

ВОПРОСЫ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В СОВРЕМЕННЫХ САПР*

QUESTIONS OF PHYSICAL MODELING OF COMPLEX GEOPHYSICAL TECHNICAL SYSTEMS IN MODERN CAD SYSTEMS

A. Egorchev
M. Litvin
P. Kokunin
I. Svalova
D. Chickrin
O. Sherstyukov

Summary. An algorithm of trustworthy physical modeling of complex engineering systems in geophysics carried out on the basis of existing CAD systems of modeling and emulation of work of complex platforms is developed along with datasets on work of CAD systems with a possibility of interaction of geophysical engineering systems with the environment. The outcome of the presented work is the developed algorithm of modeling of geophysical engineering devices. Based on modeling of objects at solving the problem of recording and analyzing elastic wave's actions by acoustic logging, a positive conclusion is drawn on operability of the algorithm.

Keywords: geophysics, modeling of geophysical engineering systems, CAD system, emulation of physics.

Егорчев Антон Александрович

Аспирант, ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский)
Федеральный Университет»
eanton090@gmail.com

Литвин Михаил Александрович

Аспирант, ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский)
Федеральный Университет»
rising.flames@yandex.ru

Кокунин Петр Анатольевич

К.т.н., доцент, ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский)
Федеральный Университет»
РАKokunin@kpfu.ru

Свалова Ирина Евгеньевна

ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) Федеральный
Университет»
irina.svalova.e@gmail.com

Чикрин Дмитрий Евгеньевич

К.т.н., доцент, ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский)
Федеральный Университет»
dmitry.kfu@gmail.com

Шерстюков Олег Николаевич

Д.ф.-м.н., доцент, ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский)
Федеральный Университет»
Oleg.Sherstyukov@kpfu.ru

Аннотация. Разрабатывается алгоритм физического моделирования сложных технических систем в геофизике на базе существующих САПР моделирования и эмуляции работы сложных платформ, а также совокупность работы данных САПР с возможностью взаимодействия геофизических технических систем с окружающей средой. Результатом данной работы является разработанный алгоритм моделирования геофизических технических устройств.

Ключевые слова: геофизика, моделирование технических геофизических систем, САПР, эмуляция физики.

Введение

Разработчики сложных технических систем в геофизике, сталкиваются с задачей физического моделирования данных систем — их общей работы, взаимодействия и интеграции в определенную физическую среду. В современной высококонкурентной среде одним из главных требований, накладываемых на геофизические

системы, является обеспечение рентабельности их использования в различных условиях. [1] Проведение ремонтных работ геофизических технических систем, необходимость которых возникает в результате поломок при испытаниях и эксплуатации, влечет значительные потери, связанные как со стоимостью оборудования, необходимого для ремонта, так и с упущенной выгодой вследствие простоя системы и невыполнения этой системой её основных задач.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (проект № 02.G25.31.0131).

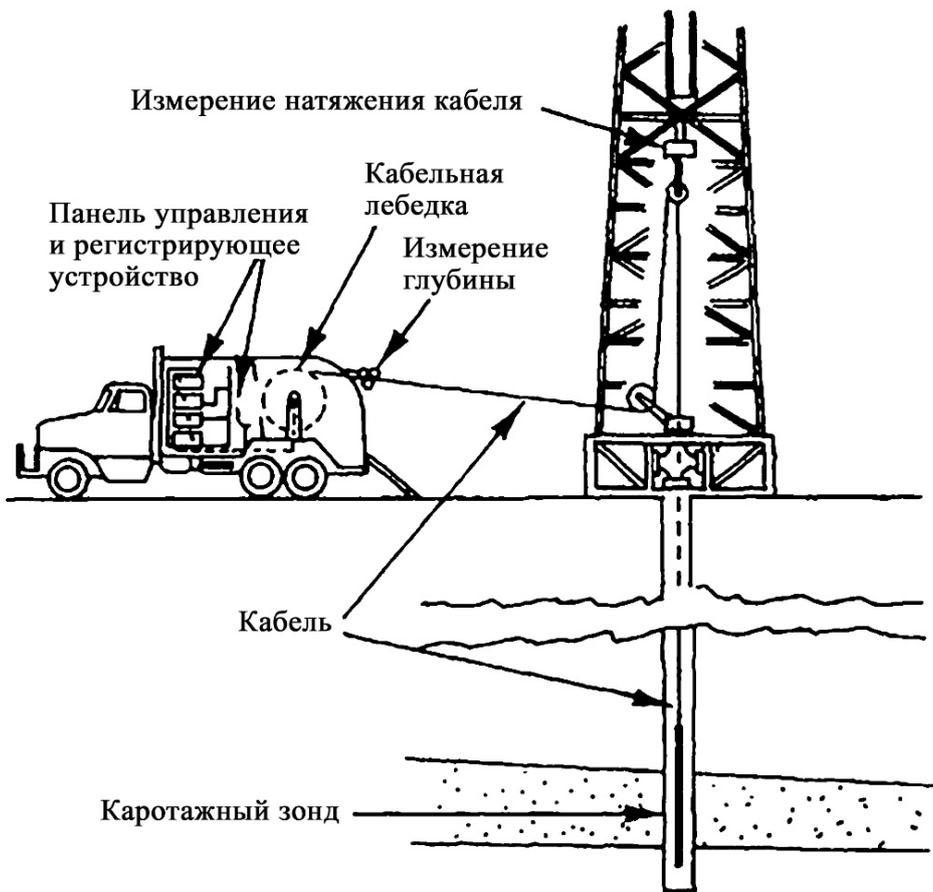


Рис. 1. Основные технические платформы, моделируемые для каротажа

Согласно проведенному авторами обзору, существующие САПР [2] для работы со сложными техническими платформами при определенном алгоритме их использования, возможно применить для решения задачи физического моделирования сложных технических систем в геофизике.

Авторами предлагается алгоритм физического моделирования технических систем в геофизике, основанный на синхронизации данных и объединении результатов, получаемых в процессе работы программных средств: Petrel, Gazebo, DART, а также API Ocean позволяющем создавать подключаемые модули для Petrel с целью получения данных от моделируемого объекта и контроля действий, производимых над моделью объекта.

В качестве примера рассматривается моделирование объектов в одной из самых распространенных задач в геофизических исследованиях — задаче фиксации и анализа упругих волновых воздействий при помощи акустического каротажа с использованием скважинного акустического сканера высокого разрешения. [3] Процесс каротажа и основные моделируемые объекты изображены на рисунке 1.

В работе предлагается подход к построению комплекса САПР, решающего обозначенную задачу достоверного физического моделирования геофизических систем. Предлагаемый комплекс призван минимизировать риски некорректного построения технических систем в геофизике, повысить эффективность функционирования, снизить стоимость этапа проектирования для разработчиков технических систем в геофизике.

Роль программного моделирования в геофизике

Программное моделирование является одним из эффективных методов изучения сложных технических систем. Программные физические модели проще и удобнее исследовать в силу их возможности проводить вычислительные эксперименты, в тех случаях, когда реальные эксперименты затруднены из-за финансовых или физических препятствий, или могут дать непредсказуемый результат. Логичность и формализованность программных моделей позволяет выявить основные факторы, определяющие свойства изучаемого объекта-оригинала (или целого класса объектов), в частности, исследовать отклик моделируемой физической систе-

мы на изменения ее параметров и начальных условий. [4]. Высокая эффективность и возрастающая роль программного моделирования как метода изучения явлений материального мира очевидны. Под программной моделью понимается такая спроектированная на ЭВМ система, которая, отображая или воспроизводя объект исследования, способна замещать его так, что ее изучение дает новую информацию об этом объекте. В частности, на заключительных этапах интерпретации геофизических данных используют математическое программное моделирование, к которому можно отнести все без исключения способы решения прямой и обратной задач геофизики. Моделирование в разведочной геофизике применяют широко, но преимущественно для целей интерпретации. При этом, как правило, моделируют результаты какого-то одного геофизического метода. Именно таким целям служит давно устоявшееся представление о возмущающем объекте, отвечающем по современной терминологии понятию «частная модель». [2]

В основе принятия большинства успешных решений по разработке месторождения лежит не только глубокое понимание его строения, но и понимание поведения сложных технических систем, эксплуатируемых на месторождении. Самым эффективным способом достижения такого понимания сегодня является построение достоверной двух- и трехмерной физической программной модели используемых технических систем и самого месторождения. Высокая эффективность использования объемных моделей обусловлена тем, что они, кроме хорошей наглядности и информативности, имеют большой прогностический потенциал (с определенной долей условности к классу объемных в некоторых случаях относят и блок-диаграммы, которые являются геометрическими моделями). [5]

Опыт моделирования геологических объектов, накопленный в последние годы, свидетельствует, что по целому ряду причин наибольшую прикладную эффективность имеют программные математические трехмерные модели. Среди этих причин не последнее место занимает то обстоятельство, что в процессе создания подобных моделей достигается максимально полная и адекватная содержанию реализация и последующее хранение имеющейся геолого-геофизической информации.

Практическое использование математических программных моделей дает возможность относительно легко осуществить процесс непрерывного моделирования, призванного отражать развитие во времени любого поддающегося математическому описанию геологического процесса или явления. [6]

Инструментарий, адресованный широкому кругу специалистов, работающих в области такого моделиро-

вания, в мире продвигает всего лишь несколько компаний. В основу моделирования решения поставленной задачи фиксации и анализа упругих волновых воздействий положено требование — информационное (создание единой базы данных) и компьютерное (внедрение единообразных и совместимых технических и программных средств) сопровождения трех основных блоков задач при последующем развитии [7]:

- ◆ производственного назначения — формирования геологической и производственной отчетности, анализа, текущего геологопромыслового состояния;
- ◆ проектирования разработки — создания моделей месторождений, подсчета запасов, динамического моделирования;
- ◆ оперативного управления разработкой на основе сопровождения модели.

Современные системы моделирования в нефтегазовой промышленности, в частности предлагаемый авторами алгоритм моделирования, должны отвечать следующим требованиям:

- ◆ использование новейших информационных технологий при последующем развитии;
- ◆ гибкость системы в связи с возможными структурными реорганизациями организационной структуры;
- ◆ обеспечение открытости системы (дополнение на любом этапе).

Достоверность результатов определения геофизических свойств местности, изучения геодинамических процессов, разведки полезных ископаемых сейсмическими методами существенно зависит от реалистичности физических программных моделей. [8]

Всё это говорит о высоком уровне важности достоверного физического моделирования сложных технических систем в задачах геофизики.

Аспекты достоверного моделирования сложных технических систем

Существуют различные аспекты достоверного моделирования сложных технических систем. Выделим наиболее важные из них и опишем средства их реализации.

Для моделирования сложных технических систем в геофизике, в частности нефтедобывающих систем, важным аспектом очевидно является достоверное моделирование геологических процессов, которые могут оказывать влияние на рассматриваемую техническую систему. В качестве инструмента для программного моделирования данного аспекта авторами применяется САПР Schlumberger Petrel. Petrel разворачивается

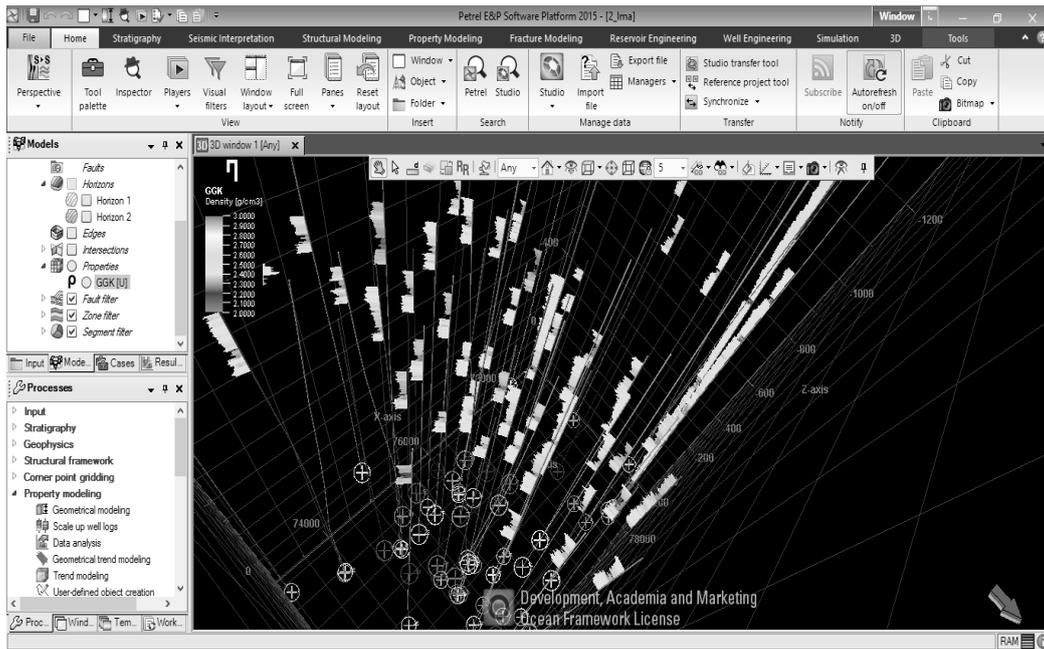


Рис. 2. Пример применения САПР Petrel

на базе персонального компьютера и служит для интерпретации и моделирования пласта. С помощью САПР Petrel строятся надежные модели пласта с последующим динамическим обновлением. Геофизики, геологи и инженеры-разработчики имеют возможность, используя встроенный в Petrel инструментарий, просматривать домены (глубина, время), а не приложения. Пример применения САПР Petrel представлен на рисунке 2.

Petrel предоставляет следующие возможности программного моделирования аспектов геофизических процессов:

- ◆ возможность проводить сейсмическую объемную визуализацию. Создание SEG-Y (формат обмена данных в геофизике) субобъем и придание ему прозрачности. Этот субобъем можно свободно перемещать внутри большего SEG-Y объема. Придавая частотам в пределах специфического интервала (напр., неколлектора) некоторую степень прозрачности, пользователь может рассматривать те частоты, которые представляют коллектор. Тела, которые теперь выделяются, могут представлять собой тела определенных фаций, например, турбидиты. Извлечением объема можно создать твердое тело из сеймики, используя изоповерхности, которые можно измерить и использовать для определения информации на входе при последующем моделировании фаций;
- ◆ моделирование потоков в Petrel для запуска моделей нелетучей нефти с быстрым получением результатов в относительно крупных сетках. Этот

модуль включает процессы для создания таблиц PVT (давление-объем-температура), кривых насыщенности на базе стандартных таблиц, а также включает ряд значений, присваиваемых по умолчанию, что облегчает начало и проведение моделирования;

- ◆ возможность построения структурной модели непосредственно во времени, на основе сейсмических данных. [9] Тогда можно использовать первоначальную интерпретацию сеймики до какого-либо глубинного преобразования и создать полную 3D сетку угловых точек во времени. Это уменьшит неопределенность геофизической работы;
- ◆ общее моделирование стохастических объектов, таких как показатель последовательности, моделирование объекта (включая флювиальные каналы), применять 'собственный алгоритм пользователя' и приписывать значения.
- ◆ моделирование петрофизических свойств.

Другими важными аспектами в моделировании сложных технических систем являются механика и функциональные связи. Соблюдение основных законов механики для моделируемых объектов и их взаимодействия между собой является необходимым при точных расчетах поведения объектов, в частности нефтедобывающих систем. [8]

Существующие САПР, такие как Petrel, направлены на моделирование геологических процессов. [2] За счет

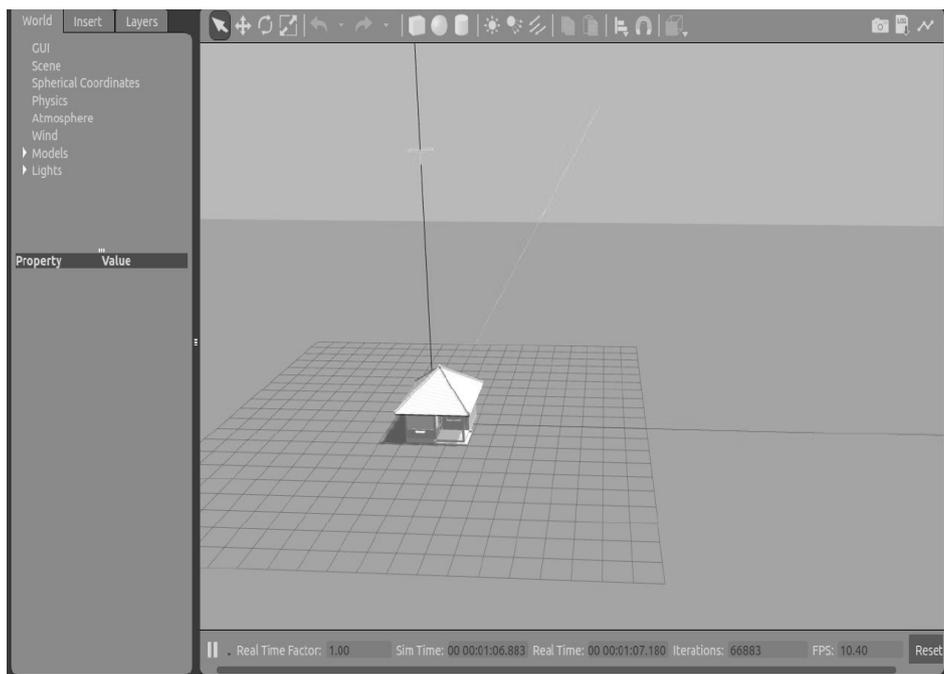


Рис. 3. Пример применения Gazebo

современных технологий и высокого уровня мощностей персональных компьютеров стало возможным достоверное моделирование технических систем, направленное в основном на робототехнику. В качестве инструмента для программного моделирования данного аспекта может выступать тандем из САПР-симулятора Gazebo и физический движок DART. Пример применения симулятора приведен на рисунке 3.

САПР Gazebo позволяет реализовать следующие необходимые аспекты моделирования технических систем:

- ◆ оперативное тестирование и корректировку алгоритмов работы спроектированных технических систем;
- ◆ выполнение регрессионного тестирования с использованием реалистичных сценариев;
- ◆ эффективное моделирование одновременно несколько технических систем;
- ◆ моделирование взаимодействия между техническими системами в различных окружающих условиях среды;
- ◆ возможность эмулирования достоверной физики при помощи подключения физических движков. Для решения поставленной задачи авторами выбран движок DART на основании точности и стабильности работы благодаря использованию обобщённых координат для представления систем связанных между собой твёрдых тел и алгоритма Фейзерстона (Featherstone's Articulated

Body Algorithm) для вычисления динамики движения, использования FCL (Flexible Collision Library) для обнаружения столкновений, позволяющего определять возникновение контакта и его параметры (продолжительность, точки и нормали соприкосновения), а так же использования неявной дискретизации по времени, направленного трения, приближенных условий трения Кулона и задачу линейной дополняемости (LCP) для обработки контактов.

Алгоритм программного моделирования

Алгоритм направлен именно на моделирование сложных геофизических технических систем, и целью выполнения программы, реализованной с помощью алгоритма, является проведение испытаний различных геофизических платформ в виртуальной среде не рискуя нанести повреждения реальному объекту в процессе испытаний, а соответственно сократить финансовые и временные затраты при проведении геофизических работ.

Разработанный алгоритм физического моделирования сложных геофизических систем:

- 1) Построение модели 3D рельефа поверхности в программе Petrel (Пример модели изображен на рисунке 4);

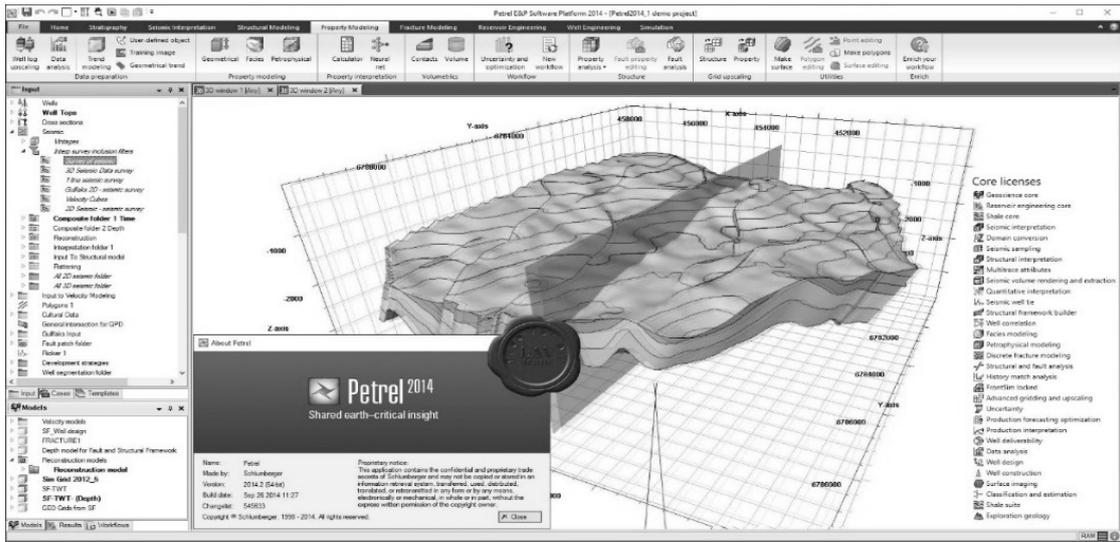


Рис. 4. Пример модели в Petrel

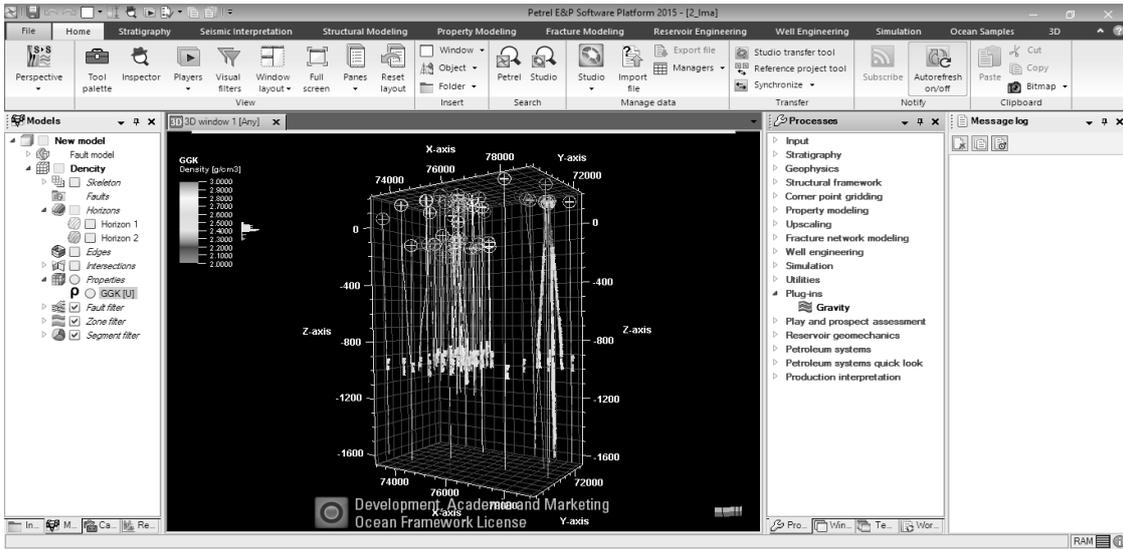


Рис. 5. Модель с размещенными скважинами и скважинными модулями в программе Petrel

2) Размещение необходимых скважин в модели Petrel. [9] Пример построенной модели местности и размещенных скважин представлен на рисунке 5;

3) Синхронизация Gazebo с физическим движком DART (использование Gazebo версии 7);

4) Создание достоверных визуальных моделей технических систем для симулятора Gazebo (например, каротажный зонд, кабель, элеватор и т.д.);

5) Создание файлов физической модели технических систем (обозначение физически существующих элементов, характеристик материалов, плотностей этих элементов);

6) Синхронизация визуальной и физической модели технической системы через файл настроек;

7) Реализация плагина для Gazebo на языке C++, в случае решаемой авторами задачи со следующим функционалом:

- ◆ функция работы(перемещения) каротажного зонда (в процессе перемещения модуля все действующие силы на технические объекты, их поведение и механику обрабатывает движок DART);
- ◆ передача данных текущего положения каротажного зонда и данных по результатам проведения каротажа с подсчетом и сохранением оценки медлительности упругих волн[11] по заранее вы-

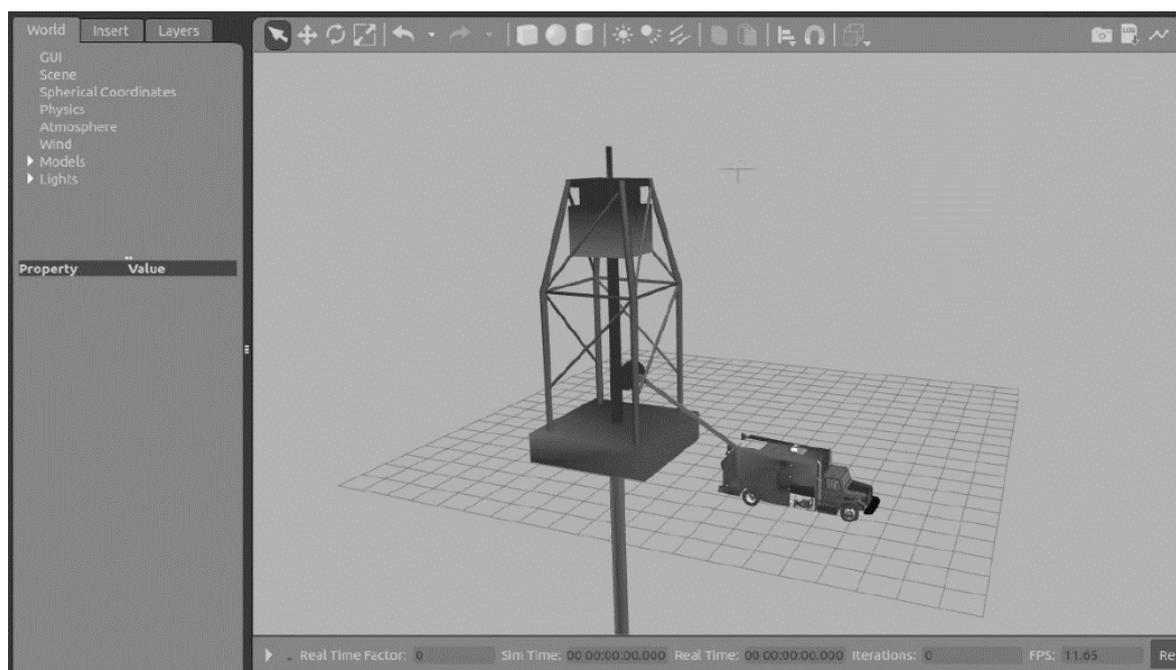


Рис. 6. Моделирование объектов для процесса каротажа в Gazebo

деленному каналу связи по протоколу UDP на заранее заданный порт;

8) Объединение всех объектов в один проект (Создание файла «world» для Gazebo), в котором описываются загружаемые объекты (физические и визуальные), их точное местоположение и подключаемые модули;

9) Реализация плагина для Petrel при помощи API Ocean, в случае решаемой авторами задачи со следующим функционалом:

- ◆ функция приема данных о структуре местности;
- ◆ функция моделирования местности.

10) Запуск Petrel с подключенным плагином;

11) Запуск Gazebo с подключенным файлом «world». Моделирование технических систем для каротажа в Gazebo изображено на рисунке 6.

12) Сбор данных каротажа, наблюдение за процессом моделирования, передача получаемых данных на сервер и сохранение результатов моделирования для их дальнейшего анализа (рекомендовано при помощи системы web-мониторинга [10]).

Указанный алгоритм в рамках решения задачи моделирования технических геофизических систем, применяемых в задаче фиксации и анализа упругих волновых воздействий, позволяет:

- ◆ произвести наблюдения за поведением технических средств в процессе моделирования каротажа;
- ◆ на основании полученных данных сделать соответствующие выводы о рентабельности использования геофизических технических систем, используемых в задаче каротажа уменьшая риски поломки технических систем при их испытаниях на реальных объектах.

Стоит заметить, что данный алгоритм моделирования может использоваться не только для задач каротажа, но и для задач эксплуатации оборудования уже в процессе производства, например, эксплуатации нефтедобывающих вышек, а также задач исследования возможность использования нововводимых геофизических технических систем.

Заключение

Разработка моделей и логики работы сложных технических систем с реалистичной физикой работы всей системы в соответствии разработанным авторами алгоритмом позволит проводить испытания различных геофизических платформ и сложных технических систем не рискуя нанести повреждения реальному объекту в процессе испытаний, а соответственно сокращает финансовые затраты и экономит время при проведении геофизических исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Погорелов Ю. С. Геофизика. БелГУ, 2009;
2. Закревский К. Е. Геологическое 3D моделирование. М.:2009;
3. Акчурин А.Д., Юсупов К. М., Стенин Ю. М., Шерстюков О. Н., Горбачев В. Н., Березовский Е. В. Структура и режимы работы скважинного акустического сканера высокого разрешения (САС ВР). // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2013. № 6. С. 3–8.
4. Закревский К. Е. Практикум по геологическому 3D моделированию. М.: 2010
5. Гончар А.И., Неверова С. И., Шундель А. И., Шлычек Л. И. Создание Системы компьютерного трехмерного моделирования геофизических полей геологических структур. — Гідроакустичний журнал № 7 (проблеми, методи та засоби досліджень світового океану), 2010;
6. Entory J. С точки зрения науки. В недрах земли: научное издание М.: ИГ «Весь», ISBN5–352–0356–6;
7. Антонович А. В. Организация компьютерных систем в нефтегазовой отрасли. Томск: Томск-инфо, 2009. — № 2, с. 3;
8. Орленок В. В. Основы геофизики. Калининград, 2000;
9. Shlumberger. Курс: Введение в Petrel 2010. Houston: Shlumberger, 2010.
10. Рябченко Е.Ю., Шемахин А. Ю., Шерстюков О. Н., Данилов Е. В., Филин И. В., Овчинников М. Н. Система web-мониторинга для комплекса геолого-технологических исследований // Нефтяное хозяйство, № 12. — 2015. — С. 149–151

© Егорчев Антон Александрович (eanton090@gmail.com), Литвин Михаил Александрович (rising.flames@yandex.ru),
Кокунин Петр Анатольевич (PAKokunin@kpfu.ru), Свалова Ирина Евгеньевна (irina.svalova.e@gmail.com),
Чикрян Дмитрий Евгеньевич (dmitry.kfu@gmail.com), Шерстюков Олег Николаевич (Oleg.Sherstyukov@kpfu.ru).
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Казанский (Приволжский) Федеральный Университет