

Ахмедов М.А., канд. физ-мат. наук, ст. н. с.,  
Саямова К.Д., д-р техн. наук, проф.

Институт сейсмостойкости сооружений АН РУЗ, г. Ташкент, Узбекистан

## ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ПЛОТИН

Klara\_51@mail.ru

Рассмотрены повреждения гидротехнических сооружений (ГТС) при наводнениях, сильных землетрясениях и других природных катастрофах. Изучены причины их повреждений и разрушений. На основе анализа технического состояния ныне эксплуатируемых ГТС разработан ряд предложений-рекомендаций по их безопасности и надежности.

**Ключевые слова:** землетрясение, плотина, гидротехническое сооружение, повреждения, разрушение.

**Введение.** Землетрясения представляют наибольшую опасность для плотин и других гидротехнических сооружений. Статистика свидетельствует [1...3], что вызванные повреждения подпорных сооружений в связи с сейсмическим факторам насчитывают десятки, а с учётом земляных дамб – сотни случаев, включая высокие плотины различных конструкций. Выход их из строя чреват серьезными экономическими потерями, поскольку даже частичное их разрушение может иметь катастрофические последствия - наносится экономический ущерб с многочисленными человеческими жертвами, происходит нарушения экологии окружающей среды, затрудняются аварийно – спасательные работы и ликвидация последствий и многое другое.

**Методология.** На основе опыта изучения последствий ряда землетрясений, произошедших в прошлом в республике (Ташкентское –

1966 г., Газлийское – 1976, 1984 гг., Назарбекское – 1980г. и т.д.) для г. Ташкента разработана методология и концепции оценки сейсмического риска с целью составления планов мероприятий по его снижению [1], которые вполне приемлемы для плотин и других гидротехнических сооружений, с учетом корректировки отдельных положений, учитывающих их специфику.

**Основная часть.** Только за последние 40...50 лет серьезные повреждения вследствие землетрясений имели десятки крупных плотин мира. Наглядным примером тому- последствия Сычуаньского землетрясения в Китае в 2008 году, которое произошло 12 мая с магнитудой  $M=8$  по шкале Рихтера и интенсивностью  $J_0=11$  баллов по шкале MSK-64. На рис. 1 виды повреждения плотины «Зипингпу» в Сычуане [2, 3].

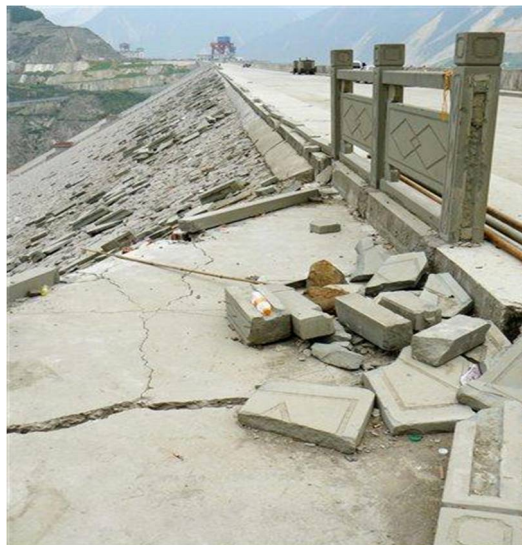
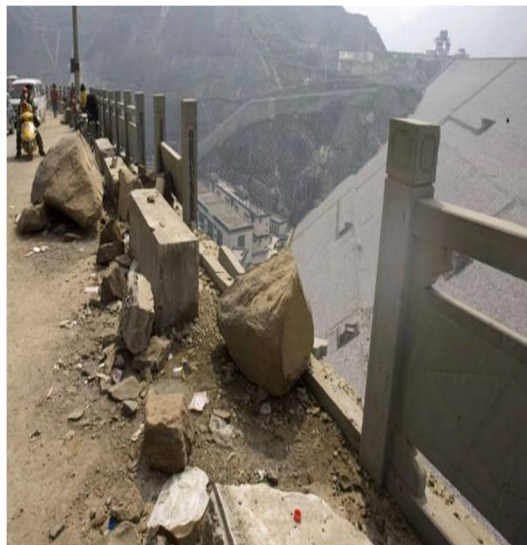


Рис. 1. Виды плотины «Зипингпу» после землетрясения [2, 3]

В результате подземных толчков разной степени повреждения получили 1583 плотины самых разных типов, в том числе несколько крупных. Рассчитанная на 8 баллов каменно-набросная с железобетонным экраном плотина «Зипингпу» высотой 156 м находилась в 17 км от эпицентра. При воздействии землетря-

сения плотина дала осадку 70 см и сместилась в нижний бьеф на 18 см, были отмечены повреждения экрана и парапета на гребне. Определенные повреждения получила здание ГЭС с гидроагрегатами мощностью 700 Мвт (рис. 1). Каменно-набросная с суглинистым ядром плотина «Бику» высотой 102 м, рассчитанная на

землетрясение в 7,5 баллов, перенесла это землетрясение, только с максимальной осадкой 24 см и смещением на 30 см. Рассчитанной на 7 баллов у арочно-бетонной плотины «Шэйпай» высотой 132 м - пострадало здание ГЭС (рис. 2) [3]. Помимо этого из-за возникновения оползней появились опасные вторичные последствия - запруды, их прорыв и затопления расположенной ниже местности. Ни одна из крупных плотин не разрушилась хотя они находились всего на расстоянии 12-17 км от эпицентра землетрясения. Их сохранность была обеспечена высоким качеством проектирования, правильной эксплуатацией и своевременным принятием необходимых мер в критической ситуации.

При Бхуджском (Индия) землетрясении 26.01.2001г. с  $M=7,9$  повреждения различной тяжести получили 245 небольших земляных плотин и дамб (рис. 4) [2]. При этом землетрясении, сила которого была  $J_0=8$  баллов, погибли 80 тыс. человек [3].



Рис. 2. Плотина Шэйпай [2, 3]

На сегодняшний день уже хорошо известно об усилении сейсмостойкости в связи с заполнением больших водохранилищ в различных районах Земли. Возбужденная локальная сейсмичность зарегистрирована также при закачивании жидкости в глубокие скважины и разломы [6]. Высокая интенсивность некоторых возникших, таким образом, землетрясений приводит иногда к значительным разрушениям, повреждениям плотин и человеческим жертвам [2...6].

Анализ многочисленных возбужденных землетрясений, стимулированных гидротехническими сооружениями, позволяет сделать следующие обобщения. Чаще всего толчки имеют магнитуду менее 2,0...2,5 иногда они достигают 3,5...5 и только изредка становятся более 6 баллов, глубина очага в основном менее 5...6 км.

В результате Ташкентского землетрясения 26 апреля 1966 года произошло проседание гребня плотины озера Яшинкуль, затем ее разрушение в центральной части и формирование волны прорыва. В 1,5 км от плотины, вследствие размыва около 3 млн. м<sup>3</sup> грунта сформировался водокаменная сель, высотой 12 м, обрушившаяся в долину реки Тегермоч [4].

В настоящее время, по данным Международного центра анализа безопасности плотин, во всем мире насчитывается более 800 тысяч плотин различных типов, из которых 50 тысяч имеют высоту более 15 м. Накопленная информация свидетельствует о более тысячи случаев разрушения грунтовых плотин подобных размеров [5].

Но бывают случаи, когда от воздействия землетрясения разрушаются каменно-набросные и бетонные плотины. Например, бетонная гравитационная плотина была разорвана землетрясением Chi-Chi (с высотой 25, магнитудой  $M=7,6$  и глубиной очага  $h = 10$  км), на Тайване в 1999 г. (рис. 3) [2, 3].

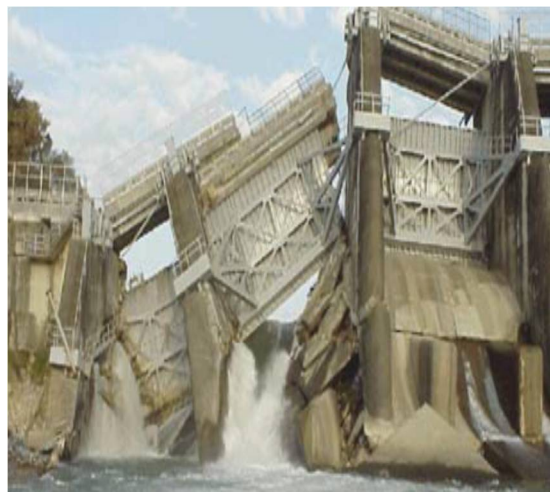


Рис. 3. Разрушение плотины Ши-Кань на Тайване во время землетрясения Чи-Чи 21.09.1999 г [2, 3]

Только в некоторых случаях землетрясения имели разрушительные последствия район Кремаста в Греции, Койны в Индии, Карибы на реке Замбези, Вайонт в Италии.

Не все возбужденные землетрясения опасны. Они опасны, когда максимальный напор достигает 90...100 м, а объем воды превышает 10 м<sup>3</sup> [7, 10]. Вероятность толчков повышается и при увеличении зеркала воды.

Приведенные примеры ещё раз подтверждают, что вопрос безопасности приобретает особое значение: во-первых, возникает необходимость в обеспечении безопасности каждой плотины, для этого необходимо принять все меры к тому, чтобы данное сооружение не представляло угрозы для жизни людей, их здоровья, имущества, а также для окружающей среды. Во-

вторых, безопасность плотин непосредственно связана с устойчивостью проектов строительства, социальными и экономическими фактора-



Рис. 4. Продольные трещины на верховой грани плотины Фейтигадх (Индия), вызванные землетрясением Бхудж 26.01.2001г. [2, 3]

Для территории, имеющих такой дополнительный фактор риска, как высокий уровень сейсмической активности, вопрос предотвращения трагических и разорительных последствий сильных землетрясений на гидротехнических сооружениях и, в частности, плотинах, является особо важным и требует особого индивидуального подхода. Все государства Центральной Азии, расположены в сейсмоактивном регионе, где происходили катастрофические землетрясения и вероятность повторения их очень высока. Поэтому, возможные разрушения плотин, крупных водных резервуаров как искусственного, так и природного происхождения, под воздействием землетрясений представляют серьезную опасность для Центрально азиатского региона. Так, например, если от Чарвакского водохранилища исходит опасность затопления городов Узбекистана, то разрушение плотины Сарезского озера (Таджикистан) угрожает целому ряду городов Узбекистана, Таджикистана, Афганистана и (меньшей степени) Туркменистана [8, 9]. Из различных природных факторов, землетрясения представляют наибольшую опасность для плотин и водохранилищ. И, недоучет этого фактора может привести к повреждению или разрушению гидротехнических объектов с чрезвычайно тяжелыми последствиями. Статистика свидетельствует, что аварии плотин в связи с сейсмическим фактором насчитывают десятки, а с учетом земляных дамб - сотни случаев [5, 7].

В результате указанных разрушений формируются так называемые «волны прорыва». Эти волны, возникающие в результате прорыва плотин или завальных озер, в условиях горной местности имеют совершенно иной характер в сравнении с аналогичными, имеющими место на

ми. С учетом этого, проблемам безопасности таких объектов следует уделять внимание на всех стадиях их жизненного цикла.



Рис. 5. Повреждения плотины Чирюртской ГЭС при Дагестанском землетрясении 14.05.1976 г. [Красников Н.Д., 1981г.]

равнинных реках. Основное отличие этих волн, с одинаковым названием, состоит в том, что у равнинных рек максимальные параметры волны прорыва наблюдаются в месте разрушения плотины или завала, а в горных рек, в зависимости от уклонов местности, оно может быть смещено на несколько десятков километров вниз по течению. Следовательно, в горных условиях существует эффект нарастания удельной энергии сечения потока по мере его движения, не имеющий аналога на равнинах.

Так, например, в результате Ташкентского землетрясения 26 апреля 1966 г. произошло проседание гребня плотины Яшинкуль (Кыргызстан), затем ее разрушение в центральной части и формирование волны прорыва. В 1,5 км от плотины, вследствие размыва около 3 млн. м<sup>3</sup> грунта, сформировался водокаменный сель с высотой волны прорыва 12 м, обрушившийся в долину реки Тегермоч. Все это указывает на необходимость срочного рассмотрения вопроса сейсмической уязвимости гидротехнических сооружений и безопасности их функционирования. Это достигается, на наш взгляд, периодическим контрольным инспектированием сооружений, организацией регулярных ремонтных и восстановительных работ, как это делается на строительных объектах гражданского и промышленного назначения. Сказанное касается всех водохозяйственных объектов, расположенных в сейсмоактивных регионах, особенно, если среди них имеются гидротехнические сооружения, которые эксплуатируются уже более 50...60 лет и нуждаются в капитальном ремонте и усилении в соответствии с требованиями норм сейсмического строительства [1...3].

Проведение периодических оценок технического состояния гидротехнических сооружений и соответствующие мероприятия по ликвидации повреждений плотин дают возможность предотвратить возможные разрушения водных объектов. Для этого необходимо, в первую очередь, выполнить анализ и обработку повреждений плотин как в мирное время (работающие плотины), так и повреждений плотин после воздействия сильных землетрясений; классифицировать и обобщать повреждения по типам конструкций и размеров плотин. В целях снижения риска разрушения, в том числе сейсмического риска, на выявленных поврежденных местах принять соответствующие мероприятия усиления, с учетом других категорий причин повреждений [2, 3, 7], и провести восстановительные работы.

**Выводы.** В странах, которые большей частью является сельскохозяйственными, ирригационные сооружения, многие системы энергетики и коммунальной инфраструктуры связаны со строительством различных плотин, дамб и заградений. Они являются важнейшими объектами экономики этих стран, и важнейшей проблемой становится повышение их устойчивости, надежности и безопасности функционирования, поскольку даже их частичное разрушение может иметь катастрофические последствия - наносится крупнейший экономический ущерб с многочисленными человеческими жертвами, происходит нарушение экологии окружающей среды.

Имея это ввиду, в таких странах для выполнения задач, связанных с определением технического состояния плотин и других гидротехнических сооружений, необходимо проведение исследований по оценке и снижению сейсмического риска плотин и других особо важных гидротехнических сооружений, используя современные методологии, базирующихся на мировом и отечественном опыте [1...3, 11].

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Rashidov T.R, Kondratiev V.A, Akhmedov M.A., Tuchin A.I. Strategy of reduction

of seismic risk for hydro-technical structures // Performance-Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering-from Case History to Practice: - proceedings of the international conference on performance based design in earthquake geotechnical engineering (is-Tokyo), 15-18 June 2009. p. 975-984.

2. Бронштейн В.И. Повреждения плотин при землетрясениях и методы их сейсмоусиления // bronshvi@mail.ru, nasha ucheba.ru

3. Плотины и землетрясения // www.rushydro.ru, images yandex.ru

4. Нежиховский Р.А. Наводнение на реках и озерах. - Л.: Гидрометиздат. 1988. 184 с.

5. Брэдли Д. Д., Пальмиери А., Салман М. А. Нормативно-правовая база безопасности плотин. (Сравнительно-аналитический обзор). - М.: Весь мир. 2003. 173 с. Отчет THE WORLD BANK. Washington, В.С.

6. Болт Б. Землетрясения. - М.: «МИР», 1981. 255 с.

7. Ахмедов М.А. О повреждениях и сейсмостойкости водохозяйственных объектов // Водохранилища, чрезвычайные ситуации и проблемы устойчивости. Ташкент. 2004. С.15-31.

8. Ахмедов М. А. Наводнение и пожары, влияющие на сейсмический ущерб при сильных землетрясениях в зависимости от водо- и энергоснабжения / Матер, научно-практич. конф. «Проблемы управления водными ресурсами и эксплуатации гидромелиоративных систем в условиях деятельности ассоциации водопользователей». Ташкент. 2002. С.188-190.

9. Рысбеков Ю.Х. Озеро Сарез - как потенциальная угроза национальной и региональной безопасности. /Матер. первой респуб. научно-прак. конф. Ташкент. 1999. С. 29-31

10. Гупта Х., Растоги Б. Плотины и землетрясения. М.: Мир. 1979. 251 с.

11. Савич А. И., Бронштейн В. И. Современное состояние и пути обеспечения сейсмостойкости и гидродинамической безопасности крупных энергообъектов // Гидротехническое строительство. 2000. № 8-9. С. 60.

**Akhmedov M.A., Salyamova K.D.**

### **EARTHQUAKES AND DAM SAFETY**

*Damage to hydro-technical structures under flooding and strong ground motion and other natural catastrophes is considered. The causes of damage and destruction are studied. On the basis of analysis of technical state of operated now hydro-technical structures a number of recommendations on their safety and reliability have been worked out.*

**Key words:** earthquake, dam, hydro-technical structure, damage, destruction.