

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОСЕЙСМ ОБЪЕКТА

### DEFINITION OF THE CONDITION OF BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS BY MEANS OF RESEARCH OF MICROSEISMS OF OBJECT

*Макалада имараттардын жана курулуштардын физикалык абалын жана сейсмотуруктуулугун, алардын микросейсмикалык термелүүлөрүн изилдөө жолу менен аныктоо методдору жазылган.*

*Ачык сөздөр: курулуш, имараттар жана курулмалар, физикалык абалы, сейсмотуруктуулук, изилдөө, методдор, микросейсмалар.*

*В статье описаны методы определения физического состояния и сейсмостойкости зданий и сооружений путем исследования их микросейсмических колебаний.*

*Ключевые слова: строительство, здания и сооружения, физическое состояние, сейсмостойкость, исследование, методы, микросейсмы.*

*The article describes methods for determining the physical condition and seismic stability of buildings and structures by studying their microseismic oscillations.*

*Keywords: construction, buildings and structures, physical condition, seismic resistance, research methods, microseisms.*

Строительство является динамично развивающейся отраслью Кыргызстана, несмотря на некоторое падение объемов производства в 2015 году из-за влияния мирового кризиса. Темпы строительства особенно заметны в городе Бишкек. В столице строятся современные высотные здания (до 20 этажей и выше) – жилые дома, торговые центры и др. объекты соцкультбыта, а в период СССР высота зданий достигала максимум до 16 этажей. Наряду с этим, появилось очень много жилых массивов, где преимущественно идет массовая народная стройка. Люди продолжают строить жилье в Бишкеке, в Оше и в других городах, в сельской местности из малопрочных материалов. Большинство жилых зданий строятся без полного соблюдения норм сейсмостойкого строительства [1].

Территория Кыргызской Республики относится к зоне высокой сейсмической активности и характеризуется 8 и 9-балльной сейсмичностью. Из 194 населенных пунктов, включенных в действующий норматив по сейсмостойкому строительству, 74 находятся в зонах возможных очагов землетрясений с интенсивностью сейсмических воздействий 9 и более баллов. В числе их имеются 9 городов, 16 райцентров и поселков городского типа, 49 сел. 27 населенных пунктов с неблагоприятными инженерно-геологическими условиями расположены в зоне с расчетной сейсмичностью 9 баллов. К таким же условиям относятся и около 30% территории города Бишкек.

На это обращено серьезное внимание в Государственной программе «Сейсмическая безопасность в Кыргызской Республике на 2012-2019 годы», утвержденной Постановлением Правительства КР №536 от 22 апреля 2015г. Госпрограмма преследует цель решения вопросов, связанных с прогнозом, наблюдением и предупреждением землетрясений, повышением надежности зданий в населенных пунктах, на основе результатов *паспортизации всех объектов недвижимости в населенных пунктах на сейсмостойкость.*

В связи с этим исследование и мониторинг физического состояния социальных объектов, принятие мер по повышению их сейсмостойкости для обеспечения безопасности людей является весьма *актуальной проблемой*.

Для решения данной проблемы в НИИ «Сейсмостойкое строительство» КГУСТА им. Н.Исанова ведутся теоретические и экспериментальные исследования, особенно по со-

вершенствованию конструкции и повышению сейсмостойкости индивидуальных жилых домов, застраиваемых из местных глинистых и прочих материалов [2]. Были построены и испытаны модели таких домов на сейсмоплатформе, в результате этих исследований даны рекомендации по строительству домов повышенной сейсмостойкости, по укреплению несущих стен

типичных домов, широко распространенных в сельской местности и в жилмассивах.

В рамках реализации указанной Госпрограммы необходимо провести инженерное обследование зданий и сооружений на сейсмостойкость, паспортизацию зданий и сооружений, с формированием и ведением республиканского банка данных, в соответствии с нормативными правовыми документами в области сейсмостойкого строительства.

Одним из новых является *метод определения физического состояния и сейсмостойкости* зданий и сооружений, основанный на исследовании микросейсмических колебаний – *микроземлетрясений и микросейсм* объектов. Методы регистрации и исследования микро-сейсм сооружений широко применяются в России, Японии и в странах Евросоюза.

В Кыргызстане этот метод находится на стадии освоения, нет пока публикаций. Поэтому нами начато изучение и апробация геофизических методов исследования состояния зданий, основанных на измерении естественных и техногенных микросейсм зданий, который является новым направлением строительной науки Кыргызстана в данной области.

В этом плане в НИИ «Сейсмостойкое строительство» КГУСТА, по заданию МОН КР, выполняется научно-технический проект. В 2015г. нами были изучены известные публикации [3-6 и др.] и опыт ведущих стран по исследованию микросейсм, проводились работы по выбору и визуальному обследованию характерных жилых зданий г. Бишкек. На 2-3 выбранных зданиях апробирован метод регистрации микросейсм и получены первые навыки и практические результаты исследований в наших условиях.

Сейсмические явления, наблюдаемые при землетрясениях на поверхности Земли, принято делить на 2 типа – макросейсмические и микросейсмические [6]. Макросейсмические колебания непосредственно ощущаются человеком, вызывают разрушение и сильные деформации земной поверхности, микросейсмические - обнаруживаются только по записям приборов, колебания их впрямую не связаны с землетрясениями, к ним можно отнести и слабые колебания от далеких землетрясений - неощутимые микроземлетрясения, расстояние до эпицентров которых может исчисляться тысячами километров.

Величина или энергия землетрясения бывает от мегалоземлетрясений с магнитудой от  $M=8$  и выше, сильных землетрясений - в диапазоне магнитуд 6,5 – 7,5, слабых землетрясений 1,5 – 6,5 и до микроземлетрясений, для оценки которых существует своя энергетическая шкала  $K$  по методике Т.Г.Раутиан. В диапазоне энергетических классов  $K$  и ниже, находится область сверхслабых сейсмических явлений, так называемые *микросейсм*ы и *сейсмический шум*, которые обнаруживаются только по записям приборов.

Регистрация слабых сейсмических колебаний стала возможной с развитием портативных сейсмографов, высокочастотной сейсмометрии и локальных сетей наблюдений. В 1949г. японскими сейсмологами Т.Асада и З.Сузуки [Asada, Suzuki] было введено понятие «микроземлетрясение». По исследованиям Асада (1961г.) было установлено, что

распределение повторяемости землетрясений вполне соответствует и для микроземлетрясений, подчиняется известному закону Рихтера-Гутенберга:

$$\lg N(M) = a - bM$$

где  $N$  - число событий с магнитудой  $\geq M$ ,  $a$  и  $b$  - константы.

Микросейсмы (микро + от греч. *seismos* - землетрясение) – это колебания земной поверхности малой амплитуды, вызываемые прохождением циклонов и другими атмосферными процессами, также и деятельностью человека. Они делятся на 3 вида: микросейсмы первого рода с периодом колебаний от 2-3 до 6-10 секунд; второго рода - длиннопериодные микросейсмы с периодом колебаний более 12-15 секунд; короткопериодные микросейсмы с периодами от 0,01 до 2-3 секунды.

Известный немецкий сейсмолог Э.Вихерт [Wiechert, 1899] одним из первых предположил, что микросейсмические колебания, регистрируемые на сейсмостанциях, вызываются ударами морских волн о берега, позже было выявлено, что они возбуждаются стоячими морскими волнами в морях и океанах при прохождении циклонов. Начало изучению микросейсм, как объекта сложной природы, было положено в начале XX века (1913 г.) акад. Б.Б. Голицыным. Большой вклад в изучение низкочастотных микросейсм внесли Л.Н. Рыкунов (1967-78, 1982, 1996), Л.П. Винник (1968), Ф.И. Монахов (1977), В.Н. Табулевич (1986) и О.Б. Хаврошкин (1999, 2000) и др. ученые, которые сформировали представления о механизмах излучения микросейсм, раскрыли основные их особенности.

Установлено, что микросейсмы - это многокомпонентное явление, состоящее из эндогенного излучения и экзогенных шумов техногенного или естественного происхождения (ветровые, прибойные и прочие явления). Эндогенными микросейсмными как индикатором состояния среды начали заниматься лишь к концу XX в. Было сделано одно из важных открытий в геофизике - явление модуляции высокочастотных микросейсм деформационными процессами. Микросейсмические колебания пронизывают земную кору и все, что на ней находится. К экзогенным источникам микросейсм относятся антропогенные, в частности, техногенные помехи и природные шумы – от ветра, циклонов, волнения моря и даже грозовой деятельности. Сейсмические шумы (микросейсмы) порождаются городами, транспортом - всем тем, что так или иначе связано с деятельностью человека.

В зависимости от природы возникновения сейсмический шум может быть использован для прогноза сильных землетрясений или для исследования состояния зданий и сооружений [3-6]. Микросейсмы, где они регистрируются, несут в себе сведения о характерных частотах колебаний, т. е. о динамических свойствах грунта и здания, способных усиливать или уменьшать амплитуды колебаний. Исследуя микросейсмы можно оценить свойства грунтов, на которых предполагается проведение строительных работ, а также оценить физическое состояние и сейсмическую устойчивость построенных зданий. Микросейсмы отражают характерные периоды сотрясений всего комплекса - грунтов, фундамента и самого здания. Зная диапазон периодов наиболее опасных колебаний от землетрясений, и сравнивая его с выявленными собственными микроколебаниями сооружения, можно принять меры к увеличению сопротивляемости, т. е. сейсмостойкости здания.

Инструментальный мониторинг состояния зданий выполняется с помощью 3-х групп методик, различающихся способами получения волновых полей и применяемыми схемами обработки:

1. Искусственное возбуждение колебаний зданий ударами разной силы по зданию и ливне его (Шахраманьяни др., 1999). Основные недостатки: необходимо создать идентично воздействующий сигнал для накопления отклика; доступны лишь отдельные части здания.

2. Регистрация действующих микросейсм на короткие профили здания, с последующей корреляционной обработкой. Методика разрабатывается в ГС СО РАН

(Селезневидр.,1999), ориентирована на здания и косвенно затрагивает свойств аргунтовоснования.

3. Использование собственных колебаний зданий, возбуждаемых атмосферным давлением. Регистрируются одновременно пульсации давления и ветровые колебания здания. Наблюдения ведутся в одной точке, в т. ч. вне здания, позволяют судить о состоянии здания в целом изменения в грунтах основания; детальное обследование здания проводится в нескольких ключевых точках (Юдахинидр., 2004, Острецовидр., 2004).

Способы, использующие ветровые колебания, включают ряд технологий проведения натуральных наблюдений, ориентированных на обследование зданий. Отличительной особенностью являются точечные измерения, производимые в течение нескольких часов с последовательным перемещением по объекту. Например, Институтом экологических проблем Севера УрО РАН (г. Архангельск) совместно с Институтом физики Земли РАН (г. Москва) разработаны методы анализа, основанные на двух составляющих микросейсм–техногенной и эндогенной (Юдахин Ф.Н., Капустян Н.К., Антоновская Г.Н., Шахова Е.В.).

Разработаны и опробованы технологии оценки состояния жилых и общественных сооружений, архитектурных памятников и аварийных зданий; сейсмического микрорайонирования (например г. Архангельск) и др. Ими проводилось обследование аварийных сооружений - жилого дома и Белойбашни Соловецкого монастыря путем оценки их собственной частоты колебания [3]. Было исследовано здание в г. Архангельске, где взрывом газа был практически полностью разрушен крайний подъезд. Измерения проводились на грунте вблизи аварийного дома, на первом и девятом этажах. Длительность регистрации во всех случаях составила 1 час, маятники располагались по продольным и поперечным осям плана здания. Были построены спектрально-временные диаграммы (СВАН) для аварийного здания, анализ которых показал следующее. Сигнал на частоте 1,9 Гц увеличивается с этажностью, т. е. это является собственной частотой колебания здания. Для сравнения было исследовано целое здание такого же конструктивного решения, стоящее на против. Сравнение СВАН-диаграмм (Рис.1.) вертикальных компонент ( $Z$ ) разрушенного здания (нижняя диаграмма) и целого здания (верхняя диаграмма) показало отсутствие сигнала на частоте 1,9 Гц на 9-м этаже аварийного здания. На рис.2. приведено сравнение спектров мощностей указанных зданий, где четко видно практически идеальное наложение спектров мощностей на горизонтальных компонентах (верхние диаграммы). Анализ вертикальных компонент (нижняя диаграмма) показывает отсутствие пика, соответствующего собственной частоте колебания исследуемого аварийного здания. Из этого следует вывод, что в разрушенном доме нарушены прочные связи между конструкциями, он является не сейсмостойким и нуждается в существенном укреплении.

Нами также разработана методика и проведена предварительная апробация регистрации микросейсм объекта исследования. Использован трехканальный сейсморегистратор типа DATA-CUBE<sup>3</sup> (Германия). Он также может работать как одно- или двухканальный регистратор, режим которого выбирается с помощью специального программного обеспечения. Прибор имеет усилители, может быть использовано большое число сейсмодатчиков, которые подключаются к регистратору с помощью кабеля (рис.3).

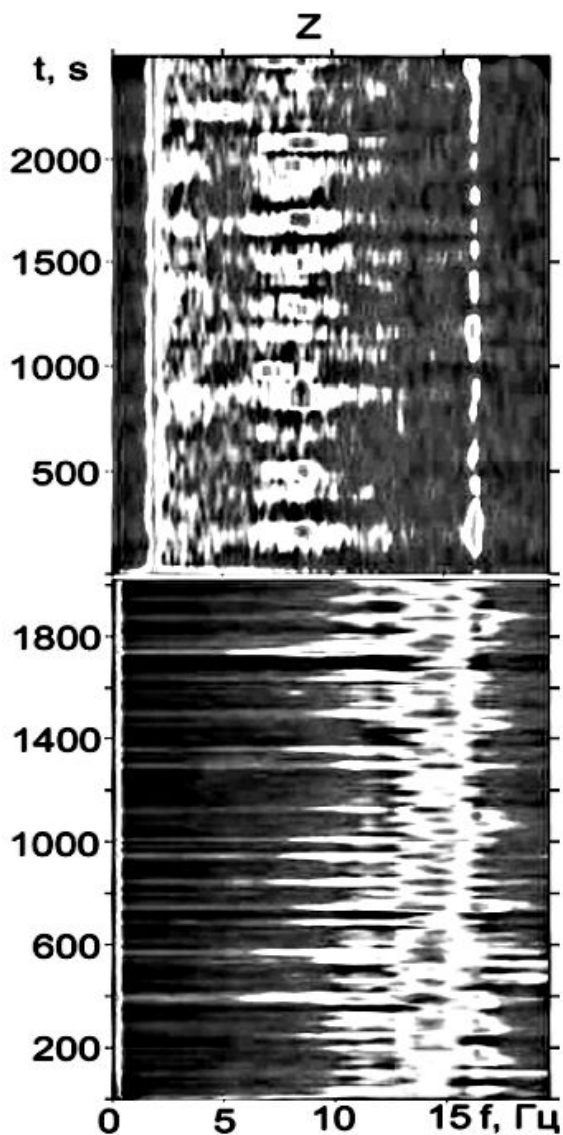


Рис. 1. Спектрально-временные диаграммы вертикальной компоненты (Z) целого (верхняя диаграмма) и разрушенного (нижняя диаграмма) зданий.

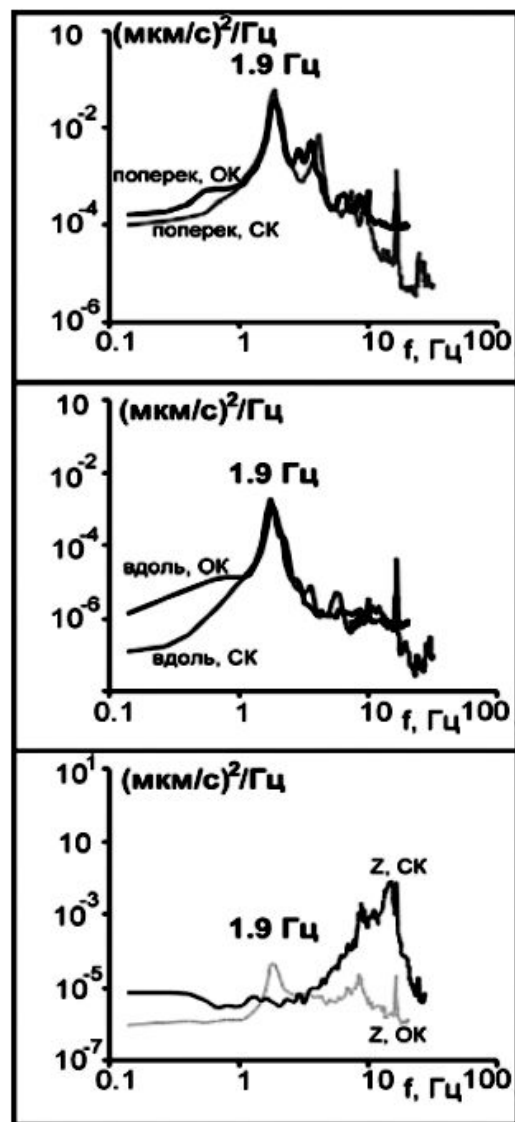


Рис. 2. Спектры записей в разрушенном и соседнем целом здании на 9-этаже, СК и ОК – ул. Советские Космонавты и Обводный канал.



Рис.3. Пример использования сейсмостанции для регистрации микросейсмы: геофон 4,5 Гц (желтого цвета), 24-битное устройство записи (с надписью 604)

По нашей методике в исследуемом здании будут установлены по 3 датчика на подвальном помещении (или на первом этаже), также и на верхнем этаже, при этом 1



датчик будет установлен снаружи здания. В целом будет не менее 7 точек измерений в здании. Запись микросейсм проводится с продолжительностью не менее 1 часа, а в некоторых зданиях возможно регистрация микросейсм будет продолжаться до утра следующего дня. Записи корректируются и проходят фильтрацию данных ниже 0,5 Гц. Спектральный анализ проводится для предварительного определения основных собственных частот колебаний здания. Для вычисления спектров Фурье записанный шум разделяется на окна длиной около 160 сек, перекрытием в 50% и применением косинус-синуса на обоих концах.

Микросейсм, иногда даже землетрясения вызываются техногенными факторами. В июле-августе 2015 года в жилом массиве «Ала-Тоо» г. Бишкек шел капитальный ремонт центральной дороги, дорога строилась практически заново. Работали дорожно-строительные машины – автогрейдеры, экскаваторы, дорожные виброролы (Рис. 4.) и др. техника. Эти машины вызывали вибрацию домов, т.к. дома близко расположены от дороги – от 3 до 10 м.



Рис.4. Наблюдение микросейсм в доме ж/м «Ала-Тоо» г.Бишкек: слева – воздействие на дом при работе дорожного виброролы LluGong CLG 616; справа - схема установки сейсмостанций и точки измерения микросейсм дома.

Особенно сильные вибрации возникали, когда возле домов работали дорожные виброролы. Было решено использовать этот случай и вести предварительные исследования микросейсм одного из домов жилмассива. На рис. 5. показаны фрагменты записи колебаний исследуемого 2-х этажного дома. Как показали наши исследования, при работе машин вблизи дома, амплитуда активных микросейсм здания резко повышаются. Виброускорения грунта, следовательно и фундамента здания, возникающие при работе виброролы оказывают достаточно ощутимые и даже вредное воздействие для жилых домов. Так, при работе одного дорожного виброролы типа LluGong CLG 616 или LTC 212, дома подвергались колебаниям, эквивалентным действия землетрясения силой 1-2 балла, а при одновременной параллельной работе двух таких машин сейсмические воздействия достигали до 3-4 балла по MSK-64. Вредность повышается тем, что в отличие от землетрясения длительность таких колебаний домов составляет от 3 до 5 мин, причем это повторяется в течение нескольких дней, пока дорожное полотно, а затем и покрытие дороги не будут вытрамбованы до кондиции.

Таким образом, исследование микросейсм зданий и сооружений позволяет судить об их конструктивной целостности и сейсмостойкости. При проектировании и строительстве следует учесть особенности геологической среды и ее изменения под влиянием деятельности человека. Кроме сейсмических и ветровых воздействий, учитываемых СНиП, на здание действуют слабые колебания от инженерных коммуникаций, транспорта и др. Нормами (СНиПы) ограничивается допустимый уровень создаваемых ускорений, но детальный анализ колебаний (источников, дальности действия,

временного хода) практически не ведется. Это является упущением, что проявляется в различии измеряемых и расчетных ускорений.

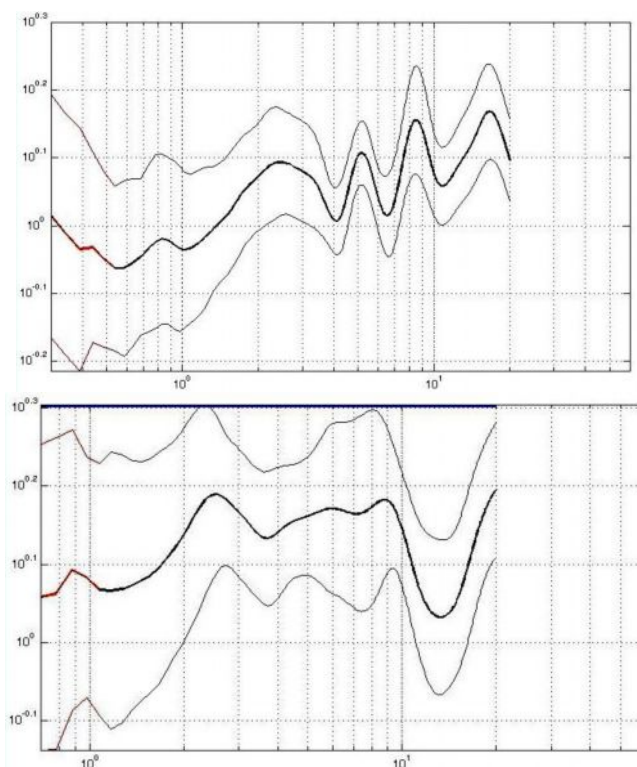


Рис. 5. Пассивные (в естественном состоянии покоя, слева) и активные микросейсмы (при работе машин, справа) жилого дома в ж/м «Ала-Тоо» г. Бишкек

### Список литературы

1. СНиП КР 20-02:2009. Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования [Текст]. – Бишкек: Госстрой КР, 2009. – 103 с.
2. Маматов Ж.Ы. Анализ результатов серии экспериментов малоэтажных зданий, проведенных на сейсмоплатформе КГУСТА им. Н.Исанова [Текст] / Ж.Ы. Маматов, Ж.Ш. Кожобаев, Б.С.Матозимов, Б.С.Ордобаев // Вестник КГУСТА. - 2013. - №3(41), - С.219-225.
3. Юдахин Ф.Н. Применение микросейсмических технологий для исследования геологической среды и конструктивной целостности зданий. Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы [Текст] / Ф.Н.Юдахин, Н.К. Капустян, Г.Н.Антоновская, Е.В.Шахова // Под ред. Н.В.Шарова, А.А.Маловичко, Ю.К.Щукина /// Кн.2: Микросейсмичность. -Петрозаводск: КарНЦРАН, 2007.-С.34-47.
4. Селезнев В.С., Еманов А.Ф. и др. Способ определения физического состояния зданий и сооружений [Текст] / Патент RU.2140625C1, 17.02.98, бюлл. №30. - 27.10.1999.
5. Еманов А.Ф. Технология диагностики и мониторинга состояния строительных конструкций на основе исследования микросейсмических колебаний [Электронный ресурс] / А.Ф. Еманов, Л.А. Складов // Алтай-Саянский фил. Геофиз. службы СО РАН /// Предотвращение аварий зданий и сооружений: Эл. журнал. - Новосибирск: 2009. – 8 с. Режим доступа: <http://www.pamag.ru/pressa/tech-diagnoz>.
6. Каррыев Б. Вот пришло землетрясение. Гипотезы, Факты, Причины и Последствия: научно-популярная книга о землетрясениях и связанных с ними явлениях природы [Электронный ресурс] / Б. Каррыев. - SIBIS, 2009. - 410 с. Режим доступа: <https://sites.google.com/site/2009earthquake/content-of-earthquake>.

