



**ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН**

**INVESTIGATION AND ANALYSIS OF SEISMIC CHARACTERISTICS OF
GROUND DAMS**

Муравьева Александра Игоревна, РУДН, Департамент строительства

Мордвинцев Константин Петрович, РУДН, Департамент строительства

Кумеров Дмитрий Евгеньевич, РУДН, Департамент строительства

Muravieva Alexandra Igorevna, PFUR, Department of Construction

Mordvintsev Konstantin Petrovich, PFUR, Department of Construction

Kumerov Dmitry Evgenievich, PFUR, Department of Construction

Аннотация: В статье проведено исследование сейсмических характеристик грунтовых плотин. Автор отмечает, что важную роль вызванного землетрясением снижения прочности на сдвиг, которое может происходить в грунтах плотины, играет необходимость дальнейших уточнений и анализа более высокого уровня для оценки влияния вертикальной составляющей движения грунта и избыточного порового давления на величину смещения плотины, вызванного землетрясением.

Abstract: The article studies the seismic characteristics of ground dams. The author notes that the important role of the earthquake-induced reduction in shear strength, which can occur in the dam soils, is played by the need for

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"
further refinements and higher-level analysis to assess the impact of the vertical
component of soil movement and excessive pore pressure on the magnitude of the

Ключевые слова: грунтовые плотины, сейсмические характеристики,
анализ, исследование.dam displacement caused by the earthquake.

Keywords: ground dams, seismic characteristics, analysis, research.

Воздействие землетрясений на грунтовые плотины задокументировано в нескольких исследованиях. Редкие случаи обрушения плотин во время или сразу после сейсмического события в основном были вызваны сильными землетрясениями и часто объяснялись разжижением грунтов основания или насыпи. И наоборот, постоянное смещение и деформация, движение массы грунта и развитие трещин широко наблюдались даже при умеренных явлениях без разжижения грунта [2].

За последние 30 лет строительство новых плотин в мире замедлилось, в то время как спрос на воду значительно увеличился, что указывает на необходимость как можно дольше поддерживать в рабочем состоянии существующие станции. В основном это зонированные плотины с непроницаемой сердцевиной, и более 50% из них расположены в районах со средней и высокой сейсмичностью в соответствии с последней оценкой вероятностной сейсмической опасности [4].

Однако большинство этих плотин было построено до введения норм сейсмостойкости или в период, когда сейсмичность участков плотин оценивалась приблизительно и, таким образом, часто недооценивалась или даже полностью игнорировалась [1]. Как следствие, многие земляные плотины, эксплуатируемые в настоящее время, не были рассчитаны на устойчивость к землетрясениям или были спроектированы с учетом сейсмических воздействий ниже тех, которые оцениваются в настоящее время. Для нескольких плотин, спроектированных с учетом сейсмических воздействий, был использован традиционный псевдостатический подход для оценки условий общей устойчивости насыпи с сейсмическими

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral" коэффициентами в диапазоне от 0,04 до 0,1 g в зависимости от первого национального сейсмического районирования, датированного 1974 годом. фактический динамический характер движения грунта и его влияние на реакцию плотины должным образом не учитывались.

Анализ сейсмического поведения земляных плотин на уровне скрининга обычно выполняется путем оценки остаточных перемещений, вызванных землетрясением, с помощью упрощенных вычислений типа Ньюмарка. Они включают в себя традиционный связанный или несвязанный анализ скольжения жестких блоков и связанный анализ прерывистого скольжения с учетом податливости грунта и нелинейного поведения грунта [3].

В соответствии с рекомендациями сейсмических норм проводится оценка сейсмического отклика плотины с определением различных сейсмических сценариев и входных движений для разных предельных состояний и с использованием различных методы анализа, в том числе конечно-разностный (FD) псевдостатический анализ, связанный и несвязанный анализ типа Ньюмарка и нелинейный динамический анализ FD.

Сейсмические сценарии обычно определяются с использованием данных исторической сейсмичности и результатов последнего вероятностного анализа сейсмической опасности, доступного для участка плотины; входные движения были выбраны с использованием критериев совместимости, основанных на энергетическом и частотном содержании, с целевыми движениями грунта, ожидаемыми на площадке, и нацелены на соответствие целевым спектрам в диапазоне периодов вибрации, соответствующих нелинейной реакции плотины.

Сейсмостойкость плотины оценивается с помощью анализа FD, выполняемого с использованием возрастающих значений сейсмического коэффициента до тех пор, пока в численной модели не развился четко определенный пластический механизм [4].

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

Затем оцениваются смещения плотин, вызванные землетрясением, с акцентом на необходимость использования эмпирических прогностических соотношений, в которых учитывается энергоемкость сейсмических сотрясений вместе с их продолжительностью. Вычисленные смещения сравниваются с пороговыми значениями осадок гребней, выявленными в результате критического обзора более 90 примеров плотин, пострадавших от сильных землетрясений.

Результаты анализа предоставляют основную оценку характеристик плотины при сильном землетрясении и позволяют определить наиболее важные сейсмические входные данные для использования в расширенном нелинейном динамическом анализе.

В последние десятилетия для оценки сейсмического поведения геотехнических систем и оценки финансового и социального риска, связанного с необратимым ущербом или отказом, вызванным землетрясениями, были внедрены основанные на характеристиках подходы. В этом контексте должны быть введены соответствующие индексы производительности и должны быть определены подходящие пороговые значения, которые определяют достижение предельных состояний, связанных с различными сейсмическими сценариями [5].

В соответствии с международными стандартами сейсмические характеристики плотин должны быть проверены, чтобы убедиться, что условия устойчивости и эксплуатационной пригодности гарантированы от ожидаемых колебаний грунта, характеризующихся относительно низкой или высокой вероятностью возникновения во время строительства. жизненный цикл плотины. Это позволит избежать катастрофических аварий и неконтролируемого сброса воды при экстремальных (маловероятных) явлениях и обеспечить работоспособность плотины и связанных с ней сооружений при менее сильных (высоковероятных) землетрясениях.

В соответствии с этими принципами европейские специалисты ввели четыре предельных состояния, подлежащих проверке: два эксплуатационных

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral" состояния (предельное рабочее состояние, OLS и предельное состояние повреждения, DLS) и два предельных состояния (предельное состояние безопасности жизнедеятельности, LLS). и Collapse Limit State, CLS) предельные состояния, которые могут быть достигнуты в зависимости от потери характеристического состояния, определяемого уровнем повреждения, вызванного сейсмической нагрузкой и возникновением неконтролируемого выброса воды [3].

Предельное рабочее состояние (OLS) достигается, когда рабочее состояние теряется из-за возникновения ремонтируемых повреждений, которые, однако, не приводят к неконтролируемому выбросу воды. Когда повреждения не подлежат ремонту, достигается предельное состояние повреждения (DLS), если не происходит неконтролируемого выброса воды; в противном случае предельное состояние безопасности для жизнедеятельности (LLS) достигается, если плотина не разрушается, а предельное состояние обрушения (CLS) достигается, если развивается общий механизм разрушения.

Стоит отметить, что предельное условие, которое должно быть потеряно для достижения LLS, хорошо согласуется с критериями эффективности, введенными зарубежными стандартами, со ссылкой на землетрясение для оценки безопасности (SEE); аналогичным образом предельные условия, соответствующие достижению OLS и DLS, хорошо согласуются с критериями эффективности, связанными с базовым землетрясением (OBE) [3].

Исследователи полагают, что осадку гребня (u_c) можно считать надежным показателем сейсмических характеристик, поскольку он отражает общую сейсмическую реакцию плотины и подходит для оценки уровня повреждения, вызванные землетрясением. В этом ключе, путем систематического обзора большого набора данных, связанных с 90 хорошо задокументированными случаями повреждений различных видов плотин и связанных с ними сооружений в результате землетрясений,

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral" авторами определены пороговые значения u_c для использования в качестве возможных справочных показателей при сейсмическом анализе плотин на основе характеристик [4].

Серьезность сейсмических воздействий, принимаемых для оценки сейсмических характеристик существующих плотин, зависит от вероятности возникновения P_{VR} землетрясения в течение определенного интервала времени V_R , что связано с важностью плотины для планов действий в случае сейсмических аварийных ситуаций, и к количеству лет, в течение которых при регулярном обслуживании плотина может использоваться по своему первоначальному проектному назначению.

Таким образом, многие крупные плотины Европы были спроектированы до введения норм сейсмостойкости, поэтому важным вопросом является оценка их сейсмических характеристик и поддержание постсейсмических условий эксплуатации. Нами были изучены результаты анализа сейсмической оценки грунтовой плотины Пенеос (Греция). В процессе исследования были применены обычные методы анализа со ссылкой на возможное возникновение предельного состояния безопасности или обрушения. В частности, была описана процедура, принятая для выбора двух наборов входных движений грунта для каждого предельного предельного состояния, и результаты сейсмического анализа на уровне скрининга на основе численной модели плотины, откалиброванной по осадкам плотины, контролируемым во время строительства.

Входные движения были определены с точки зрения временных характеристик ускорения с использованием критерия совместимости для соответствия амплитуде и частотному составу собственных целевых движений в интервале периодов вибрации, относящихся к нелинейной реакции плотины. Они, в свою очередь, были определены путем тщательного изучения данных, полученных на основе исторической сейсмичности на участке плотины, и обзора самого последнего вероятностного анализа сейсмической опасности, доступного для того же участка. Для каждого

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral" проверяемого предельного состояния были рассмотрены надлежащие показатели эффективности с точки зрения пороговых значений коэффициента пиковой осадки.

Критический сейсмический коэффициент, принятый при анализе уровня скрининга, был оценен посредством псевдостатического анализа, выполненного методом конечных разностей. Критические условия выявили неглубокие пластические механизмы, активизировавшиеся на склоне выше по течению [5].

Постоянные смещения, вызванные землетрясением, оценивались с использованием соответствующих коэффициентов формы посредством серии упрощенных расчетов типа Ньюмарка. Они включали обычный анализ скольжения жестких блоков, процедуру Макдиси и Сида, модифицированную для лучшей оценки пикового ускорения, и некоторые эмпирические зависимости, доступные в литературе.

Анализ на уровне скрининга дали разрозненные результаты в зависимости от сейсмических параметров, выбранных для расчета смещения, вызванного сейсмическими колебаниями, с максимальными вертикальными и горизонтальными смещениями гребня 0,20–0,30 м и 0,50–0,73 м соответственно.

Исследователи было отмечено, что гораздо большие смещения были рассчитаны с использованием эмпирических соотношений, в которых энергосодержание сейсмических сотрясений учитывается вместе с их продолжительностью, таким образом определяя эмпирические соотношения, способные обеспечить надежную оценку смещений, вызванных землетрясением. Более того, анализ показал, что возможное снижение прочности на сдвиг на 20% приводит к примерно в 2,5 раза большему смещению, что еще раз подчеркивает исключительную важность надежной геотехнической характеристики.

Для обоих предельных состояний, рассмотренных в анализе, и даже с учетом возможного снижения прочности на сдвиг, вызванного сейсмической

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral" нагрузкой, все упрощенные процедуры обеспечили осадку гребня ниже доступного надводного борта, а коэффициенты осадки гребня ниже тех, которые соответствуют достижению как Жизнь и предельное состояние коллапса.

Таким образом, анализ указывает на важную роль вызванного землетрясением снижения прочности на сдвиг, которое может происходить в грунтах плотины, а также подчеркивает необходимость дальнейших уточнений и анализа более высокого уровня для оценки влияния вертикальной составляющей движения грунта и избыточного порового давления на величину смещения плотины, вызванного землетрясением.

Список литературы

1. Ахмедов М.А., Салямова К.Д. К вопросу сейсмобезопасности гидротехнических сооружений (плотин) // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. 2016. №1.
2. Серебренников С.П., Джурик В.И., Ескин А.Ю., Е.В. Брыжак Методика оценки сейсмической опасности земляных плотин при сильных землетрясениях // Интерактивная наука. 2016. №9.
3. A. Papadimitriou An engineering perspective on topography and valley effects on seismic ground motion Theme Lecture 7th ICEGE, Rome, Italy (2019), p. 2019
4. E.M. Rathje, G. Antonakos A unified model for predicting earthquake-induced sliding displacements of rigid and flexible slopes Eng. Geol., 122 (1–2) (2011), pp. 51-60
5. A.D. Russo, S. Sica, S. Del Gaudio, R. De Matteis, A. Zollo Near-source effects on the ground motion occurred at the Conza Dam site (Italy) during the 1980 Irpinia earthquake Bull. Earthq. Eng., 15 (10) (2017), pp. 4009-4037

List of literature

1. Akhmedov M.A., Salamova K.D. On the issue of seismic safety of hydraulic structures (dams) // Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov. 2016. №1.

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

2. Serebrennikov S.P., Jurik V.I., Eskin A.Yu., E.V. Bryzhak Methodology for assessing the seismic hazard of earthen dams in strong earthquakes // Interactive science. 2016. №9.
3. A. Papadimitriou An engineering view of the topography and the influence of the valley on the seismic movement of the soil Topic of the lecture 7th ICEAGE, Rome, Italy (2019), p. 2019
4. E.M. Ratje, G. Antonakos Unified model for predicting earthquake-induced sliding displacements of rigid and flexible slopes Eng. Geol., 122 (1-2) (2011), pp. 51-60
5. A.D. Russo, S. Sica, S. Del Gaudio, R. De Matteis, A. Zollo The impact near the source on the movement of the soil occurred at the dam of the End (Italy) during the 1980 earthquake in Irpinia. Earth. English., 15 (10) (2017), pp. 4009-4037

© *Муравьева А.И., Мордвинцев К.П., Кумеров Д.Е., 2022*
Международный журнал прикладных науки и технологий "Integral"
№1/2022.

Для цитирования: Муравьева А.И., Мордвинцев К.П., Кумеров Д.Е. Исследование и анализ сейсмических характеристик грунтовых плотин// Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral" №1/2022