

вия для рационального использования воды и гарантированного обеспечения всех потребителей нужным ее количеством.

Вывод. На основе наблюдаемых декадных приходных и расходных составляющих водного баланса имеется возможность научно обоснованно определять ординаты линии ограничения подачи воды из водохранилища в вегетационный период.

Список использованных источников

1 Гидротехнические сооружения. Справочник проектировщика. – М.: Стройиздат, 1983. – 543 с.

2 Крицкий, С. Н. Гидрологические основы управления речным стоком / С. Н. Крицкий, М. Ф. Менкель. – М.: Наука, 1981. – 256 с.

3 Белесков, Б. И. Наполнение и сработка водохранилищ в маловодных условиях / Б. И. Белесков, А. Х. Садыков, Ф. А. Гаппаров // Мелиорация и водное хозяйство: сб. науч. тр. / САНИИРИ. – Ташкент, 1997. – С. 130–133.

УДК 626/627

Д. Т. Палуанов

Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем, Ташкент,
Республика Узбекистан

У. Э. Бобокулов

Ташкентский государственный технический университет, Ташкент,
Республика Узбекистан

ПРОЦЕССЫ УВЛАЖНЕНИЯ В ТЕЛЕ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН И ИХ ОСНОВАНИЯХ

Целью исследований является изучение процессов увлажнения в теле грунтовых плотин и в их основаниях. В связи, с чем были проведены следующие исследования: изучение процессов увлажнения грунта в теле грунтовых плотин с водонепроницаемым основанием и увлажнения грунта основания водонепроницаемой глухой плотины. Определено поле увлажнения тела плотины, согласно которому неравномерно изменяются физико-механические параметры увлажненного грунта. Показано распределение увлажнения по сечению плотины через определенные промежутки времени после заполнения верхнего бьефа. Определяя физико-механические параметры увлажненного грунта в области пьезуна, получили деформированное состояние и соответствующее ему распределение изолиний вертикальных смещений.

Ключевые слова: увлажнение, грунтовая плотина, основание, напряженно-деформационное состояние, грунт, разжижение песков, пьезун, изолиния, влажность.

Данная работа подготовлена в рамках молодежного проекта «Критерии для оценки безопасности основания низконапорных плотин с учетом влияния динамических воздействий» [1].

Процессы увлажнения грунта в теле грунтовых плотин и в их основаниях, особенно неравномерные, являются фактором, существенно влияющим на напряженно-деформированное состояние и сейсмостойкость сооружений, вызывающим их неравномерную осадку, деформации и повреждения. Поэтому учет неравномерного увлажнения грунта в результате фильтрации через тело плотины и ее основание и трансформации при этом ее напряженно-деформированного состояния представляется важной и актуальной задачей.

Перед проведением исследований поставлены следующие условия: изучение процессов увлажнения грунта в теле грунтовых плотин с водонепроницаемым основанием и увлажнения грунта основания водонепроницаемой глухой плотины. Обе задачи решают-

ся численно методом конечных элементов с применением метода Ньюмарка. Этот метод широко распространен и позволяет производить расчеты и исследования динамических задач теории упругости для неоднородных областей различной конфигурации [2].

Сначала рассмотрим процессы увлажнения грунта в теле грунтовых плотин с водонепроницаемым основанием. Прежде всего, определяется поле увлажнения тела плотины, при этом неравномерно изменяются физико-механические параметры увлажненного грунта. По полученным данным находится распределение коэффициента запаса прочности в сечении плотины [3].

Уравнение состояния, описывающее закон объемного деформирования грунта с учетом увлажнения, представляется нелинейным законом, связывающим полное давление P и объемную деформацию θ :

$$P = K_s(\theta)\theta,$$

и релаксационным уравнением состояния грунта при сдвиговом деформировании в виде:

$$S_{ij} + T_s \frac{dS_{ij}}{dt} + \lambda_1 S_{ij} = 2G_s \left(e_{ij} + T_e \frac{de_{ij}}{dt} \right),$$

где K_s – модуль сжатия:

$$K_s(I_\omega) = K_{sat} \exp(\alpha_k \cdot (1 - I_\omega)),$$

где K_{sat} – модуль объемного сжатия;

I_ω – параметр, характеризующий степень увлажнения грунта:

$$I_\omega = \frac{\bar{\omega}}{\bar{\omega}_{sat}},$$

где $\bar{\omega}$ – текущая влажность грунта;

$\bar{\omega}_{sat}$ – влажность, соответствующая полному заполнению пор грунта водой;

$T_s = \frac{1}{\gamma_s \mu_s}$ – время релаксации сдвигового напряжения при постоянной деформации

сдвига;

$$\lambda_1 = \frac{2G_s \lambda}{\mu_s};$$

$$G_s(I_\omega) = G_{sat} \exp(\alpha_G \cdot (1 - I_\omega)),$$

где G_{sat} – модуль сдвига грунта;

α_k , α_G – безразмерные коэффициенты, характеризующие степень изменения соответствующих механических характеристик просадочного грунта, определяемые по результатам опытов;

$T_e = \frac{1}{\mu_s}$ – время релаксации девиатора деформации при постоянном сдвиговом на-

пряжении.

Указанная модель деформирования с учетом увлажненности грунтов может быть использована при статических расчетах напряженно-деформированного состояния грунтовых массивов, когда влажность грунта не превышает значений $\bar{\omega} = 30-40\%$.

Конечно-элементная дискретизация рассматриваемой задачи получается в результате разбиения рассматриваемой области на конечные элементы треугольной формы (рисунок 1) с линейной аппроксимацией функции увлажнения внутри элемента:

$$\omega = \frac{(a + bx + cy)}{2s}.$$

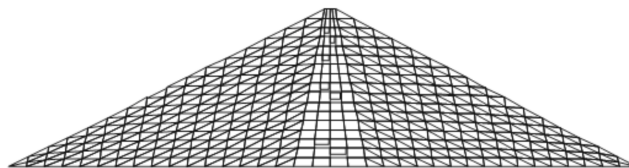


Рисунок 1 – Конечно-элементная дискретизация поперечного сечения грунтовой плотины

В результате конечно-элементной дискретизации для нестационарной задачи о распределении влаги по всей области в результате максимального увлажнения части свободной поверхности получается следующая разрешающая система дифференциальных уравнений:

$$[C] \frac{\partial}{\partial t} \{\omega\} + [H] \{\omega\} = 0, \quad (1)$$

где матрицы $[H]$ и $[C]$ получаются в результате объединения элементарных матриц по [3].

Решение полученной системы дифференциальных уравнений (1) дает ответ на поставленную задачу о распределении нестационарного поля увлажнения области в зависимости от времени. Для ее решения используется алгоритм, который основан на методе Ньюмарка с разложением функций $\omega(t_i + \tau)$ и $\bar{\omega}(t_i + \tau)$ в ряды по степеням τ -шага интегрирования, приводящим к разрешающей системе алгебраических уравнений относительно функции увлажнения ω_{i+1} :

$$[A] \{\omega_{i+1}\} = \{P_{i+1}\},$$

$$\text{где } [A] = \frac{[H] + [C]\beta}{(\alpha\tau)};$$

$$\{P_{i+1}\} = [C] \left[\frac{\beta \{\omega_i\}}{\alpha\tau} + \left(\frac{\beta}{\alpha} - 1 \right) \{\bar{\omega}_i\} + \frac{\tau}{2} \left(\frac{\beta}{\alpha} - 2 \right) \{\ddot{\omega}_i\} \right],$$

где $\{\omega_i\}$, $\{\bar{\omega}_i\}$, $\{\ddot{\omega}_i\}$ – найденные на предыдущем шаге по времени функция увлажнения и ее производные.

Описанный алгоритм, использован в решении задачи о распространении влаги по телу грунтовой плотины по времени при заполнении верхнего бьефа.

Картина распределения линий увлажненности зависит от времени замачивания, анизотропности среды, определяющей скорости фильтрации в том или ином направлении в различных частях сооружения, а также от учитываемых граничных условий в основании.

На рисунке 2 показано распределение увлажнения по сечению плотины через определенные промежутки времени после заполнения верхнего бьефа. Значения коэффициентов фильтрации: $k_x = 20$ м/сут; $k_y = 1$ м/сут. Меньшая скорость фильтрации по вертикали обусловлена снижением пропускной способности грунта в вертикальном направлении вследствие его уплотнения под действием собственного веса. Индексы на изолиниях увлажненности на рисунке 2 означают малое ($\omega = 0,1$), умеренное ($\omega = 0,2$) и сильное ($\omega = 0,3$) увлажнение грунта в соответствующей области плотины. Из рисунка 2 видно, что с течением времени форма изолиний приобретает характерный для кривой депрессии вид, не меняющийся в дальнейшем (рисунок 2, *з, д*). Увлажнение грунта плотины способствует увеличению вязкости проникающей в него жидкости. Поэтому при использовании метода Ньюмарка нами учитывался также коэффициент вязкого трения. Полученные в этом случае изолинии увлажнения через 120 сут от момента заполнения верхнего бьефа представлены на рисунке 2, *е*. Коэффициент вязкости, пропорциональный скорости распространения влаги, принят равным $\mu = 0,5$.

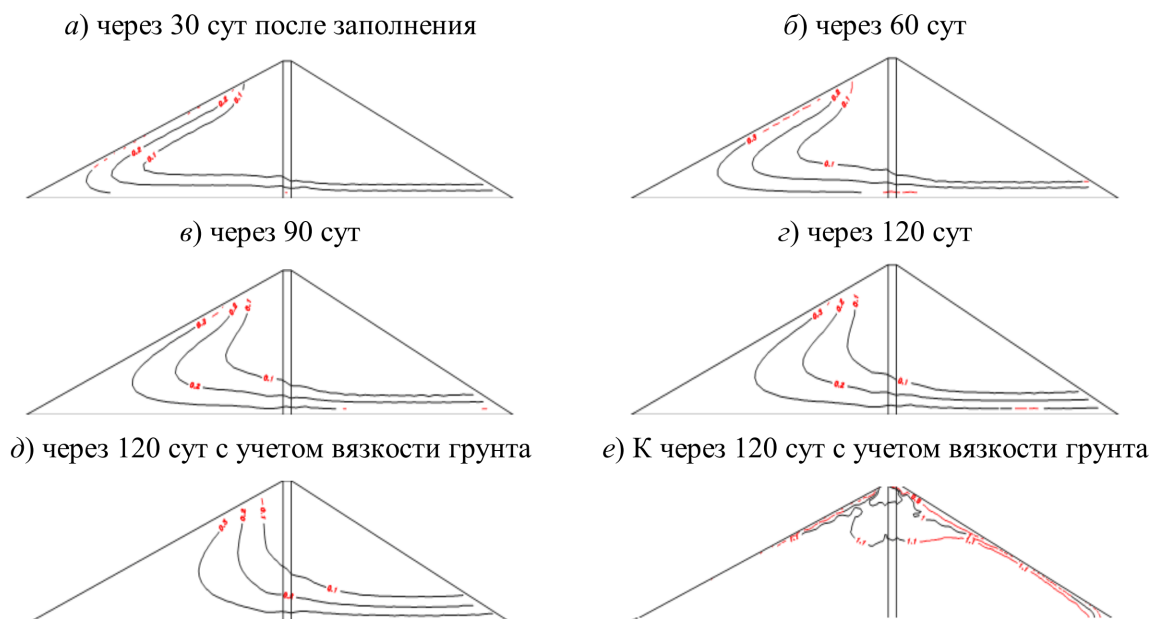
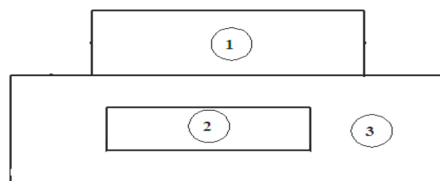


Рисунок 2 – Распространение изолиний увлажненности со временем (а–д) и коэффициента прочности К (е) при заполненном верхнем бьефе

Полученные картины распределения полей увлажненности демонстрируют, что в послойно уплотняющемся грунте высокого сооружения с течением времени устанавливаются фильтрационные потоки. Так, изолинии увлажнения со временем охватывают центральные участки откоса, приближая изолинии к известным кривым депрессии. Влияние гидростатического давления на откос при заполненном верхнем бьефе увеличивает прочность верхового откоса. Об этом свидетельствуют результаты распределения коэффициента прочности К, значение которого превышает единицу практически по всей высоте верхового откоса (исключение составляет небольшая пригребневая зона над уровнем воды), в отличие от низового, на большей части которого значение К меньше 1. Возникающий дефицит гидростатического давления на верховой откос при резком снижении уровня воды, особенно если это происходит многократно, может привести к выпору грунта на этих участках.

Теперь переходим ко второй задаче (процессам увлажнения грунта основания водонепроницаемой глухой плотины). Грунты основания плотины под действием фильтрационного потока насыщаются водой. Водонасыщенные грунты основания плотины, если они не пластичны, способны разжижаться под действием динамических нагрузок, возникающих при землетрясениях, взрывах, других формах вибраций и ударных нагрузках. Разжижению песков и илистых отложений способствует возникающее при вибрации избыточное поровое давление и уменьшение эффективного напряжения, что ведет к снижению прочности, потере несущей способности, просадкам грунтов и осадке основания плотины. Разжиженные пески в результате действия внешних сил превращаются в плывуны [4]. Плывуны – это слабые, неустойчивые породы, требующие специальных методов ведения строительных работ и специальных мероприятий по обеспечению устойчивости сооружений. Кроме этого, при избыточном увлажнении грунта любые слабые (неустойчивые) грунты могут перейти в плывунное состояние. Поэтому плывуны представляют собой большую опасность при выполнении работ в строительстве гидротехнических сооружений и многие аварии и разрушения связаны именно с этой проблемой.

Для решения поставленной задачи создана расчетная модель системы «плотина – неоднородное основание» (рисунок 3).

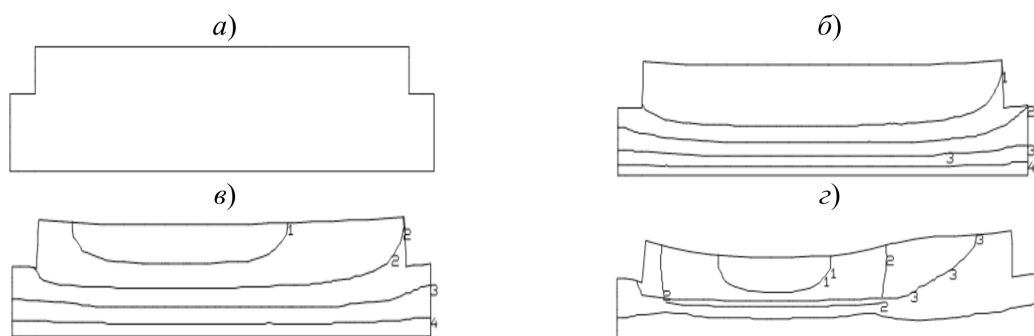


Исходные данные системы: 1 – глухая плотина, 2 – плывун, 3 – основание

Рисунок 3 – Расчетная модель системы «плотина – неоднородное основание»

Физико-механические параметры глухой плотины: $E = 17 \times 10^3$ МПа, $\rho = 2500$ кг/м³; физико-механические параметры грунта основания: $E = 15 \times 10^3$ МПа, $\rho = 2500$ кг/м³; физико-механические параметры грунта плывуна: $E = 1 \times 10^3$ МПа, $\rho = 2000$ кг/м³.

Определяя физико-механические параметры увлажненного грунта в области плывуна при различных значениях увлажненности ($\bar{\omega} = 10, 20$ и 30%), получим деформированное состояние и соответствующее ему распределение изолиний вертикальных смещений (рисунок 4). Здесь показано деформированное состояние, которое со временем приобретает система «плотина – неоднородное основание» при неравномерном увлажнении. Термин «неравномерное» применен к области основания, поскольку увлажнение его различных пластов, состоящих из супеси, песка, суглинка и других грунтов, происходит с различными скоростями, т. е. неравномерно.



a – исходное недеформированное состояние; b – слабое увлажнение ($\bar{\omega} = 0,1$):
1) $-0,30$ мм; 2) $-0,22$ мм; 3) $-0,15$ мм; 4) $0,0$ мм; v – среднее увлажнение ($\bar{\omega} = 0,2$):
1) $-0,4$ мм; 2) $-0,3$ мм; 3) $-0,2$ мм; 4) $-0,1$ мм; z – сильное увлажнение области плывуна
($\bar{\omega} = 0,3$): 1) $-0,70$ мм; 2) $-0,52$ мм; 3) $-0,35$ мм; 4) $0,17$ мм

Рисунок 4 – Деформирование со временем модели системы «плотина – неоднородное основание» в результате неравномерного увлажнения

Для решения используется алгоритм, основанный на методе Ньюмарка, как и в предыдущей задаче.

Результаты показывают, что образование плывуна значительно искажает область преимущественно левой части, где расположена песчаная зона.

Список использованных источников

- 1 Критерии для оценки безопасности основания низконапорных плотин с учетом влияния динамических воздействий. – Ташкент, 2015. – 74 с.
- 2 Зенкевич, О. К. Метод конечных элементов в технике / О. К. Зенкевич. – М.: Мир, 1975. – 542 с.
- 3 Хусанов, Б. Э. Модели деформирования лессового грунта при увлажнении. Одноосное деформирование / Б. Э. Хусанов // Проблемы механики. – Ташкент, 2004. – № 6. – С. 31–36.
- 4 Иванов, П. Л. Разжижение песчаных грунтов / П. Л. Иванов. – М.: Госэнергоиздат, 1962.

МЕЛИОРАЦИЯ И ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ

УДК 631:528

Э. И. Чембарисов, И. Э. Махмудов, Т. Ю. Лесник

Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем при Ташкентском институте ирригации и мелиорации, Ташкент, Республика Узбекистан

И. В. Беликов

Государственный комитет Республики Узбекистан по охране природы, Ташкент, Республика Узбекистан

Ю. С. Вахидов

Государственное унитарное предприятие «Геоинформкадастр», Ташкент, Республика Узбекистан

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ И ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМЫ КОЛЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНЫХ ВОД, ВПАДАЮЩИХ В АЙДАРО-АРНАСАЙСКУЮ ОЗЕРНУЮ СИСТЕМУ

В статье представлена общая характеристика гидрологического и гидрохимического режимов коллекторно-дренажных вод, впадающих в Айдаро-Арнасайскую озерную систему, приводятся актуальные сведения об объемах и минерализации данной системы, а также даются рекомендации по сохранению этого природного объекта.

Ключевые слова: гидрологический и гидрохимический режим коллекторно-дренажных вод, Айдаро-Арнасайская озерная система, многолетние изменения расходов и минерализации воды.

Коллекторно-дренажные воды оазисов являются следствием улучшения мелиоративного состояния орошаемых массивов, поэтому к ним привыкли относиться с позиций мелиоративных требований: было необходимо только отвести нужное количество минерализованных вод из оазисов. Но в настоящее время, когда охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов уделяется большее внимание, эти позиции должны быть пересмотрены.

В последние годы влияние существующего объема коллекторных вод становится все заметнее: ухудшается химический состав речных вод, возрастает их минерализация. Эти воды засоляют пастбищные угодья и некоторые озера, например Айдаро-Арнасайскую систему озер (ААСО) [1–3].

Гидрологический и гидрохимический режимы коллекторных вод Среднеазиатского региона мало изучены. Однако данный вопрос чрезвычайно важен для народного хозяйства, особенно для ирригации. Использование коллекторных вод для орошения, промывки и других хозяйственных нужд невозможно без установления закономерностей их водного и солевого режима. Важно обладать информацией не только об объемах и качестве коллекторно-дренажной воды, образующейся внутри того или иного ирригационного района, но и о характере распределения этих показателей в течение года. На примере наиболее изученных коллекторов Средней Азии, несмотря на различные внутригодовые изменения минерализации вод, нами было выделено два типа гидрохимического режима этих вод:

- минерализация воды меняется обратно пропорционально изменению ее расхода, этот тип наблюдается практически во всех крупных коллекторах Средней Азии;

- минерализация воды меняется прямо пропорционально изменению расхода воды, то есть с увеличением расхода воды ее минерализация повышается, второй тип на-