

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ СЕЙСМОДИНАМИКИ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ И НАПРАВЛЕНИЕ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

MODERN PROBLEMS OF SEISMODYNAMICS UNDERGROUND PIPELINE SYSTEMS AND DIRECTION FOR FURTHER RESEARCH

Бүткүл дүйнөлүк жана Эл аралык конференциялардын материалдарына караганда жер астындагы курулмалардын бышыктыгынын актуалдуулугу билинди - курулмалар активдүү жаракалар, күрткүлөр, сууга каныккан кыртыштар аркылуу өткөндө бул факторлор жер астындагы курулмалар үчүн негизги аныктоочу факторлор болуп калат. Жер титирегенге туруктуулугун камсыз кылуу боюнча чаралар да сунушталды. Жер астынан татаал түтүк өткөргүч системаларынын сейсמודинамикалык теориясынын илимий негиздери жана мындан аркы изилдөөлөрдүн башкы багыты болуп калуучу азыркы күндөгү актуалдуу изилдөөлөрдүн абалы кыскача баяндалды.

***Ачкыч сөздөр:** жер астындагы түтүк өткөргүчтөр, сууга каныккан кыртыш, өз ара карым-катыш коэффициенти, сейсмикалык таасир, НДС, туруктуулук.*

По материалам Всемирных и Международных конференций на подземные сооружения выявлена актуальность поведения подземных сооружений, когда они проходят через активные разломы, обвалы, водонасыщенные грунты и т.д. – факторы могут оказаться определяющими в поведении подземных сооружений. Даны меры по обеспечению их сейсмостойкости. Вкратце изложены научные основы сейсמודинамической теории сложных подземных трубопроводных систем и состояние актуальных исследований на сегодняшний день, которые являются направлениями дальнейших исследований.

***Ключевые слова:** подземный трубопровод, водонасыщенный грунт, коэффициент взаимодействия, сейсмическое воздействие, НДС, устойчивость.*

According to the materials of the World and International Conferences on underground structures identified the relevance of the behavior of underground structures as they pass through the active faults, landslides, water saturated soils, etc. These factors may prove to be decisive in the behavior of underground structures. There are measures to ensure their seismic stability. Summarized the scientific basis seismodynamic theory and state of current research which is the direction of our future research.

***Keywords:** underground pipeline, water-saturated soil, the interaction coefficient, seismic action, VAT, stability.*

Бурный рост городов и их урбанизация позволили расширить строительство сетей подземных систем жизнеобеспечения, тем самым стало уделяться большое внимание оценке сейсмической уязвимости систем жизнеобеспечения, особенно в последние годы. К настоящему времени почти одна треть объема всего строительства в мире приходится на подземные инженерные сети систем жизнеобеспечения.

На сегодняшний день проведен тщательный сбор информации [1–3] о повреждениях в системе жизнеобеспечения при землетрясениях и их последующий анализ с целью установления характера и критериев повреждаемости объектов, в основном трубопроводов с различными характеристиками. Обобщены обширные эмпирические, теоретические и

экспериментальные исследования о поведении трубопроводов различного назначения при сейсмических воздействиях. Нарушения в работе инженерных сетей систем жизнеобеспечения наблюдались и в крупных городах технически развитых стран, где проектирование и строительство было проведено в соответствии с нормами и рекомендациями, основанные на современных теориях сейсмостойкости. Отмечаются сведения о повреждаемости и разрушениях подземных сооружений во время землетрясений: Сан-Франциско (1906), Ниагата (1964), Сан Фернандо (1971), Nihonkai-chubu (1983), Loma Prieta (1989), Kushiro-oki (1993), Northridge (1994), Hyogoken-nanbu (1995), Tokachioki (2003), Niigataken-chuets (2004) и Крайстчерч (2011). Основные виды повреждений трубопроводов: поднятие, оседание, отклонение, изгибы (повороты) и разрушение узлов наблюдались в глинистых, торфяных и песчаных грунтах. Эти повреждения больше носят качественное, чем количественное описание повреждений. Максимальная высота поднятых колодцев во время землетрясения Ниигата составила примерно 1,3 м. Исследования показали, что главной причиной подъема является разжижение окружающей среды. Вдобавок ко всему, поднятые канализационные колодцы оказывали серьезные помехи движению транспорта во время спасательных и восстановительных работ [1–3].

Пятьдесят лет назад, когда только начинала формироваться динамическая теория сейсмостойкости подземных трубопроводов, сведений о повреждениях и разрушениях подземных сооружений при землетрясениях практически не было. Имелись единичные данные о последствиях землетрясений в Японии, США, Турции, Туркмении (Ашхабад), Узбекистане (Ташкент) и др. Это объяснялось еще тем, что в то время протяженность подземных трубопроводов в сейсмоактивных зонах была сравнительно невелика, поэтому обнаружить их повреждения было маловероятно и затруднительно. На сегодняшний день основные идеи, разработанные в рамках этой теории [4], стали классическими.

Данная теория основана на взаимном смещении трубы относительно окружающего грунта при распространении сейсмического воздействия вдоль оси трубопроводов, что привело при определении напряжений и перемещений к неучету таких важных факторов как диаметр трубы, толщина ее стенок, глубина заложения, распределение напряжений по длине подземного трубопровода при землетрясениях. В рамках данной теории получены уравнения движения сложных систем как ортогонально и центрально, так и неортогонально и нецентрально стыкуемых подземных сооружений при сейсмических воздействиях. Сначала принимается, что вдоль координатных осей (в положительном и отрицательном направлениях) пространственной ортогональной системы координат ($Oxyz$) проложены трубопроводы (сооружения) различных сечений, диаметров и жесткостей и что в зоне начала координат расположен сложный узел системы. Предполагается, что сейсмическое движение грунта происходит вдоль одной оси x . Трубопроводы, проложенные вдоль этой оси, считаются основными. В таком предположении трубы y и z ($-y$ и $-z$) совершают поперечные колебания, трубы x и ($-x$) кроме продольных, совершают и поперечные колебания в направлениях y и z ($-y$ и $-z$).

Дифференциальные уравнения как для поперечных, так и для продольных движений трубопроводов, написанные в абсолютных или относительных координатах, аналогичны соответствующим уравнениям поперечных и продольных колебаний балок с учетом соответствующих контактных взаимодействий с окружающим грунтом. Рассматриваются различные модели грунта и законы взаимодействия поверхности сооружений с грунтом. Приведены условия динамического равновесия (сопряжения) сложного узла с системой трубопроводов и краевые условия для сложного узла. Определены все силовые факторы через соответствующие перемещения и повороты. Приведены все необходимые кинематические условия как при учете податливости, так и при жестком соединении трубопроводов со сложным узлом.

Динамическая задача сложной системы подземных сооружений существенно упрощена и сведена к задаче о независимом продольном движении основного трубопровода с приведенными условиями сопряжения сложного узла и простых стыков. С достаточной

точно можно принимать, что относительные поперечные смещения трубопроводов на достаточном расстоянии от узла малы по сравнению с амплитудами колебания почвы, поэтому для поперечных движений труб достаточно принимать граничные условия на других концах как равенство нулю относительных перемещений на бесконечности. Также с достаточной точностью можно пренебречь силой инерции относительных поперечных движений трубопроводов из-за ее малости по сравнению с остальными членами уравнения движений. Эти два положения обосновываются и они существенно упрощают задачу, т.к. упрощается определение поперечного перемещения труб и использование всех кинематических условий [4].

Многие объекты в Узбекистане, в частности, метрополитен Ташкента и подземные трубопроводы различного назначения построены с использованием результатов этой теории, на что имеется ряд авторских свидетельств и проектных решений. Также они явились основой нормативного документа КМК 2.01.03-96 «Строительство в сейсмических районах» Узбекистана, раздел IV «Подземные сооружения и инженерные сети».

Приведем обстоятельства, влияющие на поведение подземных сооружений при землетрясениях, общую оценку причин повреждения подземных сооружений при землетрясениях и их отличие от наземных, то здесь можно говорить об установлении некоторой общей консолидированной точки зрения, суть которой сводится к следующему:

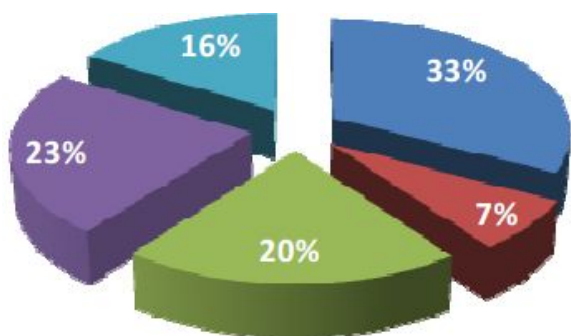
- Избыточные осевые и изгибные напряжения и деформации в трубопроводах, возникающие в основании вследствие разности фаз и шага формы волны между двумя точками. В трубопроводе возникают значительные по величине напряжения сжатия – растяжения, приводящие к его разрушению. Сейсмические повреждения такого типа возникают, как правило, вблизи эпицентра, где амплитуда смещения грунта в сейсмической волне велика. Однако в данном случае многое зависит от степени заземления трубопровода в грунте.

- Сейсмические повреждения подземных трубопроводных систем вызваны преимущественно движением сооружения относительно грунта и образованием разломов, разжижением грунтов или различной жесткостью двух смежных горизонтальных слоев грунта (когда труба проходит от твердого грунта к мягкому), именно в районах перехода.

- В отличие от наземных сооружений силы инерции труб не являются главной причиной повреждения подземных труб. Основной причиной повреждений являются относительные перемещения грунта и трубы (особенно в условиях разжижения или смещения грунта по разлому). Кроме того, хотя изгибные деформации имеют место, осевые деформации являются преобладающими; и когда труба связывает две точки с различными характеристиками грунта или пересекает разрыв, появление сейсмических повреждений более вероятно. Повреждение одного наземного сооружения ограничивается только им одним, а повреждение определенного места в сети труб будет влиять на другие части системы.

- Когда исключаются разлом грунта или сильный оползень, существуют два типа причин повреждений подземных труб. Одной является деформирование вследствие распространения сейсмических волн, а другой – осевое деформирование, вследствие относительных движений трубы и грунта. Сейсмические повреждения из-за осевых деформаций вследствие относительного движения трубы и грунта встречаются, когда труба переходит от твердого грунта к мягкому, и именно в районах перехода. Эти положения также отмечены в наших ранее приведенных исследованиях.

Как видно, складывающаяся в мировой практике точка зрения на причины возрастающей аварийности подземных систем жизнеобеспечения полностью подтверждает все основные положения [4], сформулированные нами ранее в качестве фундамента исследований сейсмостойкости подземных сооружений, расположенных в аномальных грунтовых условиях.



- повреждения непрерывных трубопроводов при сильных колебаниях грунта
- повреждения непрерывных трубопроводов при прохождении разлома грунта
- повреждения надземных трубопроводов
- повреждения сегментарных трубопроводов при сильных колебаниях грунта
- повреждения сегментарных трубопроводов при прохождении разлома грунта

Рис. 1. Диаграмма повреждений

На Рис.1. приведена база данных, разделенная на 5 классов по структурному (повреждения непрерывных или сегментарных трубопроводов; подземный или надземный трубопровод) и геотехническому аспектам (сильные колебания грунта и пересечение разлома). Собранный массив данных состоит из примерно 400 образцов, из примерно 300 отредактированных книг, статей и докладов, посвященных последствиям землетрясений. Было исследовано около 40 землетрясений, притом, что только 22 из них должны были рассматриваться как значимые для повреждения трубопроводов с 1906 по 2010 гг. Дополнительная информация о базе данных содержится в работе Ланзано и др., 2011 г. [3].

Известны случаи, когда одни трубопроводы хорошо противостояли действию сейсмических волн, а другие – оказались несейсмостойкими. Главными причинами высокой или низкой сейсмостойкости различных материалов всегда являлись соотношения между параметрами спектра сейсмического воздействия и характеристиками собственных колебаний сооружений, а также характеристики окружающих грунтов. Особенная обеспокоенность вызывает техническое состояние трубопроводов, уложенных в водонасыщенных грунтовых условиях. Понятие разжижение (водонасыщенность) относится к мелкодисперсным грунтам таким, как глины, лессы, суглинки и супеси. Принято также к этой категории относить болотно-торфяные, придонно-илистые грунты и мелкозернистые пески. Наибольший интерес представляют: во-первых, глина и лесс, во-вторых – мелкозернистый песок, так как эти разновидности грунтов чаще всего встречаются на практике и именно с ними связаны многие аномальные явления в поведении подземных сооружений. Отметим, что значительная часть подземных сооружений в центральноазиатском регионе расположена в глинистых, глинисто-песчаных и лессовых грунтах и они во многих случаях переувлажнены.

В сейсמודинамике подземных трубопроводов определяющим моментом является учет взаимодействия в системе «труба-грунт». В связи с этим нами разработаны, кроме упругой модели, двухзвенная и четырехзвенная модели взаимодействия трубопровода с водонасыщенным глинистым грунтом. При изучении водонасыщенных грунтов в работе [5] предложено глинистые грунты разделять на 3 категории в зависимости от их влажности \bar{W} :

I. ($0 < \bar{W} < 15\%$) – грунты, обладающие несущей способностью. Характер взаимодействия грунтов этой категории с подземными сооружениями подробно и основательно разработан в рамках динамической теории сейсмостойкости подземных сооружений ([4, 6] и др.) Сила взаимодействия согласно рекомендациям А.А. Ильюшина – Т.Р. Рашидова, представляется в виде $Q = K_x u$, где коэффициент K_x по сути своей аналогичен коэффициенту равномерного сдвига фундамента относительно грунта. Результаты этой теории широко используются в строительной практике подземных сооружений, в частности включены в нормативные документы КМК 2.01.03-96 «Строительство в сейсмических районах», глава IV «Подземные сооружения».

II. ($15 < \bar{W} < 45\%$) – грунты этой категории следует рассматривать как сложные реологические среды. Несущая способность таких грунтов незначительна.

III. ($\bar{W} > 45\%$) – грунты этой категории следует рассматривать как вязкие жидкости.

На основе вышеприведенной классификации разработана модель взаимодействия трубопровода с водонасыщенным глинистым грунтом [5, 7].

Среда, окружающая трубопровод учитывает упругие и вязкие свойства взаимодействия.

Принимая во внимание вышесказанное, на сегодняшний день становятся актуальными вопросы исследования а) НДС системы подземных трубопроводов, которая состоит из элементов сложной Т-, Г-, и V-образной конфигурации при действии сейсмической волны в произвольном направлении к оси трубопроводов; б) устойчивости подземных трубопроводов.

Подземное сооружение рассматривается как совокупность взаимодействующих с грунтом блочно-рамных конструкций и жестких массивных тел. Узловые нагрузки подземных трубопроводов вида рамных конструкции определяются после решения статически определенных или статически неопределенных задач рамной конструкции, с учетом податливости узлов присоединения трубопроводов. Задачи каждого подземного трубопровода блочно-рамных конструкции решаются отдельно. При этом основную роль играют граничные условия. Решена задача динамического напряженно-деформированного состояния неортогональных конфигураций подземных систем жизнеобеспечения – протяженных подземных сооружений [8]. Вариационное уравнение подземного трубопровода при пространственном сейсмическом нагружении выводится на основе вариационного принципа Гамильтона–Остроградского. Система дифференциальных уравнений подземного трубопровода при пространственном сейсмическом нагружении с естественными граничными и начальными условиями сформулируются из полученного вариационного уравнения. Здесь система дифференциальных уравнений колебаний подземных трубопроводов с заданными граничными и начальными условиями и пространственной сейсмической нагрузки решается также методом конечных разностей второго порядка точности. Разработанный компьютерный алгоритм реализуется на основе объектно – ориентированного языка Borland Delphi 7 [8].

Исследовано НДС подземного трубопровода при линейном и нелинейном взаимодействии с грунтом. Приведены математическая модель и алгоритмы компьютерной реализации этих задач, пригодных для инженерной практики. Задачи решаются методом конечных разностей, учитываются различные грунтовые условия, глубина заложения, геометрия, закрепления концов и наличие узловых соединений трубопроводов при различных видах сейсмических нагружений. Каждый конкретный случай доведен до числовых значений, определяются опасные точки возникновения максимальных нормальных напряжений при воздействии сейсмических нагрузок на подземный трубопровод. Сравниваются линейные и нелинейные решения. С целью доказательства достоверности выбранного численного метода сделано сравнение полученных результатов с ранее полученными решениями [4].

Анализ результатов показывают, что интенсивные изменения значения продольного и поперечных перемещений, нормального и касательных напряжений, продольного и поперечных усилий происходят около заземленного конца подземного трубопровода, что совпадает данными последствий Ташкентскими Землетрясениями 1966 г о поведении подземных трубопроводов [9, 10]. Также самые явления имеют крутящие и изгибающие моменты. Это подтверждается и в интенсивностях напряжений σ_{ii} и τ_{ii} . Все эти процессы дают основания, что опасной зоной нагружения подземного трубопровода является около заземленного края.

Получен ряд численных результатов в зависимости от угла падения сейсмической нагрузки [9, 10]. Как показали результаты численных экспериментов, принятая в расчетах гипотеза о силах взаимодействия между протяженными подземными сооружениями (трубопровод) и грунтом, хорошие совпадения фактическими данными, полученными из последствий землетрясений. Следует отметить, что во многих грунтовых условиях эта гипотеза показала свою эффективность.

Напряженно–деформированное состояние подземных сетей существенно зависит от угла падения сейсмического воздействия при малых углах падения сейсмической волны значения продольного перемещения и нормального напряжения являются значительными и при увеличении угла падения их значения уменьшаются, а значения поперечного перемещения и касательного напряжения при малых углах падения являются малыми и при увеличении угла падения возрастают до максимальных значений, что может вызвать в узлах закрепления труб повреждения и разрушения. Решены задачи, связанные с исследованием НДС трубопроводных систем сложной конфигурации при воздействии сейсмической нагрузки в произвольном направлении [9].

Разработанные программные средства позволяют провести комплексный анализ прочности подземных трубопроводов при сейсмических воздействиях и реализуют системный подход к определению последствий землетрясения на НДС трубопровода и к планированию инженерных мероприятий по обеспечению безопасной и надежной эксплуатации подземного трубопровода на сейсмоопасных участках.

Данные по статистике разрушений элементов газопроводов низкого давления во время землетрясения в г. Кобе (1995 г.) показывают, что полиэтиленовые трубы являются пока единственным типом труб, которые сохраняют работоспособность при землетрясениях. При практически полном разрушении газопроводов из материалов, характеризующихся большой жесткостью, полиэтиленовые газопроводы выдержали значительные смещения земли без нарушения герметичности [11]. После землетрясения в Кобе преимущественное применение полиэтиленовых труб для газо- и водоснабжения было закреплено законодательно во всей Японии.

Нами проведены экспериментальные исследования по определению коэффициента продольного взаимодействия трубопровода с окружающим грунтом. Эксперименты проводились с полимерными трубами, уложенные в песчанике и суглинке, на экспериментальной установке по методике [6]. На основе выбранной модели упругого взаимодействия определен коэффициент продольного взаимодействия. По результатам проведенных экспериментальных исследований, можно сделать следующие выводы:

Сравнивая результаты для коэффициента продольного взаимодействия k_x при увлажненном грунте с значением k_x при сухом грунте выявлено, что влажность грунта увеличивает липкость полимерных труб в отличие от чугунных [6]. Получено, при влажности грунта до 24 % значение k_x увеличивается, далее значение k_x уменьшается.

На основе полученных переменных коэффициентов взаимодействия трубопровода с грунтом изучены продольные колебания подземных полимерных трубопроводов при сейсмических нагружениях. На основе метода конечных разностей разработан вычислительный алгоритм для решения задач сейсродинамики трубопроводов, уложенных в грунтах с разными свойствами.

Полученные результаты показывают, что граничные условия существенно влияют на характер колебаний трубопровода. Максимальные напряжения в трубопроводе в 7-10 раз больше в случаях защемленного левого и свободного правого концов, чем при случае левый конец упруго закреплен и правый конец трубопровода свободный. Этот результат согласуется с результатами оценки напряжений из работ [4, 12], где наибольшие напряжения наблюдаются в местах подключения их к массивным сооружениям (колодец, резервуар и т.д.).

Продольное напряжение возникает в точке, где $k(x)$ имеет максимальное значение, здесь возникают как растягивающие, так и сжимающие напряжения. Для случаев распределения влажности по длине трубы, с уменьшением влажности, уменьшаются перемещения. В общем случае в рассматриваемом диапазоне изменения влажности, σ достигает максимальных значений при влажности 20-25%. Соответственно $k(x)$ также имеет максимальное значение в этих же условиях.

В случае ступенчатого изменения влажности, значения перемещений также изменяются относительно быстро. Максимальные значения напряжений получены в местах ступенчатого изменения влажности [5, 13].

Исследуется НДС вязко-упругих трубопроводов (из полимерных материалов). Получены расчетные уравнения колебаний полимерных трубопроводов на основе вариационного принципа Гамильтона – Остроградского, связь между перемещениями и напряжениями принята в вязко-упругой интегральной модели. Построен вычислительный алгоритм расчета, используя метод конечных разностей. И разработана прикладная программа расчета для определения напряжений и относительных перемещений подземного трубопровода при действии сейсмической нагрузки. Каждый конкретный случай доведен до числовых значений и сделан анализ полученных результатов исследований по влиянию параметров грунта, свойств сооружения и характера взаимодействия сооружения с грунтом. Полученные нами результаты показывают, что полиэтиленовые трубопроводы имеют высокую степень эластичности и надежности, которые совпадают с реальным поведением полиэтиленовых трубопроводов во время землетрясений.

Исследована динамическая устойчивость подземных трубопроводов, расположенных в водонасыщенных (переувлажненных) грунтах, при продольном и циклическом нагружении [5, 7]. Определена амплитуда поперечных смещений, отражающая поведение трубопроводов:

- задача при продольном нагружении решалась как в линейной, так и геометрически нелинейной постановках численным методом; проведен сравнительный анализ результатов решения задач с ранее полученными аналитическими решениями;

- в задаче при циклическом нагружении использована двухзвенная реологическая модель взаимодействия трубопровода с окружающим его грунтом. Установлено, что для легких трубопроводов, расположенных в глинистых грунтах со сравнительно высокой вязкостью, исследование возможности их выпучивания сводится к квазистатической постановке задач с использованием математического аппарата исследования систем с малым параметром при старшей производной по времени, так называемых «тихоновских систем». Результаты решения рассмотренной задачи представлены в виде расчетной формулы, пригодной для непосредственного ее применения.

В обоих случаях для конкретных числовых параметров, характеризующих трубопровод и его взаимодействие с окружающим грунтом, построены графики, анализ которых позволил выявить влияние реологических параметров грунта, геометрических и механических характеристик трубопровода на динамическую устойчивость трубопровода. Анализ полученных результатов позволил прийти к следующему заключению:

- как ожидалось, на устойчивость трубопровода влияют его жесткость и длина: чем больше l , тем менее устойчив трубопровод; сейсмическая устойчивость трубопровода большого диаметра лучше. Чем больше коэффициент постели, тем вероятность выпучивания меньше;

- при значительной вязкости колебания подавляются демпфированием, но при подходе к критическому времени амплитуда возрастает по абсолютной величине. Динамическая неустойчивость трубопровода возникает при вполне определенных соотношениях, связывающих между собой все без исключения параметры рассматриваемой задачи, и на практике может проявляться в форме выпучивания;

- в зависимости от конкретных числовых значений параметров критическое время оказывается различным.

Процесс выпучивания трубопровода в значительной степени зависит от начальных дефектов. Грунтовая засыпка создает дополнительную нагрузку на свободно висящий пролет трубопровода, что усиливает его начальную кривизну, вызванную образованием гребней. Если пустота под осью трубы может быть заполнена грунтом, как в случае траншеи, которая расширяется кверху, то усиление первоначальной кривизны будет незначительным. Если обеспечить подходящую засыпку вдоль всего трубопровода, коромыслообразного выпучивания не произойдет.

Таким образом, расчет подземных сооружений при сейсмических воздействиях следует производить на прочность, устойчивость сооружений и по несущей способности грунтовых оснований. Так как оценка систем непрерывное обслуживание систем трубопровода или быстрое восстановление их функциональных возможностей после землетрясения является очень важным и критическим фактором для городских обществ. А для нашей республики, территория которой полностью расположена в сейсмически опасной зоне, проблемы обеспечения сейсмической безопасности объектов как жилищно-гражданского, так и промышленного назначения имеют первостепенное значение, поскольку ее положительное решение приведёт к снижению сейсмического риска для городов и населённых пунктов республики.

Нами обосновано, что КМК 2.01.03-96, функционирующий на территории Республики, имеет ряд недостатков и требует переработки с учетом результатов исследований последних лет по сейсмостойкому строительству. Этот СНиП слишком загроможден коэффициентами и рисунками, что затрудняет работу проектировщиков. Кроме этого, появились новые материалы и виды труб. Особенно в последние годы во всем мире широко начали использовать полимерные трубы, как наиболее сейсмостойкие. Следовательно, надо разработать рекомендации и предложения по упомянутым исследованиям, развитие которых является нашим дальнейшим направлением исследований. Эти исследования намерены включить в новую редакцию Республиканского КМК по сейсмостойкому строительству.

Таким образом, ранее разработанные основные положения динамической теории сейсмостойкости подземных сооружений, с течением времени не только не утратили своей актуальности и востребованности, а получили дальнейшее развитие, и в настоящее время находятся на новой, прогрессивной стадии своего развития.

Список литературы

1. XIV World conference on earthquake engineering (Материалы 14 Всемирной конференции по сейсмостойкому строительству, касающиеся описания повреждений и разрушений подземных систем жизнеобеспечения в различных регионах мира). Пекин. 2008.
2. Proceeding of International conference on performance-based design in earthquake geotechnical engineering: Performance-based design in earthquake geotechnical engineering. – Tokyo, 2009.
3. XV World conference on earthquake engineering (Материалы 15 Всемирной конференции по сейсмостойкому строительству, касающиеся описания повреждений и разрушений подземных систем жизнеобеспечения в различных регионах мира). Лиссабон. 2012.
4. Рашидов Т.Р. Динамическая теория сейсмостойкости сложных систем подземных сооружений [Текст] / Т.Р. Рашидов. - Ташкент: Фан, 1973. - 180 с.
5. Отчет о научно-исследовательской работе ФА-Ф8-Ф086 «Исследование проблем взаимодействия в системе «твердое деформируемое тело – грунт», учитывающих липкость, влажность и структурную неоднородность грунта (при сейсмических нагружениях)» [Текст] . – Ташкент: ИМиСС, 2011. - 69 с.
6. Рашидов Т.Р. Сейсмостойкость подземных трубопроводов [Текст] / Т.Р. Рашидов, Г.Х. Хожметов. - Ташкент: Фан, 1985. - 152 с.
7. Ан Е.В. Сейсродинамика подземных трубопроводов, взаимодействующих с водонасыщенным мелкодисперсным грунтом [Текст] / Е.В. Ан, Т.Р. Рашидов // Механика твердого тела. - 2015. - №3. С.89 – 104.
8. Рашидов Т.Р. Сейсродинамические задачи подземных трубопроводов сложной конфигурации [Текст] / Т.Р. Рашидов., Д.А. Бекмирзаев. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. - Москва: 2015. - № 3. С. 33-37.
9. Rashidov T.R., Bekmirzaev D.B. Seismodynamics of pipelines interacting with the soil // Soil mechanics and foundation engineering. Vol. 52, № 3. July. 2015. Pp. 149-153. New York.

10. Bekmirzaev D. Design of Underground Pipelines under Arbitrary Seismic Loading // Open Journal of Applied Sciences, 2015, Vol 5, Pp. 226-232, USA, Scientific Research Publishing Inc.
11. Resources and Energy Office, Gas Earthquake Countermeasure Committee – Gas Earthquake Countermeasure Study Group Report, 1996.
12. Гехман А.С. Расчет, проектирование и эксплуатация трубопроводов в сейсмических районах [Текст] / А.С. Гехман, Х.Х. Зейнетдинов. - М.: Стройиздат, 1988. - 184 с.
13. Нишонов Н.А. Колебания подземных трубопроводов с переменными коэффициентами взаимодействия при сейсмических нагрузках [Текст] / Н.А. Нишонов. // Проблемы механики. - 2013. - № 3-4. С. 30 – 36.