

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СВЯЗИ, ИНФОРМАТИЗАЦИИ И
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

На правах рукописи

УДК

РАФИКОВ ТИМУР РАФИКОВИЧ

Программные средства автоматизации проектирования технических
конструкций на основе трехмерного моделирования

5A330204 – Информационные системы

Диссертация
на соискание академической степени магистра

Научный руководитель
к.э.н., доц. Хачатурова Е.М.

« ____ » _____ 2013г.

Ташкент-2013

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СВЯЗИ, ИНФОРМАТИЗАЦИИ И
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Факультет «АТ»

Кафедра «АТ»

Период обучения 2011-2013гг.

Магистрант Рафигов Тимур

Научный руководитель Хачатурова Е.М.

Специальность 5А330204

АННОТАЦИЯ НА МАГИСТРСКУЮ ДИССЕРТАЦИЮ

Диссертационная работа посвящена разработке информационной системы моделирования сейсродинамических процессов технических конструкций, типа подземного трубопровода. Рассмотрены актуальные вопросы сейсродинамических процессов подземных сооружений. Приведена общая схема компьютерного моделирования.

Представлен обзор входных параметров для моделирования: характеристики грунта, подземного трубопровода и его продольных колебаний, полученных на основе решения задачи продольных колебаний подземных труб на заданном участке с соответствующими условиями с использованием метода конечных разностей. Приведен алгоритм моделирования сейсродинамического процесса подземного трубопровода для реализации моделирования сейсродинамических процессов.

Приведена структура программного моделирующего комплекса сейсродинамических процессов подземного трубопровода. Программный моделирующий комплекс сейсродинамических процессов состоит из двух блоков: управляющего и моделирующего.

Программные средства реализованы в виде модулей с использованием объектно-ориентированного языка С#. Разработан диалоговый интерфейс моделирования сейсродинамики подземного трубопровода, который позволяет получить результаты моделирования для использования их в научных исследованиях.

Научный руководитель

(подпись)

Магистрант

(подпись)

STATE COMMITTEE OF COMMUNICATION, INFORMATION
TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS
OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN
TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGY

Faculty «IT»

Master Rafikov Timur

Chair «IT»

Scientific advisor Hachaturova E.M.

Training period 2011-2013

Specialty 5A330204

ANNOTATION ON THE MASTER DISSERTATION

The dissertation is devoted to the development of the information system modeling of seismodynamic processes of technical constructions, such as an underground pipeline. Actual questions of seismodynamic processes of the underground structures are examined. The general scheme of the computer modeling is given.

An overview of the input parameters for the modeling such as the characteristics of the ground, the underground pipeline and its longitudinal vibrations, obtained by solving the longitudinal vibrations problem of underground pipes at a given site with the relevant conditions using finite differences method is given. An algorithm of the modeling seismodynamic processes of the underground pipeline for the implementation seismodynamic modeling processes is given.

The structure of the computing modeling complex of the seismodynamic processes of the underground pipeline is given. The computing modeling complex of the seismodynamic processes consists of two units: the control unit and the modeling unit.

Software tools are implemented as modules using object-oriented language C#. An interactive interface of the modeling of the underground pipeline seismodynamics, which allows you to get the modeling results for use in scientific research, is developed.

Scientific advisor

(signature)

Master

(signature)

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
Глава 1. Теоретические аспекты исследования сейсмических процессов. Постановка задачи	18
1. Актуальные вопросы сейсמודинамических процессов подземных сооружений.....	18
2. Влияние сейсמודинамических процессов на подземные сооружения.....	23
3. Общая схема компьютерного моделирования.....	25
4. Постановка задачи.....	30
Выводы по первой главе.....	31
Глава 2. Построение модели сейсמודинамического процесса подземного трубопровода	32
1. Обоснование выбора метода компьютерного моделирования.....	32
1.1. Суть имитационного моделирования.....	33
1.2. Виды имитационного моделирования.....	35
1.3. Обобщенный алгоритм имитационного моделирования.....	36
2. Определение входных характеристик для последующего моделирования объекта исследования.....	39
2.1. Анализ свойств входных параметров грунта.....	40
2.2. Анализ свойств входных параметров трубопровода.....	43
2.3. Анализ свойств входных параметров продольных колебаний подземного трубопровода.....	50
3. Алгоритм моделирования сейсמודинамического процесса подземного трубопровода.....	51
4. Описание программного моделирующего комплекса сейсמודинамических процессов.....	55
5. Описание основных модулей программного моделирующего комплекса сейсמודинамических процессов.....	57
Выводы по второй главе.....	62
Глава 3. Анализ результатов моделирования сейсמודинамических процессов	63
1. Руководство пользователя программного моделирующего комплекса сейсמודинамических процессов.....	63
2. Получение первичных экспериментальных данных (вдоль разреза подземного трубопровода).....	68
3. Получение первичных экспериментальных данных (в разрезе диаметра подземного трубопровода).....	70
Выводы по третьей главе.....	73
Заключение.....	74
Литература.....	75
Приложение.....	82

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы.

В век глобализации трудно представить какую-либо область деятельности без телекоммуникаций и информационно-коммуникационных технологий. В нашей стране, под руководством Президента Ислама Каримова, проводится широкомасштабная работа по широкому внедрению и развитию ИКТ в различных сферах деятельности. На эти цели направлено постановление главы нашего государства «О мерах по дальнейшему внедрению и развитию современных информационно-коммуникационных технологий» от 21 марта 2012 года.

Основополагающие принципы государственной политики в области информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) подразумевают их широкое внедрение во все сферы жизни общества с тем, чтобы в нашей стране велась интенсивная работа по интеграции в мировое информационное пространство.

Жизнь общества немислима без современной системы телекоммуникаций. Информационный поток столь стремителен, что просто необходимы всевозможные устройства, с помощью которых человек получает различные сведения о многих аспектах жизни. Обеспечению сейсмостойкости сооружений, изучению и прогнозированию землетрясений в Узбекистане уделяется особое внимание.

По данным ООН, в последнее десятилетие среди всех стихийных бедствий наиболее масштабными по своим отрицательным последствиям были именно землетрясения, отмечалось на конференции. В связи с этим большое значение имеет расширение научно-исследовательской работы в сфере сейсмологии, привлечение к этой деятельности специалистов в самых разных областях знаний, развитие целевого международного сотрудничества ученых и практиков.

Следует отметить, что отличительной чертой современной науки является междисциплинарный подход, наиболее яркий пример которого показывает физика сложных систем и нелинейная динамика – одно из самых передовых направлений науки, активно развивающееся в нашей стране. Достижения в этой сфере находят сегодня широкое применение – в других отраслях фундаментальной науки, в создании высоких технологий и их практическом использовании на производстве, способствуя повышению его конкурентоспособности. Эти методы помогают не только моделировать, но и прогнозировать биологические и макроэкономические процессы, природные и техногенные катастрофы, развитие эко- и геосистем.

В результате совместных исследований ученых Узбекистана и других стран было установлено, что многие процессы в природе, такие, как землетрясения, оползни, снежные лавины, распространение эпидемий, лесные пожары, и другие происходят по так называемому лавинообразному сценарию. Поэтому, подчеркивалось на конференции, в целях повышения эффективности изысканий в современной науке о Земле, особенно в таких ее разделах, как геофизика, геодинамика и сейсмология, для изучения закономерностей глубинных механизмов возникновения землетрясений, их мониторинга и прогнозирования требуется привлечение методов физики сложных систем и нелинейной динамики.

Землетрясения являются проявлением сейсмической активности земной коры и одним из самых опасных стихийных явлений на Земле. Отдельные районы планеты страдают особо активной сейсмической неустойчивостью.

Землетрясения – это стихийные бедствия, которым подвержены многие районы земного шара. В результате землетрясений происходят оползни, обвалы в горах, изменяются русла рек, часть суши опускается и становится дном, дно морей поднимается и становится сушей. На море землетрясения сопровождаются огромными волнами, которые заливают и опустошают большие площади прибрежных земель. Землетрясения вызывают ужас у людей и животных, влекут за собой большие человеческие жертвы.[19]

Но люди заметили, что при землетрясениях разрушаются не все здания и сооружения, поэтому стали присматриваться к этой проблеме и пытаться создавать сооружения, способные противостоять землетрясениям.

Для того чтобы узнать, какие факторы вызывают разрушение зданий, необходимо было разобраться во многих вопросах, связанных с землетрясениями. Однако изучать землетрясения нелегко, в связи с тем, что происходят они внезапно и продолжаются небольшой промежуток времени.[19]

Землетрясения – подземные толчки и колебания поверхности Земли, вызванные естественными причинами (главным образом тектоническими процессами), или (иногда) искусственными процессами (взрывы, заполнение водохранилищ, обрушение подземных полостей горных выработок). Небольшие толчки могут вызываться также подъёмом лавы при вулканических извержениях.[31]

Ежегодно на всей Земле происходит около миллиона землетрясений, но большинство из них так незначительны, что они остаются незамеченными. Действительно сильные землетрясения, способные вызвать обширные разрушения, случаются на планете примерно раз в две недели. Большая их часть приходится на дно океанов, и поэтому не сопровождается катастрофическими последствиями (если землетрясение под океаном обходится без цунами).

Землетрясения наиболее известны по тем опустошениям, которые они способны произвести. Разрушения зданий и сооружений вызываются колебаниями почвы или гигантскими приливными волнами (цунами), возникающими при сейсмических смещениях на морском дне.

Если исходить из морфно-структурного анализа, Узбекистан находится в срединно-тяньшаньских горах, а самые сильные землетрясения приурочены к границам Тянь-Шаня. Таким образом, можно сделать вывод, что Узбекистан находится в зоне сейсмической активности.[57]

Изучение влияния землетрясений на поведение строительных конструкций является актуальной задачей, т.к. одна из важнейших задач сейсмологии – выяснение причин землетрясений и объяснение их механизма – до сих пор не решена. Кроме того, актуальность данного вопроса обусловлена повышающейся, по последним данным, сейсмической активностью планеты. В очаге землетрясения происходят разрывы и интенсивные неупругие деформации среды. Деформации в самом очаге носят необратимый характер, а в области, внешней к очагу, являются сплошными, упругими и преимущественно обратимыми. Именно в этой области распространяются сейсмические волны.[29]

Исследования природы землетрясений помогают разработать методы предотвращения и прогноза этого опасного явления. Удаленность от очагов сейсмической активности – лучшее средство при решении вопросов безопасности при землетрясениях. Однако, если все-таки строительство, как подземных сооружений, так и наземных приходится вести в сейсмоопасных районах, то необходимо учитывать требования соответствующих правил и норм, сводящиеся в основном к усилению конструкции зданий и сооружений.

Землетрясения проявляются в виде колебаний поверхности Земли, вызванных высвободившейся внутри Земли энергией. Особенности этих колебаний зависят от свойств геологических структур, расположенных вдоль линии распространения сейсмических волн.[19]

Развитие методов, способов и средств обеспечения надежности зданий и сооружений в сейсмических районах и снижение затрат, связанных с сейсмической опасностью, является глобальной проблемой, решение которой имеет важное научно-прикладное значение.

Степень повреждения трубопроводов во время землетрясения зависит от целого ряда факторов: силы сейсмического воздействия, геологических и гидрогеологических условий, эксплуатационно-технологических нагрузок и

воздействий, конструкции трубопровода, характеристик металла труб и материала опор, степени «изношенности» трубопровода.

Сейсмическое воздействие – специализированное понятие, которое в практике расчетов на сейсмостойкость характеризует колебательное движение грунта при землетрясении, создающее кинематическое возбуждение колебаний исследуемого объекта.[34]

При строительстве трубопроводных сетей необходимо учитывать опасность сейсмического воздействия и использовать соответствующие материалы и конструкции.

Особую актуальность сейсмостойкость трубопроводных систем приобрела в связи с реализацией масштабных строительных программ, проводимых в нашем государстве сегодня.

Степень изученности проблемы.

Упоминания о землетрясениях встречаются в Библии, в трактатах античных ученых – Геродота, Плиния и Ливия, а также в древних китайских и японских письменных источниках. До XIX в. большинство сообщений о землетрясениях содержало описания, обильно приправленные суевериями, и теории, основанные на скудных и недостоверных наблюдениях. Серию систематических описаний (каталогов) землетрясений в 1840 начал А.Перри (Франция). В 1850-х годах Р.Малле (Ирландия) составил большой каталог землетрясений, а его подробный отчет о землетрясении в Неаполе в 1857 стал одним из первых строго научных описаний сильных землетрясений.

Самостоятельным направлением в строительной механике является теория сейсмостойкости сооружений, которая зародилась несколько десятилетий тому назад, когда в результате обследования последствий разрушительного землетрясения 1891 года в Мино-Овари (Япония) японскими учеными были впервые получены данные о максимальных сейсмических ускорениях грунта, позволившие поставить задачу об определении сейсмических сил, действующих на сооружение при землетрясениях.

Расчет зданий и сооружений на действие сейсмических сил включает: определение величин и направлений сейсмических сил; непосредственный расчет конструкций на действие этих сил. Точное определение величин и направлений сейсмических сил, действующих на сооружение, невозможно, т. к. колебания земной коры в процессе землетрясения носят случайный характер и не могут быть описаны аналитически.

До 50х годов при расчетах зданий и сооружений на сейсмическое воздействие использовалась «Статическая теория сейсмостойкости», предложенной японским ученым Омори, согласно которой сооружение считалось абсолютно жестким и предполагалось, что все его точки имеют ускорения, соответствующие ускорению основания. При этом сейсмическая сила в каждой точке сооружения принималась равной произведению ее массы на ускорение земной поверхности. Несовершенство статической теории очевидно, т. к. она не учитывает упругих свойств сооружения и процесса его колебаний во время землетрясения.[27]

Статическая теория сыграла огромную роль в развитии теории сейсмостойкости, хотя бы потому, что впервые удалось получить количественную оценку сейсмических сил, вызывающих разрушение сооружения.

Однако очень скоро выявились и ее недостатки, связанные с предпосылкой о недеформируемости сооружения при колебаниях. Статическая теория с определенным приближением может быть признана справедливой только лишь для достаточно жестких конструкций.

Дальнейшее развитие статической теории, основанное на необходимости учета деформируемости сооружения при колебаниях, привело к созданию динамической теории сейсмостойкости, с достаточной полнотой описывающей динамическое поведение конструкции на основе хорошо разработанных методов динамики сооружений.

Впервые динамическая теория сейсмостойкости была разработана и включена в нормы в 1957 году. Но при этом возникли существенные

трудности, связанные с недостаточной информацией о характере движения грунта при сейсмическом воздействии, поскольку, если в статической теории достаточно было иметь данные только лишь о максимальных значениях ускорений, то в данной теории возникает необходимость описания закона движения грунта основания во времени.

С введением в нормы проектирования динамического метода расчета положение изменилось и позволило создать значительно более обоснованное представление о работе конструкций при землетрясении.

В последнее десятилетие все большее значение приобретает развитие теории сейсмостойкости сооружений. Причиной землетрясений могут быть различные явления: деятельность вулканов, взрывы, обрушивание сводов над карстовыми областями и т.д. С инженерной точки зрения наибольший интерес представляют землетрясения тектонического происхождения, т.е. связанные с накоплением напряжения на обширных участках земной коры. [17]

Следует также отметить, что в современной теории сейсмостойкости, как правило, устанавливается тот факт, что характер колебаний сооружения на контактной поверхности между фундаментными конструкциями и основанием зависит только от характера внешнего воздействия.

Однако сложность задачи не исчерпывается только вопросом о том, какие силы возникают в зданиях при землетрясениях и как их определить. Чрезвычайно важным является также и вопрос, как эти силы могут быть восприняты несущими конструкциями, т. е. какие нагрузки для конструкций могут быть допустимыми. Отсюда вытекает практически важная проблема о несущей способности различных материалов и конструкций при их загрузении сейсмической нагрузкой. Эта проблема имеет свою специфику, так как сейсмическая нагрузка действует непродолжительное время, по своей интенсивности нерегулярна и сопровождается очень значительными перегрузками.

Новое представление о характере распределения нагрузок в конструкциях при землетрясении и новые сведения о их несущей способности привели к значительным изменениям конструкций. Введение в практику проектирования динамического метода расчета заставило пересмотреть эту сложную и многогранную проблему – проблему сейсмостойкого строительства.[26]

Не следует, однако, думать, что в области сейсмостойкого строительства все уже близится к окончательному решению и не должно подвергаться каким-либо серьезным усовершенствованиям и изменениям. Напротив, пока на основе динамического подхода к решению задачи сделаны лишь первые шаги и сейчас уже намечаются существенные усовершенствования расчета и проектирования, например, путем учета влияния таких факторов, как протяженность сооружений, пластические деформации в конструкциях, перегрузки во время землетрясений и др.

Современные проблемы строительства зданий в сейсмических районах, повышенные требования к надежности возводимых сооружений, вопросы экологии и совершенствование технологий требуют развития методов расчета сооружения на различного рода динамические, в том числе и сейсмические нагрузки. [17]

Основы динамической теории сейсмостойкости линейных подземных трубопроводов, в которых было учтено смещение трубы относительно окружающего грунта при распространении сейсмического воздействия вдоль оси трубопровода были заложены Рашидовым Т.Р. под руководством академика М.Т. Уразбаева. Рашидовым Т.Р. было выведено дифференциальное уравнение продольных колебаний трубопровода и дано его решение для частных случаев: трубопровод конечной и полубесконечной длины под действием произвольной, гармонической и импульсной нагрузок. Также в его работах была установлена зависимость расчетных характеристик от глубины заложения трубопровода.

В своей работе «Динамическая теория сейсмостойкости сложных систем подземных сооружений» [38] Рашидов Т.Р. рассматривает основы динамической теории сейсмостойкости сложных систем подземных сооружений как совокупность взаимодействующих с грунтом балочно-рамных конструкций и жестких массивных тел.

Проблемами исследования влияния сейсмических процессов на различные технические конструкции занимались А.А.Амосов, С.Б.Синицин, Т. Буриев, Т. Юлдашев, В.А. Ржевский, В.А. Потапов, Ф.И. Иванов, В.А. Крыженков, К.С.Абдурашидов, В.Т. Рассказовский, А.С. Гехман, А. Холжигитов, Ш.А. Назиров, Р. Усманов и т.д.

Актуальным является разработка методов расчета зданий и сооружений с учетом упругопластических свойств материала, что важно для оценки действительной несущей способности конструкций при сейсмических воздействиях. Существуют разные методы, учитывающие вышеуказанные особенности деформирования конструкции.

В настоящее время большое внимание уделяется не только проблеме расчета сейсмических конструкций, но и моделированию сейсמודинамических процессов подземных сооружений.

Моделированию сейсмических процессов посвящены работы С.В. Мишина, Л.В. Шарафутдиновой, Н.Ч. Рындиной, Г.В. Решетовой, С.В. Кузнецова, Дюкиной Н.С., А.А. Самарского, А.П. Михайлова, М.А. Белоносова, Г.В. Решетовой, С.А. Соловьёва, В.А. Чеверды и других.

Так В.А. Котляревский, А.М.Шахраманьян на научной сессии МИФИ привели методику моделирования сейсмических записей и пример ее реализации в виде программного продукта «MSN» для использования в динамических расчетах сооружений на кинематические воздействия при землетрясениях и в других ситуациях, связанных с вибрационными процессами в сооружениях.

Лукиянова И.Э. в [29] привела пример моделирования воздействия землетрясений на резервуары типа РВС при помощи программного

комплекса FLOWVISION. Возможности FLOWVISION позволяют визуализировать поведение жидкости, хранящейся в РВС, при сейсмическом воздействии, и получать расчетные значения высоты волны при наличии плавающего покрытия в произвольном месте поверхности продукта.

Гаскин В.В. и Соболев В.И. в своей работе «Имитационное моделирование сейсмических процессов в протяженных сооружениях» рассмотрели метод расчета промышленных, транспортных сооружений и зданий различного назначения на сейсмические воздействия, заданные осциллограммами землетрясений на основе системы грунт-сооружение и расчетной модели в виде перекрестного набора.

В последние годы в научно-исследовательских учреждениях Узбекистана и за рубежом выполнено значительное число исследований, посвященных разработке методов расчета технических конструкций. Разрабатываются модели влияния сейсродинамических процессов на подземные сооружения, выполнен ряд важных исследований по оценке сейсмического риска и критериям оптимальности антисейсмических мероприятий.

Цель работы заключается в разработке имитационной модели сейсмических воздействий на подземные сооружения на основе решения задачи продольных колебаний подземных труб на заданном участке с соответствующими условиями, разработке программных средств автоматизации проектирования технических конструкций для построения модели сейсродинамических процессов подземных сооружений.

Задачами исследования являются:

1. Анализ сейсродинамических процессов подземных сооружений (трубопроводов);
2. Изучение и выбор метода моделирования сейсмических воздействий на подземные сооружения;
3. Разработка алгоритма имитационного моделирования сейсмических воздействий на подземные сооружения;

4. Разработка и реализация комплекса программных средств автоматизации проектирования технических конструкций для построения модели сейсродинамических процессов подземных сооружений, позволяющие проводить разнообразные и подробные экспериментальные опыты, дающие визуальные характеристики объекта исследования.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются подземные сооружения типа трубопроводов, а предметом исследования – алгоритмы построения имитационной модели и программные средства расчета сейсродинамики подземных сооружений.

Методы исследования. В работе для решения поставленной задачи используется метод имитационного моделирования, который основан на использовании алгоритмических (имитационных) моделях для исследования сейсродинамических процессов подземных сооружений.

Гипотеза исследования. Полученные алгоритмы и комплекс программных средств автоматизации проектирования технических конструкций на основе трехмерного моделирования позволяют адекватно описать влияние сейсродинамических процессов на состояние подземного сооружения, облегчить анализ сейсродинамики технических конструкций.

Научной новизной диссертационной работы является: разработка алгоритма моделирования сейсродинамики подземных сооружений

Научная и практическая значимость работы состоит в следующем:

1. Методика реализации комплекса программных средств автоматизации проектирования технических конструкций для построения двумерной и трехмерной модели сейсродинамических процессов подземных сооружений может быть использована в проектных организациях, занимающихся изучением сейсмического моделирования;
2. Алгоритм и комплекс программных средств автоматизации проектирования технических конструкций для построения двумерной и трехмерной модели сейсродинамических процессов подземных

сооружений могут быть рекомендованы для использования в научно-исследовательских и проектных институтах.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на:

- Республиканской научно-технической конференции на тему «Проблемы информационных технологий и телекоммуникации», проводимой 15-16 марта 2012 года в Ташкентском университете информационных технологий;
- Международной конференция на тему «Актуальные проблемы развития инфокоммуникаций и информационного общества», проводимой 26-27 июня 2012 года в Ташкентском университете информационных технологий;
- Республиканской научно-технической конференции «Информационные технологии и проблемы телекоммуникаций», проводимой 14-15 марта 2013 года в Ташкентском университете информационных технологий;
- Международной молодежной научно-практической конференции СКФ МТУСИ «Инфоком-2013», проводимой 22-27 апреля 2013 года в Севере-Кавказском филиале Московского технического университета связи и информатики.

Опубликованность результатов.

По теме диссертации опубликовано 4 тезиса. Во всех совместных публикациях внесен определяющий творческий вклад. Все наиболее существенные научные результаты получены автором лично.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав с выводами, заключения и списка использованной литературы.

Во введении представлена актуальность темы исследования, приведена степень изученности проблемы, изложены цель и основные задачи

исследования, определены научная новизна и практическая значимость выполненной диссертационной работы.

В первой главе - «Теоретические аспекты исследования сейсмических процессов. Постановка задачи» представлены актуальные вопросы сейсродинамических процессов, рассмотрено влияние сейсродинамических процессов на подземные сооружения, приведена общая схема компьютерного моделирования, на основе которого будет проводиться построение трехмерной анимационной модели сейсродинамических процессов. Также в данной главе приведена постановка задачи.

Во второй главе – «Построение модели сейсродинамического процесса подземного трубопровода» приведен обзор имитационного компьютерного моделирования, обоснован его выбор для построения трехмерной анимационной модели сейсродинамических процессов, представлен алгоритм моделирования сейсродинамического процесса подземного трубопровода. В данной главе определены входные характеристики для последующего моделирования объекта исследования. Также приведен обзор программных модулей программного моделирующего комплекса сейсродинамических процессов.

В третьей главе – «Анализ результатов моделирования сейсродинамических процессов» представлены руководство пользователя и результаты моделирования сейсродинамических процессов для тазреза трубопровода в диаметре и вдоль самого подземного трубопровода.

В заключении сформулированы теоретические и практические выводы к диссертационной работе.

ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В данной главе представлены актуальные вопросы, связанные с сейсмическими воздействиями на подземные сооружения, выявлены основные заключения, которые будут использованы при реализации моделирования, рассмотрена общая схема и основные этапы компьютерного моделирования, а также приведена постановка задачи.

1. Актуальные вопросы сейсродинамических процессов подземных сооружений

Основоположником механики и антисейсмической науки в Узбекистане является академик АН РУз М.Т. Уразбаев, основные работы которого посвящены механике весомой деформируемой гибкой нити, динамической теории сейсмостойкости, теории фильтрации, теории сооружений.

После землетрясения, которое произошло в 1966 году в Ташкенте последователь Уразбаев М.Т., Рашидов Т.Р. занимался проблемами сейсмостойкости зданий и сооружений. На базе докторской диссертации в 1973 году им была издана монография «Сейсродинамика сложных систем подземных сооружений» [38], ответственным редактором которой был А.А. Ильюшин. Он же написал к ней следующее предисловие [38]:

«Большинство основных подземных сооружений с точки зрения их прочности представляет собой конструкции типа рам, все элементы которых находятся в контакте с окружающим грунтом. Узловые соединения элементов имеют увеличенные габариты, к ним под разными углами могут сходиться линейные элементы различных сечений (рис.1.1.1).

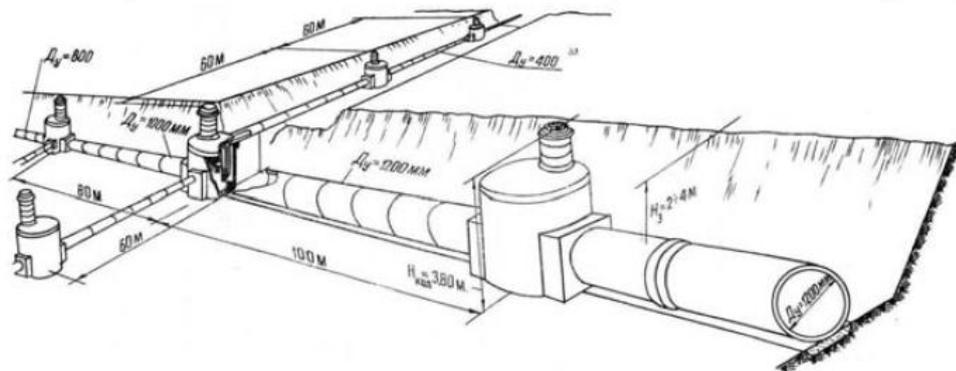


Рис.1.1.1. Вариант сложной системы подземных сооружений

Точное решение задачи динамики такой системы при прохождении в грунте сейсмической волны встречает непреодолимые трудности. Например, задача дифракции волн решена лишь для простейших тел (абсолютно твердые, конус, шар) при однородной волне. Упрощение, принимаемое в динамике наземных сооружений (основание движется как жесткое целое), непригодно, так как многократно занижает напряжения. Более точное предположение о том, что сооружение всюду жестко скреплено с грунтом, т. е. деформации его равны деформациям грунта внутри фронта волны (распространено, например, в Японии), также может приводить к ошибкам порядка 100%.

В монографии профессора Т. Рашидова принята наиболее целесообразная схема совместной деформации грунта и сооружения: учитываются пространственная неоднородность сейсмической волны и относительные смещения всех элементов сооружения (относительно грунта). Все линейные элементы сооружения деформируются по схеме бруса (растяжение, кручение, пространственный изгиб), все узлы – абсолютно твердые тела с шестью степенями свободы. Учитывается возможность упругой стыковки (с шестью степенями свободы) между собой линейных элементов. Эта схема, сильно упрощенная (без заметных ошибок в результатах [38],[43]), привела к созданию законченной прикладной теории. Проведены необходимые экспериментальные исследования (коэффициентов

контакта и стыковок) и большие расчетные работы для реальных схем сооружений».

Установлено, что подземные сооружения типа трубопроводов и тоннелей в основном повреждаются и разрушаются в местах присоединения их к резервуарам, колодцам, насосным станциям, фундаментам зданий, домовым вводам, ответвлениям, вблизи резких поворотов, при прохождении сооружений через реки и овраги и т.д., т.е. около сложных узлов. Сами колодцы, камеры, насосные станции и др. существенных повреждений не имеют; больше всего разрушаются стыковые соединения, гибкие стыки являются более сейсмостойкими; на повреждаемость подземных сооружений влияют грунтовые условия. Наибольшее количество повреждений отмечалось в сооружениях, уложенных в рыхлых грунтах. На сейсмостойкость трубопроводов влияют глубина заложения, напор содержимого; немаловажное значение имеет геометрия сооружения и т.д.[44]

В сейсмодинамической теории подземных сооружений важно установление модели взаимодействия в системе «сооружение – грунт». Для установления конкретного закона взаимодействия подземных трубопроводов с различными грунтами сконструированы и созданы различные установки и приспособления, разработана методика проведения статических и динамических опытов по изучению сопротивления грунтов перемещению подземных труб. Результаты натурных и лабораторных опытов подтвердили применимость упруго-вязко-пластической модели для изучения взаимодействия сооружений с грунтом. Исследованы геологические свойства взаимодействия труб с окружающим грунтом и для их описания применена наследственная теория Больмана – Вольтерра. Вопросы взаимодействия тонкостенных конструкций и сооружений с окружающей средой с учетом вязкоупругих и упругопластических свойств материалов рассматривались в дальнейших работах. На основе теоретического обобщения и использования результатов экспериментальных исследований сейсмодинамическая теория подземных сооружений развита путем распространения ее основных

предпосылок на грунты, обладающие упругопластическими и вязкоупругими свойствами. Эти задачи решены методами, предложенными А.А. Ильюшиным. [44]

На сегодняшний день много внимания уделяется вопросам сейсмических воздействиям на здания и сооружения, сейсморазведке, сейсмостойкости и т.д. В связи с этим проводятся конференции, посвященные этим проблемам. Так в августе 2008 года в Пекине состоялась 14 Всемирная конференция по сейсмостойкому строительству. По результатам Пекинской Конференции нами подготовлен обзор этих докладов:[44]

1. В отличие от наземных сооружений, таких как здания и мосты, силы инерции от землетрясения не являются основной причиной повреждения подземных труб. Скорее всего, основной причиной повреждений являются относительные перемещения грунта и трубы (особенно в условиях сжижения или смещения грунта по разлому). Кроме того, хотя изгибные деформации имеют место, осевые деформации являются преобладающими, когда труба связывает две точки с различными характеристиками грунта или пересекает разрыв, появление сейсмических повреждений более вероятно. Анализ сейсмических повреждений показывает, что когда исключаются из рассмотрения разлом грунта или сильный оползень, существуют два типа причин повреждений подземных труб: деформирование вследствие распространения сейсмических волн и осевое деформирование вследствие относительных движений трубы и грунта. Сейсмические повреждения из-за осевых деформаций вследствие относительного движения трубы и грунта встречаются, в частности, когда труба переходит от твердого к мягкому грунту.
2. Существуют три основные причины повреждения подземных трубопроводов вследствие землетрясения: а) избыточные осевые и изгибные напряжения и деформации, возникающие из-за разности фаз

и шага формы волны между двумя точками; б) разламывающие движения во время землетрясения, если трубопровод пересекает большой разлом; в) сжижение грунта. Сейсмическое поведение подземных трубопроводов совершенно отличается от поведения наземных сооружений в основном в следующем: а) силы инерции являются основным фактором воздействия в расчете наземных сооружений, а для подземных трубопроводов более существенно сопротивление окружающего грунта. Этот факт был установлен нами еще 40 лет назад; б) движение грунта для большинства наземных сооружений рассматривается как связное, в то время как для подземных трубопроводов (особенно длинных непрерывных систем) оно рассматривается как несвязное вследствие разности фаз между различными точками и изменением формы в связи с изменениями свойств грунта вдоль трубопровода; в) повреждение одного наземного сооружения ограничивается только им одним, а повреждение определенного места в сети труб будет влиять на другие части системы”.

В январе 2012 года в городе Ташкенте, Обществом физики Узбекистана, Национальным университетом Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Институтом сейсмологии Академии наук Узбекистана и Японским агентством по международному сотрудничеству (JICA) проводилась международная научная конференция «Сложные явления в динамике землетрясений: от нелинейности к предсказанию землетрясений и сейсмической стабильности», основными вопросами которой явились геотехнические катастрофы, нелинейная динамика сейсмических волн, сейсмическое движение почвы, ранние предсказание и предупреждение землетрясений, проблемы сейсмостойкости памятников архитектуры, сейсмические риски в Центральной Азии.

Как отметил Рашидов Т.Р. в своей работе [44], следует больше уделять внимания проблемам исследования сеймонапряженного состояния

подземных трубопроводных систем, когда они проходят в зонах разлома, в местах возникновения обвалов и в случаях строительства этих сооружений в водонасыщенных грунтах. Дальнейшее внимание исследованиям по проблеме сейсמודинамики подземных сооружений должно быть посвящено рассмотрению решения нелинейных задач с учетом нелинейностей взаимодействия в системе «сооружение – грунт».

2. Влияние сейсמודинамических процессов на подземные сооружения

Детальное изучение воздействия Ташкентского землетрясения, которое произошло 26 апреля 1966 года, и его сильных афтершоков на подземные сооружения различного вида и назначения поставило перед исследователями, учеными и строителями ряд актуальных задач. Главным стал вопрос взаимодействия твердых тел с окружающим грунтом, что было изучено крайне недостаточно, в особенности, для грунтовых условий Средней Азии.

Уже были сформулированы несколько задач по изучению взаимодействия твердого тела с грунтом, были разработаны первые эскизы оригинальных установок, начались экспериментальные исследования в лабораторных условиях. Тогда же было установлено, что эти взаимодействия сходны по характеру со взаимодействиями с упруго вязко-пластическими средами. [38]

В его работе [38] сформулированы следующие заключения, касающиеся сейсмического воздействия на подземные сооружения различного назначения:

1. Подземные сооружения типа трубопроводов, тоннелей повреждаются и разрушаются преимущественно в местах присоединения их к резервуарам, колодцам, насосным станциям, фундаментам зданий, домовым вводам, в местах ответвлений, вблизи резких поворотов, в прокладках через реки,

овраги и т.д., т.е. около сложных узлов. Сами присоединяемые объекты существенных повреждений не имеют.

2. Больше всего разрушаются стыковые соединения труб (фланцевые и раструбные). Трубопроводы с гибкими стыковыми соединениями оказались более сейсмостойкими, чем с жесткими.

3. Одним из главных факторов повреждаемости сооружений являются грунтовые условия их заложения. Наибольшее количество повреждений отмечалось в сооружениях, уложенных в рыхлых грунтах, а также в местах контакта грунтов с резко отличающимися физико-механическими свойствами.

4. Сейсмостойкость подземных сооружений (трубопроводов) зависит от глубины их заложения: с увеличением (до определенной глубины) сейсмостойкость трубопроводов повышается. Отдельные антисейсмические мероприятия могут снять ограничения, связанные с глубиной заложения.

5. Сопротивление сейсмическому воздействию растет с увеличением диаметра сооружения, иными словами, трубы с наибольшими диаметрами имеют меньшую среднюю аварийность. Это установлено по числу повреждений чугунных трубопроводов.

6. В напорных трубопроводах на величину сейсмической нагрузки и перемещение труб влияет напор протекающей жидкости. Количество разрушений стыков в водопроводных сетях пропорционально давлению воды в трубах как показывают данные по афтершокам Ташкентского землетрясения интенсивностью 7 баллов, происшедшим в разное время суток, когда в сетях наблюдались резкие изменения напора.

7. Для обеспечения сейсмостойкости подземных конструкций необходимо соблюдение специальных требований при их сооружении. Причинами повреждения трубопроводов при Ташкентском землетрясении во многих случаях явились: засыпка траншей бытовым и строительным мусором (битым кирпичом, щебнем, крупным гравием, кусками асфальта);

отсутствие необходимых уплотнений в тоннельных переходах под арыками и в других местах, где требовалась соответствующая проходка, и т.д.

При изучении материалов по повреждениям подземных трубопроводов различного назначения во время Ташкентское землетрясение Рашидову Т.Р. удалось выявить около полутора тысяч аварийных отказов подземных трубопроводов г. Ташкента (в большинстве случаев водопроводы, канализация и газопроводы). Было установлено, что подземные сооружения типа трубопроводов и тоннелей в основном повреждаются и разрушаются в местах присоединения их к резервуарам, колодцам, насосным станциям, фундаментам зданий, домовым вводам, ответвлениям, вблизи резких поворотов, при прохождении сооружений через реки и овраги и т.д., т.е. около сложных узлов. Сами колодцы, камеры, насосные станции и др. существенных повреждений не имеют; больше всего разрушаются стыковые соединения, гибкие стыки являются более сейсмостойкими; на повреждаемость подземных сооружений влияют грунтовые условия. Наибольшее количество повреждений отмечалось в сооружениях, уложенных в рыхлых грунтах. На сейсмостойкость трубопроводов влияют глубина заложения, напор содержимого; немаловажное значение имеет геометрия сооружения и т.д.

Таким образом, при моделировании сейсмических воздействий на подземные сооружения будем ссылаться на вышеперечисленные основные заключения.

3. Общая схема компьютерного моделирования

Компьютерная модель, или численная – компьютерная программа, работающая на отдельном компьютере, суперкомпьютере или множестве взаимодействующих компьютеров (вычислительных узлов), реализующая абстрактную модель некоторой системы.[33]

В настоящее время компьютерное моделирование стало обычным инструментом математического моделирования, которое применяется в физике, астрофизике, механике, химии, биологии, экономике, социологии, метеорологии, других науках и прикладных задачах в различных областях радиоэлектроники, машиностроения, автомобилестроения и других областях науки и знаний. Это позволяет использовать компьютерные модели для получения новых знаний о моделируемом объекте или для приближенной оценки поведения систем, слишком сложных для аналитического исследования.

Компьютерное моделирование является одним из эффективных методов изучения сложных систем. Компьютерные модели проще и удобнее исследовать, так как с их помощью можно проводить различные вычислительные эксперименты, в тех случаях, когда реальные эксперименты затруднены из-за финансовых или физических препятствий или могут дать непредсказуемый результат.

Построение компьютерной модели базируется на абстрагировании от конкретной природы явлений или изучаемого объекта-оригинала и состоит из двух этапов – сначала создание качественной, а затем и количественной модели. Компьютерное же моделирование заключается в проведении серии вычислительных экспериментов на компьютере, целью которых является анализ, интерпретация и сопоставление результатов моделирования с реальным поведением изучаемого объекта и, при необходимости, последующее уточнение модели и т. д.

К основным этапам компьютерного моделирования относятся:[33]

1. постановка задачи, определение объекта моделирования;
2. разработка концептуальной модели, выявление основных элементов системы и элементарных актов взаимодействия;
3. формализация, то есть переход к математической модели; создание алгоритма и написание программы;
4. планирование и проведение компьютерных экспериментов;

5. анализ и интерпретация результатов.

Различают аналитическое и имитационное моделирование. При аналитическом моделировании изучаются математические (абстрактные) модели реального объекта в виде алгебраических, дифференциальных и других уравнений, а также предусматривающих осуществление однозначной вычислительной процедуры, приводящей к их точному решению. При имитационном моделировании исследуются математические модели в виде алгоритма, воспроизводящего функционирование исследуемой системы путем последовательного выполнения большого количества элементарных операций.

Все этапы компьютерного моделирования определяются поставленной задачей и целями моделирования. В общем случае процесс построения и исследования модели можно представить следующей схемой (рис.1.3.1):

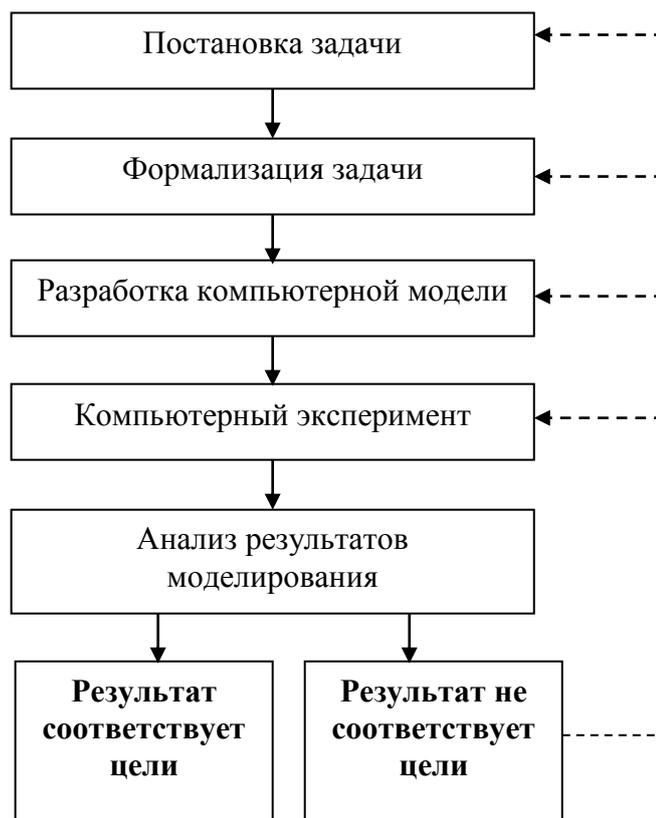


Рис.1.3.1. Основные этапы процесса построения и исследования модели

Процесс моделирования включает три элемента:

- субъект (исследователь),

- объект исследования,
- модель, определяющую (отражающую) отношения познающего субъекта и познаваемого объекта.

Первым этапом компьютерного моделирования является постановка задачи, которая включает в себя такие стадии как описание задачи, определение цели моделирования, анализ объекта.

На этом этапе необходимо среди многих характеристик (параметров) объекта выделить существенные и отбросить все несущественные параметры.

Определение цели моделирования позволяет четко установить, какие данные являются исходными, что требуется получить на выходе и какими свойствами объекта можно пренебречь. Таким образом, на данном этапе строится словесная модель задачи.

Анализ объекта подразумевает четкое выделение моделируемого объекта и его основных свойств.

Вторым этапом моделирования является формализация задачи, которая связана с созданием формализованной модели, то есть модели, записанной на каком-либо формальном языке. В общем смысле формализация – это приведение существенных свойств и признаков объекта моделирования к выбранной форме.

Для решения задачи на компьютере больше всего подходит язык математики. В такой модели связь между исходными данными и конечными результатами фиксируется с помощью различных формул, а также накладываются ограничения на допустимые значения параметров.

Следующим этапом является разработка компьютерной модели, которая начинается с выбора инструмента моделирования, другими словами, программной среды, в которой будет создаваться и исследоваться модель. От этого выбора зависит алгоритм построения компьютерной модели, а также форма его представления.

Следует отметить, что одну и ту же задачу можно решить, используя различные среды. Выбор инструмента моделирования зависит, в первую очередь, от реальных возможностей, как технических, так и материальных.

На четвертом этапе компьютерного моделирования проходит компьютерный эксперимент, который включает две стадии: тестирование модели и проведение исследования.

Тестирование модели – это процесс проверки правильности построения модели. На этой стадии проверяется разработанный алгоритм построения модели и адекватность полученной модели объекту и цели моделирования.

Для проверки правильности алгоритма построения модели используется тестовые данные, для которых конечный результат заранее известен (обычно его определяют ручным способом). Если результаты совпадают, то алгоритм разработан верно, если нет – надо искать и устранять причину их несоответствия.

Тестирование должно быть целенаправленным и систематизированным, а усложнение тестовых данных должно происходить постепенно. Чтобы убедиться, что построенная модель правильно отражает существенные для цели моделирования свойства оригинала, то есть является адекватной, необходимо подбирать тестовые данные, которые отражают реальную ситуацию.

К стадии исследования модели компьютерного эксперимента можно переходить только после того, как тестирование модели прошло успешно, и вы уверены, что создана именно та модель, которую необходимо исследовать.

На заключительном этапе компьютерного моделирования проводится анализ результатов. Именно этот этап является ключевым для процесса моделирования. По итогам данного этапа принимается решение: продолжать исследование или закончить.

Если результаты не соответствуют целям поставленной задачи, значит, на предыдущих этапах были допущены ошибки. В этом случае необходимо

корректировать модель, то есть возвращаться к одному из предыдущих этапов. Процесс повторяется до тех пор, пока результаты компьютерного эксперимента не будут отвечать целям моделирования.

4. Постановка задачи

Для разработки программных средств автоматизации проектирования технических конструкций с использованием двумерного и трехмерного моделирования необходимо:

1. Установить существенные характеристики (параметры), необходимые для компьютерного моделирования объекта исследования (подземного сооружения типа трубопровод);
2. Выбрать и обосновать вид компьютерного моделирования для построения трехмерной модели сейсמודинамических процессов подземных сооружений;
3. Разработать алгоритм реализации имитационного моделирования подземного сооружения типа трубопровод;
4. Построить трехмерную модель информационной системы проектирования сейсמודинамических процессов на базе основных характеристик, выявленных в процессе исследования объекта моделирования;
5. Реализовать комплекс программных средств, позволяющих моделировать сейсמודинамические процессы подземных сооружений на основе двумерной и трехмерной модели.

Основной задачей является построение модели информационной системы, на основе которой будет разработан комплекс программных средств автоматизации проектирования технических конструкций на основе трехмерного моделирования.

Выводы по первой главе

1. Рассмотрены актуальные вопросы сейсродинамических процессов подземных сооружений, выявлены основные факторы, влияющие на повреждения и разрушения подземных сооружений;
2. Представлены и изучены основные заключения, касающиеся сейсмического воздействия на подземные сооружения различного назначения, которые будут использоваться при компьютерном моделировании объекта исследования;
3. Приведены общая схема моделирования, а также основные этапы компьютерного моделирования, которые будут использоваться в ходе реализации программного комплекса;
4. Представлена разработка трехмерной модели сейсродинамических процессов на состояние подземного сооружения типа трубопровод.

ГЛАВА 2. ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ СЕЙСМОДИНАМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОДЗЕМНОГО ТРУБОПРОВОДА

В данной главе приведено обоснование выбора имитационного моделирования, рассмотрены его суть, виды и обобщенный алгоритм, определены входные характеристики для последующего моделирования подземного трубопровода, проведен анализ входных свойств грунта, трубопровода и продольных колебаний подземного трубопровода. Описан алгоритм моделирования сейсродинамического процесса подземного трубопровода. Рассмотрен программный комплекс моделирования сейсродинамических процессов и представлены его основные программные модули.

1. Обоснование выбора метода компьютерного моделирования

Из-за многозначности понятия «модель» в науке и технике не существует точной единой классификации видов моделирования. Классификацию проводят по характеру моделей, по характеру моделируемых объектов, по сферам приложения моделирования (в технике, физических науках, кибернетике и т. д.).

Сегодня одним из популярных методов моделирования является имитационное моделирование.

Имитационное моделирование (ситуационное моделирование) – метод, позволяющий строить модели, описывающие процессы так, как они проходили бы в действительности. Такую модель можно «проиграть» во времени как для одного испытания, так и заданного их множества. При этом результаты будут определяться случайным характером процессов. По этим данным можно получить достаточно устойчивую статистику. [32]

Имитационное моделирование – это метод исследования, при котором изучаемая система заменяется моделью, с достаточной точностью описывающей реальную систему, с которой проводятся эксперименты с

целью получения информации об этой системе. Экспериментирование с моделью называют имитацией (имитация – это постижение сути явления, не прибегая к экспериментам на реальном объекте). [32]

Имитационное моделирование – это частный случай математического моделирования. Существует класс объектов, для которых по различным причинам не разработаны аналитические модели, либо не разработаны методы решения полученной модели. В этом случае аналитическая модель заменяется имитатором или имитационной моделью.

Имитационная модель – логико-математическое описание объекта, которое может быть использовано для экспериментирования на компьютере в целях проектирования, анализа и оценки функционирования объекта.

1.1. Суть имитационного моделирования

Имитационное моделирование – один из самых мощных инструментов анализа при разработке сложных систем и анализе процессов их функционирования. Суть имитационного моделирования проста и в то же время интуитивно привлекательна. Его использование дает возможность экспериментировать с существующими или предлагаемыми системами в тех случаях, когда сделать это на реальных объектах практически невозможно или нецелесообразно.

Имитационное моделирование как метод научного исследования предполагает использование компьютерных технологий для имитации различных процессов или операций – моделирования. Устройства или процесс в дальнейшем будут называться системой. Для научного исследования системы применяют определенные допущения, касающиеся ее функционирования. Эти допущения, как правило, выражаемые в виде математических зависимостей или логических отношений, представляют собой модель, с помощью которой можно изучать поведение рассматриваемой системы. Если выражения, входящие в модель, достаточно

просты для получения точной информации при решении тех или иных вопросов, то можно использовать аналитические методы. Однако большинство реальных систем являются очень сложными, и создать их аналитическую модель не представляется возможным. Такие модели следует изучать путем ИМ; при этом для получения численных результатов, с помощью которых проводят расчет характеристик исследуемой системы, применяют компьютер. [62]

В имитационной модели поведение компонент системы описывается набором алгоритмов, которые затем реализуют ситуации, возникающие в реальной системе. Моделирующие алгоритмы позволяют по исходным данным, содержащим сведения о начальном состоянии системы, и фактическим значениям параметров системы отобразить реальные явления в системе и получить сведения о возможном поведении системы для данной конкретной ситуации.

На основании опыта имитационного моделирования можно рекомендовать исследователю использовать имитационную модель сложной системы при решении своих задач в следующих случаях:

1. Если не существует законченной постановки задачи исследования и идет процесс познания объекта моделирования. Имитационная модель служит средством изучения явления.
2. Если аналитические методы имеются, но математические процедуры столь сложны и трудоемки, что имитационное моделирование дает более простой способ решения задачи.
3. Когда кроме оценки влияния параметров системы желательно осуществить наблюдение за поведением компонент системы в течение определенного периода.
4. Когда имитационное моделирование оказывается единственным способом исследования сложной системы из-за невозможности наблюдения явлений в реальных условиях.

5. Когда необходимо контролировать протекание процессов в системе путем замедления или ускорения явлений в ходе имитации.

1.2. Виды имитационного моделирования

Моделирование вообще, как правило, выражается построение модели, отражающей только изучаемый аспект объекта оригинала. И направлено на получение знаний об этом аспекте. Из этого следует, что на основе одного объекта может быть построено несколько специализированных моделей.

Имитационное моделирование (ситуационное моделирование) – метод, позволяющий строить модели, описывающие процессы так, как они проходили бы в действительности.

Цель имитационного моделирования состоит в воспроизведении поведения исследуемой системы на основе результатов анализа наиболее существенных взаимосвязей между ее элементами или другими словами – разработке симулятора исследуемой предметной области для проведения различных экспериментов.

На сегодняшний день выделяют следующие виды имитационного моделирования (рис.2.1.1):

Агентное моделирование – используется для исследования децентрализованных систем, динамика функционирования которых определяется результатом индивидуальной активности членов группы.

Дискретно-событийное моделирование – подход к моделированию, предлагающий абстрагироваться от непрерывной природы событий и рассматривать только основные события моделируемой системы. Считается, что этот вид моделирования наиболее подходит для моделирования производственных процессов.

Системная динамика – парадигма моделирования, где для исследуемой системы строятся графические диаграммы причинных связей и глобальных влияний одних параметров на другие во времени, а затем созданная на основе

этих диаграмм модель имитируется на компьютере. С помощью системной динамики строят модели бизнес-процессов, развития города, модели производства, динамики популяции, экологии и развития эпидемии.



Рис.2.1.1. Виды имитационного моделирования

Понятно, что описываемый процесс часто имеет аспекты дискретно-событийной природы, агентной зависимости, системной динамики. Соответственно, можно для него строить различные виды моделей. Или создать единую, позволяющую исследовать процесс под различными углами. Последнее особо полезно для создания целостного понимания посредством быстрого переключения между аспектами процесса или наблюдением за их комплексным влиянием. Такой подход видится востребованным при обучении, освоении процесса как такового в его многомерности.

В нашем случае, мы будем придерживаться двух видов моделирования – дискретно-событийного моделирования и системной динамики.

1.3. Обобщенный алгоритм имитационного моделирования

Определим метод имитационного моделирования в общем виде как экспериментальный метод исследования реальной системы по ее имитационной модели, который сочетает особенности экспериментального

подхода и специфические условия использования вычислительной техники.
[56]

В этом определении подчеркивается, что имитационное моделирование является машинным методом моделирования благодаря развитию информационных технологий, что привело к появлению этого вида компьютерного моделирования. В определении также акцентируется внимание на экспериментальной природе имитации, применяется имитационный метод исследования (осуществляется эксперимент с моделью). В имитационном моделировании важную роль играет не только проведение, но и планирование эксперимента на модели. Однако это определение не проясняет, что собой представляет сама имитационная модель.

В процессе имитационного моделирования (рис. 2.1.2) исследователь имеет дело с четырьмя основными элементами:

- реальная система;
- логико-математическая модель моделируемого объекта;
- имитационная (машинная) модель;
- ЭВМ, на которой осуществляется имитация – направленный вычислительный эксперимент.

Исследователь изучает реальную систему, разрабатывает логико-математическую модель реальной системы. Имитационный характер исследования предполагает наличие логико- или логико-математических моделей, описываемых изучаемый процесс. [17]

Составной характер сложной системы описывает представление ее модели в виде трех множеств: $\langle A, S, T \rangle$, где

A – множество элементов (в их число включается и внешняя среда);

S – множество допустимых связей между элементами (структура модели);

T – множество рассматриваемых моментов времени.



Рис.2.1.2. Обобщенный алгоритм имитационного моделирования

При имитационном моделировании структура моделируемой системы адекватно отображается в модели, а процессы ее функционирования проигрываются (имитируются) на построенной модели. Поэтому построение имитационной модели заключается в описании структуры и процессов функционирования моделируемого объекта или системы. В описании имитационной модели выделяют две составляющие:

- статическое описание системы, которое по существу является описанием ее структуры. При разработке имитационной модели необходимо применять структурный анализ моделируемых процессов.
- динамическое описание системы, или описание динамики взаимодействий ее элементов. При его составлении фактически требуется построение функциональной модели моделируемых динамических процессов.

Идея метода, с точки зрения его программной реализации, состоит в следующем. Что, если элементам системы поставить в соответствие некоторые программные компоненты, а состояния этих элементов описывать с помощью переменных состояния. Элементы, по определению, взаимодействуют (или обмениваются информацией), значит, может быть реализован алгоритм функционирования отдельных элементов, т.е., моделирующий алгоритм. Кроме того, элементы существуют во времени, значит надо задать алгоритм изменения переменных состояний. Динамика в

имитационных моделях реализуется с помощью механизма продвижения модельного времени.

Отличительной особенностью метода имитационного моделирования является возможность описания и воспроизведения взаимодействия между различными элементами системы. Таким образом, чтобы составить имитационную модель, надо: [17]

- представить реальную систему (процесс), как совокупность взаимодействующих элементов;
- алгоритмически описать функционирование отдельных элементов;
- описать процесс взаимодействия различных элементов между собой и с внешней средой.

Ключевым моментом в имитационном моделировании является выделение и описание состояний системы. Система характеризуется набором переменных состояний, каждая комбинация которых описывает конкретное состояние. Следовательно, путем изменения значений этих переменных можно имитировать переход системы из одного состояния в другое. Таким образом, имитационное моделирование – это представление динамического поведения системы посредством продвижения ее от одного состояния к другому в соответствии с определенными правилами. Эти изменения состояний могут происходить либо непрерывно, либо в дискретные моменты времени. Имитационное моделирование есть динамическое отражение изменений состояния системы с течением времени. [17]

При имитационном моделировании логическая структура реальной системы отображается в модели, а также имитируется динамика взаимодействий подсистем в моделируемой системе.

2. Определение входных характеристик для последующего моделирования объекта исследования

Для моделирования подземного трубопровода разделим входные характеристики на 3 большие группы, каждая из которых будет содержать свой набор входных параметров:

- грунт;
- трубопровод;
- продольные колебания подземного трубопровода.

Рассмотрим каждую группу подробно и определим их свойства

2.1. Анализ свойств входных параметров грунта

При моделировании грунта будем опираться на 2 показателя: вид и влажность грунта.

Виды почвы. Формирование почвы зависит от сочетания факторов почвообразования, которые различаются на обширных пространствах Земли.

Для моделирования грунта будем обращать внимание на его почвенные особенности. Выделим следующие основные типы грунтов – скалистый, крупнообломочный, песчаный и глинистый, каждый из которых имеет свои свойства и отличительные признаки. [58]

1. Грунт скалистого типа – это по сути даже не грунт, а горная порода, которая представляет собой сплошной каменный массив, части которого прочно связаны между собой. Скальный грунт – самый прочный из всех возможных, он не сжимается, не пропускает воду и не накапливает в себе влаги, является непучинистым (рис.2.2.1).

2. Грунт крупнообломочного типа – это грунт, который более чем на половину состоит из больших обломков камней, щебня и гравия, пространство между которыми заполняет песок или глинистый грунт. Размер крупных частиц – от 10 см и более. Крупнообломочный грунт тоже имеет очень большую несущую способность, его можно считать несжимаемым. Этот грунт будет подвержен пучению только в том случае, если содержит глинистые включения. Если пространство между крупными фракциями

заполняет песок, то крупнообломочный грунт будет непучинистым (рис.2.2.2).

3. Песчаный грунт более чем на половину состоит из частиц песка размером меньше 5 мм. В сухом состоянии грунт песчаного типа рассыпается. Коэффициент сжатия песчаного грунта небольшой, а скорость его уплотнения под нагрузкой велика. В зависимости от того, каких размеров песчинки преобладают в грунте, его делят на несколько видов:

- гравелистый песок – преобладают песчинки размером от 0,25 мм до 5 мм, несущая способность - 6 кг/см^2
- крупный песок – преобладают песчинки размером от 0,25 мм до 2 мм, несущая способность 5-6 кг/см^2
- средний песок – песчинки имеют размер от 0,1 мм до 1 мм, несущая способность 4-5 кг/см^2
- мелкий или пылеватый песок имеет размер песчинок менее 0,1 мм, несущая способность в сухом состоянии 3-4 кг/см^2 , во влажном – 1,5 кг/см^2 .

Чем крупнее песок, тем лучшие свойства он показывает: гравелистый и крупный песок более прочен, имеет большую несущую способность и плохо удерживает влагу, и поэтому мало подвержен пучению (рис.2.2.3).

4. Грунт глинистого типа состоит из очень мелких частиц размером менее 0,01 мм, обладает пластичностью, очень хорошо удерживает в себе влагу и поэтому сильно подвержен пучению: при замерзании может увеличиваться в объеме на 10-15%. Он сильно подвержен сжатию (сильнее, чем песок), и скорость осадки глинистого грунта ниже, поэтому процесс осадки будет занимать гораздо больше времени. Грунты глинистого типа делят на несколько видов: супесь, суглинок, глина.

Супесь содержит не более 10% глинистых частиц и является промежуточным грунтом между глиной и песком. Супесь в сухом состоянии рассыпается и крошится, очень плохо скатывается в шнур, если

увлажненную супесь скатать в шар, то он легко рассыпается. Несущая способность супеси в сухом и пластичном состоянии 3 кг/см^2 .

Суглинок содержит от 10% до 30% глины, в сухом состоянии суглинок обладает слабой пластичностью. Во влажном состоянии из суглинка можно скатать шар, который при сжатии образует лепешку с трещинами по краям. Несущая способность суглинка в сухом состоянии 3 кг/см^2 , в пластичном $2,5 \text{ кг/см}^2$.

Более 30% глинистых частиц – это чистая глина. Она обладает хорошей пластичностью, хорошо скатывается в шнур, глиняный шар сдавливается в лепешку без образования трещин. Несущая способность сухой глины 6 кг/см^2 , пластичной – 4 кг/см^2 .



Рис.2.2.1. Грунт скалистого типа



Рис.2.2.2. Грунт крупнообломочного типа



Рис.2.2.3. Грунт песчаного типа



Рис.2.2.4. Грунт глинистого типа

Влажность грунта. Влажность грунта – свойство грунта, обусловленное наличием в нём различных категорий воды. Характеризуется различными количественными показателями влажности. Влажность грунта не следует путать с его влагоёмкостью.[63]

Различают весовую и объемную влажность. Весовой влажностью грунта W называют отношение веса воды, содержащейся в грунте, к весу грунта, высушенного при температуре 100 - 105° до постоянного веса, выраженное в процентах. Под объемной влажностью n и w понимают отношение объема воды, заключенной в породе, к объему всей породы, выраженное в процентах.

Естественной влажностью грунта называют количество воды, содержащейся в порах грунта в естественных условиях его залегания. Величина естественной влажности является важной характеристикой физического состояния породы, определяющей прочность породы и поведение ее под сооружением. Особое значение влажность имеет для глинистых грунтов, резко меняющих свои свойства в зависимости от степени увлажнения.

Естественная влажность является важным косвенным показателем, необходимым для вычисления объемного веса грунта, пористости, степени влажности и др. В зависимости от значения различают следующие виды консистенции грунта:

- твердая – в грунте содержится только прочносвязанная вода;
- полутвердая – в составе грунта появляются свободные объемы воды;
- пластичная – повышенное содержание свободной воды в грунте;
- текучая – максимально возможное содержание объемов свободной воды.

2.2. Анализ свойств входных параметров трубопровода

Для моделирования трубопровода будем опираться на следующие входные параметры: протяженность трубы, глубина заложения, внешний и внутренний диаметр трубопровода, материал изготовления и нагрузка на трубу.

Для параметров протяженность, глубина заложения, внешний и внутренний диаметр трубопровода главным условием будет приведение их к одной единице измерения. В нашем случае к метрам.

Протяженность (длина) трубы. Длина трубы определяется расстоянием между ее торцами, а при наличии навинченной муфты – расстоянием от свободного торца муфты до конца сбега резьбы противоположного конца трубы.

Длина трубы должна удовлетворять как требованиям теплопередачи, так и требованиям потерь давления. Соотношения, описывающие передачу тепла и потери давления, должны одновременно входить в два уравнения, в которых двумя неизвестными будут длина трубы и расход теплоносителя. Длину трубы указывают в метрах.

Требования ГОСТов к длине трубы не являются жесткими. Например, трубы ГОСТ при диаметре свыше 152 мм изготавливаются длиной не менее 5 м. Длина магистральных труб может составлять от 10,6 до 11,6 метров [23].

Если при продаже п/ш или с/ш б/у длина трубы не указывается, это может означать, что длина трубы находится в пределах ГОСТ (как правило, около 11 метров). По бесшовным трубам допускается еще больший разброс по длинам [22].

Глубина заложения трубопровода [59]. Минимальная глубина заложения трубопроводов принимается исходя из следующих трех условий:

1. исключение промерзания труб;
2. исключение механического разрушения труб под действием внешних нагрузок;
3. обеспечение самотечного присоединения к трубопроводам внутриквартальных сетей и боковых веток.

Температура сточных вод в зимнее время не снижается ниже 10°C. Поэтому оказывается возможным прокладывать трубопроводы на глубине, меньшей глубины промерзания грунта (рис. 2.2.5).

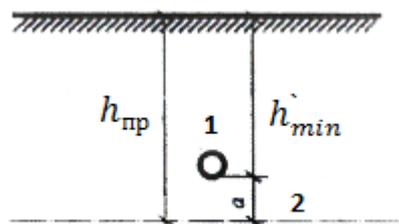


Рис.2.2.5. Схема глубины заложения трубопровода: 1 – трубопровод; 2 – граница мерзлого грунта

Минимальную глубину заложения трубопроводов принимают на основании опыта эксплуатации подземных коммуникаций в данной местности. При отсутствии данных по опыту эксплуатации минимальная глубина может приниматься равной:

$$h_{min}^{\cdot} = h_{пр} - a$$

где, $h_{пр}$ - глубина промерзания грунта; a - величина, зависящая от диаметра трубопровода, значение которой рекомендуется принимать равными: 0,3 м – при диаметре до 500 мм и 0,5 м – при большем диаметре.

В целях исключения механического разрушения трубопроводов от внешних нагрузок, возникающих в городских условиях, глубина заложения должна быть не меньше 0,7 м до верха трубопровода. Следовательно минимальная глубина трубопровода до лотка равна:

$$h_{min}^{\cdot\cdot} = 0,7 + d$$

где d - диаметр трубы, м.

Минимальная глубина заложения трубопровода в диктующей точке принимается из сравнения этих условий, при этом принимается большая из них.

Максимальная глубина заложения трубопроводов при открытом способе производства работ диктуется гидрогеологическими, техническими и экономическими условиями.

В скальных грунтах ее рекомендуется принимать равной 4-5 м; в мокрых плавунных – 5-6 м и сухих нескальных – 7-8 м.

Внешний и внутренний диаметр трубопровода[60]. Трубы имеют 2 основные характеристики (диаметра) (рис.2.2.6):

- Внутренний диаметр труб или по-другому, условный проход трубы D_y
- Наружный диаметр труб D_n

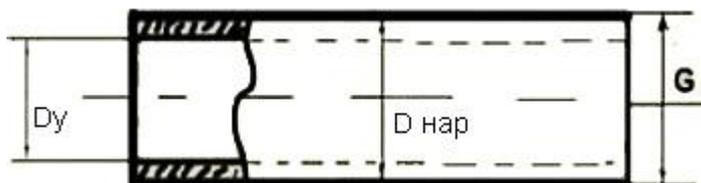


Рис.2.2.6. Внутренний и наружный диаметры трубы

Согласно стандартному ряду, принятому в большинстве стран, трубы имеют следующие внутренний диаметр, измеряемый в мм: 6, 10, 15, 20, 25, 32, 40, 50, 65, 80, 100, 125, 200 и т.д.

При монтаже системы из стальных труб для жилых зданий обычно используют трубы с размером внутреннего диаметра $D_y = 15, 20$ и 32 мм.

Чугунные безнапорные трубы с диаметром $D_y = 50$ и 100 мм наиболее часто используемые.

В настоящее время для прокладки внутридомовых трубопроводов все чаще используют трубы из полимерных материалов, которые вытесняют чугун и сталь.

Следует указать, что в зависимости от вида используемого материала при изготовлении труб используют разные системы обозначения. В большинстве случаев стальные и чугунные трубы обозначают по условному проходу или внутреннему диаметру. Трубы из меди, некоторые виды стальных труб, трубы из полимерных материалов обозначают по наружному диаметру. Как правило, и наружный диаметр трубы и внутренний измеряются в миллиметрах (мм).

При моделировании трубопровода будем преобразовывать величины наружного и внутреннего диаметра в метры (м) для обеспечения единства единиц измерений.

Нагрузка на трубы [61]. Для крепления трубопроводов используются два вида опор: жесткие опоры и скользящие опоры.

Жесткое крепление трубопровода исключает возможность компенсации, жесткие опоры устанавливаются на отдельных отрезках трубопровода, за счет жесткого соединения обеспечивается надежная прокладка. Необходимо четко рассчитывать расстояние между опорами, учитывая нагрузку при расширении.

При скользящей опоре крепления трубопровода позволяет трубе перемещаться по оси в обоих направлениях, не повреждая саму трубу. Необходимо размещать фасонные детали на большом расстоянии от скользящих опор, чтобы они не мешали передвижению. При таком способе крепления остается возможность компенсационного движения.

В нашем случае будем использовать 3 вида крепления трубопровода.

1 случай: когда оба конца жестко закреплены.

2 случай: когда один конец жестко закреплен, а другой свободен.

3 случай: когда один конец свободен, а другой жестко защемлен.

Материал изготовления трубы. Трубы делаются из стали, из чугуна, из пластика и керамики. При моделировании трубы будем опираться на эти виды материалов.

Стальные трубы (рис.2.2.7). Самыми популярными и привычными являются стальные трубы. Сталь была и остается едва ли не прочнейшим производственным материалом, используемым в больших масштабах современной промышленностью и для бытовых целей. По определению стальная труба представляет собой изделие из стали с кольцеобразным, овальным, многоугольным или другим полым поперечным сечением. Стальные трубы выпускают в широком диапазоне диаметров, толщин стенок, марок стали и различных классов точности.

По способу изготовления стальные трубы разделяют на:

- Бесшовные – более надежные, но в то же время – более дорогие.

- Сварные – используют чаще всего, и их качество, надежность и долговечность зависит от марки стали, из которой они изготовлены.

К преимуществам стальных труб можно отнести их высокую прочность и пластичность. Они легче используемых в сходных ситуациях чугунных труб, и выдерживают большее внутреннее давление.

Главный же недостаток труб из стали – подверженность коррозии и относительно небольшой срок службы.

Чугунные трубы (рис.2.2.8). Чугунные трубы представляют собой своеобразную альтернативу стальным.

В большинстве своем чугунные трубы производятся с раструбным соединением, и именно качеству раструба следует уделять особое внимание, ведь от этого зависит герметичность всей системы.

Основным недостатком чугунных труб, сыгравшим решающую роль в их постепенном выходе из обихода является их большая масса и значительный расход металла на производство 1 м трубы. Кроме того, трубы из чугуна нельзя использовать в солончаковых почвах – при воздействии почвенного рассола такие трубы быстро теряют прочность.

Керамические трубы (рис.2.2.9). Керамические трубы по области их применения в канализации и водоснабжении здания являются в некотором роде аналогом труб чугунных. Впрочем, их преимущества перед чугунными трубами, такие как высокая коррозионная стойкость и меньшая масса, стали причиной того факта, что керамические трубы сегодня вытесняют чугунные практически повсеместно.

Главным недостатком труб из керамики является их механическая хрупкость и малая длина: при обустройстве трубопровода требуется герметизировать большее количество соединений. Кроме того, керамический трубопровод может эффективно функционировать только в ограниченном диапазоне давлений.

Пластиковые трубы (поливинилхлоридные и полипропиленовые) (рис.2.2.10). Из полиэтилена высокого давления (ПВД) сегодня производятся

многие виды пластиковых труб. Разнообразие номенклатуры делает пластиковые трубы идеальным выбором для самых различных трубопроводов.



Рис.2.2.7. Вид стальной трубы



Рис.2.2.8. Вид чугунной трубы



Рис.2.2.9. Вид керамической трубы



Рис.2.2.10. Вид пластиковой трубы

Преимущества пластика как материала для труб очевидны: полиэтилен и его производные химически инертны, практичны, долговечны, обладают хорошими механическими свойствами. Основные виды полипропиленовых труб используются как при монтаже систем водоснабжения, так и при создании канализационных трубопроводов.

Установленные полипропиленовые трубы на достаточной глубине, отлично выдерживают понижение температуры (за счет высокой эластичности полипропиленовые трубы даже при полном промерзании не трескаются, а только деформируются, а при оттаивании – возвращают прежнюю форму).

Среди недостатков пластиковых труб – их низкая сопротивляемость деформациям при сжатии. Так что, если трубы должны выдерживать именно механическую нагрузку – пластик нужно заменить на металл.

2.3. Анализ свойств входных параметров продольных колебаний подземного трубопровода

Моделирование продольных колебаний подземного трубопровода будет происходить на основании выходного файла программного комплекса по расчету задачи продольных колебаний подземных труб на заданном участке с соответствующими условиями. Интерфейс программного комплекса представлен на рис.2.2.11.

Данный программный комплекс основан на алгоритме решения задачи продольных колебаний подземных труб, который приведен в работах [42-43].

Программный комплекс по решению задачи продольных колебаний подземных труб на заданном участке с соответствующими условиями является универсальным и подходит для решения задачи для двух трубопроводов с соединяющим узлом. Для решения задачи с одним трубопроводом нужно указать одинаковые коэффициенты параметров трубопровода.

Входными параметрами трубопровода данного программного комплекса являются:

- N – число секций деления трубопровода;
- K_c – скорость распространения волны;
- K_{x1} и K_{x2} – импульсы;
- D_1 и D_2 – внешние диаметры трубопровода;
- d_1 и d_2 – внутренние диаметры
- D_n – наружный диаметр узла;
- m узла – масса узла.

Также необходимо указать материал изготовления трубы и виды нагрузок.

расчет

Введите значения

диаметр трубы

N 100 Kс 0,1 Kх1 2,5 D1 16,9 d1 15,95 Dн 16,9

Kх2 2,5 D2 16,9 d2 15,95 m узла 3

материал трубы

сталь

железобетон

нагрузка

жесткое защемление обоих концов

один конец защемлен, другой свободен

один конец свободен, другой защемлен

нагрузка

импульс

синусоидальная

синусоидальная2

M1=

назад решить записать на файл

Рис. 2.2.11. Интерфейс пользователя для решения задачи продольных колебаний подземных труб на заданном участке с соответствующими условиями

Результатом решения является выходной файл с безразмерными величинами, характеризующие продольные колебания подземного трубопровода (рис.2.2.12).

3. Алгоритм моделирования сейсродинамического процесса подземного трубопровода

Для реализации программного комплекса для проектирования двумерной и трехмерной модели сейсмического воздействия на подземные сооружения типа трубопровод используются следующие характеристики для построения двумерного и трехмерного графического изображения грунта и трубопровода.

Для трубопровода вводятся следующие параметры:

- глубина заложения;
- протяженность трубопровода;
- диаметр внутренний;
- диаметр внешний;
- материал изготовления (будем использовать 4 вида: сталь, чугун, керамика и пластик).
- вид крепления трубопровода (нагрузка).

Для грунта параметры следующие:

- вид почвы (грунт скалистого типа, грунт крупнообломочного типа, грунт песчаного типа, грунт глинистого типа);
- влажность почвы (твердая, полутвердая, пластичная, текучая).

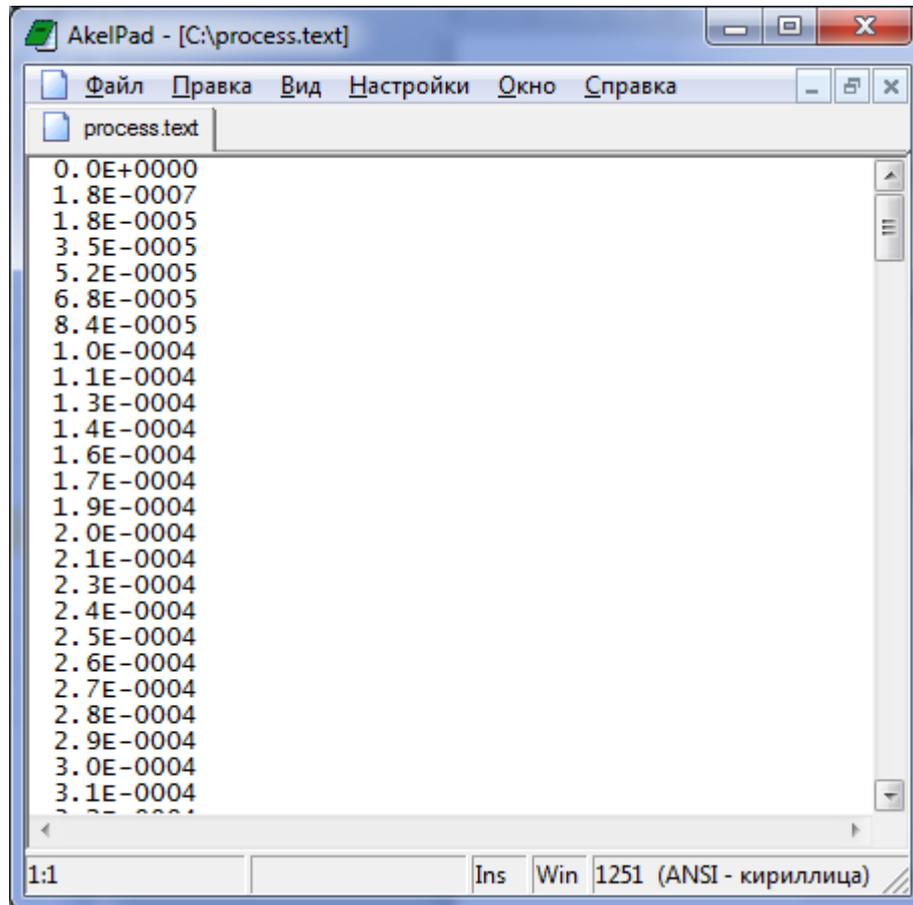


Рис. 2.2.12. Выходной файл с безразмерными величинами, характеризующие продольные колебания подземного трубопровода

Таким образом, при вводе вышеперечисленных параметров строится двумерное или трехмерное изображение трубопровода и грунта.

Следующим этапом для реализации программного комплекса идет построение сейсмической волны, с помощью программного комплекса для решения задачи продольных колебаний подземных труб на заданном участке с соответствующими условиями.

В результате всю работу по реализации программного комплекса по моделированию сейсродинамических процессов подземного трубопровода можно свести к следующему виду (рис.2.3.1).



Рис.2.3.1. Реализация комплекса программных средств визуального просмотра сейсродинамических процессов в графическом режиме на основе трехмерной модели

Реализация программного вычислительного комплекса для решения задачи продольных колебаний подземных труб на заданном участке с соответствующими условиями способствует формированию выходного файла с численными результатами в безразмерных величинах, которые в дальнейшем будут использоваться для моделирования продольных колебаний подземных труб на заданном участке с соответствующими условиями.

Таким образом, в результате выполнения всех этапов расчета и моделирования сейсродинамики подземного трубопровода, получаем модель сейсмического воздействия на подземные сооружения типа трубопровод. Данная модель будет давать объективное представление о сейсродинамике технических конструкций, типа подземных трубопроводов, дающей возможность проводить многовариантные численные экспериментальные исследования.

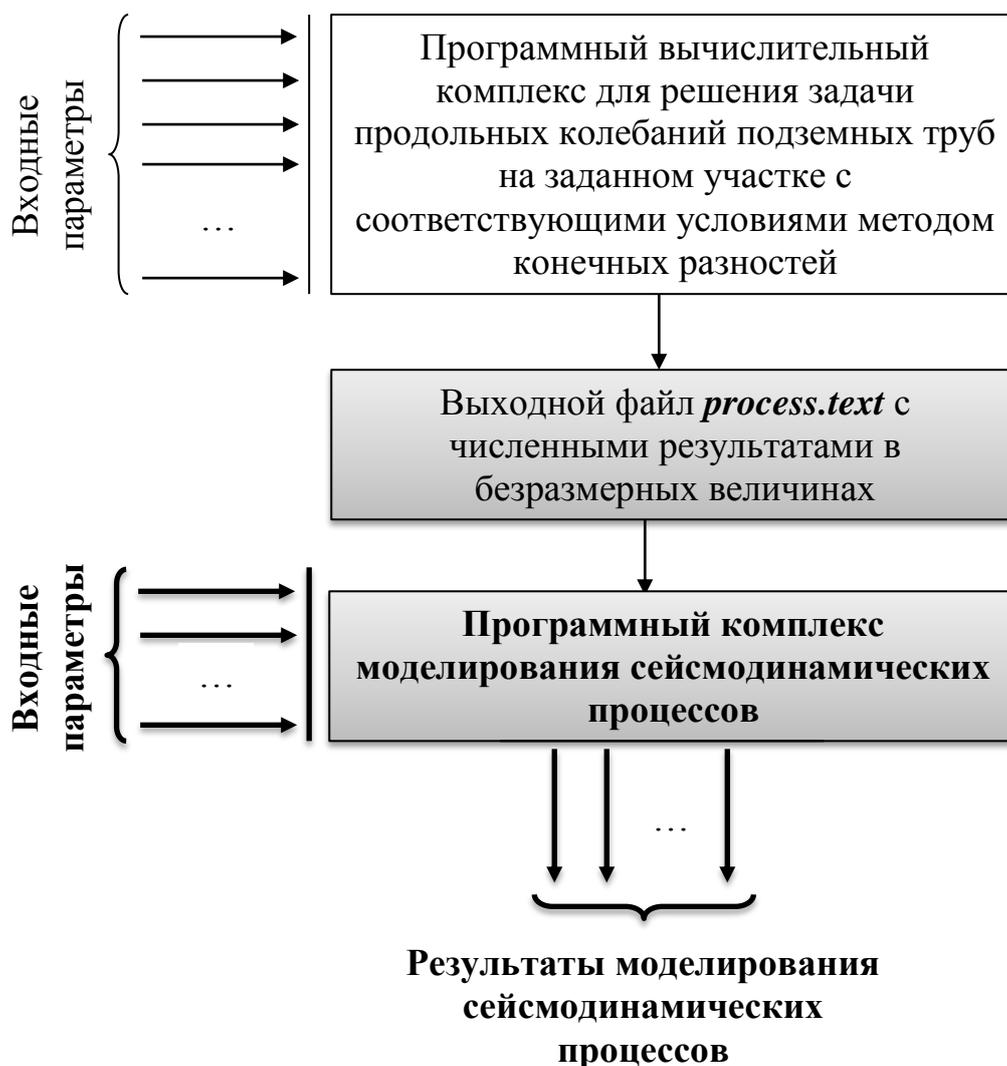


Рис.2.3.2. Общая схема интеграции программного комплекса для решения задачи продольных колебаний подземных труб и программного комплекса моделирования сейсмодинамических процессов

Данная схема (рис.2.3.2) позволяет показать интеграцию программного вычислительного комплекса для решения задачи продольных колебаний подземных труб на заданном участке с соответствующими условиями методом конечных разностей и программного комплекса моделирования сейсмодинамических процессов.

4. Описание программного моделирующего комплекса сейсродинамических процессов

Разработанный программный моделирующий комплекс реализован на языке C# в среде Windows (XP, Vista, 7, 8) для персональных компьютеров.

Программный моделирующий комплекс сейсродинамических процессов состоит из двух блоков: одного управляющего и одного моделирующего (рис.2.4.1)



Рис. 2.4.1. Описание программного моделирующего комплекса сейсродинамических процессов

Изучение влияния землетрясений на поведение строительных конструкций является актуальной задачей, т.к. одна из важнейших задач сейсмологии – выяснение причин землетрясений и объяснение их механизма – до сих пор не решена. В настоящее время большое внимание уделяется не только проблеме расчета сейсмических конструкций, но и моделированию сейсродинамических процессов подземных сооружений.

Сегодня решается задача проектирования и анализа технических конструкций (подземных сооружений типа трубопровод). Сейчас реализованы и продолжают реализовываться следующие виды работ:

1. Выведен алгоритм решения задачи продольных колебаний подземных труб на заданном участке с соответствующими условиями;

2. С помощью программных средств реализован программный комплекс решения задачи продольных колебаний подземных труб на основе алгоритмов [49-50], результатом которого является выходной файл с численными результатами;

3. По входным параметрам ведется моделирование грунта и трубопровода;

4. С помощью полученного выходного файла реализуется задача визуального просмотра продольных колебаний подземных труб.

При реализации программного комплекса для проектирования двумерной и трехмерной модели сейсмического воздействия на подземные сооружения типа трубопровод используются следующие характеристики для построения двумерного и трехмерного графического изображения грунта и трубопровода.

Для трубопровода вводятся следующие параметры:

- глубина заложения;
- протяженность трубопровода;
- диаметр внутренний;
- диаметр внешний;
- материал изготовления (черная сталь, оцинкованная сталь, медь, пластик).
- нагрузка на трубопровод
- наличие и вид заземления с обоих концов и т.д.

Для грунта параметры следующие:

- вид почвы (песчаная, илистая, глинистая, меловая);
- влажность почвы (сухая, влажноватая, влажная, сырая, мокрая) и т.д.

Таким образом, при вводе вышеперечисленных параметров строится двумерное изображение трубопровода и грунта.

Следующим этапом для реализации программного комплекса идет построение сейсмической волны. Для этого использовались алгоритмы расчета подземных сооружений, приведенные в работах [49-50]. На основе данных алгоритмов был реализован программный комплекс для решения задачи продольных колебаний подземных труб на заданном участке с соответствующими условиями. Результатом работы данной программы является файл с численными результатами, которые зависят от продолжительности действия импульса.

В настоящий момент работы ведутся по формированию изображения грунта и трубопровода с анимированным наложением продольных колебаний подземных труб, а также формирование изображения в разрезе трубопровода и разрезе диаметра трубопровода.

5. Описание основных модулей программного моделирующего комплекса сейсродинамических процессов

Известно, что при построении серьезной программы нельзя обойтись без процедур, которые заключают в себе ее отдельные части (программные модули). Каждый программный модуль транслируется отдельно. Оттранслированные модули объединяются в выполняемую программу, этот процесс называется сборкой. Однажды написанный и оттранслированный модуль можно многократно использовать в различных программах, что экономит силы программиста, сокращает время трансляции и предохраняет от искажений исходный текст модуля.

Запуск программного комплекса начинается с управляющего модуля *Form_Main.cs*, в котором отображается интерфейс пользователя для ввода необходимых параметров для моделирования сейсродинамических процессов.

Ключевое слово *namespace* (пространство имён) используется для объявления области, которая содержит набор связанных объектов. Можно использовать пространство имён для организации элементов кода, а также для создания глобально уникальных типов.

Объявление пространства имен.

```
namespace Modeling_seismodynamic_process
{
public partial class Form_Main : Form
{
double[] _Process_Data;
...
}
}
```

Пример объявления параметров программного комплекса.

```
private Class_Build_Model_Params Get_Build_Model_Params()
{
Class_Build_Model_Params Build_Model_Params = new
Class_Build_Model_Params();
if (this.comboBox_View.SelectedItem == null)
{
MessageBox.Show("Выберите вид.");
comboBox_View.Select();
return null;
}
else
{
```

```

Build_Model_Params.View_Type = comboBox_View.SelectedItem.ToString() ==
"Разрез трубы" ? Class_Build_Model_Params.View_Types.Разрез_трубы :
Class_Build_Model_Params.View_Types.Разрез_диаметра;
}
if (this.comboBox_Pipe_Material.SelectedItem == null)
{
MessageBox.Show("Выберите материал");
comboBox_Pipe_Material.Select();
return null;
}
else
{
Build_Model_Params.Pipe_Type =
comboBox_Pipe_Material.SelectedItem.ToString();
}
...
return Build_Model_Params;
}

```

При нажатии на кнопку «Показать модель» вызывается модуль ***Form_Two_Dimensional_Model.cs***.

Вызов модуля моделирования сейсмодинамических процессов.

```

private void button_build_two_dimensional_model_Click(object sender,
EventArgs e)
{
Class_Build_Model_Params Build_Model_Params =
this.Get_Build_Model_Params();

Form_Two_Dimensional_Model f = new Form_Two_Dimensional_Model();
f.Build_Model_Params = Build_Model_Params;

```

```
f.Show();  
}
```

Параметры построения графика.

```
public Class_Build_Model_Params Build_Model_Params  
{  
    get { return _Build_Model_Params; }  
    set  
    {  
        _Build_Model_Params = value;  
        Bulid_Graph();  
    }  
}
```

Вызов модуля построения графика Bulid_Graph().

```
/// <summary>Возвращающая силу толчка в момент времени в зависимости  
от графика</summary>  
/// <param name="Duration">Продолжительность землетрясения</param>  
/// <param name="Interval">Интервал времени между  
обновлениями</param>  
/// <param name="Graph">Сила землетрясения</param>  
/// <returns></returns>  
private double[] Get_Quake_Povers(float Duration, float Interval, double[]  
Graph)  
{  
    if (Duration == 0 || Interval == 0 || Graph == null || Graph.Length == 0)  
        return null;  
    //double[] Yt = null; // массив сил толчков в момент времени  
    List<double> Yt = null;  
    int Nt; // количество обновлений за весь промежуток времени
```

```

float dt; // интервал на графике по оХ между обновлениями
int N = Graph.Length; // Количество точек графика
Nt = (int)(Duration / Interval);
Yt = new List<double>();//new double[Nt];
dt = (float)(N / (float)Nt);
for (int i = 0; i < Nt; i++)
{
    float xt; // положение по оХ в момент времени i
    xt = dt * i;
    int x1, x2; // номера точек графика между которыми попадает значение
    силы в момент времени
    x1 = (int)xt;
    x2 = x1 + 1;
    double y1, y2;
    if (x2 >= N)
        break;
    y1 = Graph[x1];
    y2 = Graph[x2];
    //Yt[i] = xt * (Graph[x2] - Graph[x1]) - Graph[x1];
    double yyt = (y2 - y1) * xt + y1 - (y2 - y1) * x1;
    Yt.Add(yyt);
    if (Math.Abs(yyt) > _Max_Quake_Power)
        _Max_Quake_Power = Math.Abs(yyt);
}
return Yt.ToArray();
}

```

В результате реализации и компиляции данных модулей мы получаем программный комплекс, который запускается из папки Debug приложением ***Modeling_seismodynamic_process.exe***.

Выводы по второй главе

1. При анализе различных методов компьютерного моделирования для моделирования сейсродинамических процессов будет использоваться имитационное моделирование. Рассмотрены суть и виды имитационного моделирования. Приведен обобщенный алгоритм процесса имитационного моделирования.
2. Определены основные свойства входных характеристик для последующего моделирования объекта исследования. Проведен анализ свойств грунта, трубопровода, продольных колебаний подземного трубопровода. Проанализированы входные параметры, которые будут использоваться в моделирующем программном комплексе.
3. Приведен алгоритм моделирования сейсродинамического процесса подземного трубопровода. Также представлена общая схема интеграции программного комплекса для решения задачи продольных колебаний подземных труб и программного комплекса моделирования сейсродинамических процессов.
4. Представлено описание программного моделирующего комплекса сейсродинамических процессов и его основных программных модулей.

ГЛАВА 3. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЕЙСМОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В данной главе приведено описание программного моделирующего комплекса, его основных модулей, представлен интерфейс пользователя, приведена инструкция работы с программным комплексом, представлены результаты моделирования сейсмодинамических процессов подземного трубопровода.

1. Руководство пользователя программного моделирующего комплекса сейсмодинамических процессов

Результаты физического моделирования часто используют для проверки и корректировки математических моделей, основанных на различных упрощениях или же гипотезах, справедливость которых требует подтверждения. В мире информационных технологий сегодня имитационное моделирование играет огромную роль. Интерес к этому виду компьютерного моделирования возрос в связи с существенным технологическим развитием систем моделирования, которые на сегодняшний день являются мощным аналитическим средством, вобравшим в себя весь арсенал новейших информационных технологий. Этот арсенал информационных технологий на сегодняшний день включает в себя развитые графические оболочки для целей конструирования моделей и интерпретации выходных результатов моделирования, мультимедийные средства и видео, поддерживающие анимацию в реальном масштабе времени, объектно-ориентированное программирование, Internet – решения и другие информационно-коммуникационные средства.

Разработанный диалоговый интерфейс позволяет работать с программным вычислительным комплексом пользователям с невысокой квалификацией в области вычислительной техники.

При открытии программного моделирующего комплекса выходит окно, которое позволяет пользователю задавать необходимые параметры моделирования (рис.3.1.1).

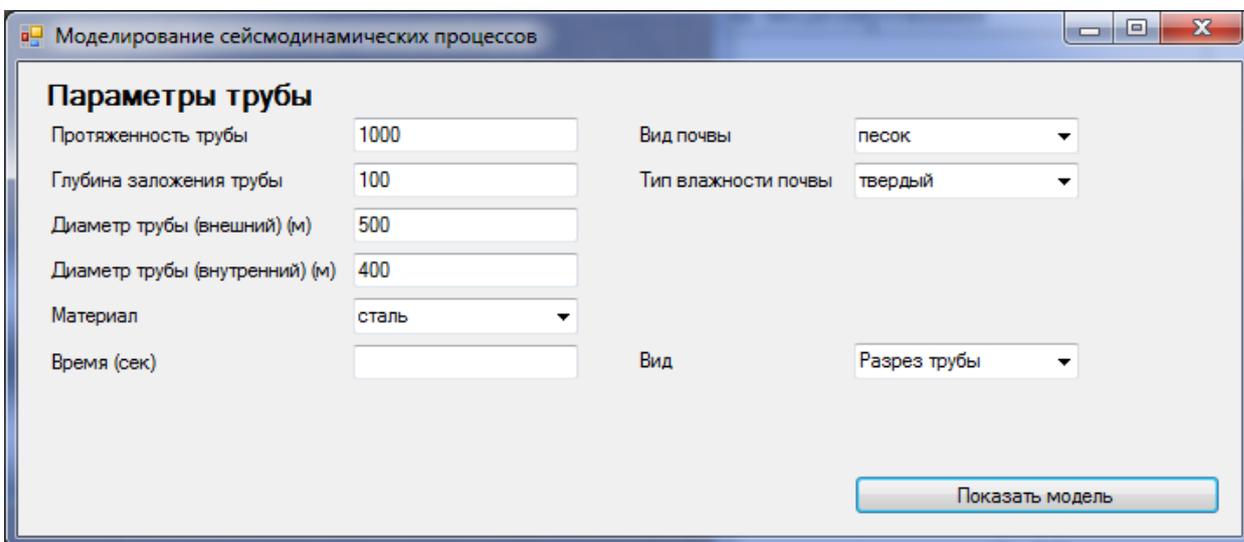


Рис.3.1.1. Окно программного моделирующего комплекса, с помощью которого задаются параметры моделирования

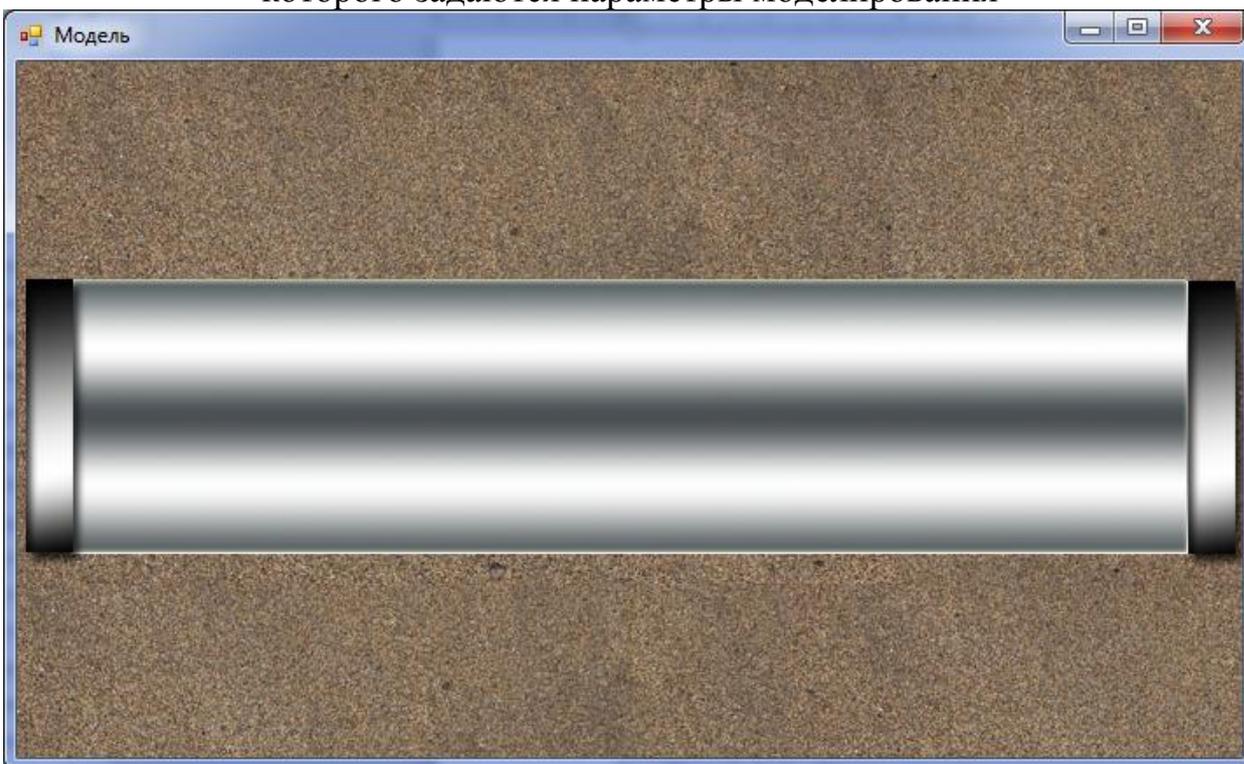


Рис.3.1.2. Пример отображения трубопровода и грунта без загрузки сейсродинамического процесса

Здесь пользователь задает параметры трубы и почвы. Выбрав основные параметры (не нажимая при этом на кнопку «Загрузить процесс»), пользователь моделирует наложение подземного трубопровода на грунт. При

этом, координатные сетки для случая просмотра изображения в разрезе трубопровода формируются на основе введенных данных в полях «Протяженность трубы» и «Глубина заложения трубы». Формирование трубы и грунта происходит за счет выбора параметров полей «Материал» (для трубопровода), «Вид почвы» и «Тип влажности почвы» (для грунта). Пример отображения трубопровода и грунта можно посмотреть на рис.3.1.2.

С помощью данного программного комплекса, пользователь может просматривать как перемещение, так и напряжение в трубопроводе. Для этого в программном вычислительном комплексе для решения задачи продольных колебаний подземных труб на заданном участке с соответствующими условиями формируются файлы process.text (для моделирования вдоль разреза трубопровода) и razrez.text (для моделирования в разрезе диаметра трубопровода) (рис.3.1.3). Выбор текстового файла зависит от параметра поля «Вид».

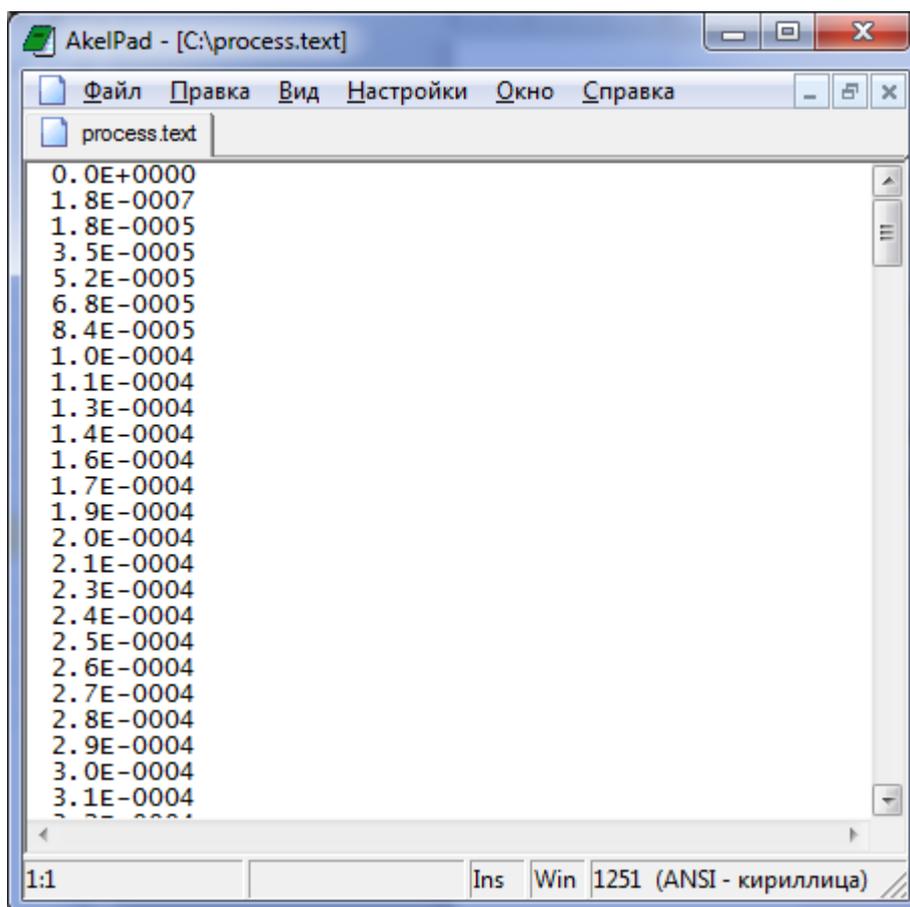


Рис.3.1.3. Выходной файл process.text с численными результатами в безразмерных величинах

Нажав на кнопку «Загрузить процесс», программа выбирает из текстового файла численные результаты расчета в безразмерных величинах и строит анимированный сейсмодинамический процесс в зависимости от заданного времени в поле «Время (сек.)» (рис.3.1.4).

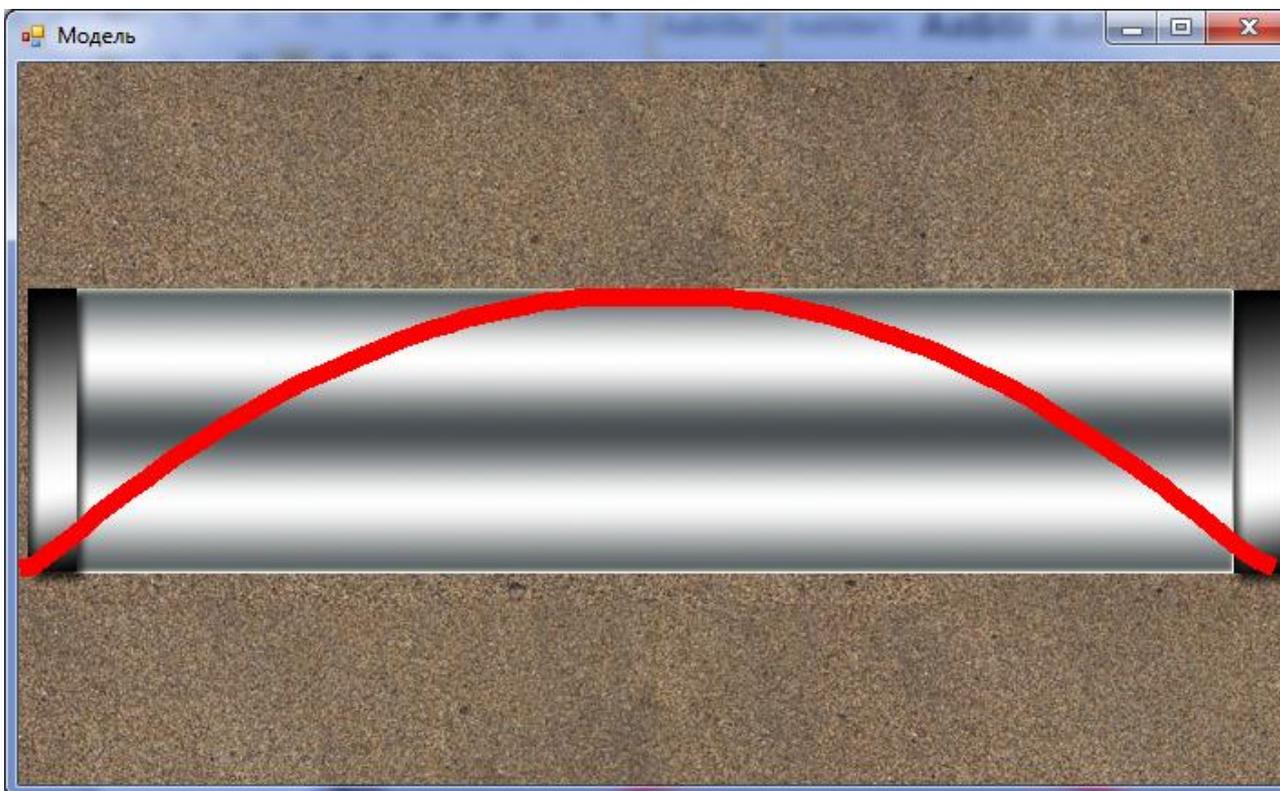


Рис.3.1.4. Построение анимированного сейсмодинамического процесса с помощью текстового файла process.text

При моделировании сейсмодинамического процесса в разрезе диаметра подземного трубопровода идет построение грунта и трубопровода в разрезе диаметра трубопровода (рис.3.1.5).

Формирование сейсмодинамического процесса в разрезе диаметра трубопровода берется из файла razrez.text (рис.3.1.6).

В результате строится анимированный сейсмодинамический процесс в разрезе диаметра трубопровода, представленный на рис.3.1.7.

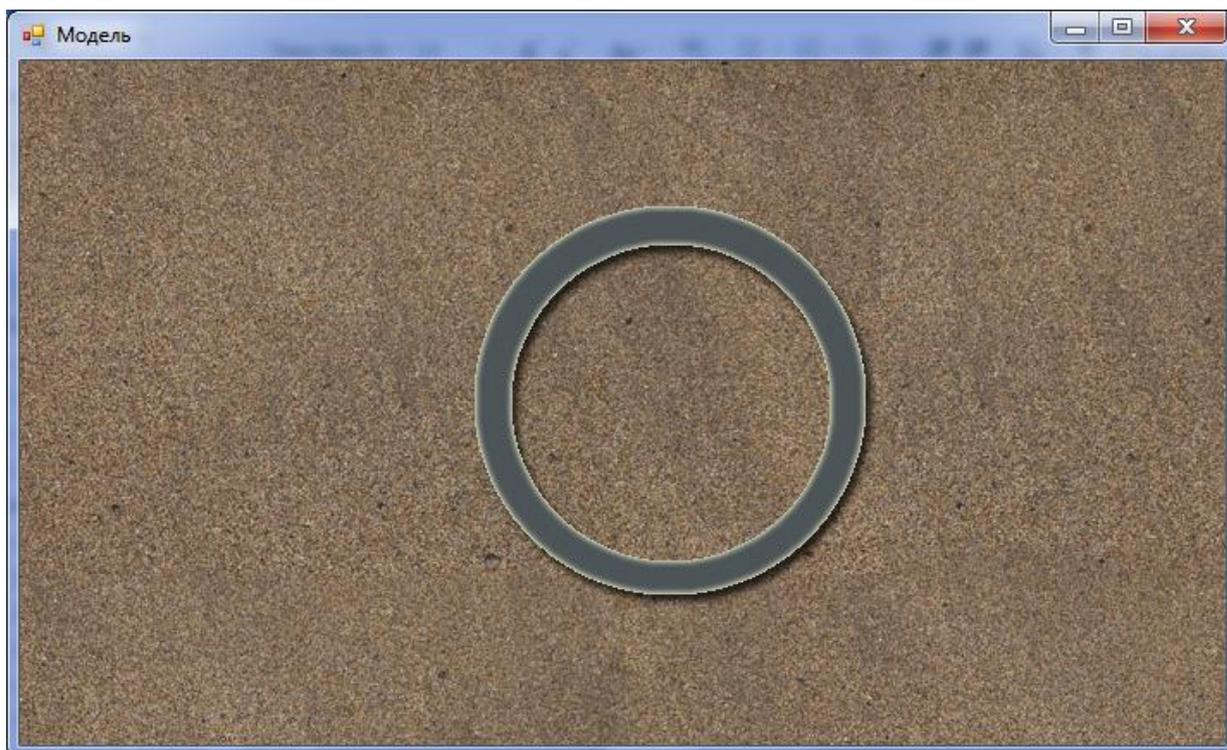


Рис.3.1.5. Построение модели сейсродинамических процессов в разрезе диаметра трубопровода

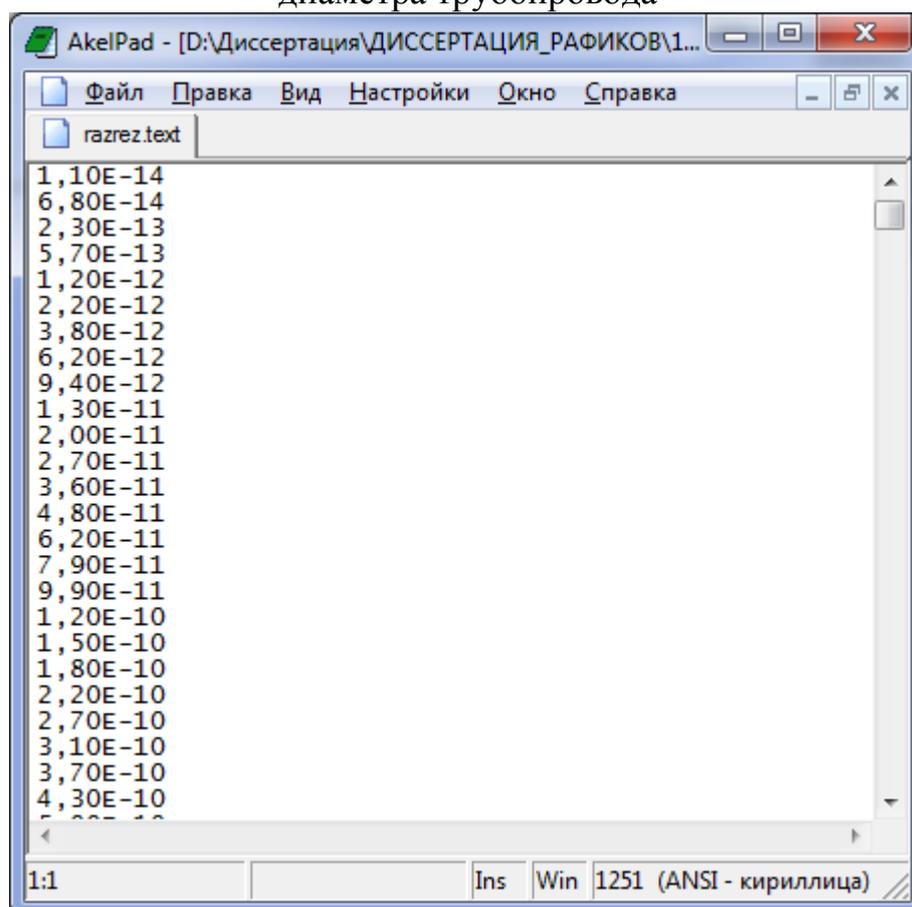


Рис.3.1.6. Выходной файл razrez.text с численными результатами в безразмерных величинах для сейсродинамического процесса в разрезе диаметра трубопровода

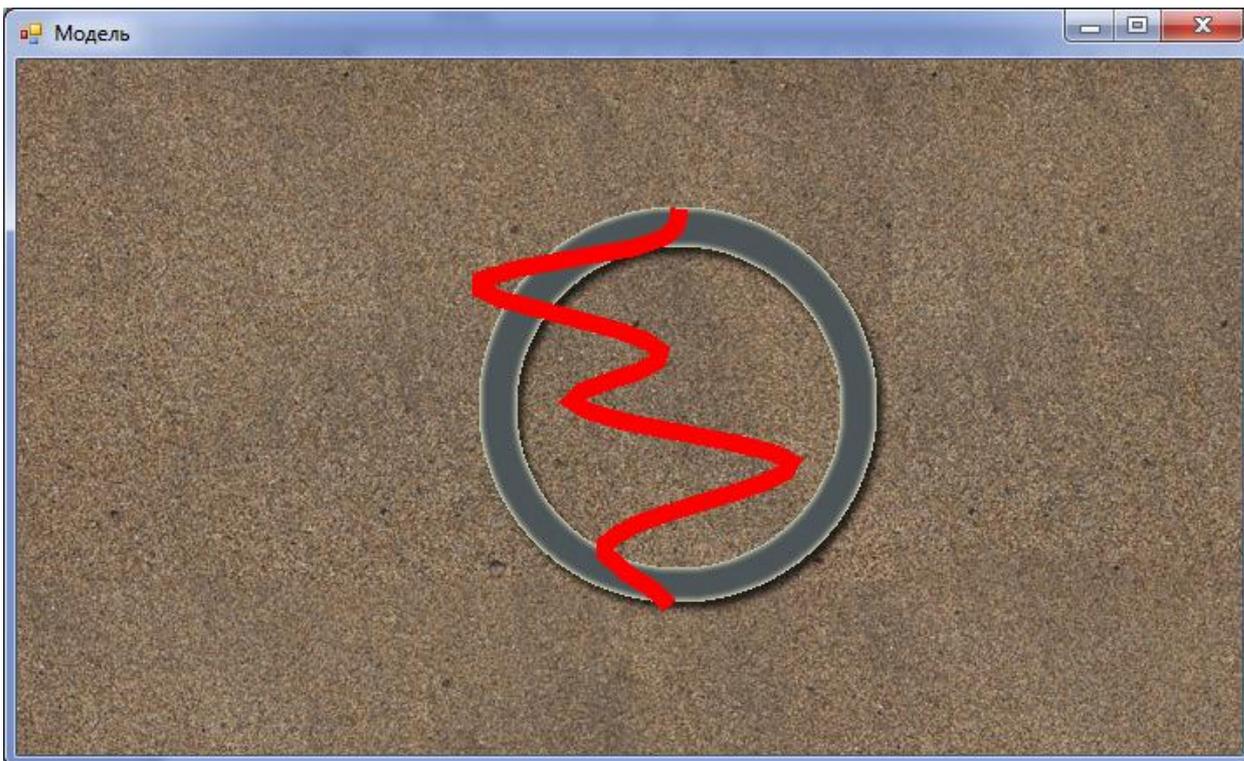


Рис.3.1.7. Построение анимированного сейсродинамического процесса в разрезе диаметра трубопровода с помощью текстового файла `razrez.text`

2. Получение первичных экспериментальных данных (вдоль разреза подземного трубопровода)

Построим модель сейсродинамических процессов для сложного узла при синусоидальной нагрузке вдоль разреза подземного трубопровода со следующими параметрами:

- Протяжённость трубы – 100 м;
- Глубина заложения – 20 м;
- Диаметр трубы (внешний) – 0,5 м;
- Диаметр трубы (внутренний) – 0,4 м;
- Материал изготовления – чугун;
- Вид почвы – песок;
- Тип влажности почвы – твердый.

Рассмотрим результаты моделирования для перемещения по длине при $j=1900$, $j=2000$, $j=2100$ (рис.3.2.1.-рис.3.2.3).

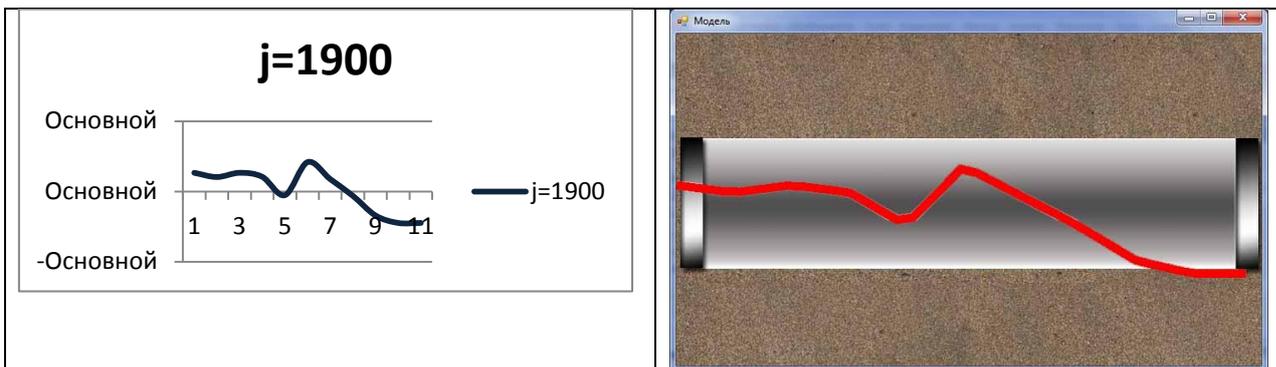


Рис.3.2.1. Распределение перемещений по длине трубопровода при $j=1900$

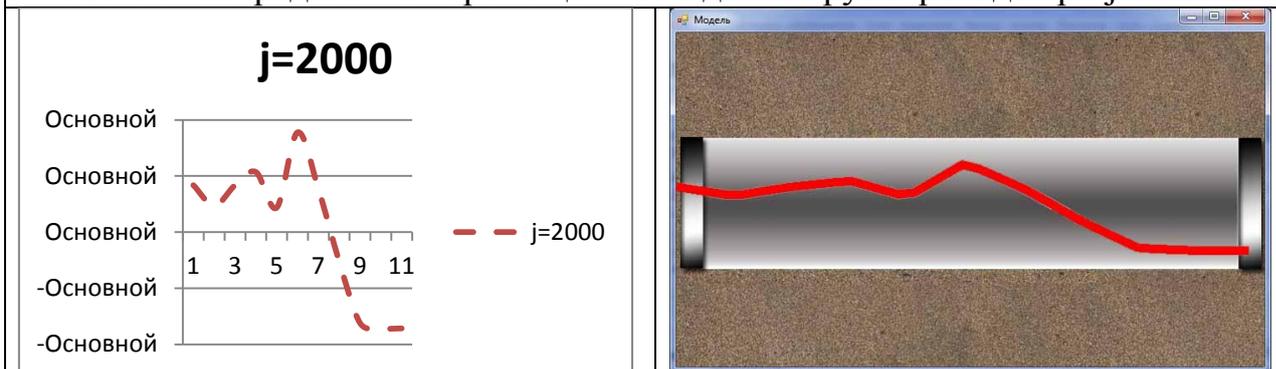


Рис.3.2.2. Распределение перемещений по длине трубопровода при $j=2000$

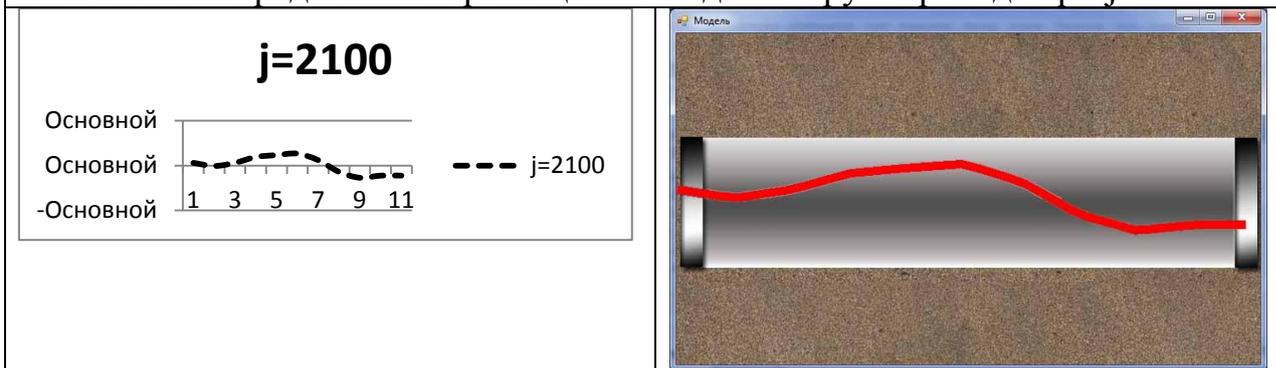


Рис.3.2.3. Распределение перемещений по длине трубопровода при $j=2100$

Рассмотрим результаты моделирования для колебаний нормальных напряжений при $U5-U4$, $U6-U5$, $U7-U6$ (рис.3.2.4.-рис.3.2.6)

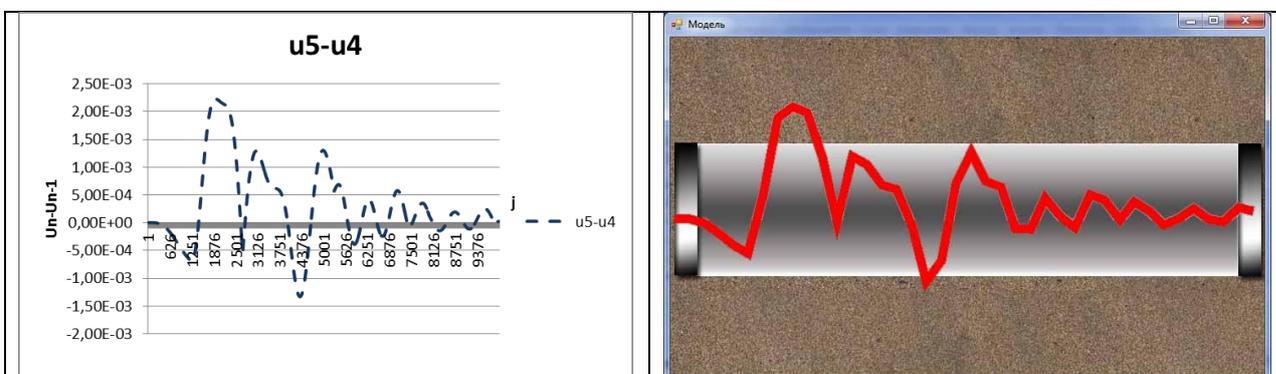


Рис.3.2.4. Распределение колебаний нормальных напряжений при $U5-U4$

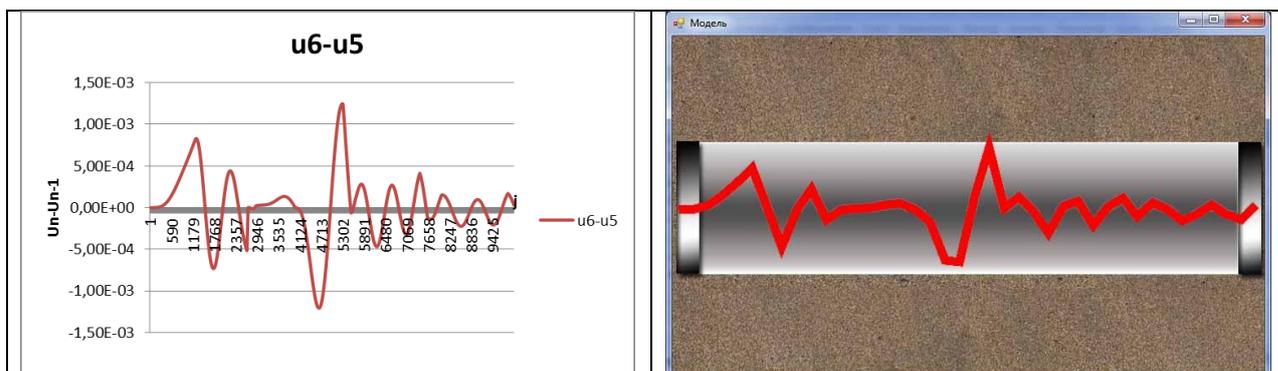


Рис.3.2.5. Распределение колебаний нормальных напряжений при U6-U5

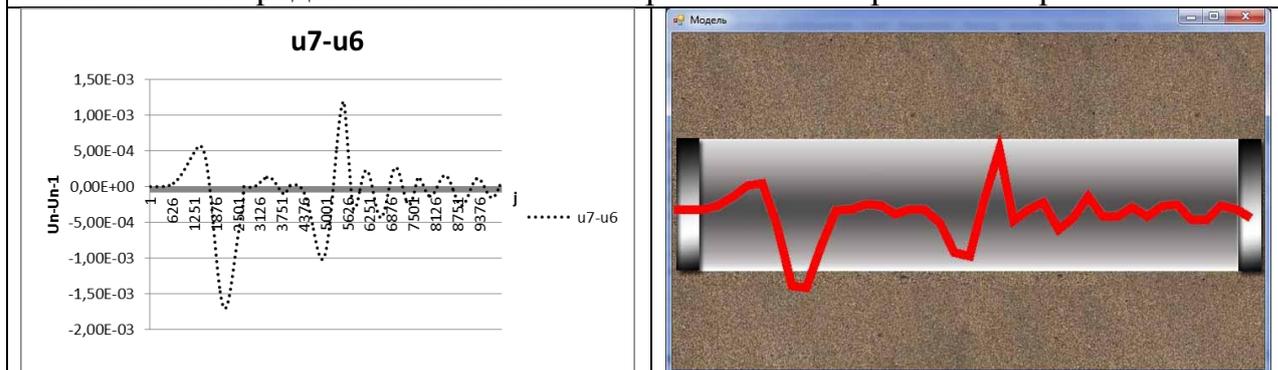


Рис.3.2.6. Распределение колебаний нормальных напряжений при U7-U6

Из рассмотренных графиков видно, что полученные моделирующие результаты соответствуют расчетным данным сейсмодинамических процессов.

3. Получение первичных экспериментальных данных (в разрезе диаметра подземного трубопровода)

Построим модель сейсмодинамических процессов для сложного узла при импульсной нагрузке в разрезе диаметра подземного трубопровода со следующими параметрами:

- Протяжённость трубы – 100 м;
- Глубина заложения – 20 м;
- Диаметр трубы (внешний) – 0,5 м;
- Диаметр трубы (внутренний) – 0,4 м;
- Материал изготовления – чугун;

- Вид почвы – песок;
- Тип влажности почвы – твердый.

Рассмотрим результаты моделирования в точках N=2, N=3, N=4, N=5, N=6, N=7, N=8, N=9 (рис.3.3.1 – рис.3.3.8).

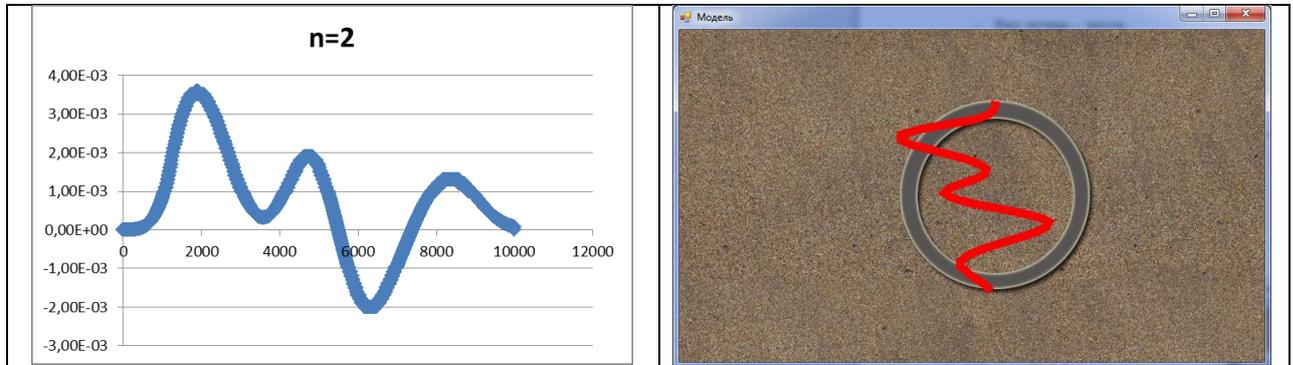


Рис.3.3.1. Распределение напряжений в разрезе диаметра в точке N=2

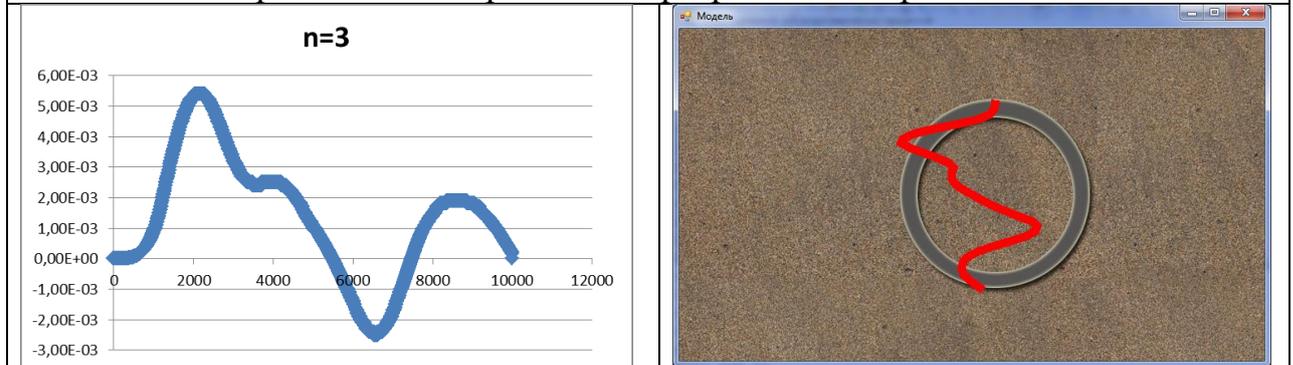


Рис.3.3.2. Распределение напряжений в разрезе диаметра в точке N=3

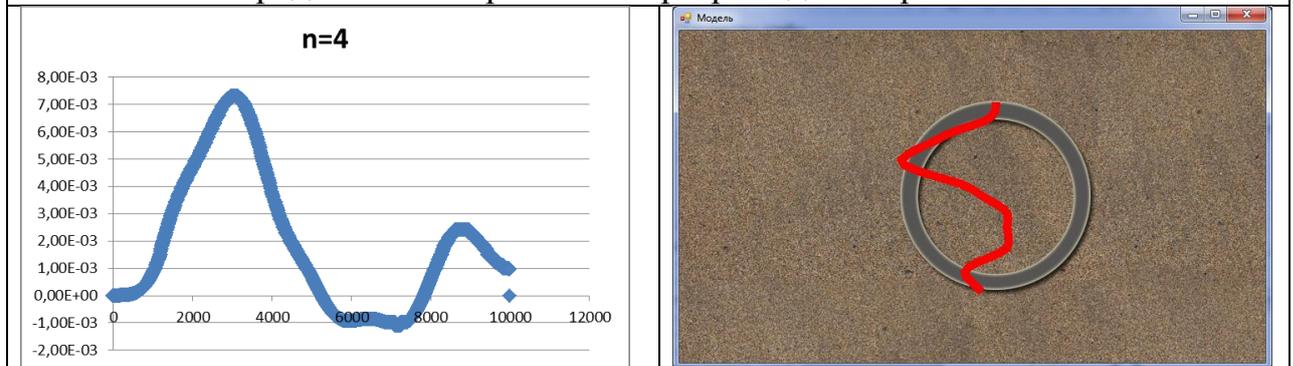


Рис.3.3.3. Распределение напряжений в разрезе диаметра в точке N=4

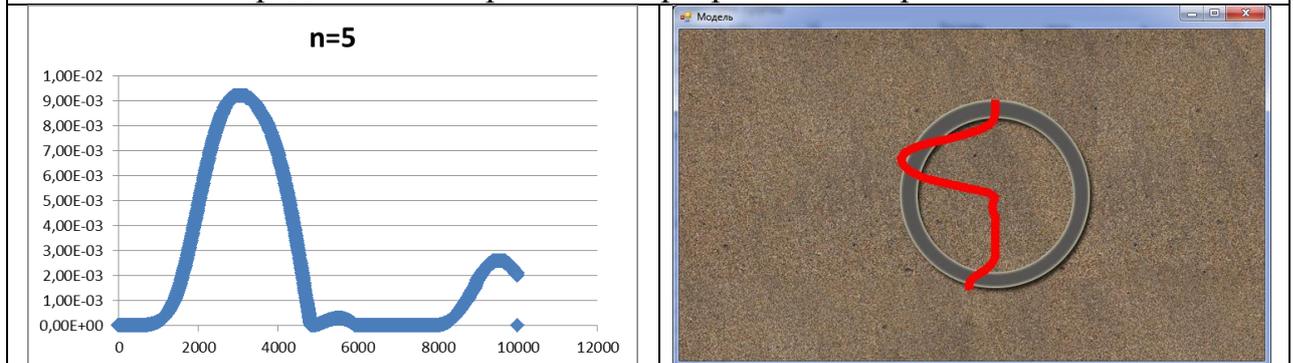


Рис.3.3.4. Распределение напряжений в разрезе диаметра в точке N=5

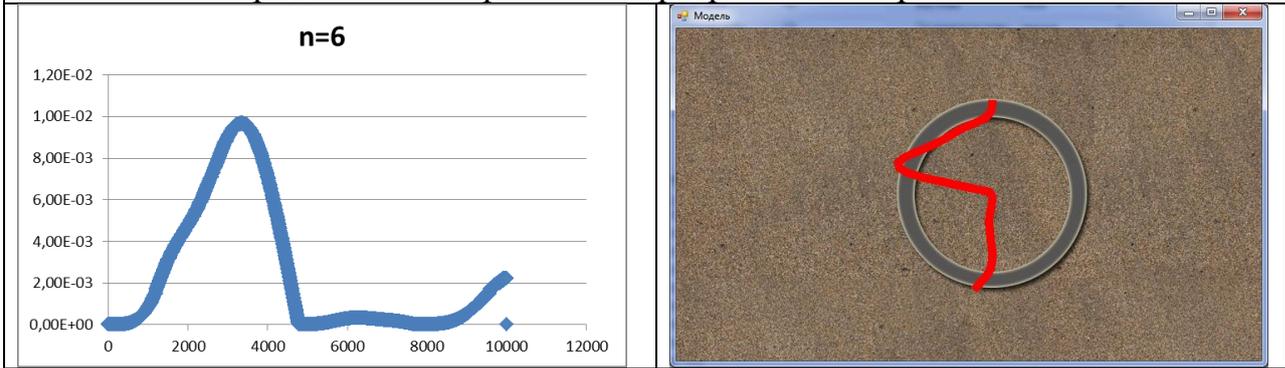


Рис.3.3.5. Распределение напряжений в разрезе диаметра в точке N=6

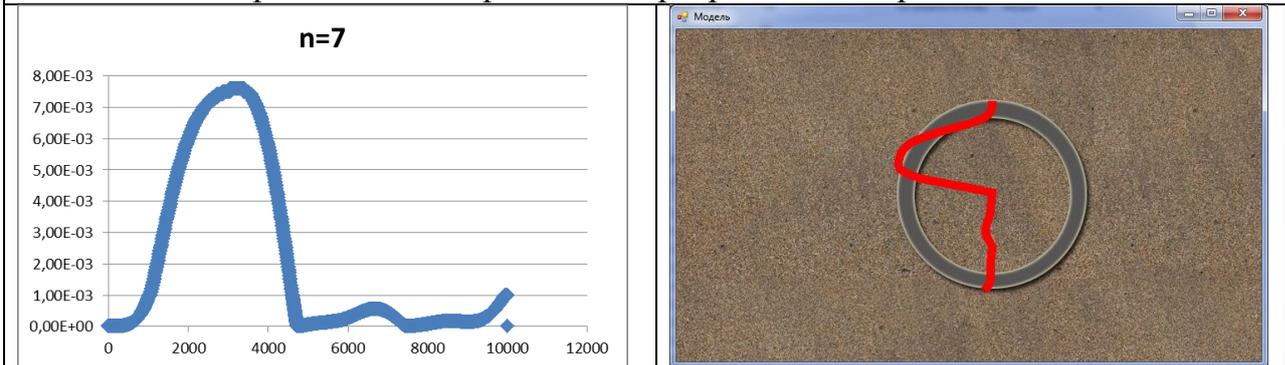


Рис.3.3.6. Распределение напряжений в разрезе диаметра в точке N=7

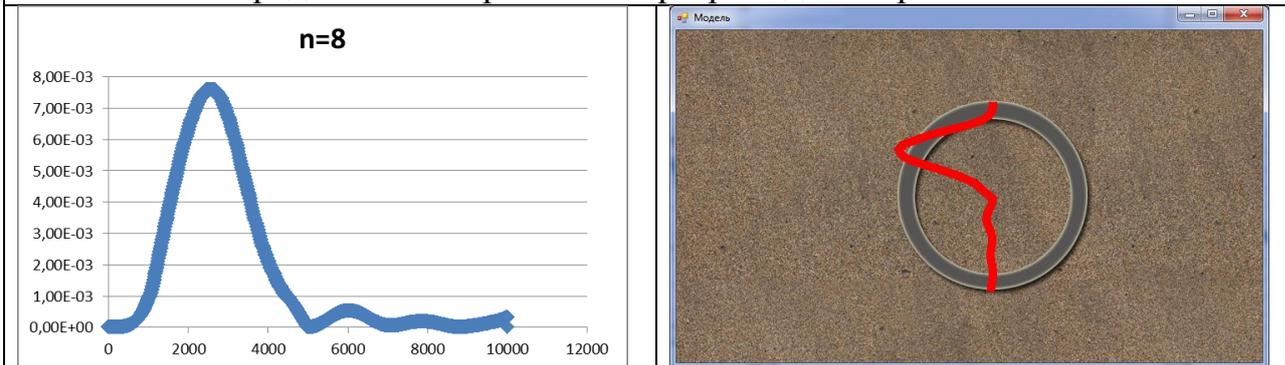


Рис.3.3.7. Распределение напряжений в разрезе диаметра в точке N=8

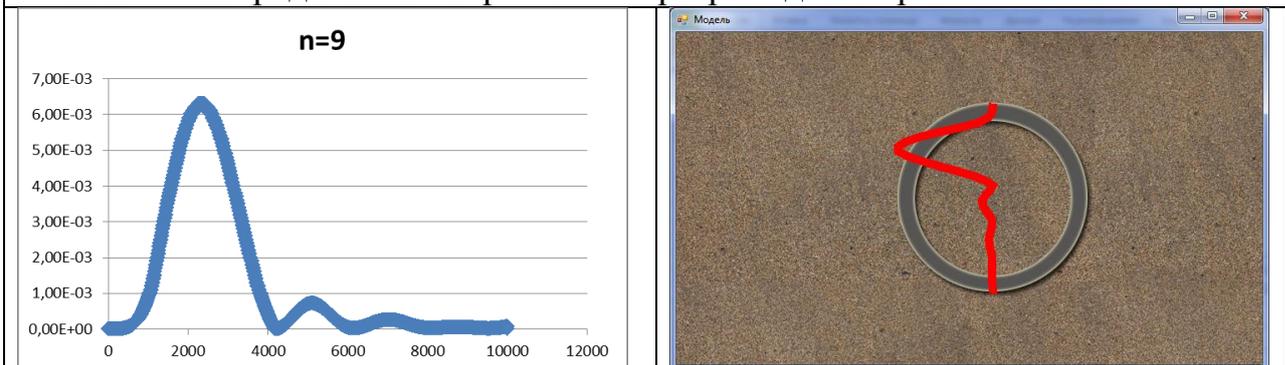


Рис.3.3.8. Распределение напряжений в разрезе диаметра в точке N=9

Выводы по третьей главе

1. Приведено руководство пользователя для работы с программным комплексом моделирования сейсмодинамических процессов.
2. Представлены результаты моделирования для задач со сложным узлом в двух вариантах: а) в случае, если рассматривается разрез вдоль подземного трубопровода; б) в случае, если рассматривается разрез диаметра подземного трубопровода.
3. Полученные результаты моделирования соответствуют результатам расчетов, что подтверждает правильность разработки программного обеспечения. Это говорит о том, что результаты моделирования программного моделирующего комплекса могут быть использованы на практике.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проделанной работы можно сделать следующие практические и теоретические выводы:

1. В диссертационной работе представлены актуальные вопросы построения модели сейсродинамических процессов подземных сооружений, рассмотрен объект исследования (подземный трубопровод) и связанные с ним сейсродинамические процессы;
2. Приведены обобщенный алгоритм построения имитационной модели, рассмотрены основные входные параметры грунта, подземного трубопровода и его продольные колебания. Также рассмотрен алгоритм трехмерного моделирования сейсродинамического процесса подземного трубопровода.
3. Разработан программный комплекс моделирования сейсродинамических процессов, который обладает такими свойствами как: модульность, масштабируемость, интегрируемость, открытость, и позволяет:
 - проводить моделирование грунта, подземного трубопровода и его продольных колебаний;
 - проводить анимационное моделирование сейсродинамических процессов в двух видах: а) для случая вдоль разреза трубопровода; б) для случая в разрезе диаметра трубопровода.
 - добавлять модули для решения и моделирования новых задач продольных колебаний подземных труб.
4. Представлено моделирование сейсродинамических процессов для двух случаев разреза трубопровода. Полученные результаты моделирования соответствуют результатам расчета, что подтверждает правильность разработки программного обеспечения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Закон Республики Узбекистан «Об информатизации» №560-П от 11.12.2003г. (Ведомости Олий Мажлиса РУз, 2004 г., № 1).
2. Закон Республики Узбекистан «О принципах и гарантиях свободы информации» от 12.12.2002 г. №439-П.
3. Указ Президента Республики Узбекистан от 30.05.2002 года № УП-3080 «О дальнейшем развитии компьютеризации и внедрении информационно-коммуникационных технологий»
4. Постановление Президента Республики Узбекистан Каримова И.А № ПП-1730 от 21 марта 2012 года «О дополнительных мерах по дальнейшему внедрению и развитию информационно-коммуникационных технологий»
5. Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан от 01.02.2012г. №24 «О мерах по созданию условий для дальнейшего развития компьютеризации и информационно-коммуникационных технологий на местах»
6. Концепция развития информатизации в Республике Узбекистан. Утверждена протоколом заседания Координационного совета № 11 от 12 мая 2005 г.
7. «Наша главная цель - демократизация и обновление общества, реформирование и модернизация страны» выступление Президента Республики Узбекистан И.А. Каримова на совместном заседании Законодательной палаты 28 янв. 2005 г.
8. Доклад Президента Республики Узбекистан И.А.Каримова на заседании Кабинета Министров, посвященном основным итогам 2011 года и приоритетам социально-экономического развития на 2012 год
9. Аверилл М. Лоу, В. Дэвид Кельтон, «Имитационное моделирование», Питер, Издат.группа BHV, 2004. – 848 с.
10. Адамс Д., «DirectX: продвинутая анимация», ISBN: 5-9579-0025-7, 2004. – 480 с.

- 11.Амосов А.А., Синицин С.Б., «Основы теории сейсмостойкости сооружений», М: АСВ, 2001. – 96с.
- 12.Айнбиндер А.Б., Камерштейн А.Г., «Расчет магистральных трубопроводов на прочность и устойчивостьСправочное пособие.», М: Недра, 1982. – 341 с.
- 13.Брусаков И.А., «Имитационное моделирование в информационных системах: Учеб. пособие», СПб.: СПбГИЭУ, 2004. – 151 с.
- 14.Буриев Т., «Алгоритмизация расчета несущих элементов тонкостенных конструкций», Ташкент: Изд-во «Фан», 2001. – 244 с.
- 15.БуриевТ.,«Обеспечение безопасности конструкций сложных объектов в экстремальных условиях», Т.: «Fanvatexnhologiya», 2009. – 148 с.
- 16.Буриев Т., «Расчет тонких плит на ЭВМ. Ташкент»,Ташкент: Изд-во «Фан», 1976. – 132 с.
- 17.Васильчиков В.В., «Оценка сейсмостойкости и сейсмоустойчивости зданий с учетом пространственных колебаний конструкции и податливости основания», диссертация кандидата технических наук: 05.23.17. - Москва, 2001. - 156 с.: ил. РГБ ОД, 61:02-5/137-X
- 18.Втюрин В.А., «Сущность метода имитационного моделирования», <http://itteach.ru/statisticheskoe-modelirovanie/suschnost-metoda-imitatsionnogo-modelirovaniya> 2012г.
- 19.Гаскин В.В., Иванов И.А. Сейсмостойкость зданий и транспортных сооружений. Учебное пособие. - Иркутск: ИрГУПС, 2005. – 76с.
- 20.Гвоздева Т.В., Баллод Б.А., «Проектирование информационных систем», Изд-во: Феникс, 2009. – 508 с.
- 21.Гехман А.С., «Поведение трубопроводов, резервуаров и других сооружений во время землетрясений в Ташкенте // Строительство трубопроводов», 1966, №10. – 8-13 с.
- 22.ГОСТ 20295-85, «Трубы стальные сварные для магистральныхгазонефтепроводов. Технические условия»

23. Грег С., «Real-Time 3D Terrain Engines using C++ and DirectX9 / Создание 3D-ландшафтов в реальном времени с использованием C++ и DirectX9», ISBN: 5957900907, 2007. – 368 с.
24. Гусев А.А., Гусева Е.М., Павлов В.М., «Моделирование движения грунта при Петропавловском землетрясении 24.11.1971 (M=7,6)», Физика Земли, 2009, №5, с. 29-38
25. Каримова В.А., Данилова Е.М., Рафиков Т.Р. «Разработка программного обеспечения для автоматизации проектирования подземных сооружений и коммуникаций // материалы Международной конференции «Актуальные проблемы развития инфокоммуникаций и информационного общества», Ташкент, 2012. – 402-404 с.
26. Корчинский И.Л., «Основы проектирования зданий в сейсмических районах, под ред. И.Л. Корчинского», М., 1961; СНиП, ч. 2, разд. А, гл. 12. «Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования», М., 1963.
27. Корчинский И.Л., Бородин Л.А., Гроссман А.Б. и др., «Сейсмостойкое строительство зданий», под ред. И. Л. Корчинского, учеб. пособие для вузов, М., «Высш. школа», 2003. – 320 с.
28. Лукьянова И.Э., «Моделирование воздействия землетрясений на стальные вертикальные резервуары с использованием программного пакета FLOWVISION», УДК 622.692.23.075
29. Лукьянова И.Э., «Моделирование воздействия землетрясений на резервуары типа РВС при помощи программного комплекса FLOWVISION» / И.Э. Лукьянова, В.В. Шмелев // Трубопроводный транспорт – 2008: Материалы IV Международной учебно-научно-практической конференции, Уфа: Изд-во УГНТУ, 2008 – 161-162 с.
30. Мартин Д., «Планирование развития автоматизированных систем Текст. / Д. Мартин», М.: Финансы и статистика, 1984. – 196 с.
31. Материал из Википедии – свободной энциклопедии, «Землетрясение», <http://ru.wikipedia.org/wiki/Землетрясение> - 2013г.

- 32.Материал из Википедии – свободной энциклопедии «Имитационное моделирование»,
http://ru.wikipedia.org/wiki/Имитационное_моделирование
- 33.Материал из Википедии – свободной энциклопедии «Компьютерное моделирование»,
http://ru.wikipedia.org/wiki/Компьютерное_моделирование
- 34.Материал из Википедии – свободной энциклопедии «Сейсмическое воздействие», http://ru.wikipedia.org/wiki/Сейсмическое_воздействие
- 35.Рафиков Т.Р., «Создание программы оптимизации проектирования прокладки оптоволоконного кабеля // материалы республиканской научно-технической конференции на тему «Проблемы информационных технологий и телекоммуникации», Ташкент, 2012.
- 36.Рафиков Т.Р., «Проектирование трехмерного моделирования сейсמודинамических процессов подземных сооружений // материалы республиканской научно-технической конференции на тему «Информационные технологии и проблемы телекоммуникаций», Ташкент, 2013.
- 37.Рассказовский В.Т., Рашидов Т.Р., Абдурашидов К.С., «Последствия Ташкентского землетрясения», Ташкент: Фан, 1967. – 144 с.
- 38.РашидовТ.Р., «Динамическая теория сейсмостойкости сложных систем подземных сооружений», Ташкент: Изд-во «Фан», 1973 – 182с.
- 39.РашидовТ.Р., «Сейсמודинамика зданий и сооружений», Ташкент: Изд-во «Фан», 1989. – 138 с.
- 40.Рашидов Т.Р., «Сейсמודинамика сооружений, взаимодействующих с грунтом», Ташкент: Изд-во «Фан», 1991. – 151 с.
- 41.Рашидов Т.Р., «Дифференциальное уравнение колебания подземного трубопровода при землетрясении //Докл. АНУзССР», 1962,№9. – 10-13.
- 42.Рашидов Т.Р. Динамическая теория сейсмостойкости сложных систем подземных сооружений. Ташкент: Фан. 1973.

- 43.Ильюшин А.А. Труды IV. Моделирование динамических процессов в твердых телах и инженерных приложениях. М.: Физматлит.2009.
- 44.Т. Р. Рашидов, «Актуальные задачи сейсмодинамики подземных сооружений (к 100-летию со дня рождения А.А. Ильюшина)», Материалы Международного научного симпозиума по проблемам механики деформируемых тел, посвященного 100-летию со дня рождения А.А. Ильюшина (Москва, 20–21 января 2011 года) / Под ред. проф. И.А. Кийко, проф. Г.Л. Бровко, проф. Р.А. Васина. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2011. – 483 с.
- 45.Рашидов Т.Р., «Исследование условий работы подземных трубопроводов при землетрясениях //Изв. АН УзССР. Сер.техн. Наук», 1962, №5. – 42-53 с.
- 46.Рашидов Т.Р., Крыженков В.А., «Воздействия землетрясения и его афтершоков на подземные сооружения различного назначения //Ташкентское землетрясение 26 апреля 1966 г», Ташкент: Фан, 1971. – 548-600 с.
- 47.Рашидов Т.Р., Хожметов Г.Х., «Колебания сооружений, взаимодействующих с грунтом», Ташкент: Фан, 1975. – 176 с.
- 48.Рашидов Т.Р., Хожметов Г.Х., «Сейсмостойкость подземных трубопроводов», Ташкент: Фан, 1985. – 152 с.
- 49.Рашидов Т.Р., Юлдашев Т., Каримова В.А. Алгоритмизация расчета подземных сооружений // Материалы республиканской научно-технической конференции «Современное состояние и перспективы развития информационных технологий». – Ташкент, 2011. – с. 239-244.
- 50.Рашидов Т.Р., Юлдашев Т., Каримова В.А. Колебания сложных систем подземных трубопроводов, уложенных в естественных грунтовых условиях и алгоритмы их решения. - Вестник ТаШИИТ. – Ташкент, 2011. – №3, с. 34-40.
- 51.Ржевский В.А., «Сейсмостойкость зданий в условиях сильных землетрясений», Ташкент: «ФАН», 1990. – 260с.

- 52.Ржевский В.А., «Сейсмостойкость зданий в условиях сильных землетрясений», Ташкент: «ФАН», 1990. – 260с. Рихтер Ч.Ф., «Элементарная сейсмология», М.: Изд-во Иностран. лит., 1963. – 672 с.
- 53.Рихтер Ч.Ф., «Элементарная сейсмология», М.: Изд-во Иностран. лит., 1963. – 672 с.
- 54.Рыжиков Ю.И., «Имитационное моделирование: Теория и технологии», Изд-во: Альтекс, 2004. - 384 с.
- 55.Савинов О.А. Сейсмостойкость магистральных трубопроводов и специальных сооружений нефтяной и газовой промышленности. М.: Наука, 1980.
- 56.Справочные материалы по информационным технологиям, «Сущность метода имитационного моделирования», URL: <http://itteach.ru/statisticheskoe-modelirovanie/suschnost-metoda-imitatsionnogo-modelirovaniya>
- 57.Статья журнала «Экономическое обозрение. Стратегия в бизнесе и экономике» «Наш регион уже 10 лет как находится в активной фазе», <http://review.uz/ru/article/316>
- 58.Статья «Типы грунтов: глинистые, песчаные, скальные грунты», URL: <http://stroy-svoimi-rukami.ru/fundament/view/12/>
- 59.Статья «Глубина заложения трубопроводов», URL: <http://www.ing-seti.ru/?p=71>
- 60.Статья «Диаметры труб», URL: <http://жкхвроссии.рф/spravochnik-zhkh/104-diametry-trub>
- 61.Статья «Монтаж трубопроводов из полипропилена», URL: http://tmb-spb.ru/montazh_truboprovodov_iz_polipropil
- 62.Строгалев В.П., Толкачева И.О., Имитационное моделирование: Учеб.пособие. – М.:Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 280 с.: ил. ISBN 978-5-7038-3021-5
- 63.Трофимова В.Т., «Грунтоведение» / Учебник. Под ред. В. Т. Трофимова, 6-е изд. - М.: Изд-во МГУ, 2005 – 1024с.

64. Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики, Ростов-на-Дону.: ПЦ «Университет» СКФ МТУСИ, 2013. – 592с.
65. Уздин А.М., Сандович Т.А., Аль-Насер-Мохомад Самих Амин, «Основы теории сейсмостойкости и сейсмостойкого строительства зданий и сооружений», СПб:ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 2002. – 176с.
66. Шаннон Р., «Имитационное моделирование систем - искусство и наука», Изд-во: Мир, 1978. – 424 с.
67. Юлдашев Т. Модели распространения сейсмических волн в слоистой среде земного шара и алгоритмы определения параметров источника. Ташкент, ФАН, 2011.- 22 с.
68. ValentinShustov (2012), «Seismic fitness: on some features of earthquake engineering», http://nees.org/resources/4469/download/Seismic_fitness.pdf
69. J.C. Leiterman, «Learn Vertex & Pixel Shader Programming with DirectX 9», ISBN: 978-1556222870, 2004. – 400 с.
70. W.F. Engel, «Beginning Direct3D Game Programming. 2nd Edition», ISBN: 1-931841-39-x, 2003. – 396 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Построение анимационного графика продольных колебаний подземного трубопровода

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Drawing.Imaging;
using System.Drawing.Drawing2D;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;

namespace Modeling_seismodynamic_process
{
    public partial class Form_Two_Dimensional_Model : Form
    {
        /// <summary>Изображение почвы</summary>
        Image Image_Soil;
        /// <summary>Изображение трубы</summary>
        Image Image_Pipe;
        /// <summary>Итоговый график</summary>
        Image Image_Finish_Graph = null;

        Class_Build_Model_Params _Build_Model_Params;

        /// <summary>Режим землетрясения</summary>
        bool _Is_Quake_Regime = false;

        /// <summary>Момент времени землетрясения</summary>
        int _Quake_Time_Moment = 0;

        /// <summary>Мощность землетрясения в моменты времени</summary>
        double[] _Quake_Powers = null;
        double _Max_Quake_Power = 0;
        double[] Quake_Powers
        {
            get
            {
                if (_Quake_Powers == null && _Build_Model_Params != null &&
                    _Build_Model_Params.Process_Data != null)
                    _Quake_Powers = Get_Quake_Powers(_Build_Model_Params.Quake_Duration,
                    (float)(timer1.Interval / 1000F), _Build_Model_Params.Process_Data);
                return _Quake_Powers;
            }
        }

        /// <summary>Параметры построения графика</summary>
        public Class_Build_Model_Params Build_Model_Params
```

```

    {
        get { return _Build_Model_Params; }
        set
        {
            _Build_Model_Params = value;
            Bulid_Graph();
        }
    }

public Form_Two_Dimensional_Model()
{
    InitializeComponent();

    if (_Build_Model_Params != null && Image_Finish_Graph == null)
        Bulid_Graph();

    timer1.Start();
}

/// <summary>Строит график</summary>
public void Draw_Graph(Graphics graphics)
{
    if (this._Build_Model_Params == null)
        return;

    Point O = new Point(10, 290);

    graphics.DrawImage(Image_Soil, 0, 0, Image_Soil.Width, Image_Soil.Height);

    float Pipe_dY; // Отклонение трубы по оси dY
    if (!_Is_Quake_Regime)
    {
        Pipe_dY = 0;
    }
    else
    {
        double[] __Quake_Powers = this.Quake_Powers;

        if (__Quake_Powers != null && _Quake_Time_Moment < __Quake_Powers.Length
            && this._Build_Model_Params.View_Type ==
            Class_Build_Model_Params.View_Types.Разрез_трубы)
        {
            Pipe_dY = (float)__Quake_Powers[_Quake_Time_Moment] * 30000;
            //Pipe_dY = (float)Math.Sin(_Quake_Time_Moment * 1.5f) * Pipe_dY;
            Pipe_dY = (float)Math.Sin(_Quake_Time_Moment * 1.5f) * 15f;
        }
        else
        {
            Pipe_dY = 0;
        }
    }
}

```

```

    }
}

graphics.DrawImage(Image_Pipe, (int)(Image_Soil.Width / 2 - Image_Pipe.Width / 2),
Pipe_dY + (int)(Image_Soil.Height / 2 - Image_Pipe.Height / 2), Image_Pipe.Width,
Image_Pipe.Height);

// лоси
/*{
    Pen O_Pen = new Pen(Color.Black, 5);

    graphics.DrawLine(O_Pen, O.X, 0, O.X, O.Y);

    graphics.DrawLine(O_Pen, O.X, O.Y, Image_Soil.Width, O.Y);

    StringFormat strf = new StringFormat(StringFormatFlags.DirectionVertical);
    Font font = new Font(FontFamily.GenericSerif, 16);

    if (this._Build_Model_Params.Pipe_Depth != 0)
        for (int i = 0; i <= 10; i++)
            {
                graphics.DrawLine(O_Pen, O.X - 5, O.Y - i * 25, O.X + 6, O.Y - i * 25);
                if (i != 0)
                    graphics.DrawString((i * this._Build_Model_Params.Pipe_Depth /
10).ToString(), font, Brushes.Black, O.X + 6, O.Y - i * 25 - 10);
            }
    if (this._Build_Model_Params.Pipe_Length != 0)
        for (int i = 0; i <= 30; i++)
            {
                graphics.DrawLine(O_Pen, O.X + i * 25, O.Y - 5, O.X + i * 25, O.Y + 6);
                if (i != 0)
                    graphics.DrawString((i * this._Build_Model_Params.Pipe_Length /
27).ToString(), font, Brushes.Black, O.X + i * 25 - 15, O.Y + 6, strf);
            }

}*/

if (this._Build_Model_Params.Process_Data != null)
{

    List<PointF> points = new List<PointF>();

    //for (int i = 0; i < this._Build_Model_Params.Process_Data.Length; i++)
    //{
    //    float x, y;
    //    double d = this._Build_Model_Params.Process_Data[i];
    //    x = i * Image_Soil.Width / this._Build_Model_Params.Process_Data.Length;
    //    y = (float)(/*Image_Soil.Height / 2*/ 280 - 150000 * d);
    //    points.Add(new PointF(x, y));

    //}
    double[] __Quake_Powers = this.Quake_Powers;

```

```

        if (__Quake_Powers != null)
        {
            int Len = (this._Is_Quake_Regime && this._Quake_Time_Moment <
__Quake_Powers.Length)? _Quake_Time_Moment : __Quake_Powers.Length;
            for (int i = 0; i < Len; i++)
            {
                float x, y;
                double d = __Quake_Powers[i];
                if (this._Build_Model_Params.View_Type ==
Class_Build_Model_Params.View_Types.Разрез_трубы)
                {
                    x = i * Image_Soil.Width / __Quake_Powers.Length;
                    y = (float)(/*Image_Soil.Height / 2*/ 280 - 150000 * d);
                    points.Add(new PointF(x, y));
                }
                else
                {
                    y = 85+i * 235 / __Quake_Powers.Length;
                    x = (float)(/*Image_Soil.Height / 2*/ 265 + 112.5d - 112.5d /
_Max_Quake_Power * d);
                    points.Add(new PointF(x, y));
                }
            }
        }
        if (points.Count > 1) graphics.DrawLine(new Pen(Brushes.Red, 10),
points.ToArray());
    }

    //graphics.Flush();
}

/// <summary>Строит график</summary>
public void Bulid_Graph()
{
    if (this._Build_Model_Params == null)
        return;

    Image_Pipe = Image.FromFile(this._Build_Model_Params.File_Path_Image_Pipe);

    this.ClientSize = Image_Pipe.Size;
    Image_Soil = Image.FromFile(this._Build_Model_Params.File_Path_Image_Soil);
    Image_Finish_Graph = new Bitmap(Image_Soil.Width, Image_Soil.Height);

    Graphics graphics = Graphics.FromImage(Image_Finish_Graph);

    Draw_Graph(graphics);
}

private void Form_two_dimensional_model_Load(object sender, EventArgs e)
{

```

```

}

protected override void OnPaint(PaintEventArgs e)
{
    //if (Image_Finish_Graph != null)
    // e.Graphics.DrawImage(Image_Finish_Graph, 0, 0);

    Draw_Graph(e.Graphics);

    base.OnPaint(e);
}

private void timer1_Tick(object sender, EventArgs e)
{
    this.Refresh();
    _Quake_Time_Moment++;
}

/// <summary>Включение режима землетрясения</summary>
/// <param name="Reset_Quake_Time_Moment">Обнулить момент времени
землетрясения</param>
public void Enable_Quake_Regime(bool Reset_Quake_Time_Moment)
{
    if (Reset_Quake_Time_Moment)
        _Quake_Time_Moment = 0;

    _Is_Quake_Regime = true;
}

/// <summary>Возвращающая силу толчка в момент времени в зависимости от
графика</summary>
/// <param name="Duration">Продолжительность землетрясения</param>
/// <param name="Interval">Интервал времени между обновлениями</param>
/// <param name="Graph">Сила землетрясения</param>
/// <returns></returns>
private double[] Get_Quake_Povers(float Duration, float Interval, double[] Graph)
{
    if (Duration == 0 || Interval == 0 || Graph == null || Graph.Length == 0)
        return null;

    //double[] Yt = null; // массив сил толчков в момент времени
    List<double> Yt = null;
    int Nt; // количество обновлений за весь промежуток времени
    float dt; // интервал на графике по оХ между обновлениями
    int N = Graph.Length; // Количество точек графика

    Nt = (int)(Duration / Interval);

    Yt = new List<double>();//new double[Nt];

```

```

dt = (float)(N / (float)Nt);

for (int i = 0; i < Nt; i++)
{
    float xt; // положение по оХ в момент времени i

    xt = dt * i;

    int x1, x2; // номера точек графика между которыми попадает значение силы в
МОМЕНТ времени

    x1 = (int)xt;
    x2 = x1 + 1;

    double y1, y2;

    if (x2 >= N)
        break;

    y1 = Graph[x1];
    y2 = Graph[x2];

    //Yt[i] = xt * (Graph[x2] - Graph[x1]) - Graph[x1];
    double yyt = (y2 - y1) * xt + y1 - (y2 - y1) * x1;
    Yt.Add(yyt);
    if (Math.Abs(yyt) > _Max_Quake_Power)
        _Max_Quake_Power = Math.Abs(yyt);
}

return Yt.ToArray();
}
}
}

```