



<http://www.baogiaothong.vn/vet-nut-ky-la-dai-12-met-tren-de-ta-song-hong-d124268.html>

<https://doi.org/10.25296/1997-8650-2018-12-11-12-26-34>

УДК 624.133.138

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПАВОДКОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ЗАЩИТНЫХ ДАМБ (НА ПРИМЕРЕ Г. ХАНОЯ)

ДИНЬ Т.Х.

Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, Россия, dinhthehien07@gmail.com

Адрес: ул. Миклухо-Маклая, д. 23, г. Москва, 117997, Россия

ФОМЕНКО И.К.*

Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, Россия, ifolga@gmail.com

ВЯЗКОВА О.Е.

Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, Россия, wjask@yandex.ru

СИРОТКИНА О.Н.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия, onsirotkina@gmail.com
Адрес: Ленинские горы, д. 1, г. Москва, 119991, Россия

Аннотация: согласно территориальным планам развития города Ханой, появилась необходимость возведения новой системы дамб для обеспечения нормального функционирования приречных территорий. В связи с этим особую актуальность приобретает решение задачи по анализу причин потери устойчивости откосов дамб, защищающих город от наводнений. При оценке возможности их разрушения в результате оползневого процесса наиболее важным индикатором является появление трещин в теле дамбы. Рассматриваются возможные механизмы потери устойчивости откосов дамбы в результате изменения гидрологической обстановки, дается их обоснование на основе результатов математического моделирования. В исследованиях применен «геотехнический» подход к оценке величины поровых давлений, что является новым в российской практике. Данный подход, не исключая необходимости выполнения гидрогеологического моделирования, позволяет оценить устойчивость откосов дамбы при изменении уровня паводковых вод. Обобщенная инженерно-геологическая модель литотехнической системы (ЛТС) дамбы может быть представлена в виде следующей схемы: в основании ЛТС залегает водоносный слой, представленный песками различной зернистости и текучими супесями, который перекрывается слабопроницаемыми суглинистыми и глинистыми грунтами. Рассмотрены два сценария нарушения устойчивости откоса дамбы: при повышении уровня грунтовых вод в период экстремального паводка и за счет быстрой сработки уровня паводковых вод. Методами математического моделирования показано, что снижение коэффициента устойчивости происходит в обоих случаях. Таким образом, обрушение откосов дамбы возможно как при повышении уровня подземных вод в период паводка, так и при его резком снижении, после его окончания. При этом в первом случае будет происходить оползание откосов, обращенных в сторону от реки, а во-втором — обращенных в сторону реки. Этот факт необходимо учитывать при разработке мероприятий по укреплению откосов существующих дамб, а также при проектировании новой системы дамб города Ханой.

Ключевые слова: Ханой; Вьетнам; математическое моделирование устойчивости; разрушение откосов дамбы; изменение гидрологической обстановки; быстрая сработка уровня подземных вод

Ссылка для цитирования: Динь Т.Х., Фоменко И.К., Вязкова О.Е., Сироткина О.Н., 2018. Исследование влияния экстремальных паводков на устойчивость защитных дамб (на примере г. Ханой). Инженерные изыскания, Том XII, № 11–12, с. 26–34, <https://doi.org/10.25296/1997-8650-2018-12-11-12-26-34>.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF EXTREME FLOODS ON THE STABILITY OF PROTECTIVE DAMS (USING THE EXAMPLE OF HANOI CITY)

THE HIEN DINH

Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University (MGRI), Moscow, Russia, dinhthehien07@gmail.com
Address: Bld. 23, Miklukho-Maclay St., 117997, Moscow, Russia

IGOR K. FOMENKO*

Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University (MGRI), Moscow, Russia, ifolga@gmail.com

OLGA E. VAZKOVA

Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University (MGRI), Moscow, Russia, wjask@yandex.ru

OLGA N. SIROTKINA

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, onsirotkina@mail.ru
Address: Bld. 1, Leninskie Gory, 119991, Moscow, Russia

Abstract: according to the territorial development plans of the city of Hanoi, there is a need to build a new dam system to ensure the normal functioning of the riverside areas. Therefore, the solution of the problem of analyzing the causes of the loss of stability of the dam slopes protecting the city from floods is of particular relevance. When assessing the possibility of dam failure as a result of a landslide process, the most important indicator is the appearance of cracks in the body of the dam. The possible mechanisms of loss of stability of the dam slopes as a result of changes in the hydrological situation are considered, their rationale based on the results of mathematical modeling is given. The studies used a “geotechnical” approach to estimating pore pressure values, which is new in Russian practice. This approach, without excluding the need to perform hydrogeological modeling, makes it possible to assess the stability of the dam slopes when the level of flood waters changes. The generalized engineering-geological model of the lithotechnical system (LTS) of the dam can be represented as the following scheme: at the base of the LTS lies an aquifer, represented by sands of various grain sizes and flowing sandy loams, which is overlapped by low-permeable loamy and clayey soils. Two scenarios for the violation of the stability of the dam slope are considered: when the groundwater level rises during the period of extreme flood; due to the rapid drawdown of the level of flood waters. By the methods of mathematical modeling it is proved that the decrease in the stability coefficient occurs in both cases. Thus, it is shown that the collapse of the dam slopes is possible both when the groundwater level rises during the flood period and during a sharp decrease after the end of the flood. At the same time, in the first case there will be a slide of the slopes falling in the direction “from the river”, and in the second — “to the river”. This fact must be taken into account when developing measures to strengthen the slopes of existing dams, as well as when designing a new dam system in Hanoi city.

Key words: Hanoi; Vietnam; mathematical modeling of the stability; destruction of the dam; changing hydrogeological conditions; quick groundwater drawdown

For citation: Dinh T.H., Fomenko I.K., Vazkova O.E., Sirotkina O.N., 2018. Investigation of the influence of extreme floods on the stability of protective dams (using the example of Hanoi city). *Engineering Survey*, Vol. XII, No. 11–12, pp. 26–34, <https://doi.org/10.25296/1997-8650-2018-12-11-12-26-34>.

Введение

Столица современного Вьетнама г. Ханой за время своей тысячелетней истории претерпел значительные изменения инженерно-геологических условий природного и техногенного характера.

Территории г. Ханой вблизи реки являются особо ценными участками в различных аспектах градостроительства: функционально-планировочном, рекреационном и ландшафтно-композиционном. В новых социально-политических условиях переходной экономики Вьетнама преобразования приречных территорий приобретают большое значение как для самого города Ханой, так и для Вьетнама в целом [7]. Особая роль при этом отводится системе дамб вдоль реки Ханга (Красной), защищающих город от наводнений.

Первая дамба была возведена в квартале Коса в марте 1108 г. во время прав-

ления династии Ли. В 1248 г. при династии Чан император Чан Тхай Тонг создал орган по управлению дамбами, и государство стало ежегодно выделять средства на их ремонт [16]. Для защиты города и прилегающих сельхозугодий от периодического затопления в 1837 году была начата реализация комплексной программы строительства дамб вдоль берегов реки Хангха. К настоящему времени их общая длина в черте города составляет 120 км. Древние дамбы сооружались стихийно. Ныне они стали большими улицами, такими как Чанкуангхай, Нгуенхоай, Йенфу, Ауко, но есть дамбы, сохранившие до настоящего времени свой первоначальный облик (рис. 1).

Для успешного развития приречных территорий г. Ханой наряду с существующей системой дамб планируется возведение новой системы дамб, защи-



Рис. 1. Современный вид дамбы Лохань (фото: <http://36phophuong.vn>)

Fig. 1. Modern view of the Lohan Dam (foto: <http://36phophuong.vn>)

щающих г. Ханой от наводнений. Особую актуальность приобретает решение задачи по анализу причин деформаций и разрушения откосов дамб.

Во время паводков уровень воды в Красной реке может подниматься до 20 м (рис. 2), и в случае прорыва дамбы



Рис. 2. График колебаний уровня воды Красной реки в 2016 году
 Fig. 2. The schedule of fluctuations of the water level of the Red River in 2016

часть города окажется затопленной. Например, прорывы дамб на окраине г. Ханой в 1971 и 1986 гг. (уровень воды поднимался до отметок 14,13 м и 12,35 м, соответственно) нанесли народному хозяйству материальные потери и нарушили уклад жизни миллионов местных жителей¹.

Рассматриваются возможные механизмы потери устойчивости откосов

дамбы, и дается их обоснование на основе результатов математического моделирования.

Краткие сведения о геологическом строении района исследований

Большая часть территории г. Ханой находится на равнине Бакбо, которая имеет наклон с северо-запада на юго-восток (по течению Красной реки). На

севере средние отметки поверхности составляют — 8–12 м над уровнем моря, в центре 5–7 м, на юго-востоке 3–4 м [6]. Невысокие горы охватывают ¼ территории города. Ханой, как и вся равнина Бакбо, расположен в области субэкваториального муссонного климата. Максимальное количество дождей выпадает в летние и осенние месяцы (80% годовой нормы осадков), в зимние месяцы количество дождей минимальное [4].

Специфической особенностью разреза территории г. Ханой является наличие мощной толщи четвертичных отложений, сложенной грунтами различного гранулометрического состава — от галечников до тяжелых глин и илов [5].

Четвертичные толщи распространены в области аллювиально-дельтовой низменности и представлены пестрым составом фациально изменчивым рядом континентальных и морских отложений

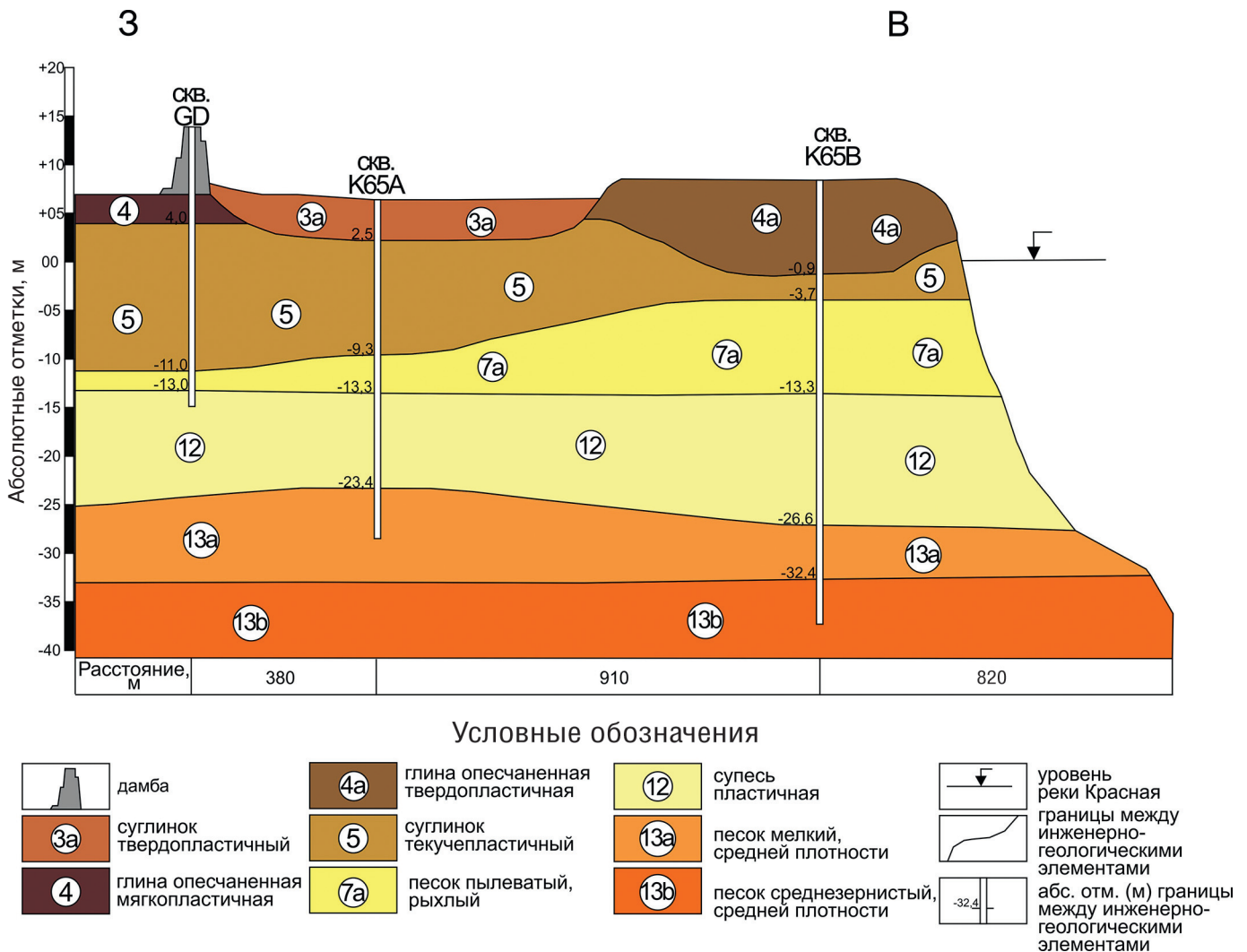


Рис. 3. Инженерно-геологический разрез в районе дамбы

Fig. 3. Engineering-geological profile in the area of the dam

¹ Чан М.Л., 1993. Обоснование пространственно-временной структуры литомониторинга крупных городов (на примере города Ханоя): автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук, Москва.

Обобщенные показатели физико-механических свойств грунтов
Generalized indicators of physical-mechanical properties of soils

ИГЭ	W	ρ	ρ_s	e	n	S_r	I_p	I_L	φ	c	m_{1-2}	k	Название грунта
	%	г/см ³	г/см ³	—	%	%	%	—	град.	кПа	10 ⁻³ м ² /кН	см/сек	
Д	20,8	2,00	2,78	0,679	40,4	85,1	13,8	0,12	21°05'	28,0	0,22	2.10 ⁻⁶	Грунты, слагающие тело дамбы
3a	33,3	1,81	2,69	0,981	49,5	91,3	15,5	0,46	11°02'	14,3	0,42	8.10 ⁻⁴	Суглинок
4a	30,9	1,86	2,71	0,930	48,0	90,3	18,8	0,45	12°05'	22,0	0,39	2.10 ⁻⁵	Глина
4	30,2	1,86	2,75	0,925	48,1	89,8	17,5	0,62	11°42'	19,7	0,46	4.10 ⁻⁵	Глина
5	44,1	1,73	2,66	1,216	54,9	96,5	14,3	0,87	7°34'	12,0	0,68	7.10 ⁻⁴	Суглинок
7a	33,8	—	2,69	—	—	—	—	—	24°38'	—	—	2.10 ⁻²	Песок
12	30,7	1,79	2,70	0,971	49,3	85,3	5,8	0,66	15°27'	10,7	0,41	5.10 ⁻³	Супесь
13a	32,2	—	2,68	—	—	—	—	—	28°37'	—	—	6.10 ⁻²	Песок
13b	33,7	—	2,70	—	—	—	—	—	30°17'	—	—	6.10 ⁻²	Песок

плейстоцен-голоценового возраста, мощностью 40–120 м.

В геологическом строении г. Ханой выделены (снизу вверх): 1) нижний неоплейстоцен, свита Лэчи (*alc*), представлена гальками, гравием с включением линз песков, супесей или суглинков аллювиального генезиса; 2) средне-верхний неоплейстоцен, свита Ханой (*a,ap II-IIIhn*), сложена гальками, гравием и песками, местами суглинками и супесями, тяготеющими к верхам разреза, генезис аллювиальный и аллювиально-пролювиальный; 3) верхний неоплейстоцен, свита Виньфук (*a,al,lbII-Ivp*) сложена песками в нижней части разреза, переходящими в суглинки и глины вверх по разрезу, генезис отложений аллювиальный, озерный и озерно-болотный; 4) нижний-средний голоцен, свита Хайхынг (*lb,b,m H¹⁻²hh*) образована в основании разреза суглинками и глинами с органическими остатками, постепенно сменяемыми, синеватыми глинами, нижняя часть накапливалась в озерно-болотных и болотных условиях, синие глины — в морской обстановке; 5) верхний голоцен, свита Тхайбинь (*a,albH³tb*), характеризуется постепенным переходом от песков к супесям и суглинкам, с включениями органических остатков, генезис аллювиальный и аллювиально-озерно-болотный. Типичное инженерно-геологическое строение приречной



Рис. 4. Трещины в теле дамбы (фото Т.Х. Динь)

Fig. 4. Cracks in the dam body (foto T.H. Dinh)

территории г. Ханой в окрестности дамбы приведено на рис. 3.

В пределах города и приречных территориях выявлены два водоносных горизонта: голоценовый водоносный горизонт представлен водонасыщенными песками, местами с гравием (свита Тхайбинь) и широко распространенный неоплейстоценовый слабонапорный водоносный горизонт, представленный

крупнообломочными образованиями (галька, гравий) и песками свит Лэчи, Ханой и Виньфук. Показатели физико-механических свойств грунтов приведены в таблице.

В тектоническом отношении [8] территория г. Ханой находится в центре прогиба Бакбо и принадлежит к тектонической активной зоне «реки Красная». Это одна из крупнейших



Рис. 5. Нарушения устойчивости откоса дамбы за счёт быстрой сработки уровня паводковых вод (фото Т.Х. Динь)

Fig. 5. Destructions of the stability of the dam slope due to the rapid drawdown of the level of flood waters (foto T.H. Dinh)

тектонических зон Юго-Восточной Азии протяженностью более 900 км, уходящая под Ханойский неогеновый прогиб. Зона на северо-востоке по глубинному разлому «Красной реки» граничит с подвижной окраиной Южно-Китайской платформы и юго-западным окончанием Катазиатской складчатой системы. На юго-западе — по глубинному разлому «реки Чай» граничит с Индосинийским микроконтинентом.

Сейсмичность северо-западного Вьетнама изучалась многими научно-исследовательскими коллективами² [15]. На территории города с XIII в. до 2002 г. было зафиксировано 152 землетрясения (из них 144 землетрясения — в XX в.), в том числе два сильных землетрясения около 7–8 баллов (1278 и 1285 гг.), три — 7-балльных землетрясения, тридцать два — 6-балльных, интенсивность остальных сейсмических событий была оценена менее 6 баллов. Существует представление о связи сейсмичности с крупномасштабными сдвиговыми перемещениями блоков земной коры по разломам реки Красной [15], к настоящему моменту сдвиг Красной реки имеет горизонтальную амплитуду около 600 км [8]. Сеймотектонические процессы оказывают существенное влияние на устойчивость дамб г. Ханой, однако в данной статье этот вопрос не рассматривался. Следует отметить, что вероятность совпадения сейсмического события и паводка крайне низкая.

Среди инженерно-геологических процессов наиболее существенными и опасными для города являются: прорыв дамб и их разрушение [4].

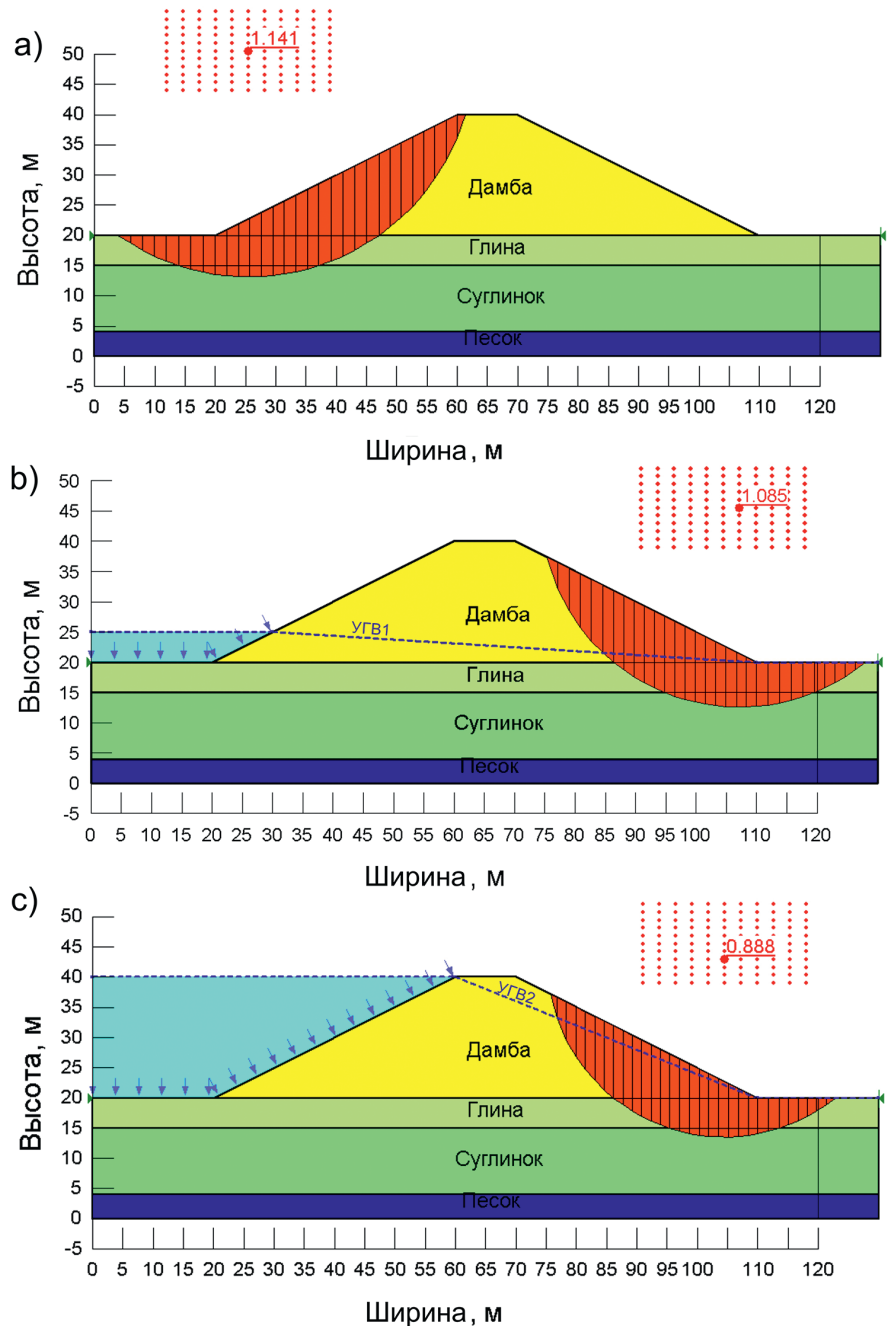


Рис. 6. Поперечный разрез дамбы. Оценка устойчивости откоса дамбы при повышении уровня воды в период экстремального паводка: а) без учета влияния подземных вод $K_u = 1,14$; б) при повышении уровня воды на начальный период экстремального паводка $K_u = 1,085$; в) при повышении уровня воды на конечный период экстремального паводка $K_u = 0,89$

Fig. 6. A cross-section of the dam. Estimation of the stability of the dam slope when the groundwater level rises during the period of extreme flood: a) without taking into account the influence of groundwater, $K_u = 1,14$; b) when the groundwater level rises for the initial period of extreme flood (GWL 1), $K_u = 1,085$; c) when the groundwater level rises for the final period of extreme flood (GWL 2), $K_u = 0,89$

Классификация деформаций и разрушений откосов дамб

Анализ инженерно-геологических процессов, развивающихся в пределах литотехнической системы (ЛТС) дамб Красной реки, приобрел особую актуальность согласно исследованиям [1, 2]. Индикатором разрушения откосов дамб

в результате оползневого процесса является появление в теле дамбы трещин (рис. 4).

По характеру и степени проявления трещин в теле дамбы выделяются¹:

- дамбы, в которых визуально отсутствуют трещины, существенно влияющие на их устойчивость во время паводков;

² Ле В.З., 2011. Новые решения проблемы сейсмичности Вьетнама: автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук, Москва.

- дамбы, для которых существует возможность возникновения трещин, связанных с активизацией разломов;
- дамбы с высокой вероятностью возникновения трещин, за счет неравномерной осадки их основания из-за присутствия в разрезе слабых грунтов.

Следует отметить, что в предложенной классификации¹ не учтено влияние порового давления, возникающего при подъеме и сработке уровня паводковых вод, на устойчивость откосов дамбы.

Математическое моделирование механизмов разрушения откосов дамбы

Обобщенная геомеханическая модель ЛТС дамбы может быть охарактеризована в виде следующей схемы: в основании ЛТС залегает водоносный горизонт, представленный песками различной зернистости и текучими супесями, который перекрывается слабопроницаемыми суглинистыми и глинистыми грунтами (рис. 6).

Влияние подъема уровня воды в реке Красная на состояние откосов дамбы проявляется различными способами, вызывая изменение напряженного состояния массива и физико-механических свойств грунтов, а также обуславливая развитие фильтрационных деформаций [3].

Изменение порового давления в грунтах тела дамбы обусловлено двумя разнонаправленными гидрологическими процессами:

- повышением уровня воды в реке во время экстремальных паводков;
- быстрой сработкой уровня воды в реке после прохождения пика паводка.

Воздействие данных процессов на устойчивость откосов дамбы проявляется по-разному. В первом случае уменьшается устойчивость откоса, обращенного в сторону от реки, во втором — откоса, обращенного в сторону реки. На рис. 5 приведен пример нарушения устойчивости откоса дамбы за счет быстрой сработкой уровня паводковых вод.

Для оценки влияния изменения уровня воды реки Красная в период паводка на устойчивость откосов дамбы было выполнено математическое моделирование методом предельного равновесия Моргенштерна-Прайса [14].

Моделирование выполнялось по двум сценариям:

1. оценка устойчивости откоса дамбы при повышении уровня воды в реке в период экстремального паводка;
2. оценка устойчивости откоса дамбы за счет быстрой сработкой уровня паводковых вод.

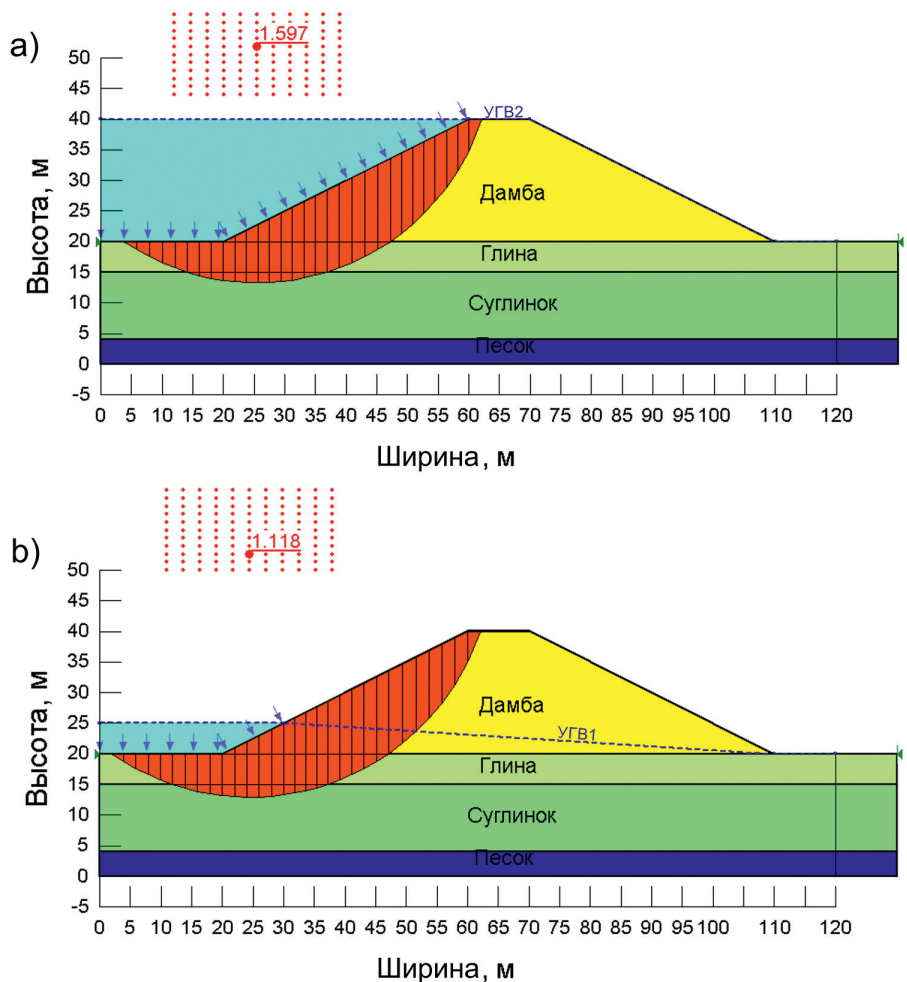


Рис. 7. Поперечный разрез дамбы. Оценка устойчивости откоса дамбы за счет снятия пригрузки от воды на откос, обращенный к реке: а) при уровне воды на конечный период экстремального паводка (УГВ 2) K_u — 1,6; б) при понижении уровня воды после паводка, K_u — 1,12

Fig. 7. A cross-section of the dam. Estimation of the stability of the dam slope due to the removal of the retention forces that water has on the slope facing “to the river”: a) at the water table for the final period of extreme flood, K_u — 1.6; b) when the water level drops after the flood, K_u — 1.12

Оценка устойчивости откоса дамбы при повышении уровня воды в реке в период экстремального паводка

Тело дамбы сформировано грунтами с низкими коэффициентами фильтрации. Как указывалось в работе [3], при увеличении коэффициента фильтрации (K_f) слабопроницаемых грунтов, коэффициент устойчивости (K_y) также возрастает, что вполне логично, т.к. уменьшение K_f ухудшает дренируемость грунтов и, как следствие, увеличивает в грунтах поровое давление. Таким образом, при повышении уровня воды в реке именно изменение порового давления в грунтах тела дамбы будет оказывать определяющее влияние на изменение K_y откоса.

Для оценки влияния данного сценария на устойчивость откосов моделирование было выполнено по трем схемам:

1. оценка устойчивости откоса дамбы без учета влияния воды;

2. оценка устойчивости откоса дамбы при повышении уровня воды в реке на начальный период экстремального паводка;

3. оценка устойчивости откоса дамбы при повышении уровня воды в реке на конечный период экстремального паводка.

На рис. 6 представлены соответствующие геомеханические схемы с результатами расчетов устойчивости откоса дамбы.

Результаты расчета показывают (см. рис. 6, с), что при повышении уровня воды в процессе паводка, K_y откоса, обращенного в сторону от реки, снижается от 1,14 до 0,89 (откос теряет устойчивость).

Оценка устойчивости откоса дамбы за счет быстрой сработкой уровня паводковых вод

Важным моментом при оценке устойчивости насыпных дамб является

расчет во время быстрого падения уровня воды [9, 12, 13]. Недочет влияния данного процесса на устойчивость дамб может привести к катастрофическим последствиям. Наиболее яркими примерами являются разрушения плотин из-за быстрого понижения уровня воды: Пиларситос (Pilarcitos Dam) в ноябре 1969 г. в штате Калифорния, США; Вальтера Булдина (Walter Bouldin Dam) в феврале 1975 г. в штате Алабама, США [11].

Снижение K_u откоса при понижении уровня паводковых вод обусловлено двумя причинами. Первая — это снятие гидростатического давления на откос, обращенный к реке.

Для оценки влияния данного эффекта на устойчивость откосов моделирование было выполнено по двум схемам:

1. оценка устойчивости откоса дамбы, обращенного к реке, при повышении уровня воды на конечный период экстремального паводка;
2. оценка устойчивости откоса дамбы, обращенного к реке, при понижении уровня воды после паводка.

На рис. 7 представлены соответствующие геомеханические схемы с результатами расчетов устойчивости откосов.

Результаты расчета показывают, что при снижении уровня воды в процессе спада паводка K_u откоса, обращенного к реке, снижается от 1,6 до 1,12.

Однако следует заметить, данный эффект не полностью описывает процесс снижения K_u при быстрой сработке уровня. Вторым эффектом является то, что в слабодренируемых грунтах тела дамбы возникает избыточное поровое давление. Таким образом, удерживающие силы будут определяться недренируемой прочностью грунтов на сдвиг.

Для совместного учета влияния обоих описанных выше эффектов (снятие стабилизирующего действие воды на откос, обращенный к реке, и возникновение в теле дамбы избыточного порового давления) был использован трехэтапный метод оценки устойчивости при быстрой сработке уровня воды, предложенный Дунканом, Райтом и Вонгом [10].

Этот метод, основанный на использовании билинейного критерия прочности Кулона-Мора, коротко можно описать следующим образом [10, 12].

Первый этап включает в себя анализ устойчивости дамбы до начала снижения уровня воды, когда давление поровых вод в грунтах остается стабиль-

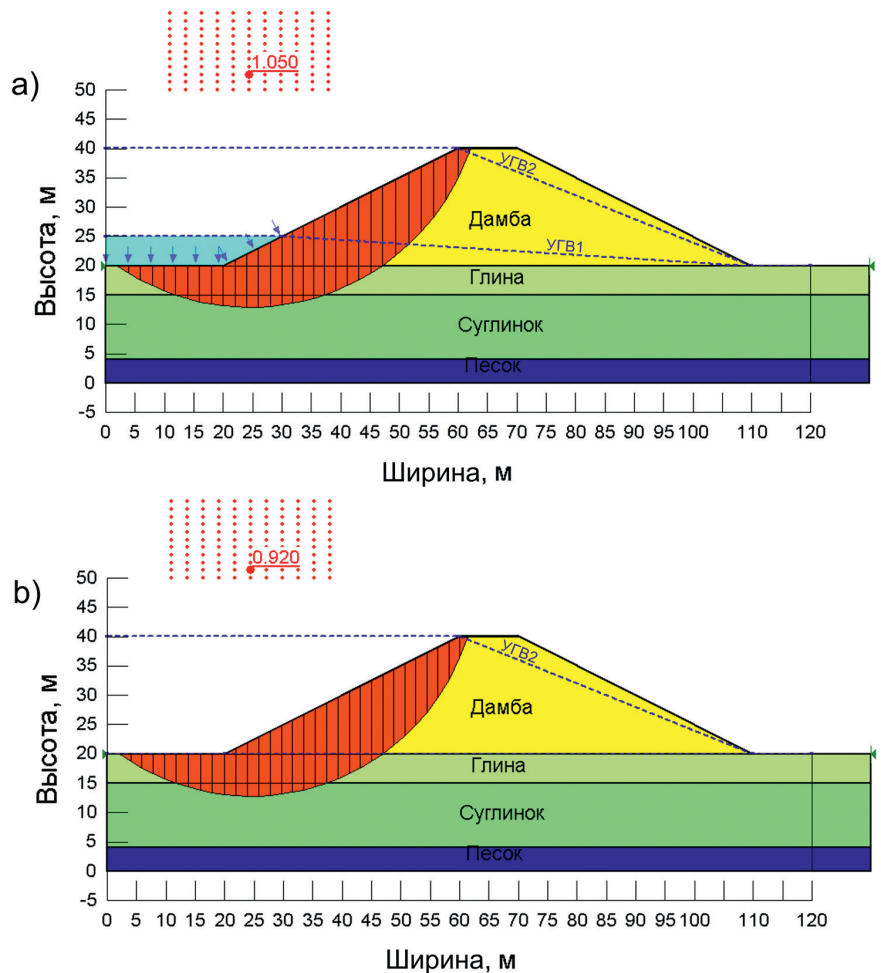


Рис. 8. Поперечный разрез дамбы. Геомеханические схемы с результатами расчетов устойчивости откоса дамбы при сработке паводкового уровня реки Красной: а) оценка устойчивости откоса дамбы, обращенного к реке, при частичной сработке уровня, K_u — 1,05; б) оценка устойчивости откоса дамбы, обращенного к реке, при полной сработке уровня, K_u — 0,92

Fig. 8. A cross-section of the dam. Geomechanical diagrams with the calculation results of stability of the dam slope as a result of the flood level's drawdown of the Red River: a) estimation of the stability of the slope of the dam facing the river, when the partially level draws down, K_u — 1.05; b) estimation of the stability of the dam slope facing the river, with a full drawdown level, K_u — 0.92

ным. В качестве расчетной используется эффективная прочность грунтов с учетом действующей величины порового давления. Цель вычислений первого этапа состоит в том, чтобы оценить эффективное нормальное и сдвигающее напряжения, действующие вдоль поверхности скольжения до начала снижения уровня воды.

Второй этап включает в себя анализ устойчивости дамбы после быстрой сработке уровня воды, когда давление поровых вод в грунтах определяется пьезометрической линией после быстрого спада уровня. В качестве расчетной используется недренируемая прочность грунтов, слагающих насыпь. Прочность на сдвиг при недренированном состоянии оценена для второго этапа с использованием напряжений, рассчитанных на первом этапе. Дополни-

тельные расчеты выполняются для проверки, может ли прочность на сдвиг в дренированном состоянии быть ниже прочности в недренируемом состоянии (при заданном уровне консолидации грунтов, слагающих тело дамбы). Затем сравнивают значения прочности на сдвиг в дренированном и недренируемом состоянии (зависит от давления при консолидации грунтов) вдоль плоскости скольжения. В качестве исходных данных для третьего этапа выбирают наименьший результат.

На третьем этапе выполняется анализ устойчивости с использованием расчетных значений прочности на сдвиг, полученных на втором этапе и конечного уровня воды после его падения. Устойчивость дамбы после быстрой сработке уровня воды определяется расчетом, полученным на третьем этапе.

На рис. 8 представлены соответствующие геомеханические схемы с результатами расчетов устойчивости.

Результаты расчета показывают, что при резком частичном снижении уровня воды K_y откоса, обращенного в сторону реки, снижается от 1,6 до 1,05 (см. рис. 8, а). Сравнение полученного результата с расчетом, приведенным на рис. 8, б, позволяет сделать оценку вклада избыточного порового давления в снижение K_y откоса дамбы (за счет избыточного порового давления K_y уменьшился на 0,07 ед.). При полной сработке уровня воды коэффициент устойчиво-

сти становится меньше единицы (K_y — 0,92), т.е. откос теряет устойчивость.

Заключение

Выполненное математическое моделирование устойчивости дамбы при изменении уровня паводковых вод позволило определить механизмы деформирования ее откосов. В результате расчетов получено, что при повышении уровня воды в процессе паводка K_y откоса, обращенного от реки, снижается от 1,14 до 0,89 (откос дамбы теряет устойчивость). Аналогичный результат получен при полной сработке уровня паводко-

вых вод — коэффициент устойчивости становится меньше единицы (K_y — 0,92), т.е. откос дамбы также теряет устойчивость.

Таким образом, в период экстремального подъема воды в реке Красная вероятно обрушение откосов дамбы, обращенных от реки, в момент спада — вероятно обрушение откосов дамбы, обращенных в сторону реки. Этот факт необходимо учитывать при разработке мероприятий по укреплению откосов существующих дамб, а также при проектировании новой системы дамб города Ханой. 🌐

Список литературы

1. Ву Као Минь, Чинь Куок Хай, 2004. Некоторые оценки об изменении геологической среды вдоль рек Ханоя связаны с типами инцидентов дамбы. Сборник научных докладов национальной экологической конференции, Ханой, 2004, № 45, с. 68–72. (на вьетнамском языке)
2. Нгуен Х.Д., 2002. Исследование и синтез причин растрескивания дамбы речного берега в районе около Ханоя. Геологический институт Ханой. (на вьетнамском языке)
3. Пендин В.В., Фоменко И.К., 2015. Методология оценки и прогноза оползневой опасности. ЛЕНАНД, Москва.
4. Фи Х.Т., Строкова Л.А., 2011. Опасные геологические процессы на территории г. Ханой (Вьетнам). Вестник Томского государственного университета, № 349, с. 200–204.
5. Фи Х.Т., Строкова Л.А., 2014. Слабые грунты на территории города Ханоя (Вьетнам). Инженерная геология. № 1, с. 30–36.
6. Фи Х.Т., Строкова Л.А., 2017. Типизация грунтовых толщ территории города Ханой (Вьетнам) при изучении оседания земной поверхности при водопонижении. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов, Том 32, № 4, с. 6–17.
7. Ха Д.А., 2012. Приречные территории города Ханоя (Вьетнам): принципы, направления и мероприятия преобразования и развития. Lambert Academic Publishing, Саарбрюккен.
8. Хаин В.Е., 2001. Тектоника континентов и океанов. Научный мир, Москва.
9. Corps of Engineers, 1970. Engineering and Design — Stability of Earth and Rock Fill Dams, Engineering Manual, EM 1110-2-1902. Department of the U.S. Army, Corps of Engineers, Office of the Chief of Engineers.
10. Duncan J.M., Wright S.G., Wong K.S., 1990. Slope Stability during Rapid Drawdown. Proceedings of the H. Bolton Seed Memorial Symposium, 1990, Vol. 2, pp. 253–272.
11. Duncan J.M., Wright S.G., Brandon T.L., 2014. Soil Strength and Slope Stability, 2nd edition. John Wiley and Sons, New Jersey.
12. Krahn J., 2004. Stability modeling with SLOPE/W. An Engineering Methodology: First Edition, Revision 1: GEO-SLOPE International Ltd., Calgary, Alberta.
13. Lowe J., Karafiath L., 1960. Stability of Earth Dams Upon Drawdown. Proceedings of the 1st PanAm Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Mexico City, 1960, Vol. 2, pp. 537–552.
14. Morgenstern N.R., Price V.E., 1965. The analysis of the stability of general — slip surface. Geotechnique, Vol. 15, No. 1, pp. 70–93.
15. Zuchiewicz W., Quốc Cu'ò'ng N., Zasadni J., Yêm N.T., 2013. Late Cenozoic tectonics of the Red River Fault Zone, Vietnam, in the light of geomorphics studies. Journal of Geodynamics, Vol. 69, pp. 11–30.
16. Официальный сайт газеты центрального органа Коммунистической партии Вьетнама — Nhan Dan online. URL: <http://ru.nhandan.com.vn/hoso-tulieu/item/532450-дамбы-внутри-города.html> (дата обращения: 25.10.2018). (in Vietnamese)

References

1. Vu Cao Minh, Chen Quoc Hai, 2004. Some estimates of the change in the geological environment along the rivers of Hanoi are related to the types of dam incidents. Collection of scientific reports of the national environmental Conference, Hanoi, 2004, No. 45, pp. 68–72. (in Vietnamese)
2. Nguyen H.D., 2002. Research and synthesis of the causes of cracking of the dam, the river bank in the area near the dam of Hanoi. Geological Institute Hanoi. (in Vietnamese)
3. Pendin V.V., Fomenko I.K., 2015. Methodology of landslide hazard assessment and prediction. LENAND, Moscow. (in Russian)

4. Phi H.T., Strokova L.A., 2011. Hazardous geological processes on Hanoi territory (Vietnam). Bulletin of Tomsk State University, No. 349, pp. 200–204. (in Russian)
5. Phi H.T., Strokova L.A., 2014. Soft soils of the Hanoi territory (Vietnam). Engineering Geology, No. 1, pp. 30–36. (in Russian)
6. Phi H.T., Strokova L.A., 2017. Classification of soil types for Hanoi (Vietnam) when studying land subsidence at groundwater extraction. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. Vol. 328, No. 4, pp. 6–17 (in Russian)
7. Ha D.A., 2012. River territories of Hanoi (Vietnam): principles, directions and measures of transformation and development. Lambert Academic Publishing, Saarbruecken. (in Russian)
8. Hain V.E., 2001. Tectonics of continents and oceans. Scientific world, Moscow. (in Russian)
9. Corps of Engineers, 1970. Engineering and Design – Stability of Earth and Rock Fill Dams, Engineering Manual, EM 1110-2-1902. Department of the U.S. Army, Corps of Engineers, Office of the Chief of Engineers.
10. Duncan J.M., Wright S.G., Wong K.S., 1990. Slope Stability during Rapid Drawdown. Proceedings of the H. Bolton Seed Memorial Symposium, 1990, Vol. 2, pp. 253–272.
11. Duncan J.M., Wright S.G., Brandon T.L., 2014. Soil Strength and Slope Stability, 2nd edition John Wiley and Sons, New Jersey.
12. Krahn J., 2004. Stability modeling with SLOPE/W. An Engineering Methodology: First Edition, Revision 1: GEO-SLOPE International Ltd., Calgary, Alberta.
13. Lowe J., Karafiath L., 1960. Stability of Earth Dams Upon Drawdown. Proceedings of the 1st PanAm Conference on Soil Mechanic and Foundation Engineering. Mexico City, 1960, Vol. 2, pp. 537–552.
14. Morgenstern N.R., Price V.E., 1965. The analysis of the stability of general - slip surface. Geotechnique, Vol. 15, No. 1, pp. 70–93.
15. Zuchiewicz W., Quốc Cu'ò'ng N., Zasadni J., Yêm N.T., 2013. Late Cenozoic tectonics of the Red River Fault Zone, Vietnam, in the light of geomorphics studies. Journal of Geodynamics, Vol. 69, pp. 11–30.
16. The official site of the newspaper of the central organ of the Communist Party of Vietnam — Nhan Dan online. URL: <http://ru.nhandan.com.vn/hoso-tulieu/item/532450-дамбы-внутри-города.html> (accessed: 25 October 2018). (in Vietnamese)

Информация об авторах

ДИНЬ ТХЕ ХИЕН

Аспирант кафедры инженерной геологии гидрогеологического факультета Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, Россия

ФОМЕНКО ИГОРЬ КОНСТАНТИНОВИЧ

Профессор кафедры инженерной геологии гидрогеологического факультета Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, Россия

ВЯЗКОВА ОЛЬГА ЕВГЕНЬЕВНА

Профессор кафедры инженерной геологии гидрогеологического факультета Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, Россия

СИРОТКИНА ОЛЬГА НИКОЛАЕВНА

Старший научный сотрудник кафедры динамической геологии геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, к.г.-м.н., г. Москва, Россия

Information about the authors

THE HIEN DINH

Post-graduate student of the Department of Engineering Geology, Hydrogeological Faculty, Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University (MGRI), Moscow, Russia

IGOR K. FOMENKO

Professor of the Department of Engineering Geology, Hydrogeological Faculty, Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University (MGRI), DSc (Doctor of Science in Geology and Mineralogy), Moscow, Russia

OLGA E. VAZKOVA

Professor of the Department of Engineering Geology, Hydrogeological Faculty, Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University (MGRI), DSc (Doctor of Science in Geology and Mineralogy), Moscow, Russia

OLGA N. SIROTKINA

Senior researcher of the Department of Dynamic Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, PhD (Candidate of Science in Geology and Mineralogy), Moscow, Russia



Протяженная дамба (фото Т.Х. Динь)