

КӨТӨРҮМДҮҮЛҮК ДЕФИЦИТИ БАР УЧУРДАГЫ ҮЙЛӨРДҮН СЕЙСМИКАЛЫК БЕКЕМДИГИН БААЛОО

К.Т.Канболотов⁽¹⁾

⁽¹⁾ КР Мамкурулушунун Мамлекеттик сейсмостуруктуу курулуш жана инженердик долбоорлоо институту, Эл аралык инновациялык технологиялар университети, seysmika_001@mail.ru

Аннотация: Макалада учурдагы имараттардын сейсмикалык туруштуулугун баалоо маселеси каралган. 2018-жылы иштелип чыккан курулуш нормаларынын негизинде “сейсмостуруктуулук коэффициенти” термини киргизилген. Анын тегерегиндеги түшүнбөстүктөрдү жоюу максатында анализ жасалып, тиешелүү маалыматтар каралды. Имараттардын көтөрүмдүүлүк дефицитин аныктоо үчүн дүйнөлүк практикада колдонулуучу пушвер анализи жөнүндө кыскача маалыматтар берилди.

ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ УЯЗВИМОСТИ ЗДАНИЙ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ ЗАСТРОЙКИ С ДЕФИЦИТОМ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ

К.Т.Канболотов⁽¹⁾

⁽¹⁾ Государственный институт сейсмостойкого строительства и инженерного проектирования Госстроя КР, Международный университет инновационных технологий, seysmika_001@mail.ru

Аннотация: В статье рассмотрена задача оценки сейсмостойкости зданий существующей застройки. В строительных нормах разработанные в 2018 году введен термин «коэффициент сейсмостойкости». В целях решения вопросов относительно данного коэффициента выполнена анализ и рассмотрены необходимые материалы. Даны краткие информации об оценке дефицита несущей способности зданий пушвер анализом, которая применяется в мировой практике.

DEFICIENCY-BASED ASSESSMENT OF SEISMIC VULNERABILITY OF THE EXISTING BUILDINGS

К.Т.Канболотов⁽¹⁾

⁽¹⁾ State Institute of Earthquake-proof Construction and design, International Innovational Technology University, seysmika_001@mail.ru

Abstract: The assessment of existing anti seismic buildings is investigated in the given article. The term "coefficient anti seismic" worked out in 2018 is introduced into a building code. In an effort to solve the tasks of the given coefficient the analysis is carried out and necessary materials are viewed. Short information about the assessment of building deficiency capacity by pushover analysis, which is used in a world practice is given.

Введение: Сейсмическая опасность в Кыргызской Республике является объективной реальностью. Территория Кыргызской Республики относится к зоне высокой сейсмической активности и характеризуется в основном 8-9 и более 9-балльной сейсмичностью. В стране ежегодно регистрируется около 3000 землетрясений. Прошло более 7 лет, когда расчетная сейсмичность территории Кыргызской Республики увеличилась с 7-8 до 8-9 и более 9 баллов. На рис. 1 и рис. 2 приведены карты сейсмического районирования Кыргызской Республики. Это привело к тому, что большой объем зданий и сооружений, построенных по старым нормам, оказался с дефицитом сейсмостойкости в 1-2 балла. В тоже время сейсмическая активность в республике значительно увеличилась. Произошли несколько разрушительных землетрясений, последние из них Суусамырское (1992) и Алайское землетрясения (2008) другие унесшие десятки человеческих жизней [1].

С каждым разом разрабатываются новые строительные нормы, в которых ужесточаются требования к проектированию и строительству, с выходом новых строительных норм строятся более сейсмостойкие объекты. Однако вызывает беспокойство сейсмическая уязвимость зданий и сооружений, которые построены согласно требованиям старых строительных норм, так как большинство объектов соцкультбыта, в том числе школьные здания и жилищный фонд страны построены без учета требований новых строительных норм.

Основной задачей данной статьи является оценка сейсмостойкости зданий существующей застройки построенные согласно требованиям старых норм.

Область исследования: Анализ исследований сотрудников Института сейсмологии НАН КР по оценке сейсмической опасности территории республики показали, что около 25 % территории страны попали в зоны, где их сейсмичность увеличилась. Данные оценки выше нормативных на 1-1,5 балла. Ряд объектов соцкультбыта и жилой застройки оказались в зоне повышенной сейсмичности и их проектирование осуществлено без учета реальной сейсмичности строительной площадки, что вызывает серьезное беспокойство.

В 2018 году при разработке СН КР 20-02:2018 “Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования” введена в действие карта пиковых ускорений в скальных грунтах для горизонтальной составляющей сейсмических колебаний на территории Кыргызстана (Рис.3). По приведенным данным карты значения расчетных ускорений в долях g для районов сейсмичностью 8 баллов значения коэффициента сейсмичности A в диапазоне $0,21 \div 0,4$ оказались выше, чем применялось при инженерных расчетах согласно старых СНиП КР 20-02:2009. Это привело к дефициту несущей способности конструкций зданий и сооружений существующей застройки [19].

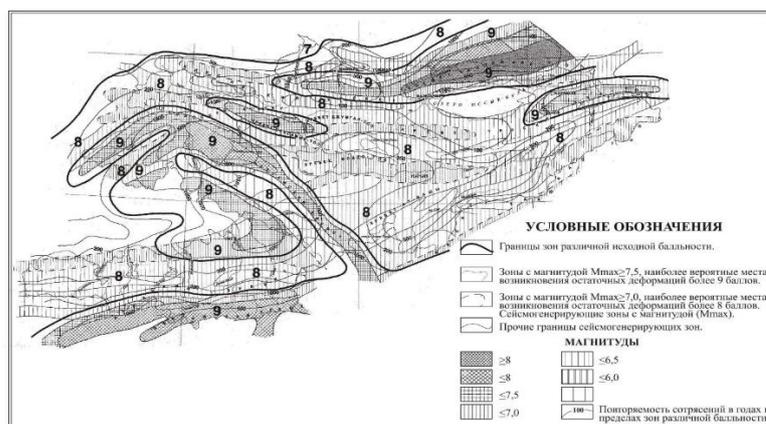


Рис.1. Карта сейсмического районирования территории Кыргызской Республики (1996)

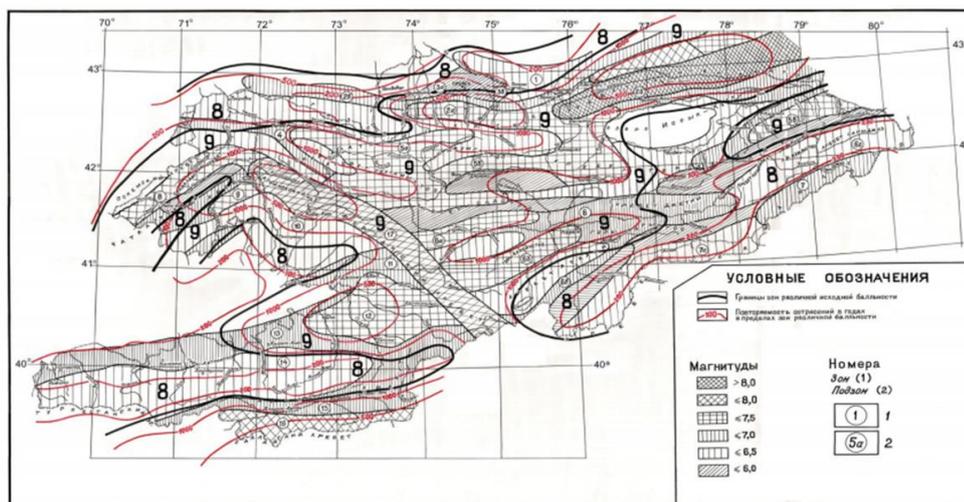


Рис.2. Карта сейсмического районирования территории Кыргызской Республики (2011)

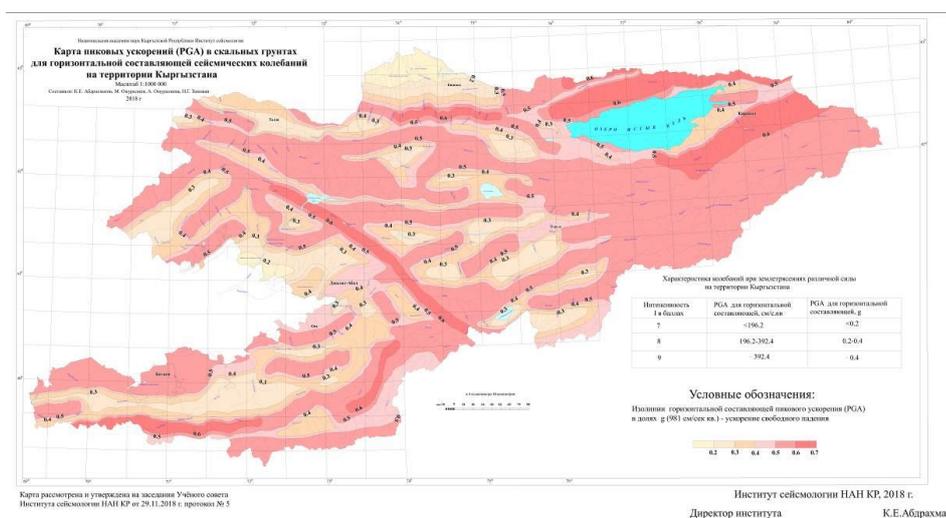


Рис.3. Карта пиковых ускорений в скальных грунтах для горизонтальной составляющей сейсмических колебаний на территории Кыргызстана (2018)

Для решения указанной задачи при разработке СН КР 22-01:2018 «Оценка сейсмостойкости зданий существующей застройки», приняты ряд новых положений. Необходимо применять методику по проведению инженерных обследований с учетом требований международных норм зарубежных стран.

Для оценки сейсмостойкости зданий существующей застройки с дефицитом несущей способности конструкций здания введена методика определения коэффициента сейсмостойкости r_s , который определяется по формуле:

$$r_s = \frac{C}{D}, \quad (1)$$

где C – показатель, характеризующий фактическую расчетную несущую способность рассматриваемой конструктивной системы или её элементов;

D – показатель, характеризующий требуемую по действующим нормам расчетную несущую способность рассматриваемой конструктивной системы или её элементов.

В качестве показателей C и D могут приниматься:

- величины поэтажных сейсмических нагрузок на здание;
- величины поперечной силы в основании здания или в уровне рассматриваемого этажа;
- величины усилия от сейсмических нагрузок в сечениях конструкций.

Здания существующей застройки следует считать сейсмостойкими, если их конструктивные решения соответствуют обязательным конструктивным требованиям действующих норм, а коэффициент r_s имеет значение, превышающие указанные в таблице 1.

Т а б л и ц а 1. Значения коэффициента r_s для зданий и сооружений

| Характеристика зданий и сооружений | Значения коэффициента r_s |
|---|---|
| 1 Здания и сооружения, повреждения которых способны вызвать экологические последствия; здания и сооружения, в которых остаточные деформации и локальные повреждения конструкций (осадки, трещины и др.) не допускаются | 1,0 |
| 2 Особо ответственные здания и сооружения (административные, общественные и производственные) | |
| 3 Здания и сооружения, функционирование которых необходимо при ликвидации последствий землетрясений и для защиты населения (системы пожаротушения, сооружения связи, здания органов национальной безопасности и внутренних дел, здания и сооружения организаций по ликвидации чрезвычайных ситуаций, здания больниц с травматологическими и хирургическими отделениями и т.п.) | 0,8 |
| 4 Здания и сооружения, эксплуатация которых связана с длительным скоплением в них большого количества людей (большие и средние вокзалы, крытые стадионы, концертные залы и другие зрелищные сооружения); здания музеев; памятники, представляющие большую художественную и историческую ценность | |
| 5 Здания дошкольных учреждений, школ, высших учебных заведений, больниц, домов престарелых и т.п. | 0,5 |
| 6 Здания и сооружения (жилые, административные, общественные, производственные, сельскохозяйственные и т.п.), не указанные в позициях 1-5 и 7 | |
| 7 Малоответственные здания и сооружения, повреждения которых не представляют угрозы для безопасности людей, не сопровождаются порчей ценного оборудования, не вызывают прекращения непрерывных технологических процессов или загрязнения окружающей среды (некоторые небольшие одноэтажные сельскохозяйственные и складские постройки, временные одноэтажные сооружения, легкие открытые летние павильоны и т.п.) | без учета сейсмических воздействий (по согласованию с заказчиком) |

Здания существующей застройки следует считать не сейсмостойкими, если их конструктивные решения не соответствуют обязательным конструктивным требованиям

действующих норм, а коэффициент r_s имеет значение меньше, приведенных в таблице 1 [20].

Предпосылки к пушOVER анализу. В новой редакции СН КР 22-01:2018 приведен новый для страны метод пушOVER анализа конструкций здания. Упрощенный нелинейный статический расчет – это расчет, выполняемый при постоянных собственных нагрузках и монотонно возрастающих горизонтальных нагрузках (далее – пушOVER анализ). Он может применяться для проверки характеристик конструктивных систем вновь проектируемых и существующих зданий, оценки сейсмостойкости.

Используя методы нелинейного расчета, можно определить критические участки конструкций здания, потенциально подверженные серьезным деформациям и повреждениям, которым нужно уделить особое внимание на стадии проектирования или усиления. Такие методы позволяют получить более реалистичные оценки нагрузок на потенциально хрупкие элементы и более реалистичные оценки деформаций пластичных элементов конструкции, которые предположительно подвергнутся неупругой деформации (по сравнению с методами линейного расчета). Главной особенностью нелинейного расчета является возможность смоделировать нелинейное поведение ключевых структурных компонентов, которое обычно описывается предопределенным соотношением напряжение–деформация или усилие–деформация.

Принцип пушOVER анализа заключается в приложении статической горизонтальной силы к расчетной модели конструкции до тех пор, пока не будут достигнуты фактические показатели. Проводится постоянный мониторинг деформаций и внутренних сил здания при поперечном перемещении конструктивной модели. ПушOVER анализ представляет собой метод, основанный на перемещениях, где основным параметром расчета является поперечное перемещение здания (d), обычно проверяемое на уровне покрытия. На рисунке 4 а) представлено здание, подвергаемое постепенно возрастающей поперечной нагрузке. Результирующая нагрузка равна сейсмической сдвигающей силе в основании V . На соответствующей диаграмме соотношение нагрузки и перемещения (b) показаны упругая (линейная) и неупругая (нелинейная) реакции в виде *кривой несущей способности*. Кривая несущей способности отражает сдвигающую силу в основании как функцию общего перемещения конструкции (как правило, на уровне покрытия) и представлена на рисунке 5. Кривая несущей способности является ключевым результатом расчета пушOVER анализа и описывает сейсмостойкость здания в условиях допустимого распределения поперечной нагрузки. *Критическое перемещение* представляет собой точку на кривой несущей способности, которая определяет максимально возможное перемещение в конструкции на определенном уровне сейсмической опасности (следовательно, эта точка устанавливает соотношение между сейсмостойкостью здания и сейсмической опасностью). Расположение критического перемещения относительно заданных уровней функционирования на кривой несущей способности, например, относительно уровня безопасности жизни людей, показывает, была ли достигнута заданная функциональная характеристика. Например, критическое перемещение, представленное на рисунке 5, выходит за рамки перемещений, соответствующих уровню безопасности жизни людей, следовательно, функциональность такой конструкции соответствует уровню предотвращения обрушения.

При проведении пушOVER анализа численная модель здания подвергается воздействию монотонно увеличивающейся поперечной нагрузке до тех пор, пока не будет достигнуто критическое перемещение цели или здание не обрушится (ASCE/SEI 41-13, FEMA 356, FEMA 273) [8, 10, 11]. Критическое перемещение можно рассчитать любым методом, учитывающим нелинейное поведение и эффект затухания. В рамках ASCE/SEI 41-13 (ASCE/SEI 2014) для оценки критического перемещения используется метод коэффициента перемещения. Критическое перемещение также можно определить

по методу спектра несущей способности, также известному как метод спектров реакций ускорений-перемещений (ADRS) (ATC-40, 1996) [9].

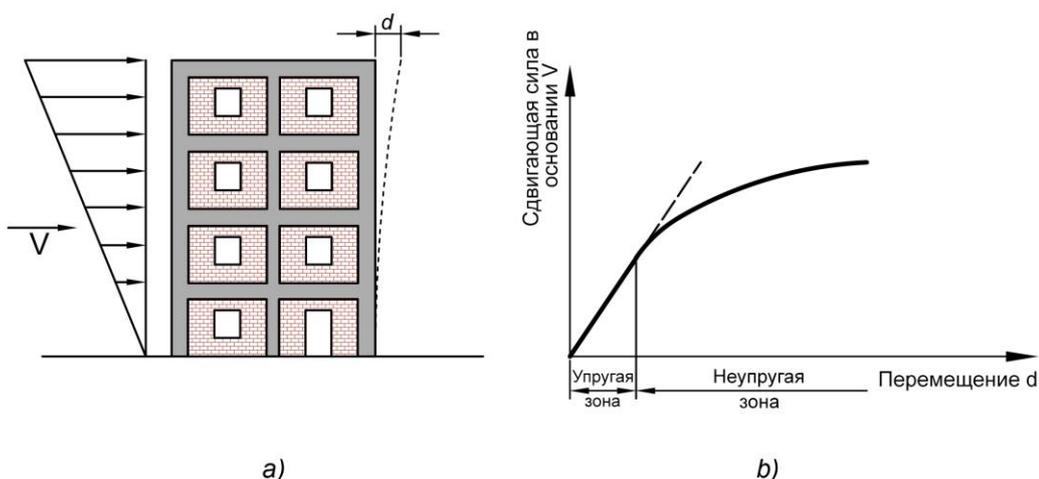


Рис.4. Расчет на основе пушвер анализа (на основании работы Меслема, 2014)

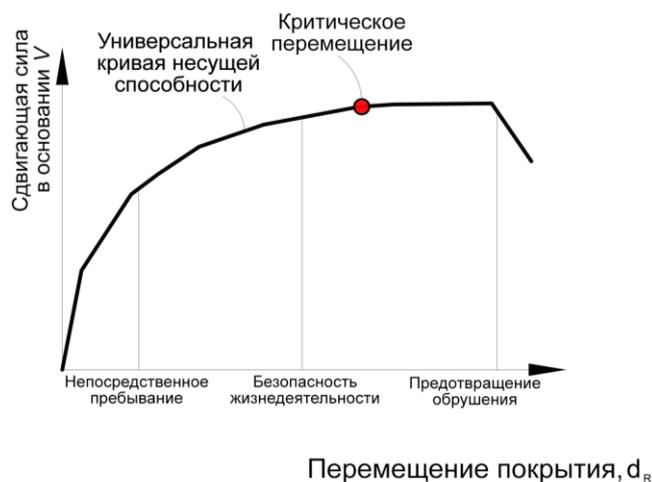


Рис.5. Образец кривой несущей способности для здания с указанием возможного критического перемещения относительно установленных уровней функционирования

Пушвер анализ имеет две основные особенности: а) нелинейное поведение нагрузка–деформация отдельных компонентов и элементов моделируется непосредственно в численной модели, и б) сейсмическое воздействие измеряется на основании критического перемещения. Пушвер анализ позволяет инженеру-конструктору определить стадии наиболее вероятного прогрессирующего разрушения здания и механизм окончательного разрушения. Пушвер анализ особенно полезен для исследования зданий существующей застройки, поскольку с его помощью можно определить потенциально слабые участки конструкции и прогрессирование повреждений основным элементов конструкции.

Ограничением для использования пушвер анализа является его неспособность учитывать воздействие более высоких форм колебаний, поэтому этот метод не подходит для расчета высотных зданий, на которые более высокие формы колебаний могут оказывать существенное воздействие.

Объяснение принципов и применения метода пушвер анализа приводится в источниках FEMA 273 и 274 (1997), ATC-40 (1996), работы Кюннета (2006), Наима (2001) и Фардиса (2009).

Закключение: Согласно анализам усиления существующих зданий в Кыргызской Республике обходятся большими финансовыми затратами. Усиление всех зданий построенные по требованиям до действия СНиП 20-02:2009 практически не реализуемая задача и нет необходимости усиления всех зданий.

Оценка сейсмостойкости зданий существующей застройки с дефицитом несущей способности методом определения коэффициента r_s показывает, что не все здания, построенные до 2018 года, требуют усиления. Определение коэффициента сейсмостойкости r_s является минимально необходимым для обеспечения безопасности людей при землетрясениях. Однако по заданию заказчика или по предложению проектировщика уровень расчетных сейсмических нагрузок и конструктивных мероприятий может быть повышен не зависимо от результатов расчета.

Требуется апробация пушOVER анализа при обследовании зданий существующей застройки. При этом определить стадии наиболее вероятного прогрессирующего разрушения здания и механизм окончательного разрушения.

Список литературы:

- [1]. Brzev, S., Begaliev, U.T. (2018) *Practical seismic design and construction manual for retrofitting schools in the Kyrgyz Republic*. Светлана Бржев, Улугбек Бегалиев (2018) [Практическое пособие по проектированию и конструированию сейсмоусиления зданий школ в Кыргызской Республике]
- [2]. *Рекомендации по восстановлению и усилению полносборных зданий полимеррастворами*. ТбилЗНИИЭП Госкомархитектуры. Москва Стройиздат 1990г.
- [3]. Абдыкалыков А.А, Бегалиев У.Т. Разработка классификации зданий существующей застройки к модели землетрясения Центральной Азии. /Вестник Международной ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству. № 1/2016 (1). Бишкек 2016 г. С. 47-55.
- [4]. Шокбаров Е.М. Инженерный анализ последствий землетрясений на территории Республики Казахстан. /Вестник Международной ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству. № 1/2016 (1). Бишкек 2016 г. С. 105-114.
- [5]. Канболотов К.Т. Взаимодействия волн напряжений при сейсмических воздействиях с протяженными сооружениями. /Труды международной научной конференции «Рахматулинские чтения». Бишкек 2011 г. С.237-240.
- [6]. Иманбеков С.Т., Бегалиев У.Т., Канболотов К.Т. Разработка карты сейсмического риска зданий и сооружений, расположенных на территории КР /Труды международной научной конференции «Рахматулинские чтения». Бишкек 2011 г. С.310-314.
- [7]. Канболотов К.Т. Классификация зданий по Европейской макросейсмической шкале (EMS-98). /Научный и информационный журнал «Материаловедение», труды I международной межвузовской научно-практической конференции-конкурса научных докладов студентов и молодых ученых «Инновационные технологии и передовые решения». Бишкек 2013 г. С.276-278.
- [8]. ASCE/SEI (2014). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*. ASCE standard ASCE/SEI 41-13, American Society of Civil Engineers, Reston, VA, USA. [Стандарт ASCE/SEI 41-13 (2014). Сейсмическая оценка и усиление зданий существующей застройки. Стандарт ASCE/SEI 41-13, Американское общество инженеров-строителей, Рестон, Вирджиния, США]
- [9]. ATC-40 (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings (ATC-40), Volume 1*. Applied Technology Council, Redwood City, California, USA. [Стандарт ATC-40 (1996). Сейсмическая оценка и усиление бетонных строений (ATC-40), Том 1. Совет по прикладным технологиям, Редвуд-Сити, Калифорния, США]

- [10]. FEMA 273 (1997). *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA 273)*. Washington D.C., USA. [FEMA 273 (1997). *Руководство по восстановлению строений после землетрясения Национальной программы по снижению уровня сейсмической опасности (FEMA 273)*, г. Вашингтон, США]
- [11]. FEMA 356 (2000). *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA 356)*. Washington D.C., USA. [FEMA 356 (2000). *Предварительный стандарт и пояснения по восстановлению строений после землетрясения (FEMA 356)*, г. Вашингтон, США]
- [12]. Meslem, A. (2014). *Nonlinear Static Analysis. Indo-Norwegian Training Programme on Nonlinear Modelling and Seismic Response Evaluation of Structures, Indian Institute of Technology Roorkee, India*. [Меслем, А. (2014). *Расчет нелинейным статическим методом. Индийско-норвежская учебная программа по нелинейному моделированию и оценке сейсмических реакций конструкций. Индийский институт технологий, Рурки, Индия*]
- [13]. Naeim, F. (2001). *The Seismic Design Handbook, 2nd Edition, Kluwer Academic Publisher, USA*. [Наим, Ф. (2001). *Справочник по проектированию сейсмостойких конструкций. 2-е издание, издательство Kluwer Academic Publisher, США*]
- [14]. *Пространственные конструкции зданий и сооружений. Выпуск 11. Межрегиональная общественная организация «Содействие развитию и применению пространственных конструкций в строительстве».* Москва 2008 г.
- [15]. *Отчет по теме: «Подготовка инженерных групп для оперативного обследования в зонах катастроф».* Шифр 6-Н/97. КыргызНИИПС Бишкек 1997 г.
- [16]. *Методическое пособие «Строительство индивидуальных жилых домов в зонах сейсмической опасности Кыргызской Республики».* КыргызНИИПСС Бишкек 2002.
- [17]. *Проектирование и строительство зданий и сооружений в сейсмических районах.* Автор: А.И. Мартемьянов. Москва Стройиздат 1985 г.
- [18]. *Международная шкала сейсмической интенсивности MSK-64.*
- [19]. СН КР 20-02:2018 «Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования», введенные в действие с 01.03.2019 г. приказом Госстроя КР от 31.12.2018г. №32.
- [20]. СН КР 22-01:2018 «Оценка сейсмостойкости зданий существующей застройки», введенные в действие с 01.03.2019 г. приказом Госстроя КР от 31.12.2018г. №31.
- [21]. СН КР 31-02:2018 «Проектирование и застройка территорий города Бишкек и сел, примыкающих к Ысык-Атинскому разлому», введенные в действие с 01.03.2019 г. приказом Госстроя КР от 31.12.2018г. №33.
- [22]. СНиП КР 31-01:2001 «Перепрофилирование помещений жилых зданий существующей застройки».
- [23]. *Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики. Департамент мониторинга, прогнозирования чрезвычайных ситуаций Министерства чрезвычайных ситуаций Кыргызской Республики.* Бишкек 2012 г.
- [24]. *Государственная программа Кыргызской Республики «Ремонт и реконструкция школ и дошкольных образовательных организаций» по проекту ЮНИСЕФ «Снижение уязвимости детей к бедствиям в Кыргызской Республике»*