

Ахмедов М.А., канд. физ.-мат. наук, в. н. с.  
Институт сейсмостойкости сооружений  
Академии наук Республики Узбекистан

## ПОВРЕЖДЕНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГОСИСТЕМ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ

Klara\_51@mail.ru

*Проанализированы полученные повреждения и разрушения на объектах электроэнергетики при Фукуйском (Япония) 28.06.1948 г., Спитакского (Армения) 08.12.1988 г. и ряда других землетрясений. Отмечены причины аварий Саяно-Шушенской ГЭС и плотин. Сделаны выводы и даны рекомендации для принятия соответствующих защитных мероприятий.*

**Ключевые слова:** землетрясения, энергообъекты, повреждения, разрушения.

**Введение.** Эффективная работа объектов экономики во многом связана с устойчивой работой энергосистем Республики. Например, работа водопроводной сети полностью зависит от электроснабжения, и в случае аварии на сетях электроэнергетики, подача воды, особенно в жилые дома, прекращается, так как отключаются все насосные подстанции. А вода играет главную роль в деле пожаротушения, необходима для предотвращения инфекционных заболеваний и во многом другом.

Объекты экономики – плотины, водохранилища, дамбы, перемычки, туннели, каналы, берегозащитные и ограждающие сооружения в различных сочетаниях входят в состав электростанций. По этому, при землетрясениях, безаварийная работа энергообъектов, энергетического оборудования, подстанций, линии электропередач и др. становится важной и актуальной.

**Методология** исследования базируется на положениях Закона Республики Узбекистан «О безопасности гидротехнических сооружений», принятым в 1999 г. Согласно ему по каскадам ГЭС энергосистемы разработаны и прошли экспертизу декларации безопасности гидротехнических сооружений, которые утверждены экспертным советом госинспекции «Госводхознадзор». Анализ изучения влияния землетрясений на гидротехнические объекты Республики Узбекистан проводятся комиссиями по специальной программе с участием проектных научно-исследовательских организаций, государственной инспекции «Госводхознадзор» и инспекции «Узгосэнергонадзор», представителей наладочных и подрядных организаций, специализированных служб ГАК «Узбекэнерго». Проводится классификация по степеням повреждений и принимаются соответствующие мероприятия крепления и восстановления каждого оборудования энергокомплекса Республики.

**Основная часть.** Факты повреждения и

разрушения объектов энергосистем рассмотрены на примере последствий Фукуйского (Япония) 1948 г., Спитакского (Армения), произошедшего в 1988 г. [1–3, 14] и других землетрясений.

*Фукуйское землетрясение* произошло 28.06.1948 г. с  $M=7,3$  и при глубине  $h=14,4$  км [3, 14]. В результате землетрясения погибли 5268 человек, разрушено 35,5 тыс. зданий. В эпицентральной области произошло поднятие территории до 41 см и опускание до 84 см. Возникли пожары, которые усилили бедствия последствия землетрясения. При этом землетрясении, наряду с жилыми и промышленными объектами, искусственными объектами строительства (мосты, дороги), получили повреждения и объекты энергосистем (табл. 1).

*Спитакское землетрясение 01.12.1988 г.* [1, 2, 6] с магнитудой в очаге  $M=7$  и с интенсивностью 9–10 баллов, охватило 40 % территории Армении с населением 1 млн. чел., где были сосредоточены предприятия электротехнической, станкостроительной, текстильной, пищевой, промышленности, приборостроительной и радио промышленности.

В г. Ленинакане, где интенсивность землетрясения проявилось силой 8 баллов, из 319 трансформаторных подстанций, 155 получили повреждения различной степени, в том числе 40 было разрушено полностью. Это привело к тому, что все коммунально – энергетическое хозяйство Ленинакана практически полностью было выведено из строя.

В г. Спитаке (9 балльная зона-эпицентр землетрясения) были разрушены сети и сооружения коммунально-энергетического хозяйства. В Степанакерте полностью разрушились все электростанции, которые находились в пределах 8 балльной изосейсты, за исключением Кировокана (7 балльная зона) и открытого распределительного устройства Разданской ГРЭС (6 балльная зона).

В результате землетрясения, имели место повреждения на восьми подстанциях

мощностью 35, 110 и 220 Кв. На пяти км и частично подстанциях они классифицировались как 930 км воздушных и кабельных линий. значительные. Полностью было разрушено 1300

Таблица 1

## Повреждения объектов энергосистем

Наименование объектов	Повреждения		
	слабые	умеренные	сильные
1. Высоковольтная линия электропередач с напряжением 154 тыс. вольт, подвешенная на 298 стальных мачтовых опорах высотой 34,5 м и межопорным расстоянием от 247,5 до 345 м		1. На 32 мачтах наблюдались повреждения в кольцевой связи фундаментов и небольшие осадки	
2. Вспомогательная высоковольтная линия электропередач с напряжением 77 тыс. вольт		2. На шести мачтах наблюдались повреждение фундаментов	
3. Фарфоровые изоляторы на обеих линиях		3. Получили повреждения	
4. Второстепенная линия электропередач на деревянных столбах	4. 245 деревянных столбов наклонились		4. 482 столба были сломаны и провода порвались
5. Трансформаторы	5. Отмечены осадка фундаментов и вырывы анкерных болтов, которые очень близко к краю фундаментов. Вырывы анкерных болтов и размеры фундаментов также привели к опрокидыванию масляных выключателей (рис.1-3) [3].		5. Серьезные повреждения в местах вводов анкерных креплений имели четыре трансформатора по 100 тыс. кв. каждый подстанции г. Мацуоки.

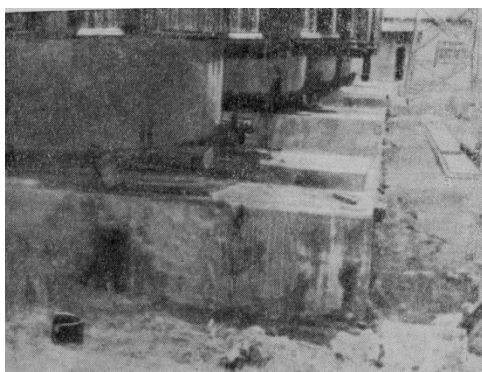


Рис. 1. Анкерный хомут, срезанный в уровне стальной плиты фундамента в основании трансформатора [14]

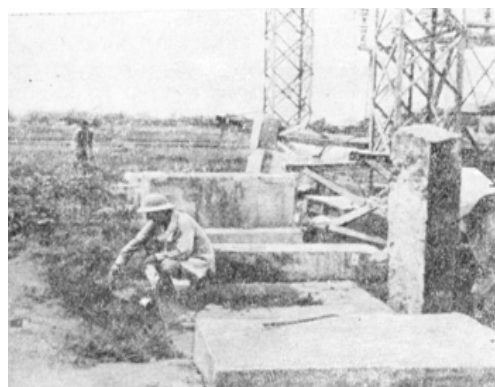


Рис. 2. Опрокинутые масляные выключатели [14]

Такие явления, связанные с повреждением и разрушением объектов энергосистем, наблюдались и при других землетрясениях [3, 4] (рис. 1...3). При этом отмечались не только повреждения самого оборудования, но и помещения, где они были расположены. Например, значительные повреждения имели

трансформаторные подстанции в пос. Газли в 1976 г. И не только они, но и стены подстанции в виде сквозных трещин различной ориентации. Среди них были даже стены, усиленные каркасами из стальных труб, установленными с обеих сторон [5].



Рис. 3. Разрушение плотины Ши-Кань на Тайване во время землетрясения Чи-Чи 21.09.1999 г [9]

Известны также катастрофические последствия Калифорнийского землетрясения в США 17 октября 1989 г, когда были разрушены коммунальные энергетические системы трех районов, перебои в снабжении электроэнергией вызвали выход из строя современного компьютерного оборудования на базе ВВС США в Силиконовой долине. Ущерб, который нанесен энергетике от этого землетрясения, был оценен в 8–10 млн. долларов [6].

В этих и других землетрясениях наблюдались тяжелые повреждения телефонных и телеграфных столбов, разрыв проводов во



Рис. 4. Фрагменты повреждения плотины «Зипингпу» во время землетрясения [9]

Сохранность плотин была обеспечена высоким качеством проектирования, правильной эксплуатацией и своевременным принятием необходимых мер в критических ситуациях. Не выполнение этих требований приводят к катастрофическим разрушениям плотин. Не учет сейсмического разлома проходящего под плотиной Шикань, привел к его разрушению землетрясением Чи-Чи в 1999 г. на Тайване (рис. 4) [9], неправильная эксплуатация и не принятие своевременных мер, привели к катастрофической аварии Саяно-Шушенской ГЭС 2009 г. (рис. 7) [10].

Кроме рассмотренных четырех крупных плотин, землетрясением был нанесен значительный ущерб большому числу менее масштабных объектов. Пострадали многие водохранилища и ГЭС, нарушена

многих местах, в городах массовый выход из строя линии связи.

Особого внимания заслуживают сейсмические события XXI века в Китае, где 12 мая 2008 г. в провинции Сычуань произошло сильнейшее за последние более чем три десятилетия землетрясения силой 8 баллов, вызвавшее чрезвычайные разрушения и гибель более 80 тыс. человек [7, 8]. Провинция Сычуань обладает значительными водными ресурсами и обширной сетью гидротехнических и гидроэнергетических объектов, среди которых – четыре крупных гидроузла с высокими плотинами: Зипингпу высотой 156 м, Шэйпай – 132 м, Бику – 105,3 м, Баоцуси – 132 м.

Несмотря на близость плотин к эпицентру землетрясения (12–17 км), эти плотины выдержали сотрясения, за исключением значительных и незначительных повреждений, которые сводились к нарушению облицовочного бетона и разрыхление каменно набросной плотины Зипингпу, смещению плотины Бику на 30 см, разрывам облицовочных плит и стен парапетов, трещинам зданий ГЭС и др. (рис. 4).



инфраструктура, водоснабжение, возникла угроза потери контроля за безопасностью и распространением водных потоков. Всего были повреждены 1583 плотины и водохранилища, из них 3 – больших, 57 – средних и 1523 – малых водоемов. В связи с распространением из-за землетрясения оползней появились опасные вторичные последствия-запруды, их прорыв и затопления расположенной ниже местности [7, 11, 12].

В ноябре 1991г., спустя 15 лет после начала эксплуатации, на левобережном примыкании плотины Чиркейской ГЭС произошло обрушение породы объемом около 5 тыс. м<sup>3</sup>, 3 ноября 1992 г. обрушилась часть левобережного откоса объемом 500 м<sup>3</sup> у примыкания плотины Саяно-Шушенской ГЭС.



В обоих случаях провоцирующими факторами явились, предшествующие периоды высокой сейсмической активности, вызвавшие максимальные арочные напряжения плотин в зоне обрушения в холодное время с обильными дождями (рис. 5, 6) [6, 10, 13].

В результате воздействия землетрясения на незакрепленное или слабо закрепленное к



Рис. 5. Саяно-Шушенская ГЭС [10]

фундаменту оборудование, происходит его смещение, и даже опрокидывание, что приводит к поломке и нарушению нормального его функционирования. Чтобы этого не произошло необходимо определение величин перемещения и углов поворота и сопоставление их с допустимыми и принятие соответствующих защитных мероприятий.



Рис. 6. Панорама Чиркейского ущелья, водохранилища и ГЭС [13]

*Плотина Саяно-Шушенской ГЭС, Россия.* В результате аварии на Саяно-Шушенской ГЭС погибло 75 человек, оборудованию и помещениям станции нанесён серьёзный ущерб (рис. 7). Работа станции по производству электроэнергии была приостановлена. Последствия аварии отразились на экологической обстановке акватории, прилегающей к ГЭС, на социальной и экономической сферах региона. Сумма ущерба составила более 40 млрд. руб. [10].



Рис. 7. Август 2009 г., авария на Саяно-Шушенской ГЭС (Россия)

#### Выводы:

- нельзя нещадно десятки лет эксплуатировать объекты энергетики в ущерб их надежности и безопасности, сверхустановленных ресурсов работы сооружений и оборудования, без проведения мероприятий по модернизации и техническому переоснащению;

- в период эксплуатации необходимо соблюдение всех регламентов по проведению капитальных ремонтов и обеспечению

наблюдений за состоянием технологического оборудования и гидротехнических сооружений. По истечении нормативных сроков работы оборудование подлежит замене, как это принято в мировой практике;

- на стадии строительства гидроэнергетических объектов не должны допускаться отклонения от проектных решений;

- необходимо производить анализ последствий землетрясений не только в рамках жилищно-промышленного строительства, но и на объектах энергосистем;

- все объекты энергосистем, эксплуатируемые в сейсмоактивных областях должны быть сейсмобезопасными, обоснованными соответствующими теоретико-практическими расчетами.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ахмедов М.А. Факты повреждения и разрушения электрооборудования при сильных землетрясениях // Строительная механика и расчет конструкций: мат-лы Междунар. научно-техн. конф. (Узбекистан, Самарканд, 28-29 июня 2007 г.). Самарканд, 2007. С. 40–43.

2. Бородай И.А., Покровский В.Н. Состояние электротехнического оборудования энергообъектов Армении при землетрясениях 1988 г. // Сб. сейсмостойкое строительство. Вып.12. 1991. С. 2–24.

3. Инженерный анализ последствий землетрясений в Японии и США. М.: Госстройиздат, 1961. 193с.

4. Штейнбругге К.В., Моран Д.Ф. Инженерный анализ последствий землетрясения

21 декабря 1954 г. в Юрека (Калифорния)// Инженерный анализ последствий землетрясений в Японии и США. М.: Госстройиздат, 1961. С.186-193.

5. Жунусов Т.Ж. Анализ эффективности восстановительных мероприятий по последствиям землетрясения 19(20) марта 1984г. в Газли // Сб. Строительство в особых условиях, сейсмостойкое строительство. М.: 1985, серия 14. С. 33–38.

6. Малик Л.К. Чрезвычайные ситуации, связанные с гидротехническим строительством [Электронный ресурс]. URL: <http://www/bk/dam-safety/files/malik1.pdf> (Дата обращения 25.08.2015 г.)

7. Рашидов Т.Р., Саямова К.Дж, Ахмедов М.А. Землетрясения и мероприятия, проведения которых необходимы для повышения самообеспеченности плотин //Мат-лы Междунар. конф. (Узбекистан, Ташкент, 25–26 ноября 2014 г.). – Ташкент, 2014. С.12–17.

8. Жиа Жин Сенг, Си Зепинг, Чен Хоукун.

Землетрясение в Китае и его воздействие на безопасность плотин// Гидротехническое строительство, 2008. №12. С.43–47.

9. Бронштейн В.И. Повреждения плотин при землетрясениях и методы их сейсмоусиления [Электронный ресурс]. URL: [http://www/nasha\\_ucheba.ru](http://www/nasha_ucheba.ru) (Дата обращения 05.09.2015 г.)

10. Саяно-Шушенская ГЭС [Электронный ресурс]. URL: <http://www/sayano-shushenskaya-ges> (Дата обращения 25.08.2015 г.)

11. Гупта К., Расторги Б. Плотины и землетрясения. М.: Мир, 1979. 251 с.

12. Плотины и землетрясения [Электронный ресурс]. URL: <http://www/rushydro.ru> (дата обращения 25.08.2015 г.)

13. Чиркейская ГЭС [Электронный ресурс]. URL: <http://www/610-chirkeyskaaya-ges-foto.html>. (Дата обращения 20.07.2015 г.)

14. Fukui Earthquake Region Horuriku, Japan 28 June, Tokyo, 1953.

---

**Akhmedov M.A.**

#### **DAMAGE AND DESTRUCTION OF THE OBJECTS OF ENERGY SYSTEMS DURING THE EARTHQUAKES**

*Damage and destruction data obtained in the objects of energy systems during Fukui (Japan), 28.06.1948, Spitak (Armenia), 08.12.1988 and a number of other earthquakes have been analyzed. The reasons of emergency cases in Sayano-Shushensk and other dams of hydro-power plants have been stated. The conclusions were drawn and recommendations to adopt the appropriate protection measures were given.*

**Key words:** earthquakes, energy objects, damage, destruction.

---

**Ахмедов Машраб Абдукадырович**, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник.

Институт сейсмостойкости сооружений АН РУз.

Адрес: Узбекистан, 100125, Ташкент, ул. Дурмон йули 31.

E-mail: Klara\_51@mail.ru