



НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ДАМБЫ И ЕЕ ОСНОВАНИЯ С УЧЕТОМ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

THE DEFLECTED MODE OF A DAM AND ITS BASE TAKING INTO CONSIDERATION THEIR INTERACTION

ТЕР-МАРТИРОСЯН З.Г.

Зав. кафедрой механики грунтов, оснований и фундаментов МГСУ, д.т.н., профессор, почетный академик РААСН, заслуженный деятель науки РФ, mgroif@mail.ru

СИДОРОВ В.В.

Инженер и ассистент кафедры механики грунтов, оснований и фундаментов МГСУ, vitsid@mail.ru

ОЛОДО Т.Д.

Инженер ПГС, Республика Бенин, olodo_david@yahoo.fr

TER-MARTIROSIAN Z.G.

The head of the department of soil mechanics, ground bases and foundations of Moscow State University of Civil Engineering (MSUCE), doctor of technical sciences, professor, Honorary Member of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Honored Worker of Science of the RF, mgroif@mail.ru

SIDOROV V.V.

An engineer and assistant of the department of soil mechanics, ground bases and foundations of Moscow State University of Civil Engineering (MSUCE), vitsid@mail.ru

OLODO T.D.

An civil and industrial engineer, Benin Republic, olodo_david@yahoo.fr

Ключевые слова:

жесткость дамбы; эквивалентная нагрузка; избыточное поровое давление; стабилизированное состояние; консолидация; предельное напряженное состояние; коэффициент относительной прочности.

Key words:

dam stiffness; equivalent load; excess pore pressure; stabilized state; consolidation; limiting stressed state; relative strength factor.

Аннотация

В статье излагаются результаты численного решения задач (методом конечных элементов) по количественной оценке напряженно-деформированного состояния (НДС) дамбы и ее основания с учетом их взаимодействия при использовании различных расчетных схем. В работе показано, что: (1) расчет НДС с учетом и без учета жесткости дамбы приводит к существенно разным результатам; (2) расчетная схема без учета жесткости дамбы (с учетом эквивалентной гибкой нагрузки) приводит к запасу устойчивости; (3) устойчивость дамбы и ее водонасыщенного основания в нестабилизированном состоянии уплотнения в значительной степени зависит от скорости ее возведения; (4) для контроля устойчивости дамбы надо измерять избыточное поровое давление в ее основании в период ее строительства.

Введение

При освоении затопляемых территорий, сложенных слабыми водонасыщенными глинистыми грунтами, огромную роль играют возведение и эксплуатация дамб и насыпей. Обеспечение устойчивости и нормальных условий эксплуатации таких сооружений связано с количественной оценкой напряженно-деформированного состояния (НДС) таких сооружений и их оснований и соответственно общей и локальной устойчивости, неравномерной и чрезмерной осадки дамб (насыпей) и их оснований с учетом их взаимодействия.

В подавляющем большинстве случаев при возведении дамб и насыпей на слабых основаниях возникает необходимость предварительного уплотнения последних, в т.ч. с использованием веса самой дамбы или вакуумной и другой технологии. Для ускорения процесса уплотнения слабых водонасыщенных оснований используется вертикальное и горизонтальное дренирование [1–3].

Из вышеизложенного следует, что строительство дамб и обеспечение их безопасной эксплуатации в течение длительного времени требуют всестороннего изучения и количественного прогнозирования НДС системы «дамба — основание» с учетом многочисленных факторов.

В настоящей статье рассматриваются проблемы взаимодействия дамбы и ее однородного водонасыщенного основания в рамках плоской задачи (плоской деформации) для количественной оценки осадок (равномерных и неравномерных), а также анализа локальной и общей устойчивости основания и дамбы. Решение этих задач не-

Abstract

The article presents the results of numerical quantitative evaluation (using the finite element method) of the deflected mode of a dam and its base taking into account their interaction and using different computation schemes. The paper shows that: (1) the deflected mode taking into consideration the dam stiffness and not taking it leads to significantly different results; (2) the computation scheme without taking into account the dam stiffness (using the equivalent elastic load) leads to the marginal stability; (3) stability of the dam and its water-saturated base in unstabilized compaction state considerably depends on the rate of its construction; (4) to control the dam stability during its construction it is necessary to measure the excess pore pressure in its base.



обходимо для выбора экономически эффективных конструкций дамб и технологий их возведения. Известно, что этот выбор, как правило, сводится к оценке НДС основания под воздействием эквивалентной нагрузки, распределенной по поверхности основания по закону трапеции [1–3]. Приведенные ниже решения с учетом и без учета жесткости самой дамбы показывают, что напряженно-деформированное состояние, сформированное в ее основании, в этих двух случаях получается существенно различным. Критерием оценки таких различий могут служить изолинии напряжений: $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_{xy}, \tau_{max}, \tau_{rel} = \tau/\tau^* \leq 1$ (где σ_x — нормальное напряжение по оси x ; σ_y — нормальное напряжение по оси y ; σ_{xy} — касательное напряжение; τ_{max} — максимальное касательное напряжение; τ_{rel} — относительная прочность; τ — действующее касательное напряжение; τ^* — предельное значение сопротивления сдвигу, $\tau^* = \sigma \cdot \tan \varphi + c$, где σ — нормальное напряжение; φ — угол внутреннего трения; c — удельное сцепление). Для водонасыщенных оснований дамб в нестабилизированном состоянии уплотнения критерием могут служить τ_{rel} и избыточное поровое давление u_w .

НДС водонасыщенного основания с учетом и без учета его взаимодействия с дамбой

Рассмотрим НДС водонасыщенного основания под воздействием дамбы, имеющей конечную жесткость, и эквивалентной нормальной нагрузке,

распределенной по закону трапеции (для стабилизированного состояния) (рис. 1).

Решение таких задач аналитическими методами не представляется возможным. Поэтому в настоящей работе был использован численный метод оценки НДС системы «дамба — основание», реализуемый с помощью программного комплекса Plaxis (предназначенного для анализа НДС в массиве грунта).

В качестве расчетной модели для грунтов дамбы и ее основания используется упругопластическая модель Мора–Кулона, включенная в программу Plaxis. Для описания такой модели необходимо определение минимум четырех параметров, в т.ч. двух деформационных (модуля деформации E и коэффициента Пуассона ν) и двух прочностных (φ и c). В случае рассмотрения НДС основания дамбы в нестабилизированном состоянии уплотнения наряду с указанными параметрами потребуется определение коэффициентов фильтрации k_f и консолидации C_v .

В приведенных далее задачах были приняты следующие характеристики: (1) для дамбы: $\gamma = 16$ кН/м³ (где γ — удельный вес грунта); $\varphi = 20^\circ$; $c = 20$ кПа; $E = 20$ МПа; $\nu = 0,3$; $k_f = 0,5$ м/сут; (2) для основания: $\gamma = 20$ кН/м³; $\varphi = 17^\circ$; $c = 17$ кПа; $E = 10$ МПа; $\nu = 0,4$; $k_f = 0,001$ м/сут.

Расчетная область основания дамбы высотой 10 м, шириной по верху 20 м и по основанию 40 м имеет размеры 40×120 м, что исключает влияние на НДС граничных условий.

Общество с ограниченной ответственностью
«НОВОСИБИРСКИЙ ИНЖЕНЕРНЫЙ ЦЕНТР»
ООО «НИЦА»

АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОМПРЕССИОННЫЙ РЕЛАКСОМЕТР АКР-2

ПРИБОР РЕЛАКСАЦИОННОГО ТИПА, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЙ
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ДИСПЕРСНЫХ ГРУНТОВ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

(компрессионное скатие, давление набухания, предварительное
уплотнение грунтов перед сдвигом)

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Максимальное вертикальное давление	– 1 МПа
Максимальная деформация образца	– 10 мм
Диаметр образца	– 87,4 мм
Продолжительность испытания	– 2...8 час



«Гео-Сибирь 2010»



ИНЖЕНЕРНЫЙ ЦЕНТР
НОВОСИБИРСКИЙ

ООО «Новосибирский инженерный центр»
630048 г. Новосибирск ул. Телевизионная, 15
тел./факс: (383) 212-42-97
e-mail: nica_nsk@mail.ru

Реклама

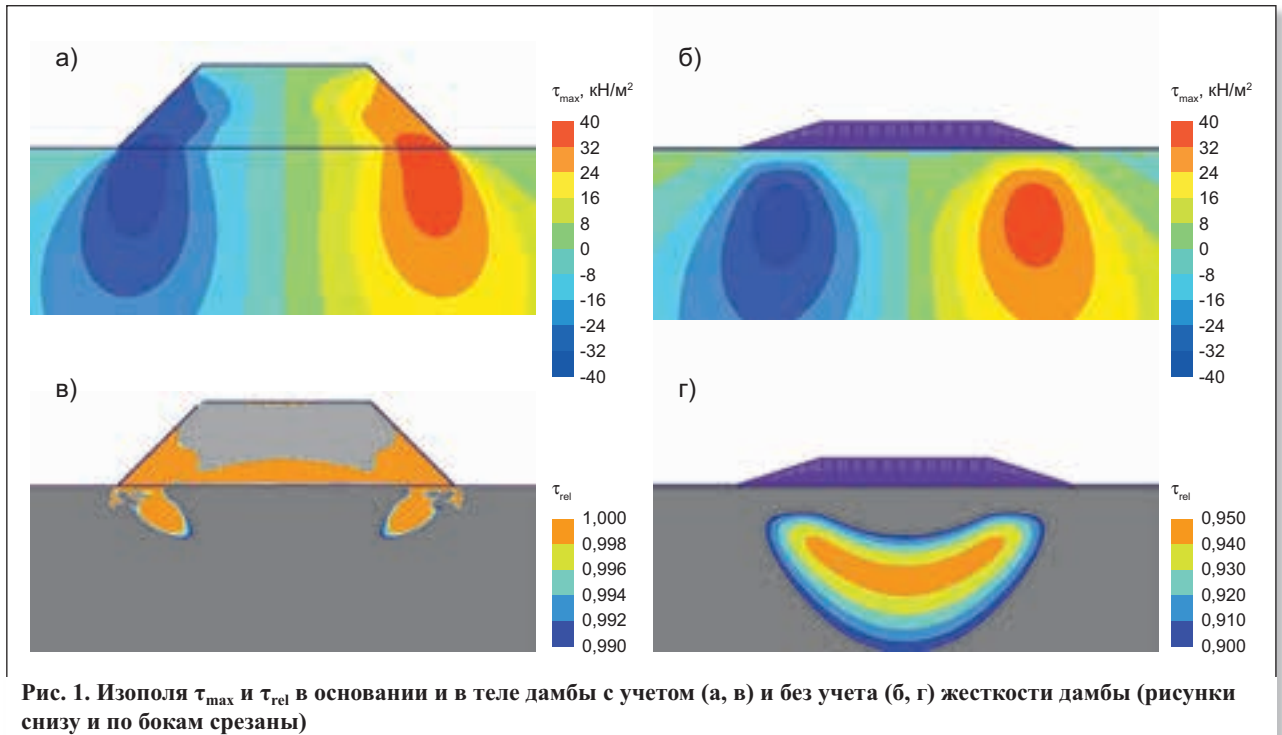


Рис. 1. Изополя τ_{max} и τ_{rel} в основании и в теле дамбы с учетом (а, в) и без учета (б, г) жесткости дамбы (рисунки снизу и по бокам срезаны)

На рисунке 1 представлены изополя максимальных касательных напряжений τ_{max} (а, б) и коэффициентов относительной прочности $\tau_{rel} = \tau/\tau^*$ в дамбе и в ее основании в стабилизированном состоянии с учетом (а, в) и без учета (б, г) жесткости дамбы (во втором случае — с учетом эквивалентной гибкой нагрузки).

Как и следовало ожидать, в случаях учета и неучета жесткости дамбы получается существенная разница в НДС ее основания. В первом случае области предельного равновесия находятся под краями дамбы, что может привести к локальной потере устойчивости ее откоса. Во втором случае под действием распределенной гибкой нагрузки область предельного напряженного состояния локализуется под центром дамбы на определенной глубине и не выходит на поверхность. Очевидно, что по мере роста высоты и жесткости дамбы и соответствующей эквивалентной нагрузки эти области будут увеличиваться, причем в первом случае от боков к центру, а во втором — от центра к периферии. В конечном итоге образуется единая область предельного равновесия с выходом на поверхность основания.

Изложенное выше подтверждает первоначальное предположение авторов о неэквивалентности двух указанных выше расчетных схем (см. рис. 1). Это подтверждается также и тем, что коэффициенты устойчивости основания под откосной частью дамбы, рассчитанные для этих схем (равные 1,329 в случае жесткой дамбы и 1,871 в случае гибкой эквивалентной нагрузки), отличаются друг от друга примерно в 1,4 раза.

Итак, подчеркнем еще раз, что расчетные схемы по оценке НДС основания при использовании веса дамбы и эквивалентной гибкой нагрузки получаются неэквивалентными друг другу.

НДС основания с боковой пригрузкой с учетом его взаимодействия с дамбой

Для повышения устойчивости (несущей способности) грунтов дамбы и ее основания часто используют пригрузку поверхности основания в нижней части дамбы. Эффективность такого способа показал анализ НДС системы «дамба — основание» с учетом боковых пригрузок (НДС системы «дамба — пригрузка — основание») (рис. 2).

С ростом высоты и длины пригрузки зоны предельного равновесия смещаются к центру и в глубину, а то и вовсе исчезают (на рис. 2, а нет зон с $\tau_{rel} = 1$). При наличии пригрузки увеличивается и коэффициент устойчивости дамбы k_{st} (см. рис. 2): (а) $k_{st} = 1,48$; (б) $k_{st} = 1,61$ (при отсутствии пригрузки $k_{st} = 1,33$). Однако при этом увеличивается осадка основания дамбы. Расчеты показывают, что максимальная осадка основания в центре при его толщине 40 м составляет: 32 см — при отсутствии пригрузки; 34 см — при наличии пригрузки высотой 2 м (см. рис. 2, а), 34 см — при наличии пригрузки высотой 3 м (рис. 2, б). В случае замены дамбы эквивалентной нагрузкой осадка также составила 32 см — следовательно, учет жесткости не оказывает влияния на осадку основания.

НДС дамбы и ее основания в нестабилизированном состоянии уплотнения

В предыдущих разделах настоящей статьи рассматривались напряженно-деформированные состояния дамбы и ее основания в стабилизированном состоянии уплотнения. Теперь рассмотрим НДС в случае нестабилизированного состояния, когда под воздействием дамбы в грунтах водонасыщенного основания возникает избыточное поровое давление и развивается кон-

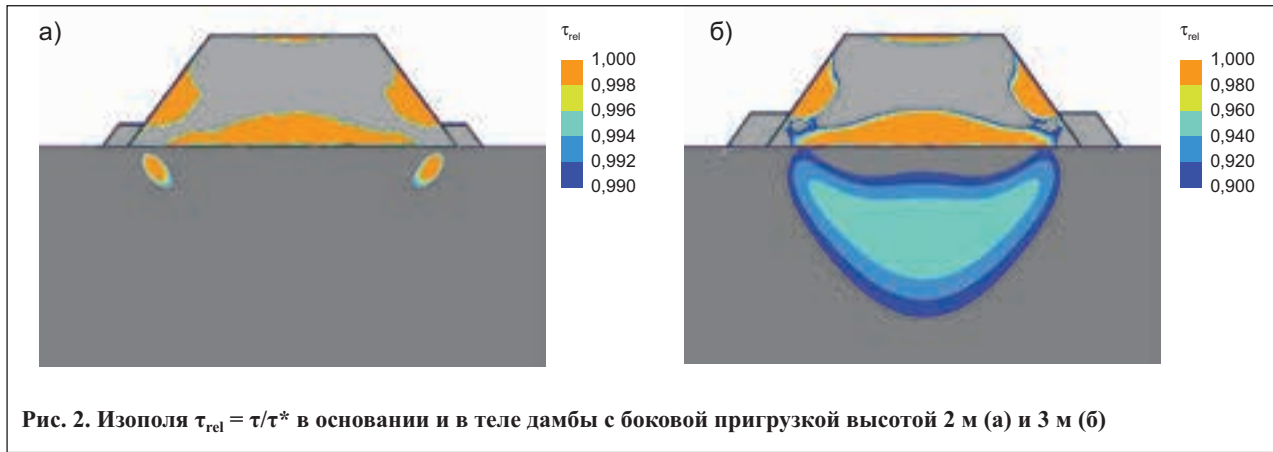


Рис. 2. Изополя $\tau_{rel} = \tau/\tau^*$ в основании и в теле дамбы с боковой пригрузкой высотой 2 м (а) и 3 м (б)

солидационный процесс. Время стабилизации НДС основания в этом случае в значительной мере зависит от коэффициентов фильтрации k_f и консолидации C_v грунтов основания, его толщины h и граничных условий [2, 3].

Решение этой задачи рассмотрим с использованием тех же параметров, что и в предыдущих двух разделах. На рисунке 3 представлены изополя $\tau_{rel} = \tau/\tau^*$ в начальный момент $t_0 = 0$, соответствующий времени окончания укладки тела дамбы и в момент $t_1 = t_c / 2$ (где t_{ct} — время, соответствующее 90% стабилизации НДС основа-

ния). В рассматриваемом случае $t_{ct} = 11,56$ года. На рисунке 3, а, б приведены изменения избыточного порового давления в водонасыщенном основании в моменты времени $t_0 = 0$ и $t_1 = t_{ct} / 2$.

Из анализа рис. 3 следует, что имеет место существенная трансформация НДС основания во времени и что со временем избыточное поровое давление рассеивается, а области предельного равновесия при $\tau_{rel} \approx 0,95$ уменьшаются. Коэффициенты устойчивости также растут со временем.

Анализ НДС водонасыщенных оснований дамб показывает также, что наиболее опасным

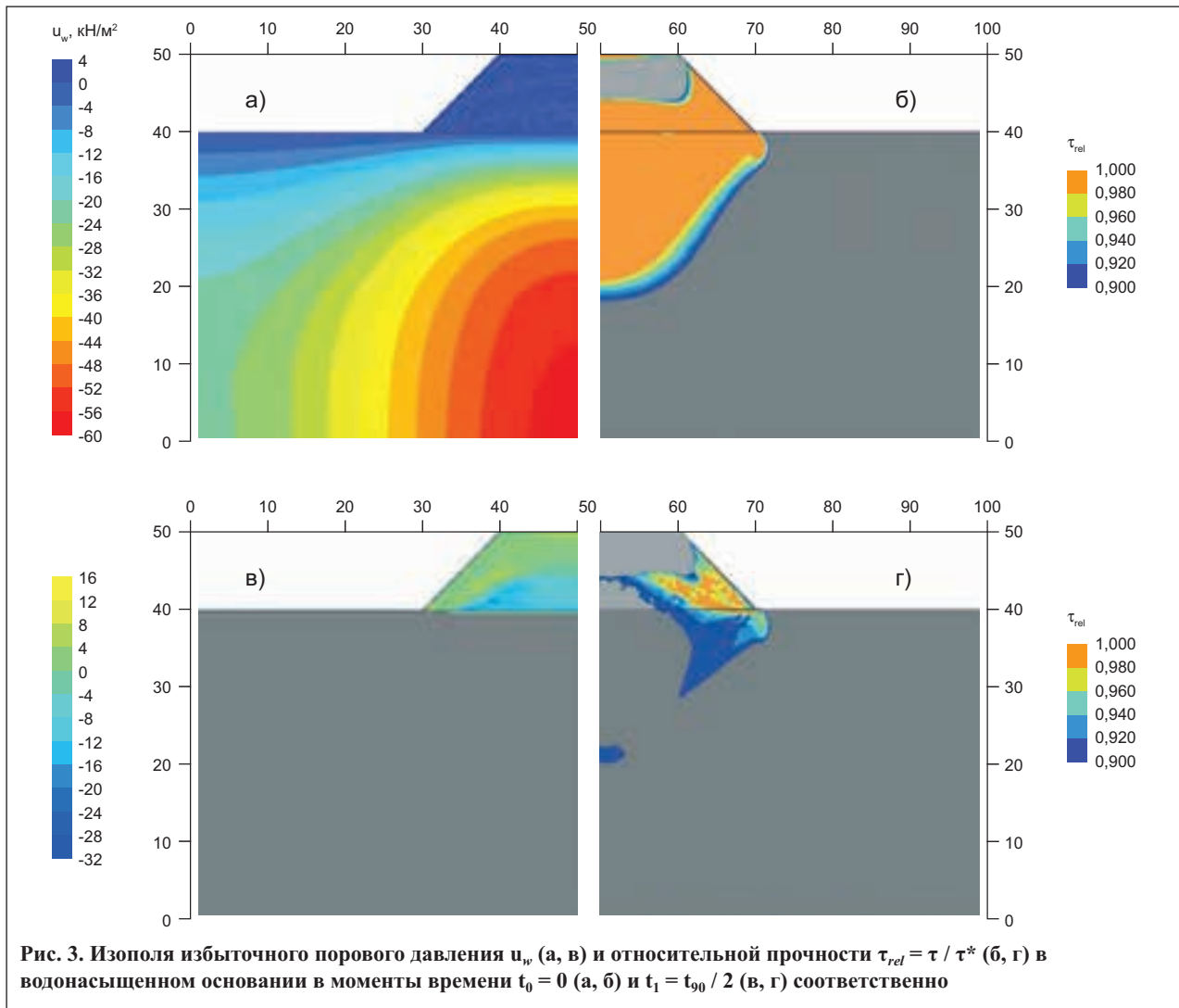
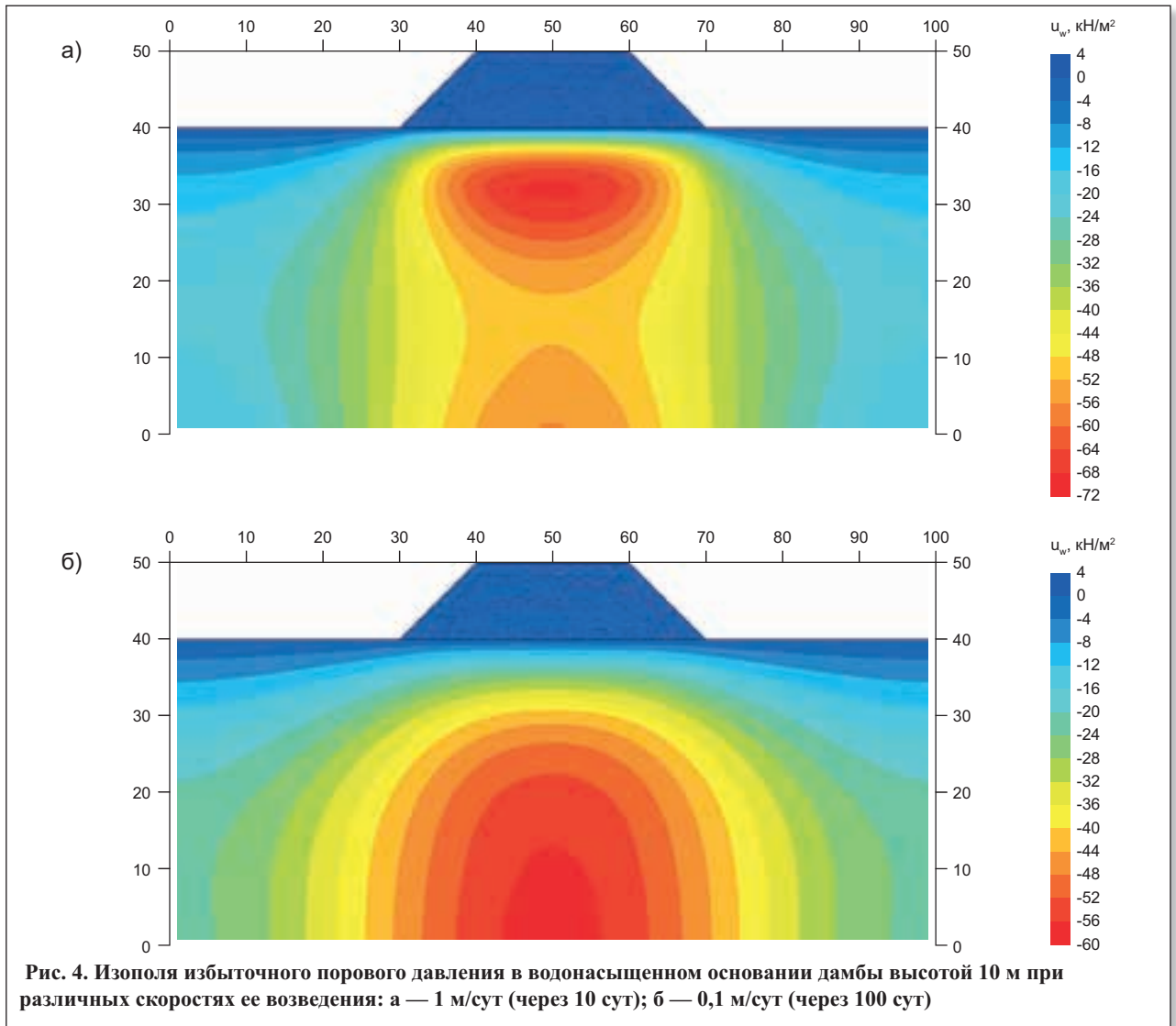


Рис. 3. Изополя избыточного порового давления u_w (а, в) и относительной прочности $\tau_{rel} = \tau / \tau^*$ (б, г) в водонасыщенном основании в моменты времени $t_0 = 0$ (а, б) и $t_1 = t_{90} / 2$ (в, г) соответственно



с точки зрения их устойчивости является начальный период возведения дамбы (важна также скорость ее возведения в этот период времени). Поэтому при строительстве таких сооружений на слабых водонасыщенных основаниях следует контролировать (дистанционно измерять с использованием специальных датчиков) уровень избыточного порового давления и соответствующим образом регулировать темп их возведения.

На рисунке 4 показаны изолинии избыточного порового давления в основании 10-метровой дамбы со скоростью ее возведения 1,0 и 0,1 м/сут через 10 и 100 сут соответственно. Видно, что в первом случае избыточное поровое давление в центре слоя значительно больше, чем во втором. Таким образом, это подтверждает, что при возведении дамб следует соблюдать необходимый скоростной режим.

Выводы

1. При взаимодействии дамбы и ее основания в системе «дамба — грунты основания» возникает сложное неоднородное напряженно-деформированное состояние, которое существенно зависит от ее жесткости. Поэтому расчеты НДС данной

системы, выполненные с учетом и без учета жесткости дамбы, не являются эквивалентными.

2. Боковая пригрузка дамбы оказывает благоприятное воздействие на устойчивость ее основания, но увеличивает его общую осадку как в центре, так и в местах пригрузки.

3. При взаимодействии дамбы и ее водонасыщенного основания в грунтах последнего возникает избыточное поровое давление, которое оказывает существенное влияние на локальную и общую устойчивость основания, особенно в первый период возведения дамбы.

4. Устойчивость грунтов дамбы и ее водонасыщенного основания значительно зависит от скорости возведения дамбы — следовательно, устойчивость можно дистанционно регулировать путем измерения избыточного порового давления в водонасыщенном основании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маслов Н.Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов. М.: Высшая школа, 1982. 506 с.
2. Тер-Мартirosян З.Г. Механика грунтов. М.: АСВ, 2009. 550 с.
3. Цытович Н.А. Механика грунтов. М.: Стройиздат, 1963. 636 с.