

4. Мирзоев К.М., Нигматуллаев С.Х. Возбуждение сейсмичности в зонах водохранилищ на примере района Нурекской ГЭС//Советско-Американские работы по прогнозу землетрясений. – Душанбе - Москва: Дониш. 1979. Т.2. Кн.1. С.124–151.

5. Гупта Х., Растоги Б. Плотины и землетрясения.- М.: Мир. 1979. 250 с.

6. Ахмедов М.А. Землетрясение, последствия, защита. -Ташкент. 2016. 352с.

7. Катастрофа на плотине Вайонт (62 фото). Режим доступа: Business_news.complexdoc.ru

УДК 551.24

**Саямова К.Д., д-р техн., проф.,
Ахмедов М.А, канд. физ-мат. наук, вед. н. с.
(ИМиСС АН РУз, г.Ташкент, Узбекистан)**

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОВРЕЖДЕНИЙ И РАЗРУШЕНИЙ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН

В Республике водохранилища играют важную роль для производства электроэнергии (40% выработки всей электроэнергии), для равномерного удовлетворения водой нужды сельского хозяйства (в настоящее время водохранилища республики обеспечивают водой около 90 % сельскохозяйственного производства), снабжения питьевой водой населения и в целом для устойчивого функционирования других отраслей экономики. Все это представляет собой опасность для населения проживающего в нижнем бьефе. С другой стороны, они могут быть разрушены (например, при землетрясениях). Даже их частичное разрушение может привести к прорыву водохранилища и почти мгновенному затоплению населенных пунктов, промышленных объектов и сельскохозяйственных угодий. нанести огромнейший экономический ущерб с многочисленными человеческими жертвами, произойдет на-рушение экологии окружающей среды.

Ключевые слова: землетрясение, грунтовые плотины, ущерб, магнитуда, балльность, водохранилище

Вся территория республики в большей или меньшей степени подвержена землетрясениям, но не строить плотины с их гидроэнергетическими узлами означало бы ограничить развитие многих естественных ресурсов, необходимых для развития экономики и жизнедеятельности населения.

В связи с этим в республике плотины начали строить еще сначала прошлого века, они создавались даже на территориях, где раньше отмечались землетрясения. Например, в районе Чарвакского водохранилища, где в недалеком прошлом отмечались ряд землетрясений: - Пскемское 1973 г., с интенсивностью 8 баллов, магнитудой $M=6$ и глубиной гипоцентра $h=20$ км;- Бричмуллинское с интенсивностью в 7 бал-

лов, магнитудой $M=6$ и глубиной очага $h=15$ км; -Таваксайское 1977 г., с интенсивностью 7 баллов, магнитудой $M=5$ и др.

Здесь, наибольшее распространение получили грунтовые плотины и из находящихся в эксплуатации 55 плотин:

- земляные однородные - 29 плотин;
- земляные(каменно-земляные) с ядром -17 плотин;
- земляные с экраном - 6 плотин.

Наибольшее число подобных плотин в Нидерландах(100%), в Англии(67%), наименьшее – в Норвегии(1%) и в Австрии(12%).

Но больше всех грунтовые плотины строятся высоко сейсмических районах. Они возводятся из доступных и дешевых местных материалов и практически на любых основаниях.

Например, в Японии за последние 70 лет было построено 1852 плотины, из них 1227 из грунтовых материалов, в том числе 43 каменно-набросных. В США ежегодно строится 125 плотин, и почти все из грунтовых материалов.

В Центральной Азии из гравийно-галечниковых и каменно-земляных материалов построены Чарвакская, Нурекская, Ронгунская и др. плотины.

Ежегодно в мире происходят повреждения, отказы и аварии около 15% всех построенных плотин. Порядка 70 -75% этих событий связана с грунтовыми плотинами. Широко известны крупные аварии национального масштаба таких плотин с человеческими жертвами, с большим, социальным и экологическим ущербом: Мачху-(Индия); Буффало Крик, каньон-Лейк и Титон (США); Тоус (Испания); Тоухоу (Китай); Орос (Бразилия); Хаиокори (Южная Корея) и другие.

Использование статистических оценок при анализе аварийности существует давно. Еще в 1786 г. в Германии вышла книга И. Зирьбершлага «Аварии на плотинах», в которой, возможно впервые были представлены результаты статистического анализа аварийности плотин[1]. В дальнейшем попытки научной систематизации статистики аварий на плотинах осуществлялись неоднократно-разными специалистами и в разных странах.

В частности, статистическим анализом аварий на плотинах в разные годы занимались такие всемирно известные ученые-гидротехники как N. Smith, М. Хиндерлендер (США, 1933 г.), А. Гельфер (СССР, 1936 г.), Дж. Шерард (США, 1963 г.), Э. Грунер (Швейцария, 1963, 1967, 1973 гг.), А. Губэ (Франция, 1979 г.), Г. Маринье (Канада, 1982 г.), Х. Блайнд (Австралия, 1983 г.), А.Ф. Сильвейра (Бразилия, 1983 г., 1990 г.), Ж.Л. Серафим (Бразилия, 1989 г.), М. Рациу (Румыния, 1989 г.) и другие

Например, в работе N. Smith [2] приведены различные случаи разрушения плотин и дамб в хронологическом порядке. Анализ их изучения и изучения других источников привели к следующему результату (табл.1)

Таблица 1

Хронология различных случаев разрушения и повреждения плотин

№ п/п	Название гидротехнического объекта	Название местности расположения, год разрушения	Причина разрушения	Ущерб
1	2	3	4	5
1	Нар-Иза	Багдад , 942-1241	На известна	Разрушение произошло дважды
2	Насыпная дамба на р.Драк	г. Гренобль (Франция) 1191	Не известно	Разрушение
3	Сассаниян-Белдаи	Багдад, 1226-1242	Заиливание	Вызвало заиливание ирригационной системы «Тигр»-«Ефрат»-«Нарван»
4	Савех	Юго-запад Тегерана , 1294	Прорыв реки	Разрушение
5	Сан-Идефонсе на р. Потосе была построена для вращения мельничных колес на серебрянных шахтах	г.Лапас, 15 марта 1626	Вследствие подмыва основания	Прорывание в течение двух часов погибло 4 000 человек и было разрушено большинство мельничных колес, что привело к прекращению работы шахт во всем районе
6	Базаль на р. Гарон, была построена из земли, дерева и камней	Юг Франции, 1709	Большое наводнение	Разрушение, до разрушения простояла 700 лет.
7	Дамба, построенная для подачи воды из водохранилища Блек- брук по каналу Лафборо	Лестер (Англия), 1799	Сильные дожди и таяния снега привели к переполнению водохранилища и прорыву дамбы	Разрушение

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
8	Плотина «Дель Баско» на р.Гуадарама	Испания, 1799	Когда высота, строящейся плотины достигла 57м, ливень размочил глину	Разрушение
9	Плотина «Пуэнтес» на р. Сегура, была построена в 1791 году	Испания, 1802	На глубине 51м вода промыла отверстие в основании плотины, из водохранилища вытекло около 8 млн. метр куб воды	Разрушение, утонуло 608 человек и разрушено 909 жилых построек
10	Плотина «Хабра»	Алжир, 1881	Плотина пропускала воду. Подъем воды в водохранилище привел к усилению ее просачивания в тело плотины, что вызвало образование трещины растяжения на напорной стороне и возникновению повышенных сжимающих напряжений на противоположной стороне плотины	Разрушение
11	Гран -Чеурфас	Испания, 1885	Профиль плотины был спроектирован как равно-нагруженный, а она подверглась действию растягивающих напряжений со стороны воды	Частичное разрушение
12	Плотина «Бузи», высотой 15м и длиной 560м	Эпиналь (Франция), 1885	В ней постоянно возникали трещины и наблюдалась фильтрация воды	Разрушение участка плотины, длиной 200м.
13	Плотина «Саут-Форк». Была построена в 1839 году, для подачи воды в каналы,	Джонстаун Штат Пенсильвания (США), 1879	Необычно сильный ливень переполнил водохранилище и плотина рухнула	Разрушение плотины сопровождалось гибелью более 2500 человеческих жизней

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
14	«Глено»	Бергамские альпы (Италия), 1923	Вследствие высоких сдвигаемых напряжений и плохого качества работ при строительстве	Разрушение
15	««Коулид»»	Уэльс (Англия), 1924	В канун нового года водохранилище переполнилось и большой участок дамбы со стороны противоположной воде, был смыт. Бетонная основа уцелела и удержала оставшуюся часть плотины.	Частичное разрушение
16	Плотина «Эйджиэн», построена в 1908 г., удерживала 5,7 млн.м ³ воды, вращавшей турбины Долгарротской ГЭС, которая давала ток для компании «Бритиш алюминим»	Уэльс (Англия), 1925	Из-за низкого качества цемента было ослаблено основание плотины. Предыдущее сухое лето высушило и ослабило дамбу. К тому же образовались сквозные отверстия в ее теле	Разрушение. Погибло 16 человек.
17	«Скелморли»	Шотландия (Британское королевство), 1925	Сток близлежащего карьера, вода из которой сливалось в водохранилище, засорился. Когда ливень переполнил карьер, избыток воды прорвал сток и вода хлынула в водохранилище. Переполнив водохранилище, вода шла через плотину и размывала ее	Разрушение и освобождение 30 000 кубометров воды
18	Плотина «Сан-Франсис»	Лос Анджелес (США), 1928	Из-за размывания основания	Полное разрушение

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5
19	«Лафборо», год постройки 1906	Графство Лестешир (Англия), 1957	Землетрясение	Повреждение в виде трещин

Очень подробная статистика повреждений и разрушений плотны до 1935 года приведена в работе [5], где систематизированы данные, охватывающие период времени за 137 лет (с 1799 ко 1935 гг.).

По этим данным можно проследить, что рост катастрофических случаев заметно повышается, начиная с 1890 года (5 случаев), достигая своей кульминации в 1912 году (20 случая). С 1931 год по 1935 год за рубежом происходило ежегодно от 1 до 5 катастроф с плотинами (не считая китайских и японских).

В работу [3] не вошли также разрушения плотин России и некоторых других стран. Например, не учтены разрушения Белоомутской судходной плотины на реке Оке (1915 г), плотины Тургусунской электростанции на Алтае (1900) г.), Александровской гидроэлектростанции (река Южный Буг), Первомайской гидроэлектростанции (р. Ингулец), Карловской плотины и др.

Опыт показывает, что разнородность геологических форм залегания, состава и свойств горных пород и режима подземных вод столь велика, что на практике не встречаются совершенно идентичные геологические строения и гидрогеологические условия. Это и способствует водопроницаемости основания, ускорению эрозионных процессов под плотиной, сдвигу и смещению плотины в целом, хотя бы с одной стороны и др. (со стороны скалистого берега).

Поэтому для каждого гидротехнического сооружения необходимо искать индивидуальные решения вопроса, центр тяжести которых упирается в инженерно - геологическую его разработку и вследствие этого формы повреждений и разрушений также будут чрезвычайно разнообразны и сложны.

Хиндерлидером [4] изучены и проанализированы причины катастроф плотин, зарегистрированных с 1799 по 1931 годы, главным образом в США и некоторых других государствах. По нему основные причины повреждения и разрушения плотин разделены на 17 категорий (табл. 2), где основная роль отведена воздействию воды на тело и окружающую среду.

В течение с 1932 по 1935 годы по всему миру замечено 200 случаев повреждения и разрушения гидротехнических сооружений, 180 случаев из которых отнеслись исключительно к плотинам - каменным, бетон-

ным, железобетонным и земляным, остальная часть касалась гидросливных станций, шлюзов, каналов, дамб, набережных, доков, мостов, трубопроводов др.

Таблица 2

Перечень причин полных и частичных разрушений плотин с 1799 по 1931гг [3]

Категория разрушения	Причины разрушения плотин
1	Неправильные устройства и гидравлический расчет водослива
2	Перелив волны, прорвавшегося потока вследствие крушения вышерасположенной плотины
3	Нерациональная конструкция зуба, водопроницаемое основание(филтрация) и эрозия под земляной плотиной, сдвиг по плотному грунту основания
4	Неправильная постройка: материал недостаточно уплотнен в земляных плотинах, и в плотинах из каменной наброски
5	Неправильная проектировка частей: откосы слишком крутые в земляных и смешанного типа плотинах, слишком легкая конструкция каменных плотин
6	Неудовлетворительное регулирование стока в течение времени постройки
7.	Чрезмерное количество глины и других мелкозернистых материалов в теле плотины
8	Давление льда или разрушающее влияние ледохода
9	Ненадлежащее производства работ или несоответствующая эксплуатация
10	Прорывтие ходов в плотине грызунами
11	Неудовлетворительные материалы, в том числе и растворимые водою
12	Неустойчивое, или слабое в строительном отношении основании
13	Ненадлежащем образом проложенные через тело земляной плотины или из каменной наброски трубопроводов, в связи осадкою основания и сооружений, ненадлежащее расположение затворов водопропускных устройств
14	Недостаточные мероприятия против разрушительного действия подмыва под плотиной и водосливом
15	Землетрясение
16	Повреждения укрепления дна в небольших водохранилищах
17	Разные не выявленные причины

Сюда вошли также повторные разрушения, относящиеся к одним и тем же сооружениям. Всего зарегистрированных пострадавших плотин

оказалось более 170, Повторные же аварии выявились с 4-мя каменными и 3-мя земляными плотинами.

В настоящее время сбором и анализом информации о существующих плотинах, а также выдачей рекомендаций по обеспечению их безопасности занимается Международный центр анализа безопасности плотин со штаб квартирой во Франции, В распоряжении экспертов центра сконцентрирована вся накопленная информация по эксплуатации плотин и статистические данные.

К 1980 году из 1000 случаев повреждения плотин в 131 случае они были разрушены. Анализ показал, что на 62-х плотинах аварии произошли в период строительства или первого заполнения, 65 аварии произошли во время эксплуатации плотин, из них в 42 случая причиной аварии были недостаточный водослив. Насыпные плотины были повреждены разрушениями из-за недостаточного водослива в 2 раза чаще, чем бетонные плотины, В 23 случаях аварии происходили в ходе эксплуатации плотин и не были вызваны наводнениями. Из 18 насыпных плотин - 11 пострадали из-за очевидного недостатка в обслуживании, Из оставшихся семь плотин - на трех аварии произошли из-за нарушения в проектировании.

По данным этого же центра за 22 летний период (1955-1977 гг.) потерпели крушение 49 больших плотин или около 1% от числа построенных за этот же период. Причины крушений различные: 40% аварии вызвано дефектами оснований, 25% - недостаточной пропускной способностью водосбросов плотин, 15% - плохим качеством строительных работ, еще 20%-прочими причинами- неправильная эксплуатация, землетрясения, военные действия и т.д. Преимущественно были разрушены плотины из несвязанных материалов- земляные и каменно-земляные [5]. К концу прошлого века в мире насчитывалось более 45 тыс. больших плотин. Свыше половины из этих плотин находится в развивающихся странах, таких как Австралия, Австрия, Аргентина, Бразилия, Великобритания, Канада, Китай, Финляндия, Франция, Индия, Исландия, Испания, Латвия, Мексика, Новая Зеландия, Норвегия, Португалия, Румыния, Россия, ЮАР, Швейцария, США, где они регулярно обследуются и в этих странах разработаны правовые нормы их управления.

В настоящее время Международный центр анализа безопасности плотин именуется как « Комитет безопасности плотин»(ICOLD)

Благодаря усилиям ICOLD сбор данных об авариях на плотинах и их анализ начали осуществляться на международном уровне, централизованно, с участием полномочных представителей стран-участниц Комиссии по большим плотинам, которые были представлены в Комитете. Одновременно со сбором данных об авариях в рамках Комитета начал

создаваться международный реестр больших плотин. Это существенно расширило возможности для формирования репрезентативных статистических выборок данных, необходимых для анализа аварийности плотин, в частности в зависимости от их типа и конструкции.

Первый доклад Комитета «Уроки аварий на плотинах» («Leçonstirées des accidents de barrages») в качестве Генерального доклада был представлен в 1974 г. на конгрессе ICOLD в Париже [6]. В докладе были проанализированы собранные на конец 1965 г. данные о 534 случаях аварий (включая повреждения и разрушения) плотин.

В 1984 г. под руководством проф. М. Роша (Португалия) был опубликован доклад Комитета «Старение плотин и водохранилищ» («Deterioration of dams and reservoirs») [7]. В докладе рассматривались 1105 случаев аварий. Данные об авариях были собраны с участием 33 стран, которые зарегистрировали около 14700 больших плотин сооружений высотой не менее 15 м либо с водохранилищами не менее 1 млн. м³. Впервые анализировалась аварийность на плотинах в зависимости от их типа, высоты, материалов, вида основания, периода строительства, продолжительности эксплуатации сооружений.

В 1995 г. Комитетом был выпущен специализированный Бюллетень 99 «Dam failures statistical analysis» [8], посвященный вопросам статистического анализа данных об авариях на плотинах. При его подготовке были использованы данные по 17405 зарегистрированным плотинам. При анализе, в частности, выделялись такие обстоятельства как тип, конструкция плотины, время, когда состоялась авария (при строительстве, первом наполнении водохранилища и т.п.), и возможные причины возникновения аварии. Случаи серьезных повреждений и разрушений рассматривались в выборке, состоящей из 17100 плотин.

При анализе использовались следующая классификация аварий плотин по последствиям, принятая ICOLD:

- разрушение плотины катастрофического характера с прорывом напорного фронта, после чего плотина невосстанавливалась-84 случая;
- разрушение катастрофического характера, после чего плотина восстанавливалась-118 случаев, из которых 24 аварии с прорывом напорного фронта;
- повреждения плотины, которая находилась в эксплуатации и не разрушилась благодаря опорожнению водохранилища-154 случая;
- повреждение плотины при ведении в эксплуатацию, которое не привело к ее разрушению благодаря своевременному опорожнению водохранилища-70 случаев;
- повреждение плотины при строительстве, которое не помешало восстановить гидросооружение и заполнить водохранилище после ре-

монта-40 случаев. Всего 466 аварий.

В работе [9] приведены статистические оценки вероятностей нарушений и аварий за период времени 150 лет по типам конструкции для выборки из 17100 плотин (табл.3).

Таблица 3
Статистические оценки вероятностей нарушений и аварий

Вид нарушения/аварий	Количество	Плотины	Количество инцидентов, %
Нарушения	1623	Гравитационные	3,1
Серьезные нарушения	1369	Арочные	4,4
Все аварии	466	Контрфорсные	5,1
Повреждения	264	Земляные	6,7
Разрушения	202	Каменно-земляные	17,0
Разрушения с прорывом напорного фронта	108	Каменно-набросные	10,9

В настоящее время среди специалистов уже нет сомнений относительно полезности статистических оценок аварийности плотин. Конечно, статистические оценки вероятностей аварий на плотинах не позволяют учитывать индивидуальные особенности отдельных гидросооружений, условий их эксплуатации и т.п., и, соответственно, не могут непосредственно использоваться в качестве оценок надежности индивидуальных плотин в каждом конкретном случае. Однако, как некоторые осредненные, обобщенные оценки аварийности для совокупности плотин, которые, например, относятся к определенному типу конструкции, эти оценки, безусловно, заслуживают внимания [9].

Библиографический список

1. Беллендир Е.Н., Ивашинцов Д.А., Стефанишин Д.В. и др. Вероятностные методы оценки надежности грунтовых гидротехнических сооружений. - СПб.: ОАО ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2003- 2004. Т. 1.
2. Smith. N. (1982). - Л History of Dams. Peter Davies, London.
3. Гельфер Л.А. Причины и формы разрушения гидротехнических сооружений. – М-Л.: ОНТИ. 1936. 320 с.
4. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 1932.
5. Нежиховский Р.А. Наводнение на реках и озерах. - Л.: Гидрометеиздат. 1988. 184с,
6. Leçons tirées des accidents de barrages// Gen. Rep. ICOLD. – Paris, 1974.
7. ICOLD. Deterioration of dams and reservoirs. A.A. Balkema, 1984.
8. ICOLD. Dam failures – statistical analysis. Bull. No. 99. – Paris. 1995.
9. Стефанишин Д.Б. Статистические оценки живучести плотин при авариях [Электронный ресурс] Режим доступа: ramag.ru/src...ocenka-plotina...ocenka-plotina.pdf