

## КЫРГЫЗСТАНДЫН ШАРТЫНДА ИМАРАТТАРДЫ ЖАНА КУРУЛМАЛАРДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛДЫК ВИБРОДИНАМИКАЛЫК ИЗИЛДӨӨ

Д.Б.Абдыкалыков

Аспирант, Эл аралык инновациялык технологиялар университети, [abdykalykov\\_17@mail.ru](mailto:abdykalykov_17@mail.ru)

**Аннотация:** Төмөнкү баяндамада Кыргыз Республикасынын Сейсмикалык коркунучтуу аймактарындагы имараттарды жана курулмаларды эксперименттик вибродинамикалык изилдөө ыкмасы баяндалат.

**Ачык создор:** курулуш конструкциялары, эксперименталдык вибродинамикалык изилдөө.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ВИБРОДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ КЫРГЫЗСТАНА

Д.Б.Абдыкалыков

Аспирант, МУИТ, [abdykalykov\\_17@mail.ru](mailto:abdykalykov_17@mail.ru)

**Аннотация:** В статье излагается методика экспериментального динамического исследования зданий и сооружений в сейсмоопасных районах Кыргызской Республики.

**Ключевые слова:** строительные конструкции: экспериментальные вибродинамические исследования.

## EXPERIMENTAL VIBRODYNAMIC STUDIES OF BUILDINGS AND STRUCTURES UNDER THE CONDITIONS OF KYRGYZSTAN

D.B.Abdykalykov

Graduate student, International University of Innovation Technologies, [abdykalykov\\_17@mail.ru](mailto:abdykalykov_17@mail.ru)

**Abstract:** The article describes the methodology of experimental dynamic study of buildings and structures in earthquake-prone areas of the Kyrgyz Republic.

**Key words:** building structures: experimental vibrodynamic studies.

### Введение

Территория Кыргызстана – наиболее сейсмически активный регион. В пределах Кыргызстана произошли катастрофические землетрясения, как Беловодское (1885), Верненское (1887), Чиликское (1889), Кашкагарское (1902), Кеминское (1911), Чаткальское (1946), Хаитское (1949), Суусамырское (1992) и другие с силой 9-10 баллов и выше.

Сейсмическая безопасность является одной из основных частей безопасности Кыргызской Республики. Защита населения, промышленных и социальных инфраструктур от разрушительных землетрясений, и вызываемых ими вторичных природных и техногенных явлений (оползни, прорыв плотин, горных озер, процессы подтопления, пожары и т.п.), и

обеспечение экономической, экологической и социальной безопасности является важнейшими научно – практическими задачами сейсмической безопасности. [1]

Современные компьютерные расчетные комплексы позволяют решать задачи практически любой сложности. Однако при расчетах сооружений на динамические нагрузки зачастую возникает вопрос адекватности расчетной модели реальному сооружению. Зачастую остаются идеализированными множество факторов, влияющих на динамические характеристики системы такие, например, как, жесткости узлов сопряжений конструкций, жесткости номинально несущих элементов, или многослойных несущих элементов, различные интегральные характеристики основания и т.п.

Динамические характеристики зданий и сооружений (частоты и формы собственных колебаний, декременты колебаний) являются интегральными характеристиками всего сооружения в целом.

При динамических расчетах неадекватность расчетных предпосылок может привести к существенным отличиям их результатов от реальной работы конструкций, а значит и неправильному учету нагрузок.

Единственным критерием проверки адекватности той или иной расчетной схемы сооружения его реальной работе является эксперимент на натурных сооружениях. Это могут быть обычные или специально построенные здания (например, новая серия сейсмостойких конструкций) или особо ответственные сооружения (плотины, здания АЭС), для которых проверяются в натурных условиях заложенные в проекте условия.

Экспериментальные динамические исследования строительных конструкций, судя по публикациям, получили широкое распространение в СССР и за рубежом в начале 60-х годов прошлого века. Однако в начале 90-х годов они были почти полностью прекращены, как в Кыргызстане, так и странах СНГ. Это было связано как с общим экономическим кризисом, так и с очень быстрым моральным старением всей экспериментальной базы, на своевременное обновление которой не было сил и средств. Указанные обстоятельства в значительной мере определили содержание данной работы.

Таким образом, экспериментальные вибродинамические исследования зданий и сооружений совместно с построением компьютерных расчетных моделей и последующей верификацией этих моделей по результатам натурных экспериментов является одной из важнейших задач современной строительной науки. [2.]

## **Цель работы**

Экспериментальные научно-исследовательские работы – проводятся для получение экспериментальных данных, характеризующих эффективность разных конструктивных вариантов антисейсмического усиления стеновых заполнений, перегородок, фасадных элементов, систем крепления и других материалов, предназначенных для применения в зданиях жестких конструктивных схем, возводимых на площадках сейсмичностью от 8 до 10 баллов. [3.]

Экспериментальные вибродинамические исследования зданий производится на:

- 1) на специально оборудованном стенде;
- 2) в естественных условиях.

В первом случае в оборудованном стенде динамические нагрузки на конструкции нужно создавать с помощью мощной вибромашины. Во втором случае исследования проводить в реальных натурных условиях и при этом использовать различные источники возбуждения колебаний. Далее приведена методика натурных динамических исследований здания.

Работы по организации динамических испытаний выполняются в три этапа:

1. Подготовительный этап;
2. Натурные испытания сооружений;
3. Обработка результатов, их анализ и выдача заключения.

Во время подготовительного этапа

- выявляются:
  - диапазон частот динамических воздействий, которым подвергается сооружение во время эксплуатации или может подвергнуться в результате сейсмических или других особых воздействий;
  - амплитуды, места приложения и линии действия сил, соответствующих этим частотам;
  - амплитуды ожидаемых динамических напряжений, виброперемещений, виброускорений, либо других нормируемых кинематических параметров вибрации, вызываемых этими силами;
- намечается методика проведения испытаний;
- осуществляется подбор средств измерения вибраций;
- осуществляется подбор средств возбуждения вибраций.

### **Вибровозбудительное оборудование**

Для динамических исследований натуральных конструкций требуется изучать особенности их колебаний. При этом целью исследований обычно является определение их динамических характеристик, т. е. частот и форм собственных колебаний, декрементов колебаний. Особый интерес представляет изучение нелинейных колебаний: изменение их динамических характеристик с изменением нагрузок или амплитуд колебаний. Для достижения этих целей необходимо использовать какой-то возбудитель колебаний. В качестве таких возбудителей могут быть использованы колебания:

- вызванные микросейсмами;
- техногенного характера (от движения транспорта, работы оборудования и т. д.);
- специально создаваемые нештатным включением какого-либо оборудования (мостовые краны, электромоторы большой мощности и т. д.);
- создаваемые специальными вибраторами.

Наиболее эффективным, хотя и более трудоемким, является последний вариант — использование специальных вибраторов. Этот вариант потребовал выполнения работ по созданию такого возбудителя колебаний. В мировой практике разработаны и используются вибраторы различного принципа действия и различных конструктивных схем: электродинамические, гидравлические, дебалансные. Для решения наших задач были выбраны вибраторы дебалансного типа направленного действия. Эти вибраторы могут, в свою очередь, иметь различные конструктивные решения: одновальные (с совмещенными по оси валами), двухвальные, с вертикальными валами, с горизонтальными валами. После анализа этих конструктивных схем был выбран двухвальный вибратор с горизонтальным расположением валов. Его основными достоинствами являются относительная простота конструкции и надежность при эксплуатации. [4.]

### **Принципиальная схема работы вибраторов направленного действия**

Принципиальная схема работы вибратора дебалансного типа с двумя параллельно расположенными валами приведена на рис. 1. При вращении валов в противоположных направлениях существуют положения: когда центры масс дебалансов 2 находятся в горизонтальной плоскости и направления центробежных сил 3 на обоих валах совпадают. В этот момент амплитуда горизонтальной силы 4 достигает максимального значения, что соответствует положению I и III на рис. 1.

Между эффективными положениями дебалансов I и III, которые во время работы вибромашины и создают требуемую горизонтальную силу, существуют промежуточные положения II и IV, в которых дебалансы противоположно направлены в вертикальной плоскости. В этом случае центробежные силы имеют противоположное направление и представляют собой пару сил, приводящую к качательным колебаниям корпуса вибратора, в то время как горизонтальная составляющая амплитуды силы равна нулю.

Амплитуда силы, развиваемая вибратором дебалансного типа, определяется по формуле

$$P = mr\omega^2 \sin\omega t,$$

где,  $\omega = 2\pi f$  — угловая скорость, с<sup>-1</sup>;

$f$  — частота вращения, Гц;

$r$  — эксцентриситет неуравновешенной массы, м.

Таким образом, при использовании дебалансных вибраторов создается воздействие на сооружение гармонического вида силы, величина которой изменяется пропорционально квадрату числа оборотов вибратора. Отсюда для поддержания постоянной величины нагрузки  $P$  при изменении частоты вращения дебалансных частей вибратора необходимы соответствующие изменения либо неуравновешенной дебалансной массы, либо ее эксцентриситета относительно оси вращения. При этом, учитывая квадратичную зависимость между величиной  $P$  и частотой воздействия  $f$ , а также основной интервал исследуемых частот (как правило, диапазон 0,5...15 Гц), условие постоянства нагрузки предполагает необходимость предусматривать для одного и того же вибратора возможность с изменением числа оборотов одновременно изменять и дебалансную массу, либо ее эксцентриситет в весьма значительных пределах. Так, если вибратор при фиксированных дебалансной массе  $m$  и ее эксцентриситете  $r$  создает при частоте  $f = 5$  Гц необходимую по величине нагрузку, то для равного воздействия при  $f = 0,5$  Гц потребуется значение  $m$  или  $r$  увеличить в 100 раз;  $p$  и  $f = 1$  Гц — увеличить в 25 раз; при  $f = 15$  Гц — уменьшить в 9 раз.

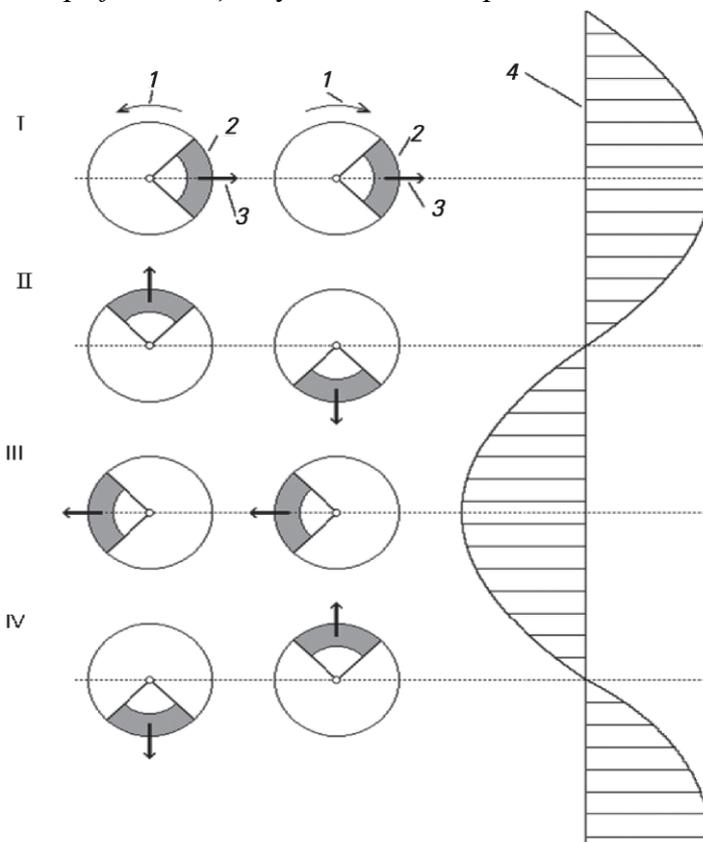


Рис.1 - Схема работы дебалансных вибраторов направленного действия.

Таким образом, поддержание постоянной вибрационной нагрузки на всем интервале исследуемых частот становится технически трудно выполнимым и не удобным для эксплуатации в полевых условиях.

## Измерительная аппаратура

Подбор виброизмерительной аппаратуры начинают с определения диапазона частот, в пределах которых необходимо произвести измерение вибраций, точнее - нижней и верхней частот этого диапазона.

Натурные динамические исследования предъявляют свои специфические требования к виброизмерительной аппаратуре. Для измерения колебаний от микросейсм и в ряде других условий экспериментов она должна обладать очень высокой чувствительностью, чтобы регистрировать вибросмещения в доли микрометра. Кроме того, в натуральных условиях могут представлять интерес низкочастотные колебания от долей герца до нескольких десятков герц (примерно 0,3...50 Гц).



Рис.2 – Общий вид регистратора сигналов «РС-16».

## Методика обработки данных натурных наблюдений

Методика обработки экспериментального материала зависит от характера зарегистрированных процессов и поставленных задач. Обработка виброграмм периодических колебаний, определение частоты, амплитуды, а также фазового сдвига (относительно других гармонических колебаний) на осциллографической кривой не представляет трудностей.

Для повышения точности определения частоты рекомендуется брать для обработки участок осциллограммы, соответствующий нескольким периодам колебаний.

Определение скорости и ускорения при вибрации. В ряде случаев необходимо знать скорость и ускорение смещения конструкции при вибрации, что позволяет оценить, например, по ускорению уровень вибрации (в децибелах), а также дополнительные усилия на конструкцию от ее действия, так как сила равна массе, умноженной на ускорение:

$$P=ma,$$

где  $m$  - масса;  $a$  - ускорение.

Масса, нагружающая данную конструкцию, в большинстве случаев, известна, а ускорение определяется по кривой вибрации. В первом приближении ветвь интересующей нас кривой вибрации может быть заменена синусоидой, тогда скорость и ускорение определяются так:

$$V = Aw \cos wt, a = -Aw^2 \cos wt,$$

где  $A$  - амплитуда данной ветви кривой вибрации;  $w$  - круговая частота,  $1/c$ ;  $w = 2\pi / T$ ;  $T$  - период колебания, с.

## Выводы

Современная виброизмерительная аппаратура в сочетании с компьютерами делает работу по проведению, обработке и анализу экспериментов во много раз менее трудоёмкой и позволяет более быстро получать результаты.

Актуальной является исследования динамических характеристик зданий и сооружений с учетом требований новых норм по сейсмостойкому строительству.

### Литература:

- [1] Абдрахматов К.Е., Вестник МАЭС №1/2018 (2) 13-16.
- [2] Вибрационные испытания зданий. Под ред. Г.А.Шапиро. М.: Стройиздат, 1972. - 158 с.
- [3] Голованов Р.О., диссертация «Особенности динамических явлений в строительных конструкциях зданий и сооружений (методика и результаты натурных исследований).
- [4] Шокбаров Е.М., Вибродинамические экспериментальные исследования в сейсмических районах республики Казахстан. Вестник МАЭС №1/2018 (2) 207-208.
- [5] СП КР 20-02-2018 «СЕЙСМОСТОЙКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО».
- [6] Г. Э. Шаблинский, Д. А. Зубков; Мин-во образования и науки Росс. Федерации, ФГБОУ ВПО «Моск. гос. строит. ун-т». — Москва: МГСУ, 2012. — 484 с.
- [7] Рекомендации по натурным исследованиям и постоянным наблюдениям за вибрацией гидротехнических сооружений электростанций II 73-2000 ВНИИГ.
- [8] Варданян Г. С. Основы теории подобия и анализа размерностей. М.: МИСИ, 1977.
- [9] Гордиенко П. И., Затворницкий О. Г., Шаблинский Г. Э. Исследование сейсмостойкости массивно-контрфорсной плотины на крупномасштабной полигонной модели // Совершенствование методов расчета и проектирования гидротехнических сооружений, возводимых в сейсмических районах. Л.: Энергия, 1976.
- [10] Дашевский М. А., Миронов Е. М., Моторин В. В. Виброзащита крупнопанельных жилых домов // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. М., 2001. № 6.
- [11] Дашевский М. А., Миронов Е. М., Моторин В. В. Виброзащита многоэтажных крупнопанельных зданий // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. М., 2001. № 4.
- [12] Завалишин С. И., Шаблинский Г. Э., Жаворонок И. В. и др. Оценка и прогнозирование состояния инженерных сооружений на основе натурных исследований их динамических характеристик // Сборник прикладных научно-технических работ областного факультета «Промышленное и гражданское строительство. М.: МГСУ, 2000.
- [13] Кириллов А. П., Крылов В. В., Саргсян А. Е. Взаимодействие фундаментов сооружений электростанций с основанием при динамических нагрузках. М.: Энергоатомиздат, 1984.
- [14] Кириллов А. П., Саргсян А. Е. Динамика и сейсмостойкость АЭС с учетом податливости основания. М.: Информэнерго, 1988. 52 с.
- [15] Костин И. Х., Шаблинский Г. Э. Натурные динамические исследования сооружений // Строительная механика и расчет сооружений. М.: Стройиздат, 1989. № 2.
- [16] Айзенберг Я.М. Модели сейсмического риска и методологические проблемы планирования мероприятий по смягчению сейсмических бедствий. Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. №6, 2004, с.31-38.
- [17] Айзенберг Я.М. Сейсмическое зонирование для строительных норм. Сейсмостойкое строительство, №6, 2000 г., с.40-43.
- [18] Айзенберг Я.М. Сооружения с выключающимися связями для сейсмических районов. М.: Стройиздат. -1976. -229 с.
- [19] Айзенберг Я.М., Килимник Л.Ш. О критериях предельных состояний и диаграммах "восстанавливающая сила-перемещения" при расчетах на сейсмические воздействия. //В сборнике "Сейсмостойкость зданий и инженерных сооружений"-М.-Стройиздат. 1972.- С.46-61.
- [20] Айзенберг Я.М., Смирнов В.И., Бычков С.И., Сутырин Ю.А. «Эффективные системы сейсмоизоляции. Исследования, проектирование, строительство». Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений №1,2002, с. 31-37.
- [21] Бирбраер А.Н. Расчет конструкций на сейсмостойкость. СПб, Наука, 1998, 254 с.
- [22] Бирбраер А.Н., Шульман С.Г. Прочность и надежность конструкций АЭС при особых динамических воздействиях. М.: Энергоатомиздат, 1989, 304с.

- [23] П.Блэк С.К., Нихаус Ф. Насколько безопасно слишком безопасное?// Бюллетень МАГАТЭ, Книга 22, №1.
- [24] Болотин В.В Статистическая теория сейсмостойкости сооружений. Известия АН СССР, ОТИ, Механика и машиностроение, №4, 1959.
- [25] Ботвинкин Н.Н. Руководство по сейсмостойкости сооружений. М.Ташкент, Средне-Азиатское отд. объедин. гос. изд., 1933, 160 с.
- [26] Бохонский А.И. Применение пластических связей-ограничителей в системе сейсмоизоляции зданий.// Экспресс-информация ВНИИИС. Сер. 14. Сейсмостойкое строительство.-1978.-Вып.4.- с.31-35.
- [27] Динамика и сейсмостойкость зданий и сооружений / Под ред. С.В.Кожаринова. - Душанбе: Дониш, 1985,
- [28] Динамический расчет специальных инженерных сооружений и конструкций. Справочник проектировщика / Под ред. Б.Г.Коренева и А.Ф.Смирнова. Москва. Стройиздат. 1986.
- [29] Barr J. The seismic safety of bridges: A view from the design office //th.,
- [30] European Conference on Earthquake Engineering, Elsevier Science Ltd,1. Oxford, UK, 2002.
- [31] Bertogg Martin, Hitz Luzi, Schmid Edouard. Vulnerability functions derived from loss data for insurance risk modelling: findings from recent earthquakes. // 12-th WCEE, 2000, Paper N 281.
- [32] Bommer J., Pinho R., Spence R. Earthquake loss estimation models:time to open the black boxes? First European Conference on Earthquake• th (
- [33] Engineering and Seismology (a joint event of the 13in ECEE & 30m General
- [34] Assembly of the ESC) Geneva, Switzerland, 3-8 September 2006, Paper Reference834.
- [35] Davis Ian. Keynote paper earthquake mitigation. // 12-th WCEE, 2000, Paper N841.
- [36] D'Ayala Dina F. Establishing correlation between vulnerability and damage survey for churches. 12 WCEE 2237, Department of Architecture and Civil Engineering, University of Bath, UC, 2000- email: D.F.D'Ayala@bath.
- [37] Duarte R.T. The possibility of simplifying seismic design analysis due to uncertainty in future ground motion. Proceedings of the 10th European Conference on Earthquake Engineering, Viena, 1994, Vol.2, pp. 831-837.
- [38] Earthquake Loss Estimation Methodology, HAZUS 99 Service Release 2 (SR2) Technical Manual, Federal Emergency Management Agency, FEMA (2000), Washington DC, USA.
- [39] Fardis M.N.Code developments in earthquake engineering. Published by • • th
- [40] Elsevier Science Ltd. 12 European Conference on Earthquake Engineering. Paper Reference 845, 2002.
- [41] Georgescu Emil-Sever. Earthquake scenarios and insurance potential in Romania. // 12-th WCEE, 2000, Paper N 678.
- [42] Grandori G. Cost-benefit analysis in earthquake engineering. // Proc. VII Europ. Conf. On earthquake eng. Athens, 1982. Vol. 7. P. 71 136
- [43] Gupta Anju. Evaluating optimal strategies to improve earthquake performance for communities. // 12-th WCEE, 2000, Paper N 0777.