения температуры воды в верхнем бьефе грунтовой плотины создают температурную волну, которая с фильтрационной водой перемещается в теле грунтовой плотины [5,6]. Возникающие при этом градиенты температуры внутри плотины оказывают влияние на положение кривой депрессии. Проведенные лабораторные экспериментальные исследования [7] указывают на целесообразность разработки расчетных зависимостей для инженерной практики.

Целью настоящего исследования является получение математического описания указанных процессов.

Результаты исследования. К ограничениям решаемой задачи следует отнести следующее:

1. Закон фильтрации (закон Дарси) имеет пределы применения. Он находит вполне удовлетворительное теоретическое объяснение при малых скоростях фильтрации, то есть, при тех условиях обтекания частиц грунта, когда силами инерции можно пренебречь. Это так называемая верхняя граница. Закон Дарси также нарушается и при очень малых скоростях фильтрации в процессе начала движения жидкости через проявления неньютоновских реологических свойств жидкости и ее взаимодействия с твердым скелетом пористой среды. Это нижняя граница.

2. Следующее ограничение сформулировано в виде требования об относительном постоянстве уровней в бьефах. Это связано с тем, что в противном случае задача существенно усложняется, и получить аналитическое решение в этом случае также достаточно сложно.

3. Учитывая значительную протяженность пути фильтрации в грунтовых сооружениях, замечая, что передача температуры внутри грунтового сооружения в основном происходит за счет конвекции (фильтрации) внутри сооружения, можно сделать вывод о том, что рассматриваемые явления будут проявляться в значительной степени только в водопроницаемых грунтах. В слабоводопроницаемых грунтах явление подвижной температурной волны в теле грунтового сооружения существовать будет, но недостаточно выражено.

4. Формула Хазена (1), на которой основаны дальнейшие выводы и которая показывает зависимость коэффициента фильтрации от температуры фильтрующейся воды, применима, согласно [8], для песчаных грунтов с некоторым содержанием глинистых частиц.

$$k_{ф} = k_{ф_0}(0,7 + 0,03T), \quad (1)$$

где (0,7+0,03T) – температурная поправка; T – фактическая температура воды ^{0}C; $k_{ф_0} = ACd_d^2$, d_d - эффективный диаметр; C - коэффициент, который учитывает наличие глинистых частиц; A – коэффициент пересчета. Однако, следует отметить, что согласно [3] температурная поправка - (0,7+0,03T), применима для всех типов грунтов.

5. При расчетах положения кривых депрессии в рамках данной работы были использованы расчетные схемы однородных плотин на водонепроницаемом основании.

Обосновать применение уравнения конвективной теплопроводности (2) можно тем, что изменения температуры в плотине происходят не только за счет теплопроводности, но и за счет конвективного переноса температуры с фильтрующейся водой.

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \frac{\partial T}{\partial x}U_X, \quad (2)$$

где T – функция изменения температуры, T=f(x,τ); τ - время; x - продольная координата; Ux – скорость фильтрации на ось X, Ux = const; a - коэффициент температуропроводности водонасыщенного грунта тела плотины, м^2/сут.

Граничным условием для уравнения конвективной теплопроводности в рамках решаемой задачи является уравнение колебаний температуры воды в верхнем бьефе грунтовой плотины. Строго говоря, в естественных условиях эти колебания не являются гармоническими и носят нестационарный пульсирующий характер, и здесь можно отметить лишь общую закономерность периодического изменения температуры от минимальных значений зимой до максимальных - летом. На практике в результате наблюдений получают дискретное множество точек, которое определяется зависимостью $T_i(\tau_i)$. Функция, аппроксимирующая исходную дискретную зависимость $T_i(\tau_i)$:

$$T(\tau) = A\cos(\sigma\tau + \omega) + T_0 \quad (3)$$

Уравнение (3) фактически описывает гармонические колебания со следующими параметрами: A – амплитуда колебаний, ^{0}C; σ - циклическая частота; $\sigma = \frac{2\pi}{365}$, сут$^{-1}$; ω - начальная фаза, $\omega = \frac{2\pi}{365}\tau_0$, де τ_0- сдвиг по фазе от начала координат, сут.; T_0 – среднегодовая температура воды в верхнем бьефе, ^{0}C. Решение уравнения (2) с граничным условием (3) было найдено аналитически, как функция комплексных переменных. Такой подход позволяет получить решение в удобном для анализа виде. В дальнейшем из полученного решения выделяется действительная часть. Общий вид искомого решения (4):

$$T(x,\tau) = Ae^{\alpha x + \beta\tau}, \quad (4)$$

где α и β - комплексные коэффициенты.

Граничное условие (3), учитывая сделанное замечание, примет вид (5):

$$T(0,\tau) = Ae^{i\sigma\tau} = A[\cos(\sigma i) + i\sin(\sigma i)], \quad (5)$$

$i = \sqrt{-1}$ – условная единица.

Решение уравнения (2) было получено в виде (6):

$$T(x,\tau) = Ae^{-Kx}\cos(\sigma\tau - cx) + T_0, \quad (6)$$

где $K = \frac{1}{2a}\left[\sqrt{\frac{r+U_x^2}{2}} - U_x\right]$ - декремент затухания (K>0); $c = \frac{1}{2a}\left[\sqrt{\frac{r-U_x^2}{2}}\right]$ - циклическая частота колебаний по оси X;

$$r = \sqrt{U_x^4 + 16a^2\sigma^2}$$

Полученная функция T (x, τ) описывает колебания температуры в двухфазной среде тела плотины (вода - твердая составляющая) как затухающие с декрементом K, и циклическими частотами: по времени τ - σ и по координате x - c, при любых положительных x, τ и неотрицательном U_x при колебаниях температуры воды в верхнем бьефе, описываемых зависимостью (2). Выполнен математический анализ полученного решения с целью определения экстремальных значений функции температуры в различных сечениях по пути фильтрации, а также вывод зависимости для определения скорости распространения температурного фронта в теле грунтовой плотины. В результате получено уравнение (7), которое позволяет определить продольные координаты X, в которых функция T (x, τ) приобретает экстремальные значения.

$$x = \mp \frac{1}{c}\left[\operatorname{arctg}\left(-\frac{K}{C}\right) + \pi n\right], \qquad (7)$$

где $n \in Z$, $n > 0$.

Получены расчетные зависимости для определения положения кривой депрессии в грунтовых плотинах с учетом периодических изменений температуры фильтрующейся воды. Для решения этой задачи был использован метод виртуальных длин, применяемый в практике расчетов гидротехнических сооружений для определения положения кривой депрессии в грунтовых плотинах с экраном или ядром. Поперечное сечение плотины разбивается на отсеки. В каждом отсеке, на основании решения уравнения конвективной теплопроводности (6), получают значение температуры фильтрующейся воды. В соответствии с формулой Хазена (1) в каждом отсеке определяется истинное значение коэффициента фильтрации, как функция температуры – kф = f (x, T).

Поскольку коэффициент фильтрации является функцией температуры, то уравнение для построения кривой депрессии, например, для однородной плотины при безнапорном режиме фильтрации, полученном без учета сезонных изменений температуры (8), необходимо использовать с некоторыми замечаниями.

$$h_x = \sqrt{h_1^2 - (h_1^2 - h_2^2)\frac{x}{L}} \qquad (8)$$

Во-первых, должна быть рассчитана виртуальная длина каждого отсека по формуле (9):

$$lv = \frac{k_{ф0}}{k_ф} l\ , \qquad (9)$$

где l - длина отсека, $k_{ф0}$ - коэффициент фильтрации тела плотины, приведенный к температуре 10°C; $k_ф$ - истинное значение коэффициента фильтрации в выбранный момент времени, в сечении грунтовой плотины с продольной координатой X по длине пути фильтрации, при известной температуре T, определенной в отсеке по зависимости (6). А во-вторых, длина пути фильтрации L и продольная координата X в формуле (8) должны быть получены из зависимостей (10):

$$L = \sum_{i=1}^{n} l_V^i\ , \qquad x = \sum_{i=1}^{m} l_V^i\ , \qquad (10)$$

где n и m - количество расчетных отсеков по длине пути фильтрации и количество расчетных отсеков от начала пути фильтрации до расчетного сечения соответственно.

Выводы. Таким образом, в результате проведенных исследований получены расчетные зависимости для определения температуры в любой момент времени, в любой точке тела плотины (6) при известных сезонных изменениях температуры воды в верхнем бьефе грунтовой плотины (3). Используя известную зависимость (8) для определения положения кривой депрессии с условиями (9), (10) даст возможность учесть влияние температуры фильтрующейся воды на положение кривой депрессии. Направлением дальнейших исследований должна стать оценка влияния изменяющихся положений кривой депрессии на значение коэффициента устойчивости низового откоса грунтовой плотины.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Aufleger M. Distributed fiber optic temperature measurements in embankment dams with central core – new benchmark seepage monitoring / M. Goltz, J Dornstadter, O. Mangarovski // Dams and Reservoirs under Changing Challenges Taylor&Francis Group, London .- 2011 .- ISBN 978-0-415-68267-1 .- pp.107-114.
2. Ермакова Н. Н. Температурные наблюдения за фильтрацией на Пироговском гидроузле / Н. Н. Ермакова, Люкманова Ф. И., инженеры (ФГУП «Канал имени Москвы») // Гидротехническое строительство .- №6 , 2002, С. 23-27.
3. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации: ДСТУ Б В. 2.1-23: 2009 .- [действителен с 2010-10-01].- Київ: УкрНДІІНТВ, 2009 .- 22с.
4. Дмитриев С.В. Необходимость учета влияния сезонных климатических воздействий при определении положенbя депрессионных кривых в грунтовых подпо-

рных сооружениях / 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 непрохождения 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:

$$K_ф = f(V_{скв}^n), \quad (1)$$

где $K_ф$ – 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-