

## АНАЛИЗ АКСЕЛЕРОГРАММ, ЗАПИСАННЫХ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ ВБЛИЗИ КАПЧАГАЙСКОЙ ГЭС

В. Лапин<sup>(1)</sup>, С. Ержанов<sup>(2)</sup>, В. Даугавет<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup>канд. техн. наук, АО «КазНИИСА», г. Алматы, Казахстан, [lapin\\_1956@list.ru](mailto:lapin_1956@list.ru)

<sup>(2)</sup>канд. техн. наук, АО «КазНИИСА», г. Алматы, Казахстан, [abai\\_ata@mail.ru](mailto:abai_ata@mail.ru)

<sup>(3)</sup>заведующий сектором ИСС, АО «КазНИИСА», г. Алматы, Казахстан

**Аннотация.** Впервые получены инструментальные записи ускорений на объектах Капчагайской ГЭС (грунт и русловая плотина) при 4-х балльном близком землетрясении. Построены спектральные кривые  $\beta$ . Установлен высокочастотный характер землетрясения с близко расположенным очагом. Приведены корреляционные функции акселерограмм. Даются рекомендации для увеличения количества точек регистрации.

## ANALYSIS OF ACCELEROGRAMS RECORDED DURING AN EARTHQUAKE NEAR THE KAPCHAGAY HYDRO POWER PLANT STATION

V. Lapin<sup>(1)</sup>, S. Yerzhanov<sup>(2)</sup>, V. Daugavet<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Candidate of Engineering Sciences, JSC “KazNIISA”, Almaty city, Kazakhstan, [lapin\\_1956@list.ru](mailto:lapin_1956@list.ru)

<sup>(2)</sup> Candidate of Engineering Sciences, JSC “KazNIISA”, Almaty city, Kazakhstan, [abai\\_ata@mail.ru](mailto:abai_ata@mail.ru)

<sup>(3)</sup> Head of the “Engineering and Seismometric Station” Sector, JSC “KazNIISA”, Almaty city, Kazakhstan

**Abstract.** Instrumental records of accelerations at the Kapchagay HPP facilities (soil and channel dam) at the earthquake intensity of 4 nearby earthquake are obtained for the first time. Spectral curves  $\beta$  are built. The high-frequency character of an earthquake with a closely spaced focus has been established. Correlation functions of accelerograms are given. Recommendations are given for expansion in the number of recording points.

## КАПЧЫГАЙ ГЭСИНЕ ЖАКЫН ЖЕРДЕГИ ЖЕР ТИТИРӨӨДӨ ЖАЗЫЛГАН АКСЕЛЕРОГРАММАДАРДЫ ТАЛДОО

В. Лапин<sup>(1)</sup>, С. Ержанов<sup>(2)</sup>, В. Даугавет<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> техн. илим. кандидаты, «КазНИИСА» АК, Алматы ш., Казахстан, [lapin\\_1956@list.ru](mailto:lapin_1956@list.ru)

<sup>(2)</sup> техн. илим. кандидаты, «КазНИИСА» АК, Алматы ш., Казахстан, [abai\\_ata@mail.ru](mailto:abai_ata@mail.ru)

<sup>(3)</sup> ИСС секторунун башчысы, «КазНИИСА» АК, Алматы ш., Казахстан

**Аннотация.** Биринчи жолу Капчагай ГЭСинин объектилеринде (кыртыш жана суу нугунун плотинасы) 4 баллдык жакынкы жер титирөөдө ылдамдануунун инструменталдык каттоолору алынды.  $\beta$  спектралдык кыйшыктык курулду. Жакын жайгашкан очогу менен жер титирөөнүн жогорку жыштыгы аныкталган. Акселерограммдын корреляциондук функциялары келтирилген. Каттоо түйүндөрүнүн санын көбөйтүү боюнча сунуштар берилет.

## ВЕСТНИК МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИИ ЭКСПЕРТОВ ПО СЕЙСМОСТОЙКОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ

Важными инфраструктурными элементами территорий являются источники электрической энергии – тепловые и атомные станции, гидроэлектростанции, возобновляемые источники энергии и т.д. В сейсмических зонах следует обеспечить необходимый уровень сейсмической безопасности указанных объектов.

В последние 8 лет все чаще происходят землетрясения в районе Капшагайской ГЭС мощностью 100 Мвт, снабжающая весь регион дешевой электроэнергией. Высота русловой плотины 49,0 м. Указанная электростанция является важным элементом инфраструктуры г.Алматы, снабжающей ее электроэнергией.

Следует отметить, что по карте Общего сейсмического районирования Республики Казахстан г.Капшагай относился к фоновой сейсмичности 7 баллов СНиП РК 2.03-30-2006. По картам Общего сейсмического зонирования территории Казахстана от 2016 года для периодов повторяемости 475 лет и 2475 лет фоновая сейсмичность составила 8 баллов. В медианных значениях ускорения имеют место, соответственно, величины 0,15g и 0,32g.

Обеспечение надежности таких ответственных сооружений как плотины представляет собой весьма сложную задачу. Поэтому натурные наблюдения за поведением плотин при землетрясениях приобретают важное значение. На территории Капшагайской ГЭС расположена сейсмическая станция № 15 сети станций инженерно-сейсмометрической службы АО «КазНИИСА» с одноименным названием. Станция ИСС была введена в действие в 1975 году, восстановлена в 2005 году. Следует отметить, что установлена она была по инициативе нашего учителя академика Жунусова Т.Ж. Было записано несколько землетрясений [2-3].

1 мая 2011 года в 08 часов 31 минут в окрестности г.Капшагай произошло ощутимое землетрясение. Его интенсивность на территории г.Алматы составила 4-5 баллов. Магнитуда  $M_B=5,3$ ,  $M_S=4,8$ ,  $M_W=5,4$ ,  $m_{pv}=5,9$ ,  $K=13,1$  [1]. Однако в силу субъективных причин инструментальные записи на станции № 15 получены не были.

Согласно оперативным данным Центра данных РГП Института геофизических исследований Министерства энергетики 26 марта 2018 года в 18 часов 53 минуты по времени Астаны (26 марта в 12 часов 53 минут по Гринвичу) в 31 км к юго-востоку от Капшагай, в 63 км к северо-востоку от г.Алматы произошло землетрясение. Координаты эпицентра: 43.70 градуса северной широты, 77.36 градуса восточной долготы. Магнитуда  $m_{pv}=5$ . Энергетический класс  $K=11.4$ . Глубина  $h=7$  км. Землетрясение ощущалось в городе Алматы с интенсивностью 3 балла и гораздо сильнее в г.Капшагай. На рис.1 приведено расположение очага землетрясения.

# ВЕСТНИК МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИИ ЭКСПЕРТОВ ПО СЕЙСМОСТОЙКОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ

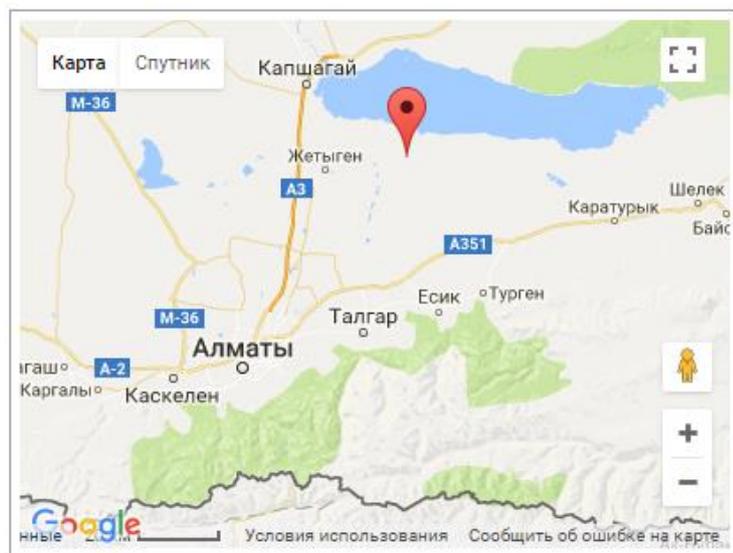


Рис. 1 – Расположение очага землетрясения от 26.03.2018 г. в Алматинской области.

Были получены аналоговые инструментальные записи (акселерограммы) на территории Капшагайской ГЭС. Инструментальные записи (акселерограммы) зарегистрированы на грунте и русловой плотине. Точки регистрации – грунт (трещиноватый скальный грунт) и гребень русловой плотины (отметка 49 м). Графики акселерограмм приведены в [5].

В таблице 1 приведены результаты измерений и расчетов.

На рис.2 и 3 приведены распределения ускорений на горизонтальной (азимутальной) плоскости. Рассмотрены горизонтальные максимальные ускорения, а также среднеквадратичные значения.

На рис.4,5 представлены экспериментально определённые корреляционные функции, для каждой из акселерограмм, записанной на грунте. На рис.6 представлены спектральные кривые для каждой из акселерограмм.

распределение ускорения на азимутальной плоскости

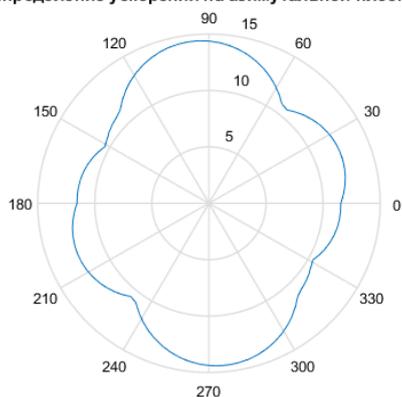


Рис.2 – Распределение ускорений в горизонтальной плоскости (точка регистрации на скале)

среднеквадратичное ускорение на азимутальной плоскости

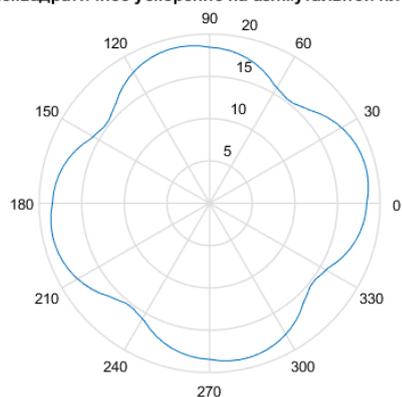
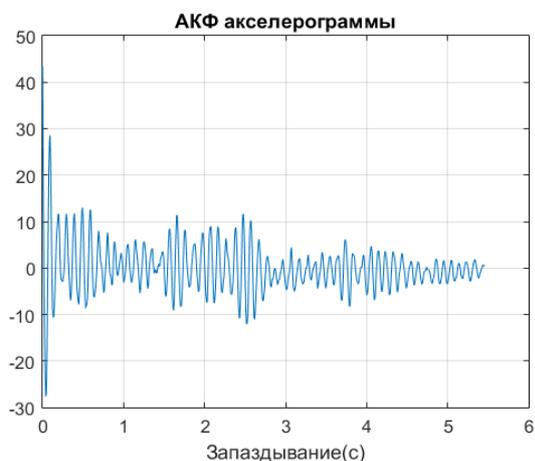


Рис.3 – Распределение среднеквадратичного ускорений в горизонтальной плоскости (точка регистрации на скале)

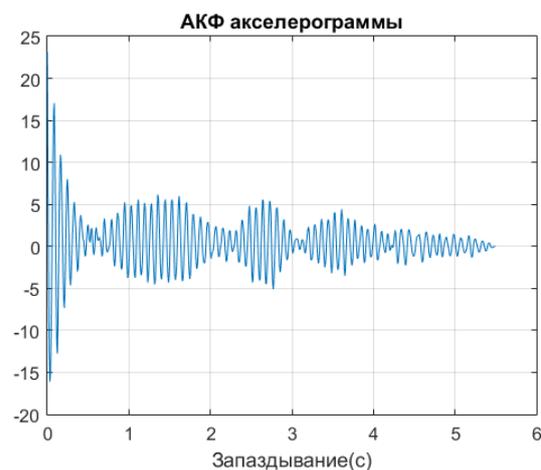
Таблица 1 – Максимальные величины ускорений и параметров акселерограмм при землетрясении 26.03.2018 ( $h=0,0077c$ )

**ВЕСТНИК МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИИ ЭКСПЕРТОВ ПО  
СЕЙСМОСТОЙКОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ**

Компонента	Ускорение, см/с <sup>2</sup>	Эффективная длительность, с	Спектральный коэффициент	Период максимума спектра, с
Грунт-у	13,30	1,63	2,95	0,09
Грунт-х	12,55	5,42	4,27	0,10
ПЛОТИНА	23,71	2,97	2,94	0,15



*Рис.4 – Корреляционная функция акселерограммы «грунт-х»*



*Рис.5 – Корреляционная функция акселерограммы «грунт-у»*

Действующая шкала MSK-64(К) составлена для землетрясений интенсивностью 5-10 баллов. Данное землетрясение не попадает в указанный интервал по величине зарегистрированных ускорений. Указанная шкала содержит ускорения от 16 см/с<sup>2</sup> до более 900 см/с<sup>2</sup>. Поэтому справедливо землетрясение **26.03.2018** отнести к землетрясению с интенсивностью **4 балла на территории Капшагайской ГЭС.**

На гребне плотины ускорения больше чем на грунте на 40-50%. Это связано с тем, что плотина работает здесь как сооружение.

Следует также отметить, что эффективная длительность акселерограммы Баканасского землетрясения в 2-2,5 раза превышала аналогичную характеристику землетрясения 26 марта 2018 года (эффективная длительность здесь промежуток времени, в течение которого амплитуда ускорений не меньше половины максимального значения) [4].

# ВЕСТНИК МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИИ ЭКСПЕРТОВ ПО СЕЙСМОСТОЙКОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ

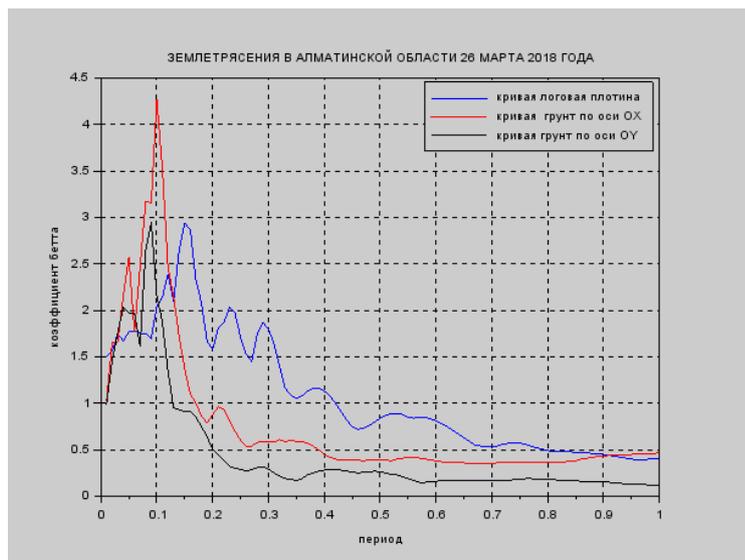


Рис. 6. – Спектральные кривые инструментальных записей землетрясения 26.03.2018.

Возможно далее продолжить анализ инструментальных записей – выполнить расчет велосиграмм и сейсмограмм. Можно привлекать также методы классического корреляционного и спектрального анализа.

Кроме того, интересен анализ корреляционных функций инструментальных записей и их аппроксимация.

С помощью тулбокса Curve Fitting системы компьютерной математики MATLAB

аппроксимируется корреляционная функция акселерограммы «Грунт-у» (рис.5). Приемлемая аппроксимация получается с использованием

$$K(\tau) = \sum_{i=0}^i a_i e^{-b_i \tau} \left( \cos(c_i \tau) + \frac{b_i}{c_i} \sin(c_i \tau) \right), \quad (1)$$

где  $a_i, b_i, c_i$  – неизвестные коэффициенты, подлежащие определению.

При этом неплохо приближается участок корреляционной функции до 1 секунды.

Зная корреляционную функцию случайного процесса, например, вида (1) можно, далее, рассмотреть задачу оценку надежности и сейсмического риска сооружений плотины Капчагайской ГЭС, соответствующим образом генерируя воздействие [6].

## ВЫВОДЫ

1. Сейсмическое событие 26 марта 2018 по величинам ускорения на грунте представляет собой четырехбалльное землетрясения.
2. По спектральному составу землетрясение высокочастотное – периоды максимума спектра 0,09-0,15 сек.
3. Для такого сооружения как Капчагайская ГЭС количество точек регистрации должно быть увеличено в два раза. Целесообразно добавить вторую контрольную точку на грунте (скала). Необходимо добавить точку регистрации на середине русловой плотины. Следует установить точку регистрации на середине логовой

## ВЕСТНИК МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИИ ЭКСПЕРТОВ ПО СЕЙСМОСТОЙКОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ

плотины, где гидравлический удар при сейсмическом воздействии будет менее заметным. Кроме того, желательно установить регистрирующие приборы на водоводе – подземном туннеле.

4. Аналоговые приборы станции инженерно-сейсмометрической станции на Капчагайской ГЭС должны быть заменены на цифровую приборно-измерительную систему.

5. Зарегистрированные акселерограммы включены в базу данных АО «КазНИИСА» инструментальных записей землетрясений.

6. В рамках внедрения новой нормативной базы в строительстве на основе Еврокода актуально разработать специальный нормативно-технический документ (свод правил), регламентирующий расстановку приборов (датчиков перемещений, скоростей и ускорений) на таких объектах.

**Исследования выполнялись с использованием средств гранта АР 05130702 Министерства образования и науки Республики Казахстан.**

### ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н. Капчагайское землетрясение 1 мая 2011 года. – «Вестник НЯЦ РК», -2013 год. – Вып.1, С.103-110.
2. Жаланаи-Тюпское землетрясение. – Алма-Ата, М.: Наука, 1982. – 145 с.
3. Жунусов Т.Ж. Выпрямкин Ю.А. Инструментальные данные о колебании зданий Алма-Аты при Баканасском землетрясении 25 сентября 1979 года. / В сб. «Исследование сейсмостойкости сооружений и конструкций», вып.12(22), Алма-Ата, 1981 год. – С.87-93.
4. Ержанов С.Е., Лапин В.А., Даугавет В.П. Исследование инструментальных записей инженерно-сейсмометрической службы на Капчагайской ГЭС. // «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений», вып.5. – М., 2017. – С.25-29.
5. Лапин В.А., Ержанов С.Е., Даугавет В.П. Анализ инструментальных записей землетрясения 26 марта 2018 года на Капчагайской ГЭС. // «Вестник АО «КазНИИСА». Вып.4(80). – Алматы, 2017. – С.24-30.
6. Ержанов С.Е., Лапин В.А., Даугавет В.П. Генерирование искусственных акселерограмм местных землетрясений. // «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений», вып.4. – М., 2017. – С.56-60.