



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Робототехника и мехатроника»

# **СБОРНИК ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

ПО ВИРТУАЛЬНОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ  
РОБОТОВ В ПАКЕТЕ V-REP

Авторы  
Герасимов И.А.,  
Лукьянов Е.А.,  
Ивацевич Ю.Б.

Ростов-на-Дону, 2014



## Аннотация

Предлагаемые лабораторные работы могут быть использованы в учебном процессе при подготовке бакалавров по направлению Мехатроника и робототехника в процессе изучения таких дисциплин как Управление роботами и РТС, Компьютерное управление роботами, а также при курсовом и дипломном проектировании.

## Авторы

Герасимов И.А., магистр

Лукьянов Е.А., доцент, к.т.н

Ивацевич Ю.Б., профессор, к.т.н.





## Оглавление

<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 ЗНАКОМСТВО С ПАКЕТОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ РОБОТОВ V-REP.....</b>	<b>4</b>
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 СОЗДАНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ КОЛЕСНОЙ ПЛАТФОРМЫ В СРЕДЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ РОБОТОВ V-REP.....</b>	<b>17</b>
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ ТРЕХКОЛЕСНОЙ МОБИЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ В СРЕДЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ РОБОТОВ V-REP.....</b>	<b>38</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:.....</b>	<b>53</b>



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

### ЗНАКОМСТВО С ПАКЕТОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ РОБОТОВ V-REP

#### Цель работы

1. Знакомство с графическим интерфейсом пакета моделирования V-REP.
2. Изучение основных возможностей моделирования роботов с использованием готовых моделей, входящих в состав пакета V-REP.
3. Создание простых графических примитивов.

#### Краткая теория

Симулятор роботов V-REP с интегрированной средой разработки основан на распределенной архитектуре управления: каждым объектом/моделью возможно индивидуально управлять с помощью встроенного скрипта, плагина, ROS-node, удаленного клиента или с помощью собственного решения. Это делает V-REP очень универсальным и идеально подходящим для моделирования большого количества роботов. Контроллеры могут быть написаны на C/C++, Python, Java, Lua, Matlab или Urbi.

Симулятор V-REP используется для быстрой разработки алгоритмов, моделирования автоматизации производства, быстрого прототипирования и проверки, обучения в области мехатроники и робототехники, удаленного мониторинга и т.д.

Особенностями среды V-REP являются:

- мощный API с поддержкой 6 языков программирования;
- 3 физических движка (Bullet Physics, ODE и Vortex Dynamics);
- прямая и обратная кинематика;
- определение коллизий, вычисление минимальных расстояний между объектами;
- симуляция обработки материалов (сверление, фрезеровка, сварка);
- симуляция различных сенсоров (расстояния, камеры);
- планирование пути/движения;
- различные средства записи и визуализации данных;
- модульная система построения роботов;
- широкие возможности по созданию, импортированию и редактированию 3D моделей;
- возможность создание собственного интерфейса



## Виртуальное моделирование роботов в пакете V-REP

управления.

Приложение V-REP состоит из нескольких элементов.

Основные элементы (рисунок 1):

- **Консольное окно (Console window).** В ОС Windows V-REP запускается, создавая консольное окно, которое скрывается после запуска. Стандартное поведение скрытия консольного окна может быть изменено в диалоге пользовательских настроек. В ОС Linux для V-REP необходим запуск из консоли, которая остается видимой до тех пор, пока V-REP не будет закрыт. В ОС MacOSX лучше всего запускать V-REP из терминала, что бы все сообщения были видимыми. Окно консоли или терминала отображает, какие плагины были загружены, успешно ли прошла процедура их инициализации. Консольное окно не является диалоговым и предназначено только для вывода информации. Пользователь может напрямую выводить информацию в консоль с помощью команды Lua *print* (из скрипта) или с помощью функций C/C++ *printf* и *std::cout* (при вызове из кода плагина). В дополнение к этому пользователь может программно создавать вспомогательные консольные окна для отображения информации.
- **Окно приложения (Application window).** Это основное окно программы. Оно используется для отображения, редактирования, симуляции и взаимодействия со сценой. Левая и правая кнопки мыши, колесо мыши, как и клавиатура, имеют специфичные функции, когда активируется главное окно приложения. В окне приложения функции устройств ввода (мыши и клавиатуры) могут изменяться от контекста или места активации.
- **Диалоговые окна (Several dialogs).** Также пользователь может взаимодействовать со сценой, изменяя параметры и настройки в диалоговых окнах. Каждое диалоговое окно группирует набор связанных функций или функций, которые применяются к одному и тому же выбранному объекту. Содержимое диалогового окна может зависеть от контекста (например, от состояния выбранного объекта).



## Виртуальное моделирование роботов в пакете V-REP

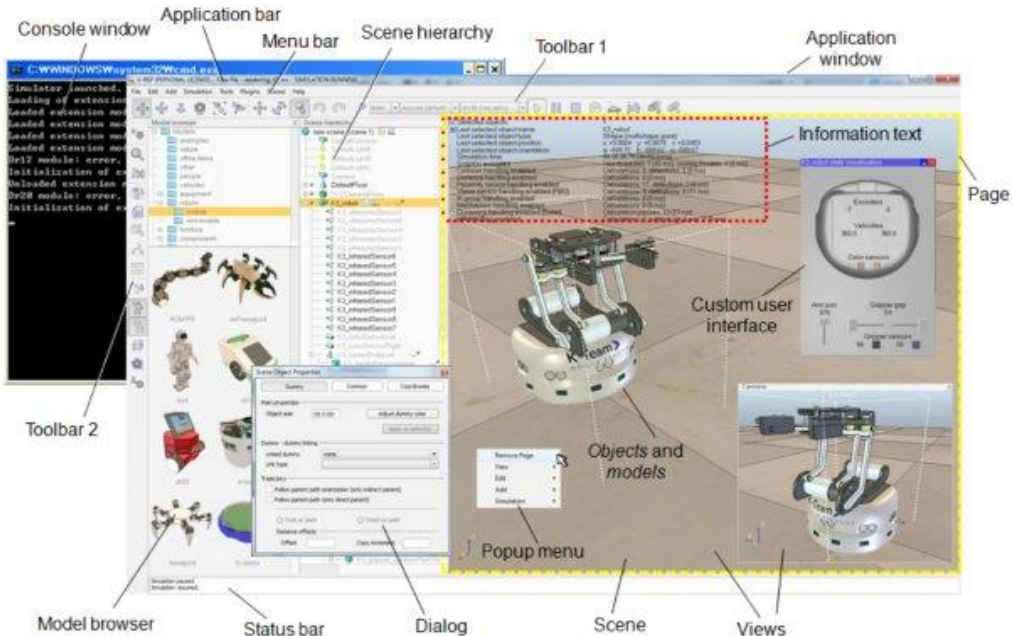


Рисунок 1 – Пользовательский интерфейс V-REP

При запуске V-REP создается пустая сцена. Пользователь может открыть несколько сцен одновременно. Каждая сцена использует общее главное окно, диалоги, но только содержимое активной сцены отображается в главном окне и диалогах.

Ниже дано краткое описание элементов главного окна V-REP.

- Панель основного окна (application bar).** На панели отображается типа лицензии V-REP, имя файла активной сцены, время рендеринга, а также текущее состояния симулятора (состояние симулятора или тип активного режима редактирования). Панель, как и любая другая поверхность в пределах основного окна, может быть использована для перетягивания (drag-and-drop) совместимых файлов на сцену. V-REP поддерживает \*.ttx-файлы (файлы сцен), \*.ttm-файлы (файлы моделей) и \*.tub-файлы (файлы UI).
- Панель меню (menu bar).** Главное меню предоставляет доступ почти ко всему функционалу симулятора. Большую часть времени, элементы в строке меню активируют различные диалоговые окна. Содержимое строки меню зависит от контекста (т.е. зависит от текущего состояния



## Виртуальное моделирование роботов в пакете V-REP

симулятора). Большинство функций главного меню также доступно в выпадающих меню, по двойному клику на иконке в иерархии сцены, или через нажатие кнопки на панели инструментов.

- **Панели инструментов (toolbars).** На панелях инструментов расположены функции, которые используются чаще всего (например, изменение режима навигации, переключение страниц и т.д.). Не которые функции с Панели инструментов 1 (toolbar 1) и все функции с Панели инструментов 2 (toolbar 2) также доступны через главное меню или выпадающее меню. Обе панели инструментов могут быть пристыкованы и отстыкованы, но стыковка работает только с исходными позициями ниже, на рисунках 1 и 2, изображены панели инструментов с объяснением назначений кнопок.

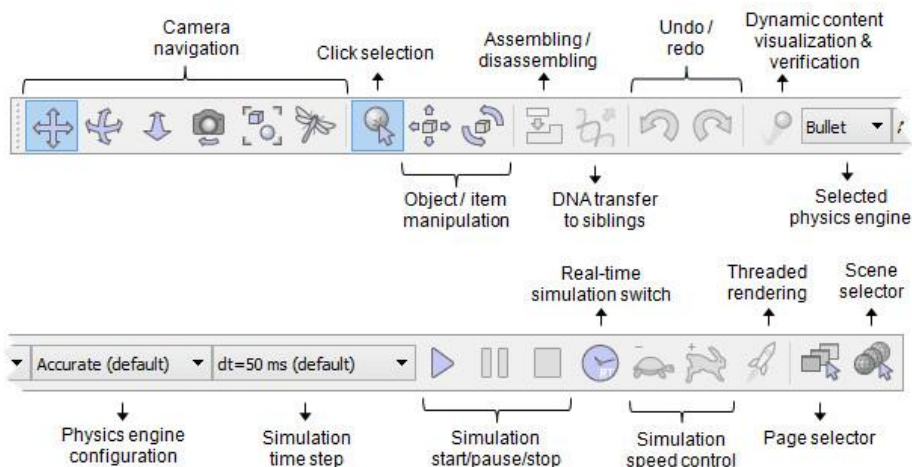


Рисунок 2 – Панель инструментов 1

- **Camera navigation** – управление камерой;
- **Click selection** – включение выбора объектов по клику;
- **Object/item manipulation** – перемещение и вращение объектов на сцене;
- **Assembling/disassembling** – сборка и разборка составных объектов;
- **DNA transfer to siblings** – передача ДНК братьям и сестрам;
- **Undo/redo** – отменить/повторить последнюю операцию;
- **Dynamic content visualization & verification** – визуализация и верификация динамического содержимого;



## Виртуальное моделирование роботов в пакете V-REP

- **Select physics engine** – выбор физического движка;
- **Physics engine configuration** – конфигурация физического движка;
- **Simulation time step** – временной шаг симуляции;
- **Simulation start/pause/stop** – запуск, пауза и остановка симуляции;
- **Real-time simulation switch** – переключатель симуляции в режиме реального времени;
- **Simulation speed control** – управление скоростью симуляции;
- **Threaded rendering** – многопоточный рендеринг;
- **Page selector** – выбор страниц;
- **Scene selector** – выбор сцен.

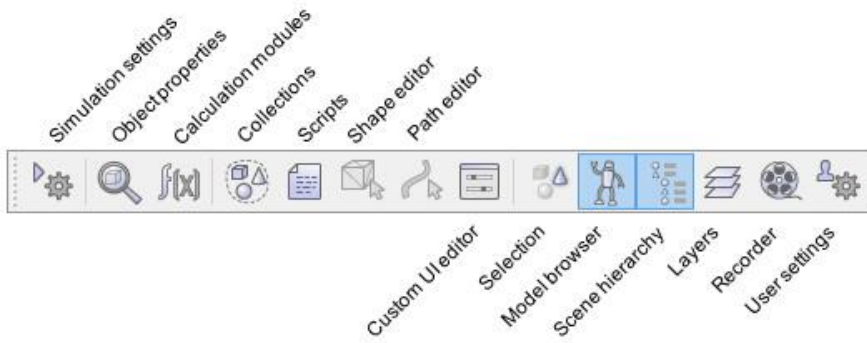


Рисунок 3 – Панель инструментов 2

- **Simulation settings** – настройки симуляции;
  - **Object properties** – свойства объекта;
  - **Calculation modules** – модули расчета;
  - **Collections** – коллекции;
  - **Scripts** – скрипты;
  - **Shape editor** – редактор форм;
  - **Path editor** – редактор путей;
  - **Custom UI editor** – редактор пользовательского интерфейса;
  - **Selection** – выбор объектов;
  - **Model browser** – браузер моделей;
  - **Scene hierarchy** – иерархия сцены;
  - **Layers** – слои;
  - **Recorder** – рекордер;
  - **User settings** – пользовательские настройки.
- **Браузер моделей (model browser)**. Браузер моделей (рисунок 4) отображается по умолчанию, но может быть





## Виртуальное моделирование роботов в пакете V-REP

скрыт с помощью соответствующей кнопки на панели инструментов. В верхней части браузер отображена структура каталогов моделей V-REP. В нижней части отображаются пиктограммы моделей, содержащихся в выбранном каталоге. Пиктограммы могут быть перетянуты мышкой на сцену, что автоматически загрузит соответствующую модель. Пиктограмма потемнеет, если ее нельзя перетянуть в выбранное место.

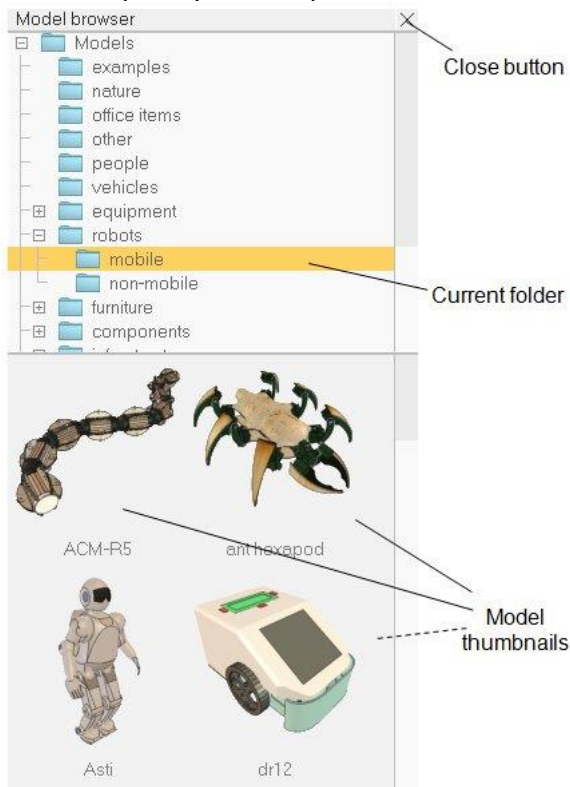


Рисунок 4 – Браузер моделей

- **Close button** – кнопка закрытия браузера;
- **Current folder** – текущий каталог;
- **Model thumbnails** – пиктограммы моделей.

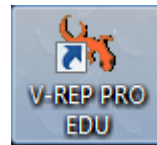
**Иерархия сцены (scene hierarchy)** – Иерархия сцены (рисунок 5) отображается по умолчанию, но может быть скрыта с помощью соответствующей кнопки на панели инструментов. Иерархия отображает содержимое сцены (т.е. объекты, из которых состоит сцена). Иерархическая структура сцены



## Виртуальное моделирование роботов в пакете V-REP

представлена в виде дерева элементов, которые могут быть развернуты или свернуты. Двойной клик на иконке открывает/закрывает диалог свойств, относящийся к данной иконке. Двойной клик на имени объекта позволяет изменить его (имя). Колесико мыши и полосы прокрутки позволяют пролистывать содержимое иерархии сцены. Так же поддерживается множественное выделение объектов с помощью клавиш Ctrl и Shift. Объекты в иерархии сцены можно перетаскивать на другие объекты для создания отношений родитель-потомок. Иерархия сцены будет отображать различную информацию, если симулятор находится в одном из режимов редактирования (редактор форм, путей, пользовательского интерфейса).

### Порядок выполнения работы



1. Запустить среду V-REP, используя ярлык на рабочем столе или через меню «Пуск».(пакет V-REP установлен в компьютерном классе кафедры).

2. В браузере моделей перейти в раздел «robots - mobile» (рисунок 5).

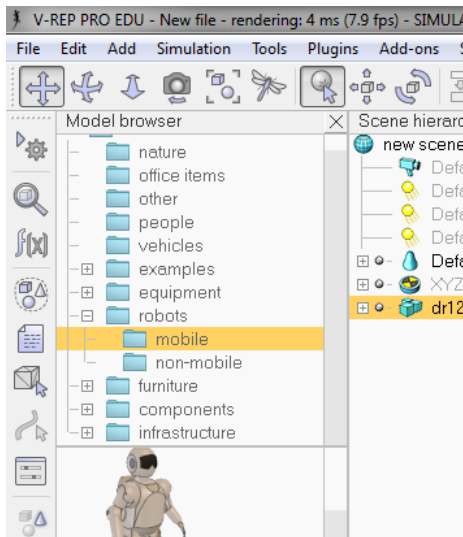


Рисунок 5 – Раздел «robots - mobile» в браузере моделей

3. Найти модель колесного робота «dr12» (рисунок 6) и с



помощью мыши перетянуть на сцену.



Рисунок 6 – Модель колесного робота «dr12»

4. Запустить процесс симуляции с помощью соответствующей кнопки на панели инструментов (рисунок 7).

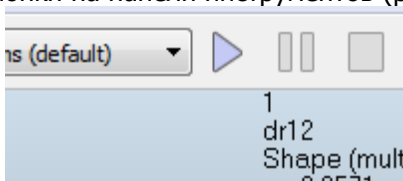


Рисунок 7 – Кнопки запуска, паузы и остановки процесса симуляции

5. Зафиксировать в отчет происходящее на сцене.

6. Остановить процесс симуляции с помощью соответствующей кнопки на панели инструментов (рисунок 7).

7. Выбрать модель робота в иерархии сцены (рисунок 8).



## Виртуальное моделирование роботов в пакете V-REP

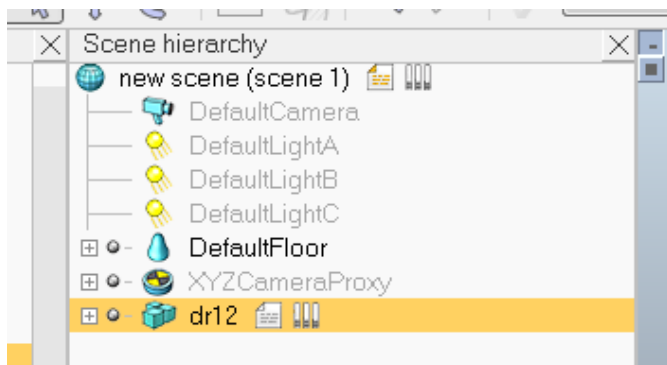


Рисунок 8 – Модель робота в иерархии сцены

8. Переключиться в режим перемещения объектов с помощью кнопки на панели инструментов (рисунок 9) или с помощью сочетания клавиш Ctrl + E (данное сочетание клавиш циклично переключает режимы перемещения камеры, перемещения объекта и вращения объекта). На экране должен отобразиться диалог позиции/перемещения объекта.

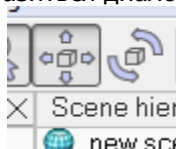


Рисунок 9 – Кнопка включения режима перемещения объектов

9. Переместить модель робота к краю сцены так, что бы модель была направлена в центр. Модель робота можно переместить либо с помощь мыши, либо указав в диалоговом окне позиции/перемещения объекта в поле «X-coordinate» значение -2 (рисунок 10).



## Виртуальное моделирование роботов в пакете V-REP

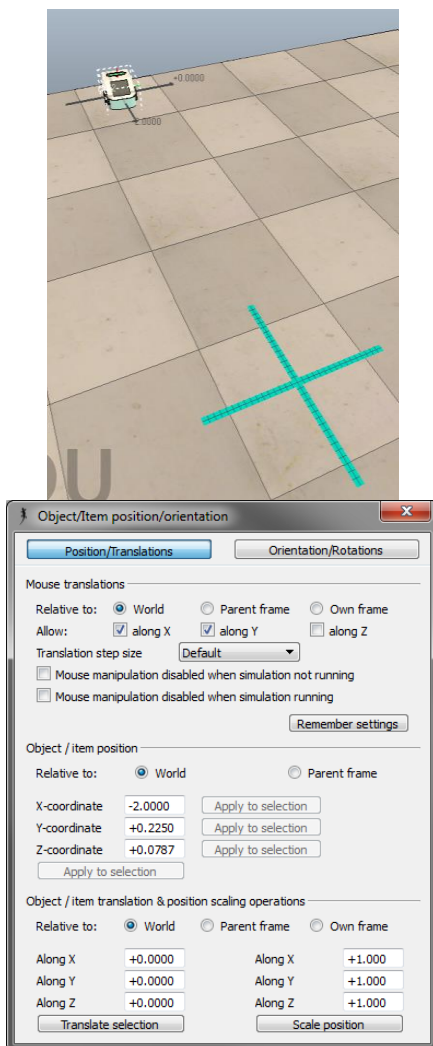


Рисунок 10 – Перемещение модели с помощью мыши (слева) и с помощью диалогового окна позиции/перемещения (справа)

10. Добавляем на сцену препятствие для робота. Для этого необходимо кликнуть правой кнопкой мыши в области сцены. В появившемся контекстном меню необходимо выбрать «Add – Primitive shape – Cuboid» (аналогичная функция доступна через главное меню программы). Отобразится диалоговое окно настройки параметров создаваемого объекта (рисунок 11).



## Виртуальное моделирование роботов в пакете V-REP

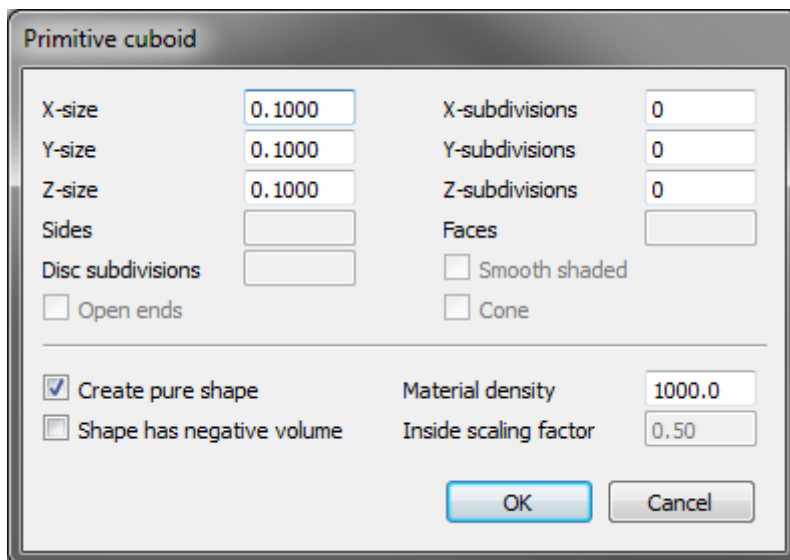


Рисунок 11 – Диалог настройки параметров создаваемого кубоида

В поле Y-size необходимо ввести значение 1. После нажатия кнопки «ОК» на сцену добавиться созданный объект с указанными параметрами (рисунок 12).

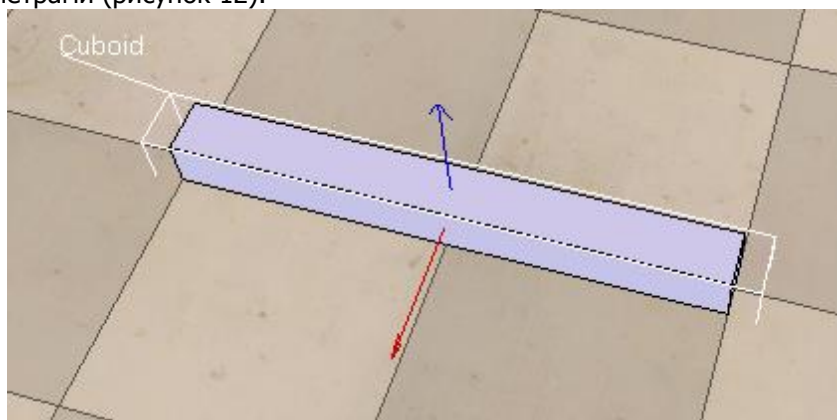


Рисунок 12 – Созданный кубоид

11. Переместить (аналогично п.9) созданный кубоид так, что бы он был напротив модели колесного робота. В результате сцена должна выглядеть примерно так, как показано на рисунке 13.

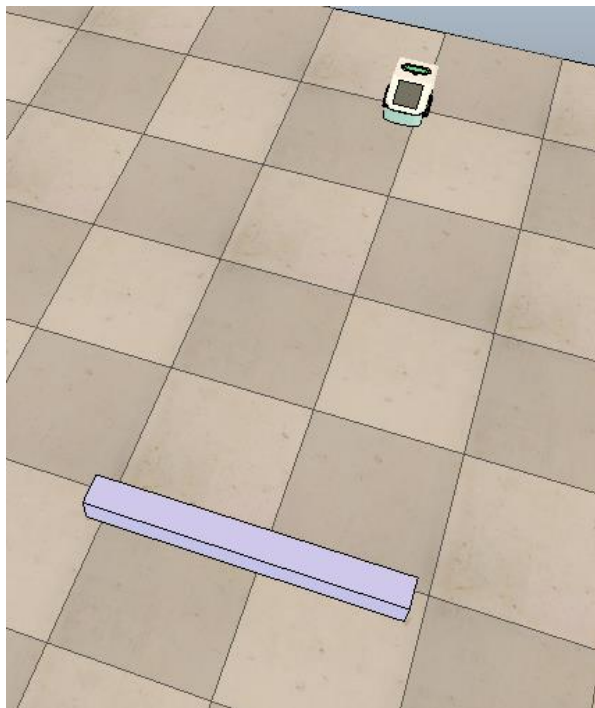


Рисунок 13 – Расположение робота и препятствия на сцене 12. Запустить симуляцию и зафиксировать в отчете происходящее на сцене.

13. Открыть редактор управляющего скрипта модели робота. Для этого необходимо сделать двойной клик на значке страницы справа от названия модели в иерархии сцены (рисунок 14).



Рисунок 14 – Значок вызова редактора управляющего скрипта

14. В открывшемся редакторе найти строчки:

```
simSetJointTargetVelocity(leftJointHandle, ... )
```

```
simSetJointTargetVelocity(rightJointHandle, ... )
```

Функция `simSetJointTargetVelocity` отвечает за установку скорости вращения левого и правого двигателя робота соответственно. Второй параметр функции (после запятой) отвечает за требуемое значение скорости. Изменяя эти значения, изучить, как будет изменяться поведение робота в процессе симуляции. Занести результаты исследования в отчет.



## Виртуальное моделирование роботов в пакете V-REP

15. Сохранить созданную сцену через пункт главного меню «File – Save scene as».

**Контрольные вопросы**

- 1) Какие физические движки поддерживает V-REP?
- 2) Из каких элементов состоит графический интерфейс пользователя V-REP?
- 3) Для чего необходим браузер моделей?
- 4) Что отображается в иерархии сцены?
- 5) Как вызвать диалоговое окно свойств объекта?
- 6) С помощью какого сочетания клавиш возможно переключению между режимами перемещения камеры, перемещения объекта и вращения объекта?
- 7) Как создать примитивный объект «Кубоид»? Какие параметры доступны для изменения при его создании?
- 8) Какой язык программирования используется для написания скриптов в V-REP?
- 9) За что отвечает функция `simSetJointTargetVelocity`? Какие входные параметры передаются в эту функцию?
- 10) Какая функция считывает показания с датчика силы, установленного на бампере виртуальной модели «dr12»?





## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

### СОЗДАНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ КОЛЕСНОЙ ПЛАТФОРМЫ В СРЕДЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ РОБОТОВ V-REP

#### Цель работы

1. Знакомство с возможностями пакета моделирования V-REP по созданию трехмерных моделей.
2. Создание трехмерной модели колесной платформы на основе графических примитивов V-REP.

#### Краткая теория

#### Фигуры (Shapes)

Фигуры – это твердые меш-объекты (меш – набор вершин и многоугольников, определяющих форму трехмерного объекта), состоящие из треугольных граней. Фигуры можно импортировать, экспортировать и изменять. Существует несколько различных подтипов фигур.

-  **Простая случайная фигура (Simple random shape).** Может представлять любой меш. Имеет один цвет и один набор визуальных атрибутов. Фигуры данного типа не оптимизированы и не рекомендуются для расчетов реакций динамических коллизий/столкновений (очень медленно и нестабильно).
-  **Сгруппированная случайная фигура (Grouped random shape).** Может представлять любой меш. Имеет несколько цветов и несколько наборов визуальных атрибутов. Фигуры данного типа не оптимизированы и не рекомендуются для расчетов реакций динамических коллизий/столкновений (очень медленно и нестабильно).
-  **Простая выпуклая фигура (Simple convex shape).** Выпуклый меш одного цвета с одним набором визуальных атрибутов. Частично оптимизированы для динамических вычислений (рекомендуется использовать упрощенные фигуры).



## Виртуальное моделирование роботов в пакете V-REP

- 

• **Сгруппированная выпуклая фигура (Grouped convex shape).** Группа выпуклых мешей с различными цветами и наборами визуальных атрибутов. Частично оптимизированы для динамических вычислений (рекомендуется использовать сгруппированные упрощенные фигуры).
- 

• **Упрощенная фигура (Pure simple shape).** Прimitивная фигура – кубоид, цилиндр или сфера (с дополнительными вариантами, зависящими от используемого физического движка). Упрощенная фигура лучше всего подходит для динамических вычислений, т.к. обработка таких фигур очень быстрая и стабильная.
- 

• **Упрощенная сгруппированная фигура (Pure grouped shape).** Группа примитивных фигур. Также как и одиночная упрощенная фигура, хорошо подходят для динамических вычислений.
- 

• **Рельефная фигура (Heightfield shape).** Может представлять рельеф в виде регулярной сетки, в которой изменяется только высота. Фигуры данного типа можно рассматривать как упрощенные фигуры, поэтому они также хорошо подходят для динамических вычислений.

По умолчанию, все импортируемые фигуры являются простыми фигурами. Две или более простых фигур или групп фигур, тем не менее, могут быть сгруппированы с помощью пункта главного меню **«Edit – Grouping/Merging – Group selected shapes»** или разгруппированы с помощью пункта меню **«Edit – Grouping/Merging – Ungroup selected shapes»**. Простые фигуры также могут быть слиты с помощью пункта главного меню **«Edit – Grouping/Merging – Merge selected shapes»** (в этом случае визуальные свойства станут одинаковыми для всех составляющих элементов). Разделение объектов производится с помощью пункта меню **«Edit – Grouping/Merging – Divide selected shapes»**. Алгоритм разделения извлечет каждый отдельный элемент фигуры. Два элемента являются отдельными, если у них нет общих вершин (vertex).

Упрощенные фигуры являются более функциональными. Большую часть времени они используются только физическим



## Виртуальное моделирование роботов в пакете V-REP

движком, т.к. он обрабатывает их намного лучше и быстрее, чем другие фигуры (например, случайные или выпуклые меши). По этой причине, упрощенные фигуры часто скрыты в невидимом слое (например, слой 9).

На рисунке 1 представлено несколько примеров фигур.

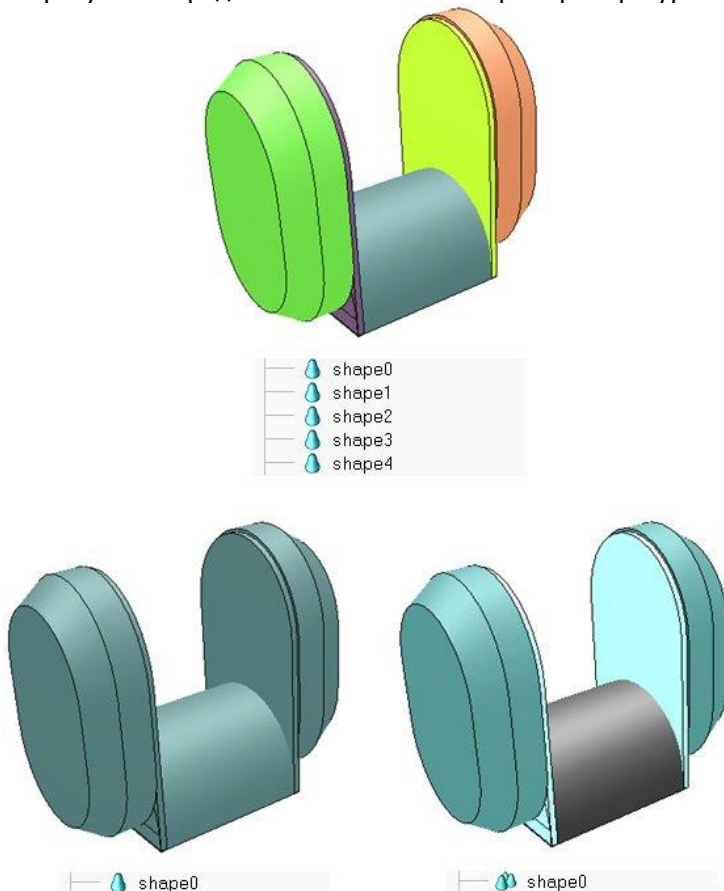


Рисунок 1 – 5 простых фигур (после импорта),  
 1 простая фигура (после слития, слева),  
 1 сгруппированная фигура (состоящая из 5 простых фигур, справа)

Упрощенные фигуры также можно группировать. Если элементы группировки являются упрощенными фигурами, то сгруппированная фигура также будет упрощенной. Результатом слияния упрощенных фигур будет фигура, которая не будет упрощенной.



## Виртуальное моделирование роботов в пакете V-REP

Фигуры могут сталкиваться, их можно измерять, детектировать, визуализировать и вырезать. Это означает, что фигуры:

- можно использовать для обнаружения столкновений с другими объектами;
- можно использовать для вычисления минимального расстояния;
- могут детектироваться с помощью датчиков расстояния;
- могут детектироваться с помощью датчиков технического зрения;
- могут подвергаться действию фрезы. Только неупрощенные фигуры можно обрабатывать с помощью фрезы.

Все эти свойства можно переключить с помощью общих настроек объекта. Дополнительно, эти свойства могут быть перезаписаны, если фигура является частью модели, которая перезаписывает их.

### Примитивные фигуры

В V-REP можно напрямую создавать различные фигуры с помощью пункта главного меню «**Add – Primitive shape**». На рисунке 2 представлены 5 примитивных фигур, которые доступны в V-REP.

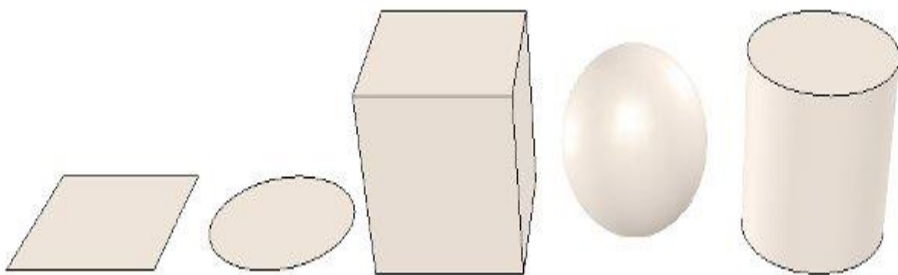


Рисунок 2 – Плоскость, диск, кубоид, сфера и цилиндр  
Геометрические параметры примитивных фигур могут быть настроены в соответствующем диалоговом окне (рисунок 3).



## Виртуальное моделирование роботов в пакете V-REP

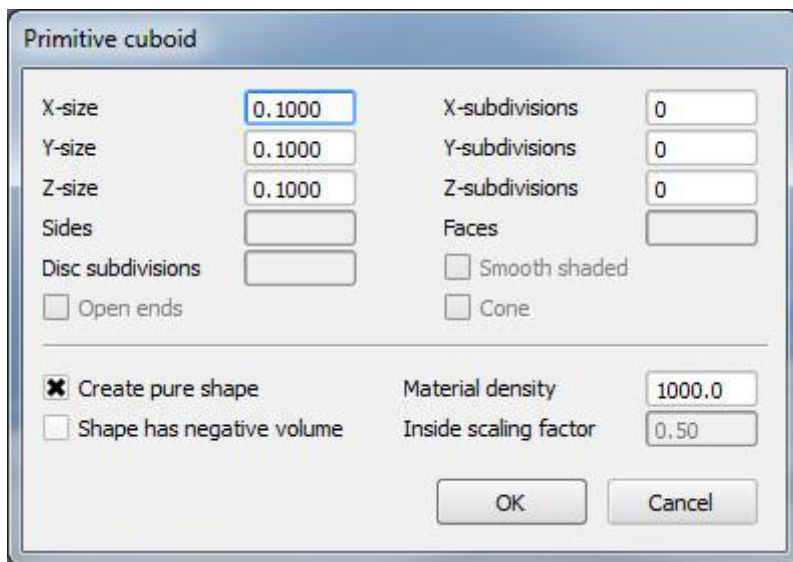


Рисунок 3 – Диалог настройки примитивных фигур

- **X, Y, Z-size** – размер по осям X, Y, Z в глобальной системе координат.

- **X, Y, Z-subdivisions** – количество элементов по осям X, Y, Z в глобальной системе координат.

- **Sides** – число сторон цилиндра, диска или сферы.

- **Faces** – число граней цилиндра или сферы.

- **Disc subdivisions** – количество дисковых элементов (диска или цилиндра).

- **Smooth shaded** – определяет, фигура будет гладкой (затененная по методу Гуро) или резкая.

- **Open ends** – включает открытые концы цилиндра.

- **Cone** – вместо цилиндра будет построен конус.

- **Create pure shape** – если выбрано, то будет создана простая фигура, которая намного лучше и быстрее обрабатывается в процессе динамических расчетов. Простые фигуры изначально будут светло синего цвета для того, что бы их можно было быстро найти.

- **Material density** – плотность материала.

- **Shape has negative volume** – если выбрано, созданная простая фигура будет пустой внутри (т.е. иметь отрицательный объем). Размер внутренней полости определяется полем **Inside scaling factor**. Эта функция полезна для создания трубоподобных структур, которые могут быть динамически



## Виртуальное моделирование роботов в пакете V-REP

смоделированы. В настоящее время, эту функцию поддерживает только движок Vortex Dynamics.

Количество элементов и граней невозможно увидеть напрямую и эффект от этих свойств также не прямой. Ниже, на рисунке 4, показан пример двух одинаковых фигур с разным количеством элементов.

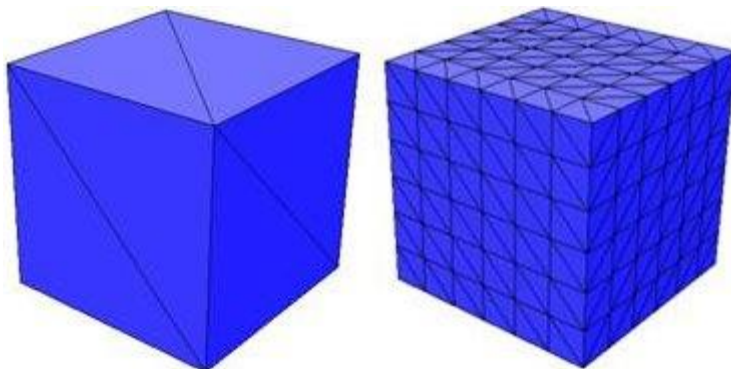
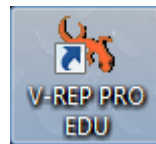


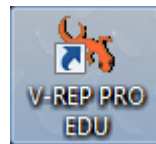
Рисунок 4 – Два кубоида с разным количеством элементов (в режиме редактирования треугольников)

Фигуры с большим количеством элементов могут отражать свет в большем количестве направлений.

Цвета и другие визуальные атрибуты настраиваются в диалоговом окне свойств фигуры. Фигура также может быть отредактирована в режиме изменения фигуры или с помощью диалогового окна геометрии.

### Порядок выполнения работы



1. Запустить среду V-REP, используя ярлык  на рабочем столе или через меню «Пуск».

2. Создаем основание платформы через меню «Add – Primitive shape - Cuboid», указав размеры  $X - 0.15$ ,  $Y - 0.20$ ,  $Z - 0.01$ . В результате должна получиться фигура, изображенная на рисунке 5.

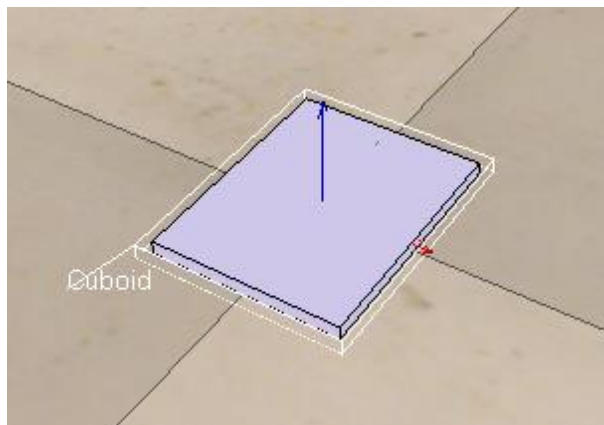


Рисунок 5 – Созданное основание платформы

3. Изменяем название созданной платформы с «Cuboid» на «MobilePlatform». Для этого необходимо сделать двойной клик на имени объекта в иерархии сцены и ввести новое. Для завершения ввода необходимо нажать кнопку «Enter».

4. Изменяем цвет основания платформы. Для этого необходимо открыть диалоговое окно свойств объекта с помощью



кнопки на панели инструментов (предварительно выбрав объект) или с помощью двойного клика по пиктограмме объекта в иерархии сцены. Откроется диалоговое окно, изображенное на рисунке 6.

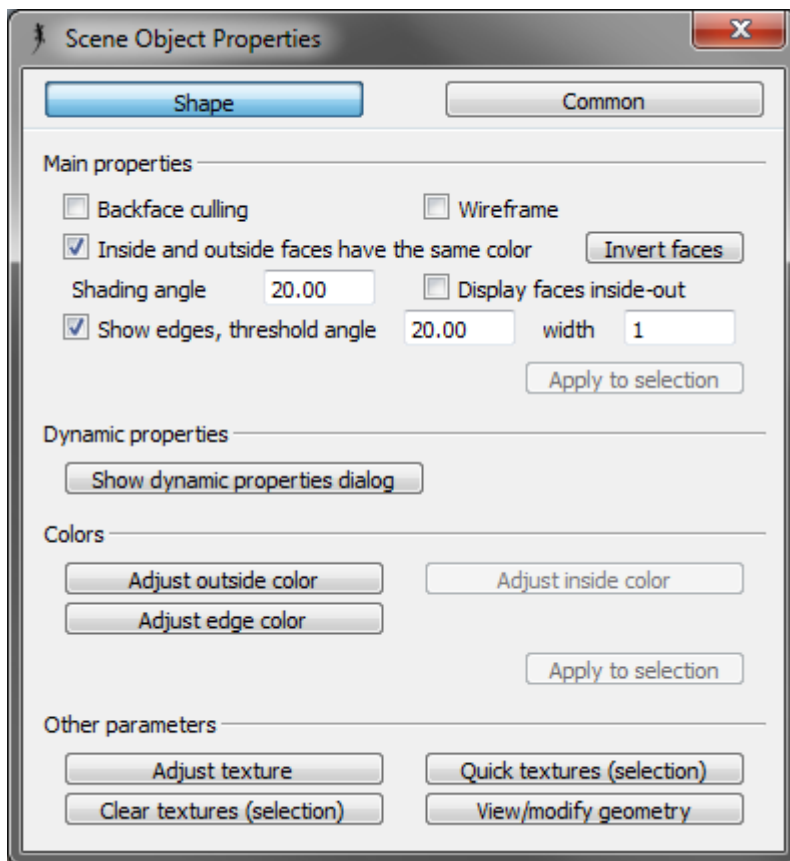


Рисунок 6 – Диалоговое окно свойств объекта

В данном окне в разделе «Colors» (Цвета) необходимо нажать кнопку «Adjust outside color» (Настроить внешний цвет). В появившемся окне необходимо нажать кнопку «Adjust ambient component» (Настроить окружающий компонент). Откроется диалоговое окно настроек цвета. Выберите любой цвет с помощью ползунков.

5. Поднимаем основание платформы надо поверхностью пола. Для этого необходимо открыть диалоговое окно перемещения объектов с помощью кнопки на панели



инструментов. В открывшемся диалоговом окне в разделе «Object / item position» в поле «Z-coordinate» необходимо ввести значение 0.045 (рисунок 7).



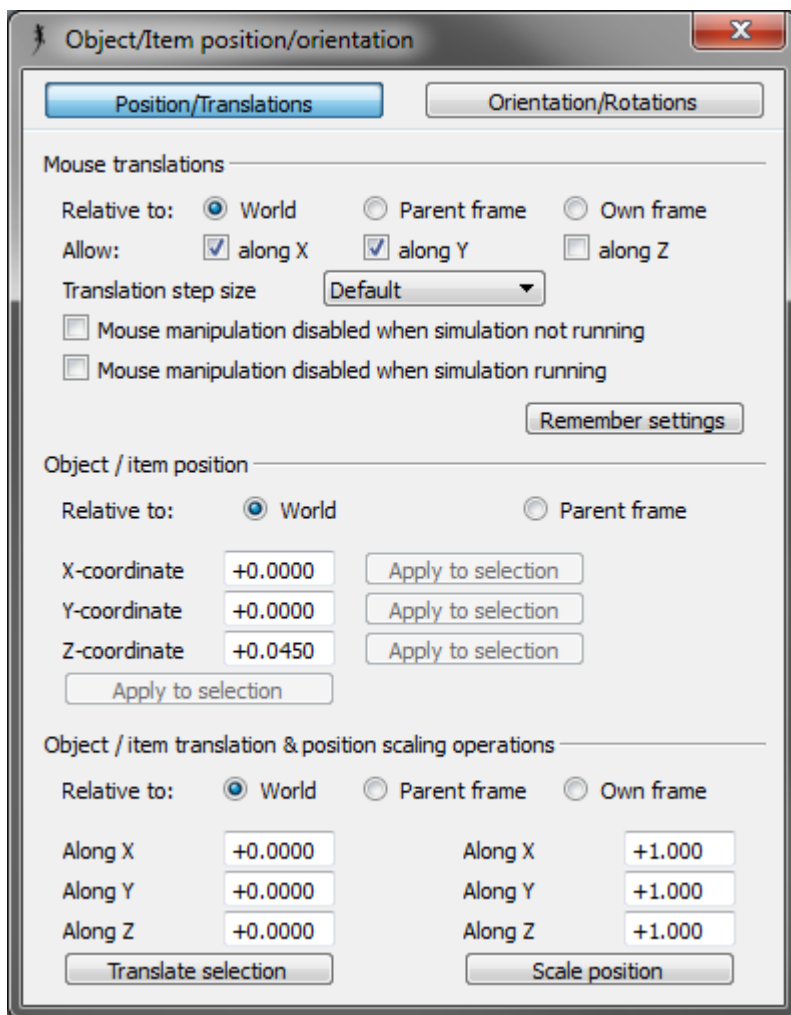


Рисунок 7 – Диалоговое окно позиции/ориентации объекта 6. Рисуем передние колеса. Для удобства работы создаем новую сцену через пункт главного меню «File – New scene». Создаем фигуру колеса с помощью пункта меню «Add – Primitive shape - Cylinder». В поле «X-size» вводим значение 0.08, в поле «Z-size» вводим значение 0.02. После нажатия кнопки «OK» на сцене появится созданный цилиндр (рисунок 8).



## Виртуальное моделирование роботов в пакете V-REP

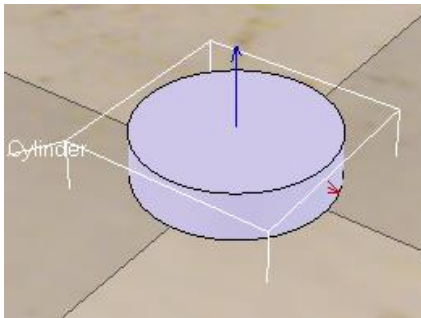


Рисунок 8 – Созданный цилиндр

7. Переименовываем созданный цилиндр в «LeftWheel» (см. пункт 3).

8. Изменяем цвет колеса (см. пункт 4).

9. Изменяем материал колеса. Для этого в диалоговом окне свойств объекта (см. пункт 4) в разделе «Dynamic properties» необходимо нажать кнопку «Show dynamic properties dialog». В появившемся диалоговом окне необходимо в выпадающем меню «Material» выбрать пункт «highFrictionMaterial» (рисунок 9).



## Виртуальное моделирование роботов в пакете V-REP

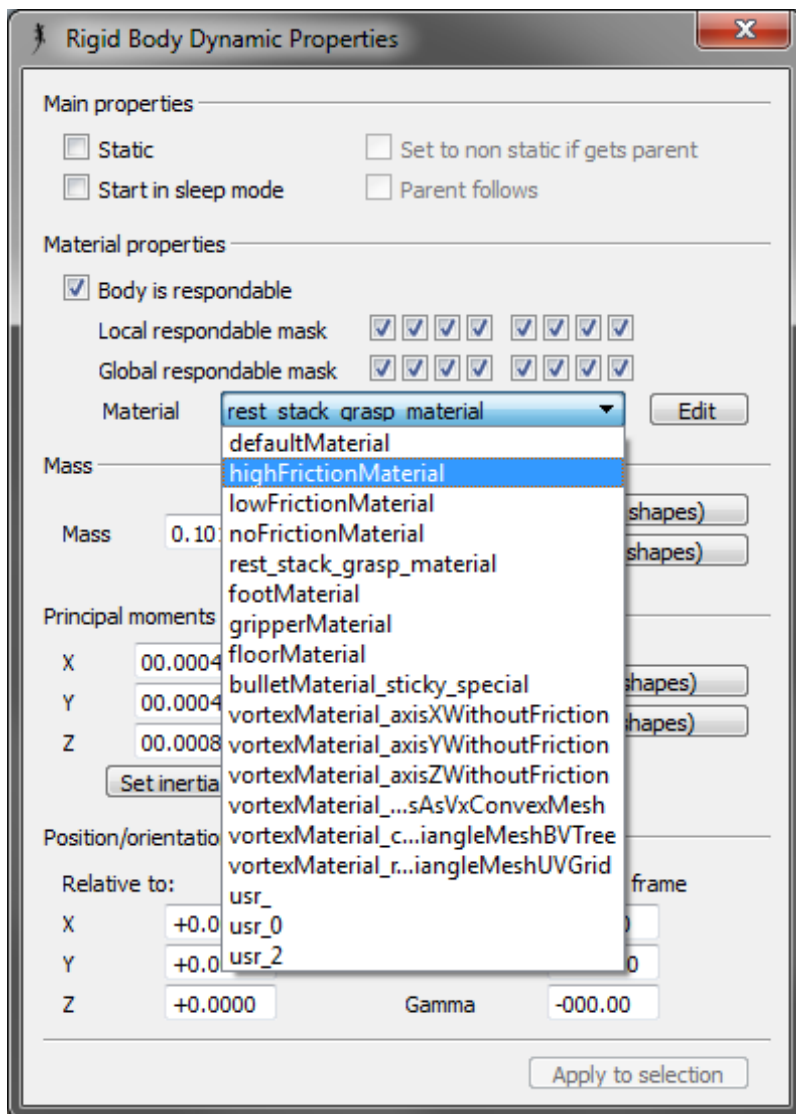


Рисунок 9 – Диалоговое окно динамических свойств  
 10. Добавляем двигатель к колесу. Добавляем на сцену сочленение (Joint) с помощью пункта меню «Add – Joint – Revolute». Результат представлен на рисунке 10.



## Виртуальное моделирование роботов в пакете V-REP

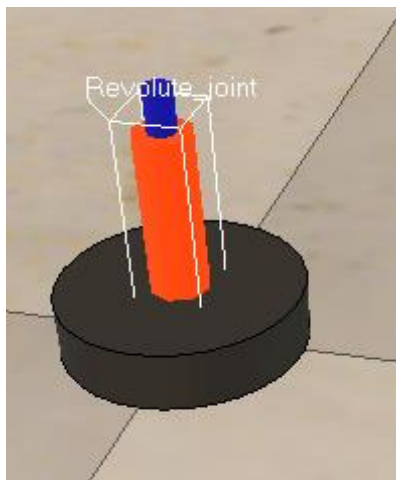


Рисунок 10 – Колесо с созданным сочленение  
 11. Переименовываем созданное сочленение в «LeftMotor» (см. пункт 3).

12. Изменяем размеры двигателя. Для этого в диалоговом окне свойств объекта в разделе «Joint appearance» в поле «Joint length» необходимо ввести значение 0.05, в поле «Joint diameter» значение 0.02. (рисунок 11).

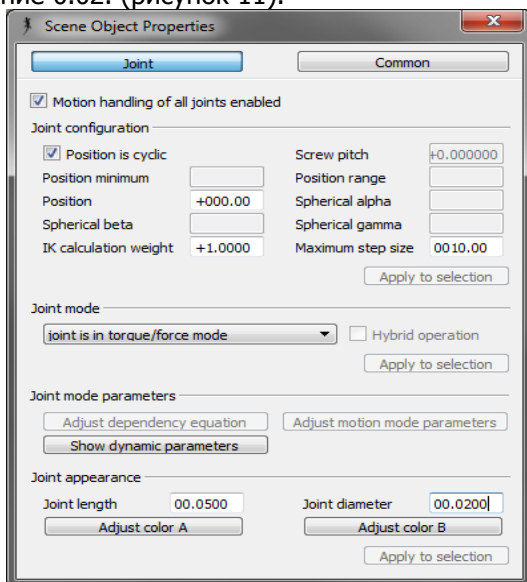


Рисунок 11 – Диалоговое окно свойств сочленения  
 13. Задаем двигатель в качестве родительского объекта для



## Виртуальное моделирование роботов в пакете V-REP

колеса. Это можно сделать двумя способами. Первый, самый простой, перетянуть объект колеса на объект двигателя в иерархии сцены с помощью мыши. Для второго способа необходимо в иерархии сцены сначала выбрать «LeftWheel», затем выбрать «LeftMotor», удерживая нажатой клавишу «Ctrl». Далее необходимо вызвать пункт меню «Edit – Make last selected object parent».

14. Разворачиваем колесо и двигатель вертикально. Выбираем колесо и двигатель в иерархии сцены. Открываем диалоговое окно положения/ориентации объекта с помощью



кнопки на панели инструментов . В разделе «Object/item rotation operations» в поле «Around Y» вводим значение -90 (рисунок 12).

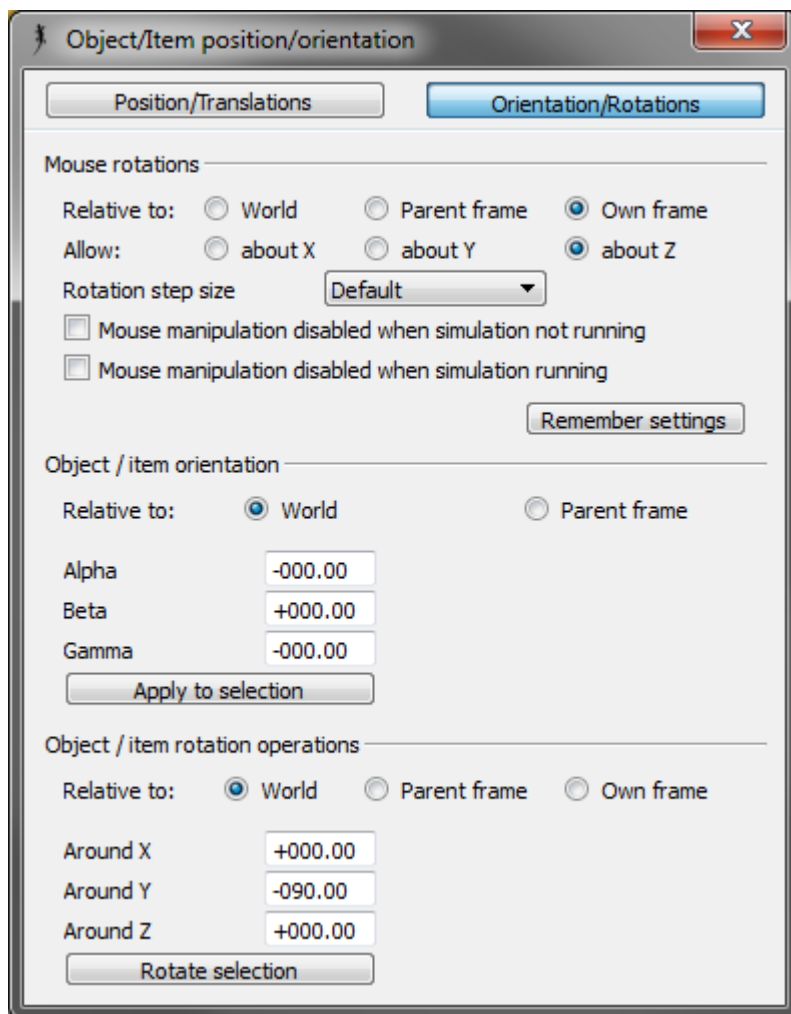


Рисунок 12 – Диалоговое окно ориентации объекта

Далее жмем на кнопку «Rotate selection» и выбранные объекты (колесо и двигатель) повернутся вокруг оси Y на -90 градусов.

15. Выравниваем положения колеса и двигателя относительно друг друга и относительно поверхности пола. Для этого переключаемся в открытом диалоговом окне ориентации объектов в режим позиции объектов с помощью кнопки «Position/Translations». В иерархии сцены выбираем «LeftMotor». В поля «X, Y-coordinate» вводим значение 0, в поле «Z-coordinate»



## Виртуальное моделирование роботов в пакете V-REP

вводим значение 0.04. Далее в иерархии сцены выделяем сначала «LeftWheel», затем, удерживая нажатой клавишу «Ctrl», «LeftMotor». После этого в диалоговом окне необходимо нажать кнопку «Apply to selection», расположенную под полями «X, Y, Z-coordinate». В результате для «LeftWheel» установятся координаты «LeftMotor». Результат показан на рисунке 13.



Рисунок 13 – Результат перемещения колеса и двигателя.

16. Копируем колесо на сцену с основанием платформы. Выбираем в иерархии сцены колесо и двигатель и копируем в буфер обмена с помощью сочетания клавиш «Ctrl+C» или с помощью соответствующего пункта меню «Edit – Copy selected objects». Далее переключаемся на первую сцену (с платформой) с помощью клика в иерархии по названию сцены. Вставляем 2 раза скопированные объекты их буфера обмена с помощью сочетания клавиш «Ctrl+V» или с помощью соответствующего пункта меню «Edit – Paste buffer».

17. Переименовываем вторую копию колеса и двигателя в «RightWheel» и «RightMotor» соответственно (см. пункт 3).

18. Делаем объект основания платформы «MobilePlatform» родителем для «LeftMotor» и «RightMotor» (см. пункт 13).

19. Перемещаем колеса относительно основания платформы. Для этого выбираем «LeftMotor», в диалоговом окне положения (см. пункт 5) в разделе «Object / item position» свойство «Relative to» переключаем в состояние «Parent frame». Это означает, что теперь положение объект будет устанавливать относительно родительской системы координат (в нашем случае относительно основания платформы). Далее задаем координаты: в «X-coordinate» значение -0.085, в «Y-coordinate» значение, 0.05, в «Z-coordinate» значение -0.005 (рисунок 14).



## Виртуальное моделирование роботов в пакете V-REP

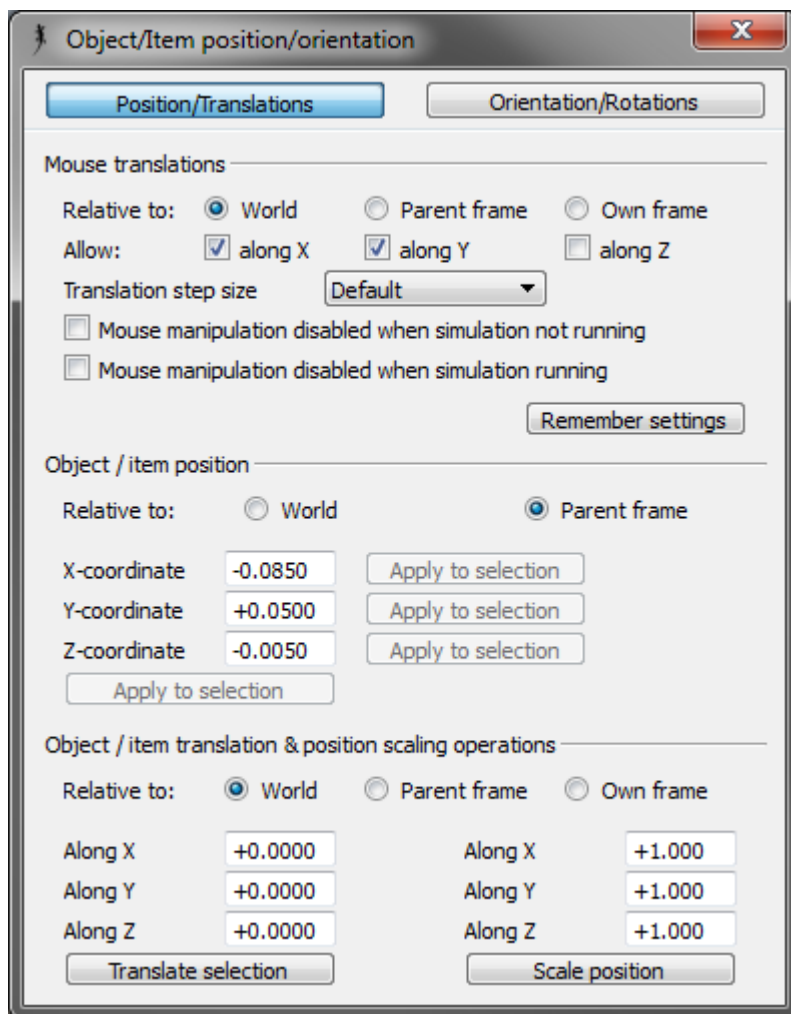


Рисунок 14 – Изменение положения колеса относительно основания

Аналогичное действие производим для «RightMotor», но указав в поле «X-coordinate» значение +0.085. Результат перемещения показан на рисунке 15.



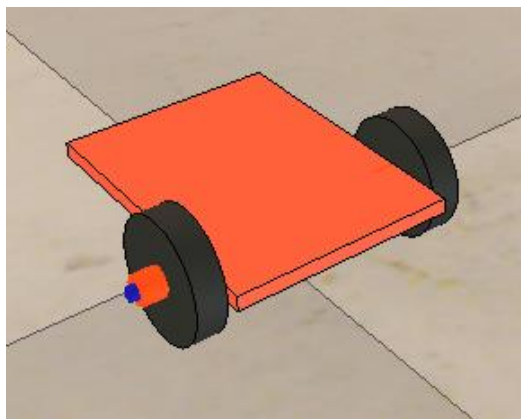


Рисунок 15 – Основание платформы с колесами

20. Добавляем третье подруливающее колесо. В качестве подруливающего колеса будем использовать готовую модель «Caster wheel» (рисунок 16). Она расположена в разделе браузера моделей «components – locomotion and propulsion».

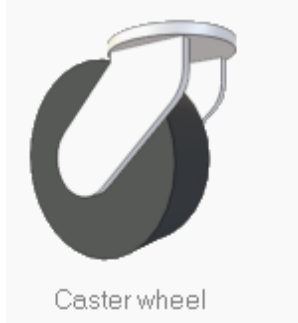


Рисунок 16 – Модель подруливающего колеса «Caster wheel»

Вытягиваем колесо на сцену.

21. Задаем основание платформы «MobilePlatform» в качестве родительского объекта для объекта подруливающего колеса «Caster» (см. пункт 13).

22. Разворачиваем подруливающее колесо вокруг своей оси Z на  $-90$  градусов. Действие аналогично пункту 14, за исключением того, что параметр «Relative to» необходимо переключить в состояние «Own frame», а значение угла вводится в поле «Around Z».

23. Перемещаем колесо относительно платформы (см. пункт 19). В поле «X-coordinate» вводим значение 0, в поле «Y-



## Виртуальное моделирование роботов в пакете V-REP

coordinate» вводим значение -0.05, в поле «Z-coordinate» вводим значение -0.004. Результат перемещения показан на рисунке 17.

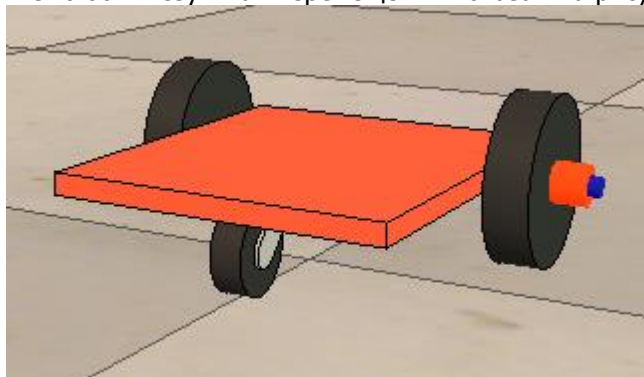


Рисунок 17 – Собранная платформа

24. Включение и настройка двигателей. Для этого в свойствах двигателя (см. пункт 12) в разделе «Joint mode parameters» необходимо нажать кнопку «Show dynamic parameters». Откроется диалоговое окно настройки динамических параметров сочленения (рисунок 18). В нем необходимо установить галочку «Motor enabled», а в поле «Target velocity» для левого двигателя задать значение +50, для правого двигателя -50.

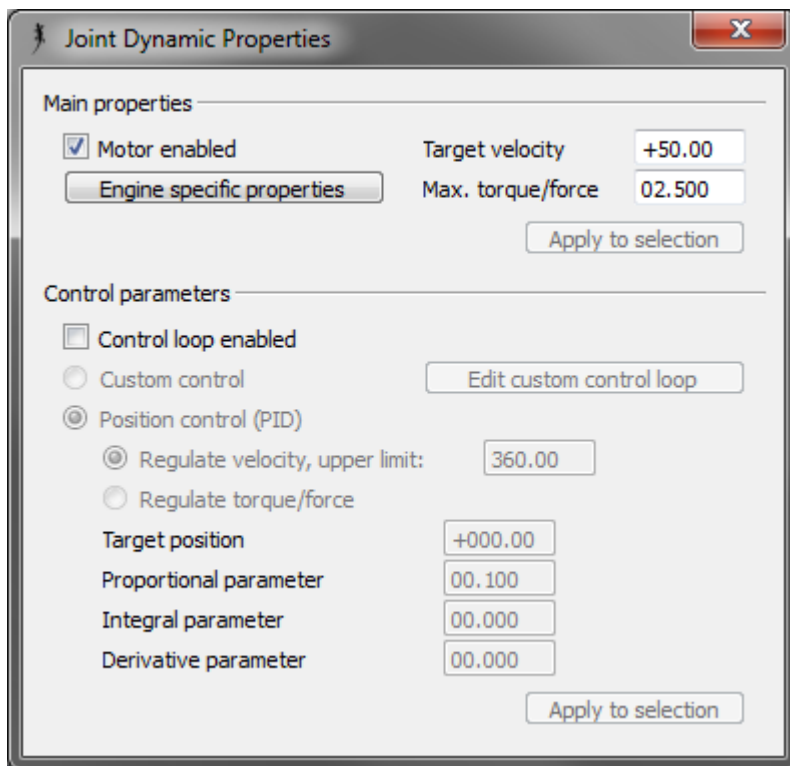


Рисунок 18 – Диалоговое окно динамических свойств сочленения

25. Проверка работы собранной мобильной платформы. Для этого необходимо запустить симуляцию с помощью соответствующей кнопки на панели инструментов. Если платформа правильно собрана и настроена, то она будет прашаться по часовой стрелке.

26. Преобразуем созданную платформу в модель. Для этого в свойствах объекта «MobilePlatform» (см. пункт 4, рисунок 5) необходимо переключиться на вкладку «Common». Далее в разделе «Model definition» необходимо установить галочку «Object is model base» (рисунок 19).

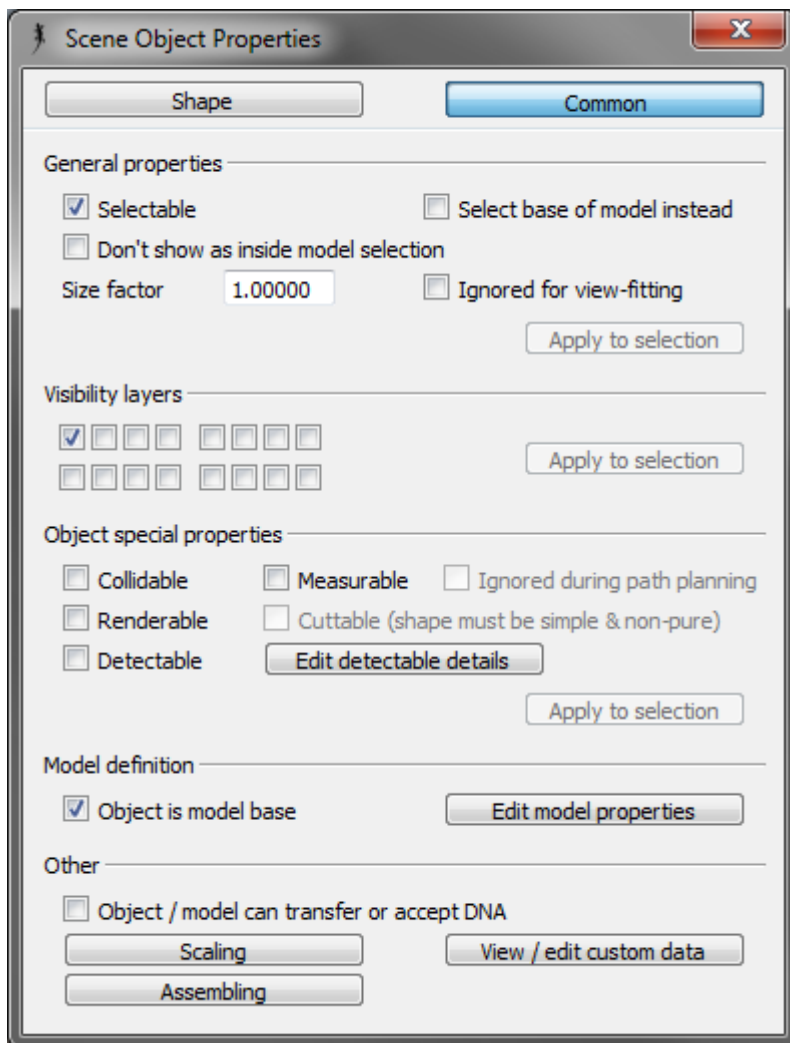


Рисунок 19 – Вкладка «Common» свойств объекта

26. Сохранить созданную мобильную платформу в виде модели через пункт главного меню «File – Save model as» с именем «MobilePlatform». При появлении диалогового окна выбора пиктограммы модели «Model Thumbnail Image» необходимо нажать кнопку «No». Откроется редактор пиктограммы. После редактирования необходимо нажать кнопку «OK»

27. Сохранить созданную сцену через пункт главного меню



«File – Save scene as» с именем «MobilePlatform\_scene».

### Контрольные вопросы

- 1) Какие подтипы фигур существуют в V-REP?
- 2) Какие подтипы фигур рекомендуется использовать для динамических вычислений?
- 3) Какими свойствами обладают фигуры в V-REP?
- 4) Какие простые фигуры доступны для создания в V-REP?
- 5) Опишите последовательность действий для создания примитивной фигуры «Конус».
- 6) С помощью какого диалогового окна производятся операции перемещения и вращения объектов? Как вызвать данное диалоговое окно?
- 7) Какие параметры и операции доступны в диалоговом окне перемещения и вращения объектов?
- 8) Какими способами возможно один объект сделать родителем для другого? В каких случаях это необходимо?
- 9) Что такое сочленение (joint)? Для чего оно используется?
- 10) Какие динамические параметры у сочленения доступны для изменения?



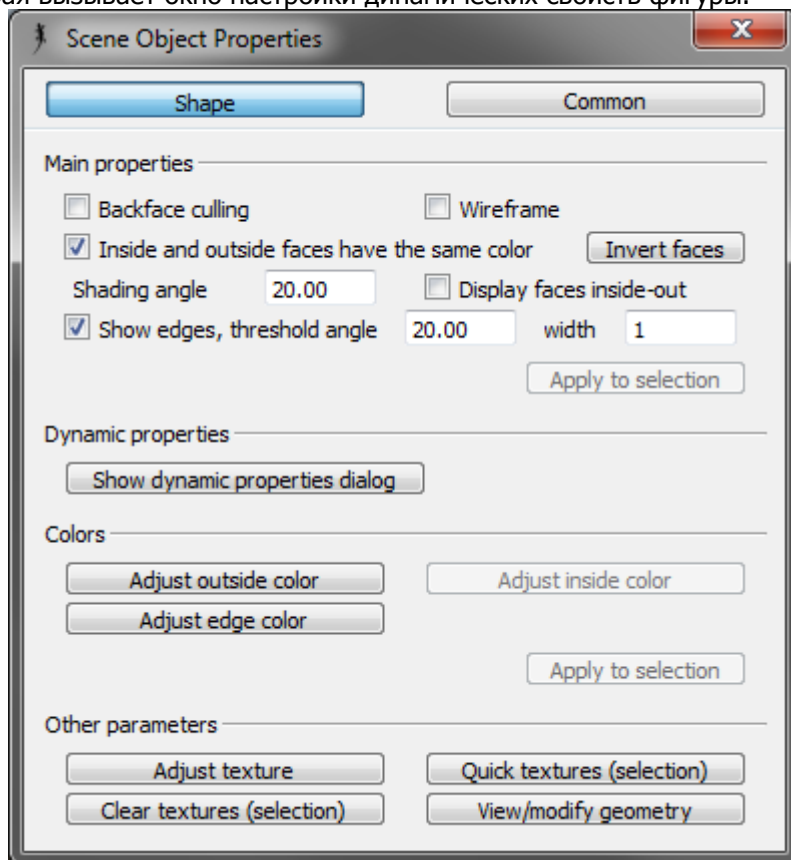
## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ ТРЕХКОЛЕСНОЙ МОБИЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ В СРЕДЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ РОБОТОВ V-REP

### Цель работы

1. Изучение динамики трехколесной мобильной платформы.
2. Изучение возможностей изменения динамических свойств объектов в V-REP.

### Краткая теория

В диалоговом окне свойств фигуры (рисунок 1) присутствует кнопка **«Show dynamic properties dialog»**, которая вызывает окно настройки динамических свойств фигуры.





## Виртуальное моделирование роботов в пакете V-REP

Рисунок 1 – Диалоговое окно свойств фигуры

Диалог динамических свойств фигуры (рисунок 2) является частью диалогового окна свойств фигуры. Данное диалоговое окно отображает динамические настройки последней выбранной фигуры. Если не выбран ни один объект, то диалоговое окно не активно. Если выбрано несколько объектов, то некоторые параметры могут быть скопированы из последней выбранной фигуры в остальные выбранные (с помощью кнопки «**Apply to selection**»).

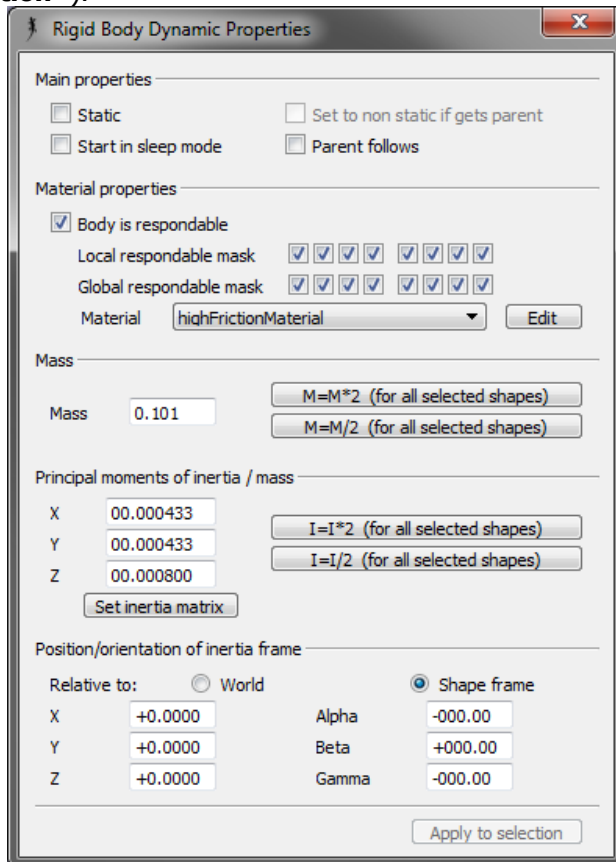


Рисунок 2 – Диалог динамических свойств фигуры

Ниже расписан каждый параметр данного диалогового окна.

- **Статическая (Static).** Когда данный параметр отключен, позиция и ориентация фигуры может изменяться в процессе динамической симуляции.



## Виртуальное моделирование роботов в пакете V-REP

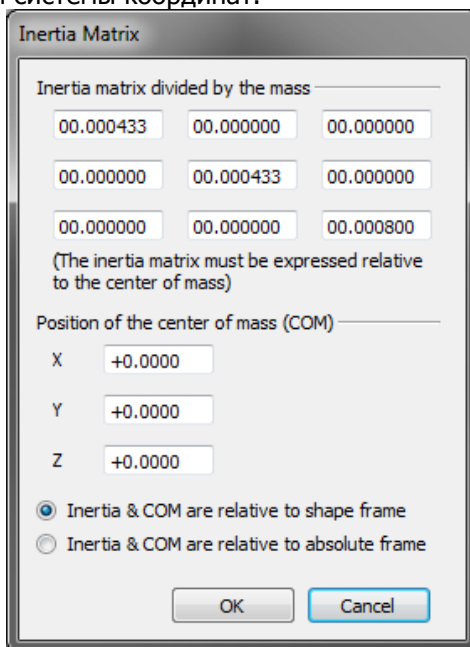
- **Сделать не статичной, если есть родитель (Set to non static if gets parent).** Когда данный параметр включен и фигура прикреплена к другому объекту, то фигура автоматически становится не статичной. Этот параметр полезен для моделей, которые должны быть статичными сами по себе, но когда они связаны с другой моделью/объектом, должны быть динамическими (например, робот-манипулятор сам по себе имеет статичное основание, но когда он установлен на автомобиль, то его основание должно быть не статичным).
- **Запускаться в спящем режиме (Start in sleep mode).** Реагирующая (respondable) фигура, которая симулируется в динамическом режиме, может запускаться в спящем режиме. В этом случае, она не реагирует на препятствия, гравитацию до первого взаимодействия с другой фигурой.
- **Родитель следует (Parent follows).** Если включено, то родительский объект следует за фигурой в процессе динамической симуляции (обычно происходит наоборот).
- **Тело реагирует (Body is respondable).** Если включено, то фигура будет взаимодействовать с другими реагирующими фигурами. Однако, это происходит только тогда, когда соответствующая маска реагирования пересекается (см. ниже).
- **Маска реагирования (Respondable mask).** Определяет, в каких случаях будет генерироваться реакция на столкновение. Маска состоит из двух 8-битных значений: локальная и глобальная маска. Если две взаимодействующих фигуры имеют общего родителя (прямого или косвенного), то тогда используется локальная маска, иначе используется глобальная. Если после операции «И» над масками двух фигур получается значение, отличное от нуля, тогда генерируется реакция на столкновение.
- **Материал (Material).** Данный пункт позволяет выбрать материал фигуры. Свойства материала группируют все специфичные свойства динамических движков, такие как трение, восстановление состояния и т.д. Свойства материала можно просмотреть или изменить с помощью соответствующего диалогового окна, которое вызывается с помощью кнопки «Edit».
- **Масса (Mass).** Масса фигуры. Массу выбранных фигур можно легко увеличить или уменьшить в 2 раза с





## Виртуальное моделирование роботов в пакете V-REP

- помощью соответствующих кнопок « **$M=M*2$  (for all selected shapes)**» и « **$M=M/2$  (for all selected shapes)**».
- **Главные моменты инерции/массы (Principal moments of inertia/mass).** Главные моменты инерции фигуры, разделенные на массу фигуры. Инерцию выбранных фигур можно легко увеличить или уменьшить в 2 раза с помощью соответствующих кнопок « **$I=I*2$  (for all selected shapes)**» и « **$I=I/2$  (for all selected shapes)**».
  - **Установить матрицу инерции (Set inertia matrix).** Открывает диалоговое окно установки матрицы инерции (рисунок 3), позволяющее задать недиагональную матрицу инерции.
  - **Позиция/ориентация системы координат инерции.** Позволяет задать систему координат инерции относительно локальной системы координат фигуры или относительно глобальной системы координат.



- Рисунок 3 – Диалоговое окно установки матрицы инерции
- **Матрица инерции, разделенная на массу (Inertia matrix divided by the mass).** Матрица инерции или тензор. Значение без учета массы, т.е. разделенное на массу. Матрица должна быть определена относительно центра масс фигур.
  - **Позиция центра масс (Position of the center of**



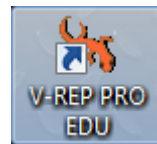
## Виртуальное моделирование роботов в пакете V-REP

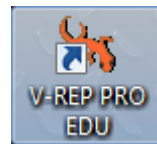
**mass, COM).** Позиция центра масс.

- **Инерция и центр масс относительно локальной системы координат (Inertia & COM are relative to shape frame).** Указывает на то, что матрица инерции и центр масс заданы относительно локальной системы координат фигуры.

- **Инерция и центр масс относительно глобальной системы координат (Inertia & COM are relative to absolute frame).** Указывает на то, что матрица инерции и центр масс заданы относительно глобальной системы координат фигуры.

### Порядок выполнения работы



1. Запустить среду V-REP, используя ярлык  на рабочем столе или через меню «Пуск».

2. Открываем сцену «**MobilePlatform\_scene.ttt**», созданную в ходе выполнения предыдущей лабораторной работы.

3. Перемещаем платформу в позицию  $X = 0$ ,  $Y = -2.15$ ,  $Z = 0.045$ .

4. Создаем кубоид, размеры  $X = 1.0$ ,  $Y = 0.6$ ,  $Z = 0.2$ .

5. Запускаем режим редактирования «**Vertex edit mode**» (рисунок 4).

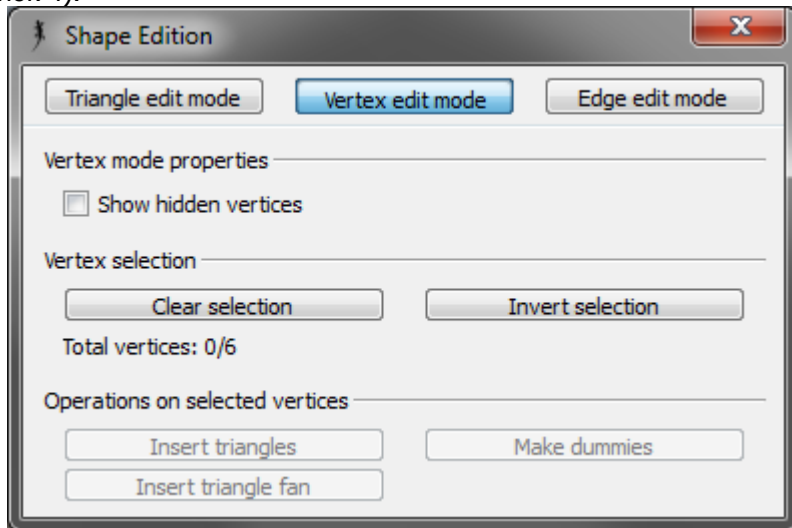


Рисунок 4 – Окно редактора фигур

6. Выделяем вершины 5 и 6. Нажимаем на клавиатуре



## Виртуальное моделирование роботов в пакете V-REP

кнопку «**Delete**». Результат показан на рисунке 5.

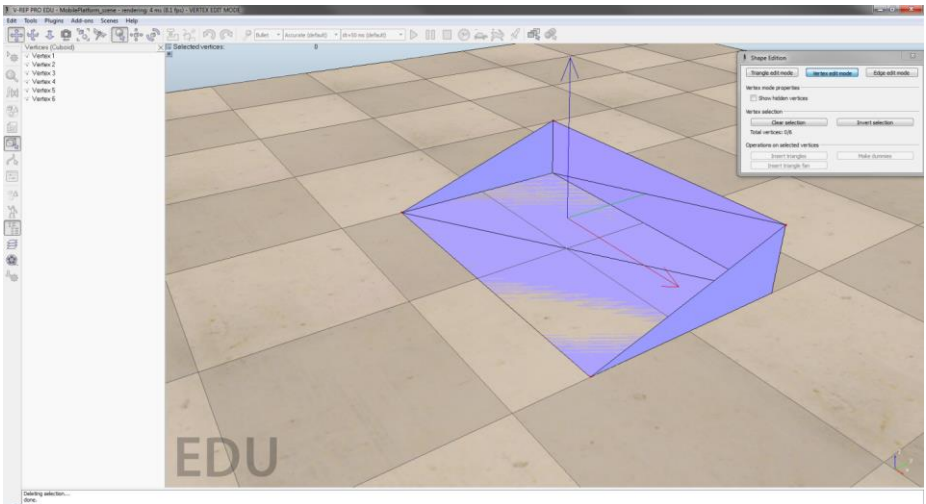


Рисунок 5 – Результат удаления вершин 5 и 6  
7. Далее необходимо добавить 2 треугольника, чтобы закрыть фигуру. Выделяем вершины 1, 2, 5. Жмем «**Insert triangles**». Выделяем вершины 2, 5, 6. Жмем «**Insert triangles**». Результат показан на рисунке 6.

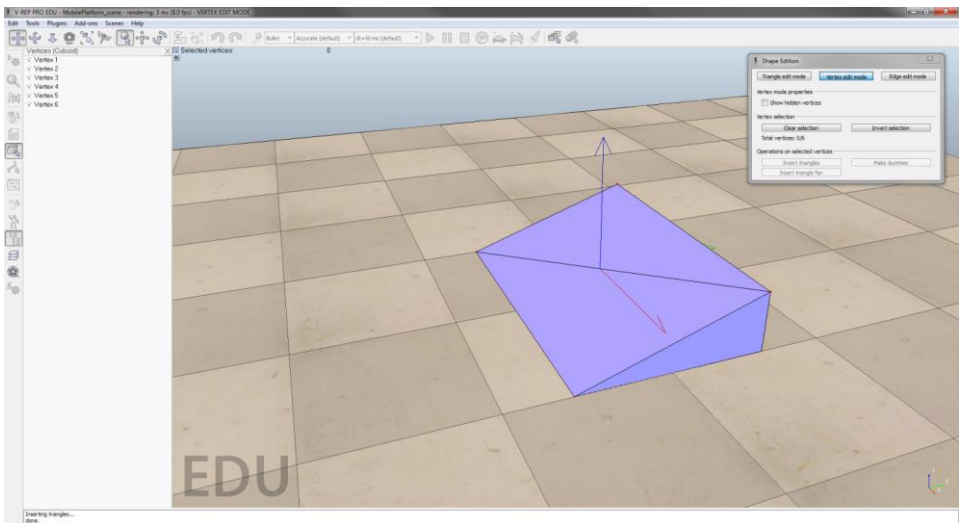


Рисунок 6 – Результат добавления 2 треугольников  
8. Закрываем диалог «**Shape Edition**», жмем «**OK**».



## Виртуальное моделирование роботов в пакете V-REP

9. Изменяем ориентацию системы координат для созданного кубоида. Для этого необходимо щелкнуть правой кнопкой мыши на объекте «**Cuboid**» в иерархии сцены. В появившемся контекстном меню необходимо выбрать «**Edit – Reorient bounding box – with reference frame of world**».

10. Создаем копию «**Cuboid**» (возможно использование горячих клавиш **Ctrl+C – Ctrl+V**).

11. Изменяем позицию объекта «**Cuboid**» с помощью диалогового окна «**Position/Translation**»: X – 0, Y – -1.5, Z – 0.1.

12. Изменяем позицию объекта «**Cuboid0**» с помощью диалогового окна «**Position/Translation**»: X – 0, Y – +1.5, Z – 0.1. Изменяем ориентацию «**Cuboid0**» с помощью диалогового окна «**Orientation/Rotations**»: Alpha – 0, Beta – 0, Gamma – 180. Результат показан на рисунке 7.

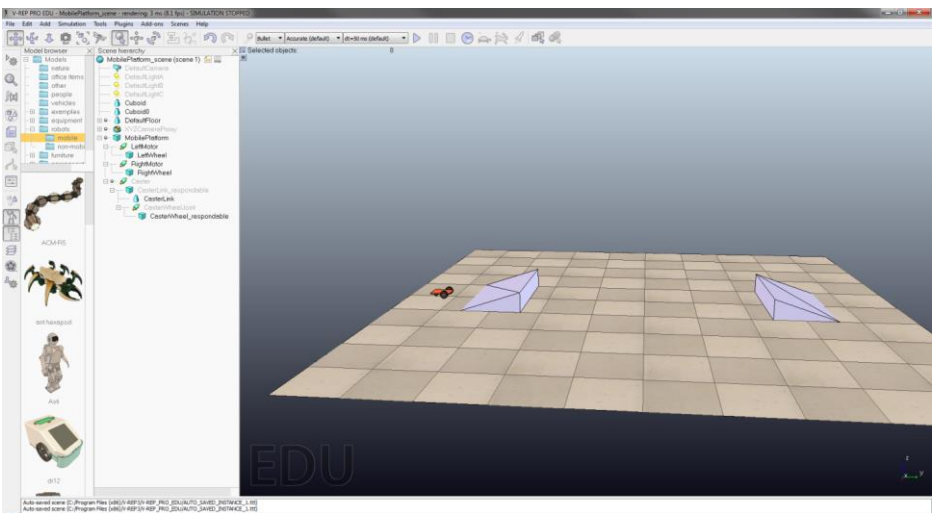


Рисунок 7 – Результат перемещения и вращения объектов

13. Создаем кубоид, размеры X – 1.0, Y – 2.4, Z – 0.2.

14. Выделяем «**Cuboid**», «**Cuboid0**», «**Cuboid1**», группируем объекты с помощью пункта меню «**Edit – Grouping/Merging – Group selected shapes**».

15. Далее необходимо преобразовать сгруппированную фигуру в выпуклую фигуру (для лучшей поддержки динамической симуляции). Для этого используется пункт меню «**Edit – Morph selection into convex shapes**». В появившемся диалоговом окне необходимо снять все галочки и нажать кнопку «ОК». Результат



## Виртуальное моделирование роботов в пакете V-REP

показан на рисунке 8 (цвет выбирается случайным образом).

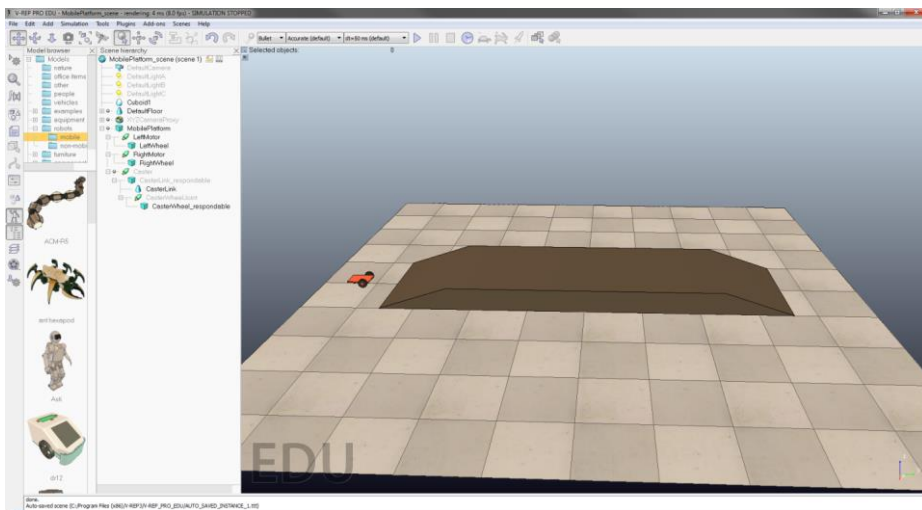


Рисунок 8 – Результат преобразования сгруппированной фигуры в выпуклую

16. Создаем кубоид, размеры  $X - 0.01$ ,  $Y - 5.0$ ,  $Z - 0.4$ .  
Перемещаем в координаты  $X - +2.5$ ,  $Y - 0$ ,  $Z - 0.2$ .

17. Создаем кубоид, размеры  $X - 0.01$ ,  $Y - 5.0$ ,  $Z - 0.4$ .  
Перемещаем в координаты  $X - -2.5$ ,  $Y - 0$ ,  $Z - 0.2$ .

18. Создаем кубоид, размеры  $X - 5.0$ ,  $Y - 0.01$ ,  $Z - 0.4$ .  
Перемещаем в координаты  $X - 0$ ,  $Y - +2.5$ ,  $Z - 0.2$ .

19. Создаем кубоид, размеры  $X - 5.0$ ,  $Y - 0.01$ ,  $Z - 0.4$ .  
Перемещаем в координаты  $X - 0$ ,  $Y - -2.5$ ,  $Z - 0.2$ .

20. Для каждого созданного кубоида заходим в свойства «**Scene Object Properties – Show dynamic properties dialog**». В данном диалоговом окне устанавливаем галочку «**Static**». В результате выполнения пунктов 15-20 получится ограждение сцены, изображенной на рисунке 9.



## Виртуальное моделирование роботов в пакете V-REP

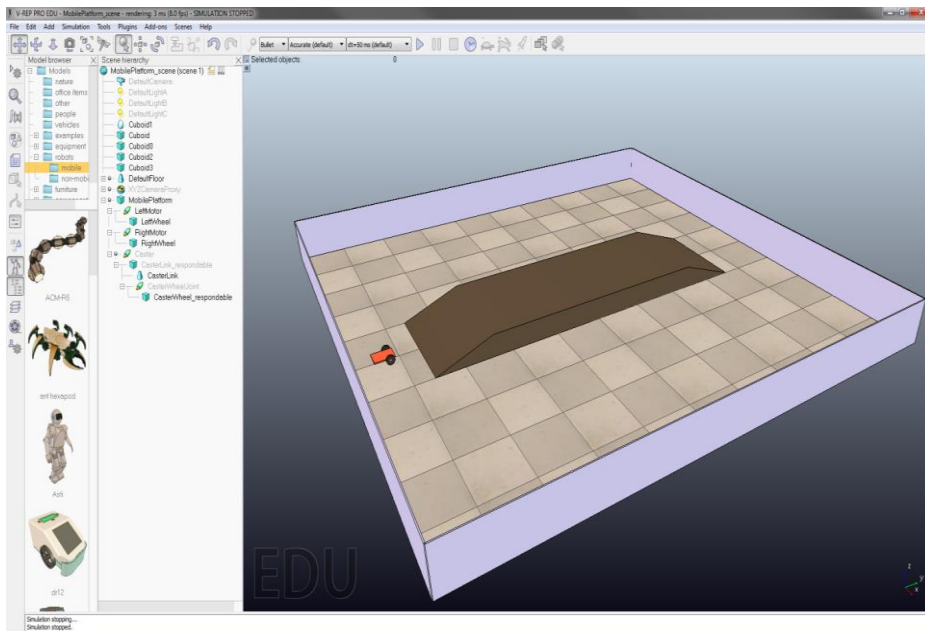


Рисунок 9 – Сцена с ограждением

21. Добавляем график на сцену с помощью пункта меню **«Add – Graph»**.

22. Добавляем плавающее окно отображения на сцену с помощью пункта меню **«Add – Floating view»**.

23. Привязываем график к созданному окну отображения. Для этого необходимо в иерархии сцены выбрать созданный график, затем нажать правой кнопкой мыши на окно отображения. В появившемся контекстном меню необходимо выбрать **«View – Associate view with selected graph»**. Результат показан на рисунке 10.



## Виртуальное моделирование роботов в пакете V-REP

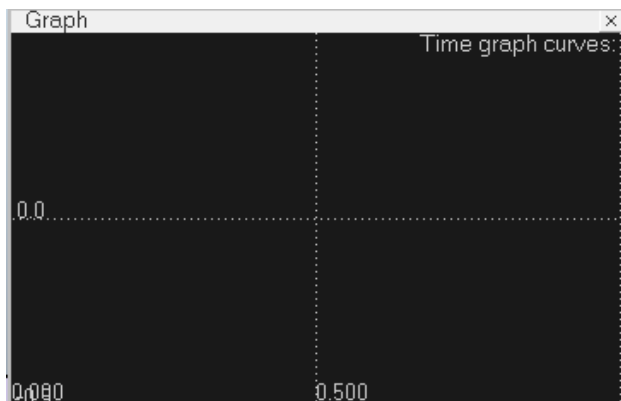


Рисунок 10 – Созданный график

24. Выводим на график текущую скорость мобильной платформы. Для этого необходимо открыть диалоговое окно свойств объекта, нажать кнопку «**Add new data stream to record**». Появится диалоговое окно выбора нового потока данных (рисунок 11). В первом выпадающем списке необходимо выбрать пункт «**Object: absolute velocity**», во втором выпадающем списке «**MobilePlatform**».

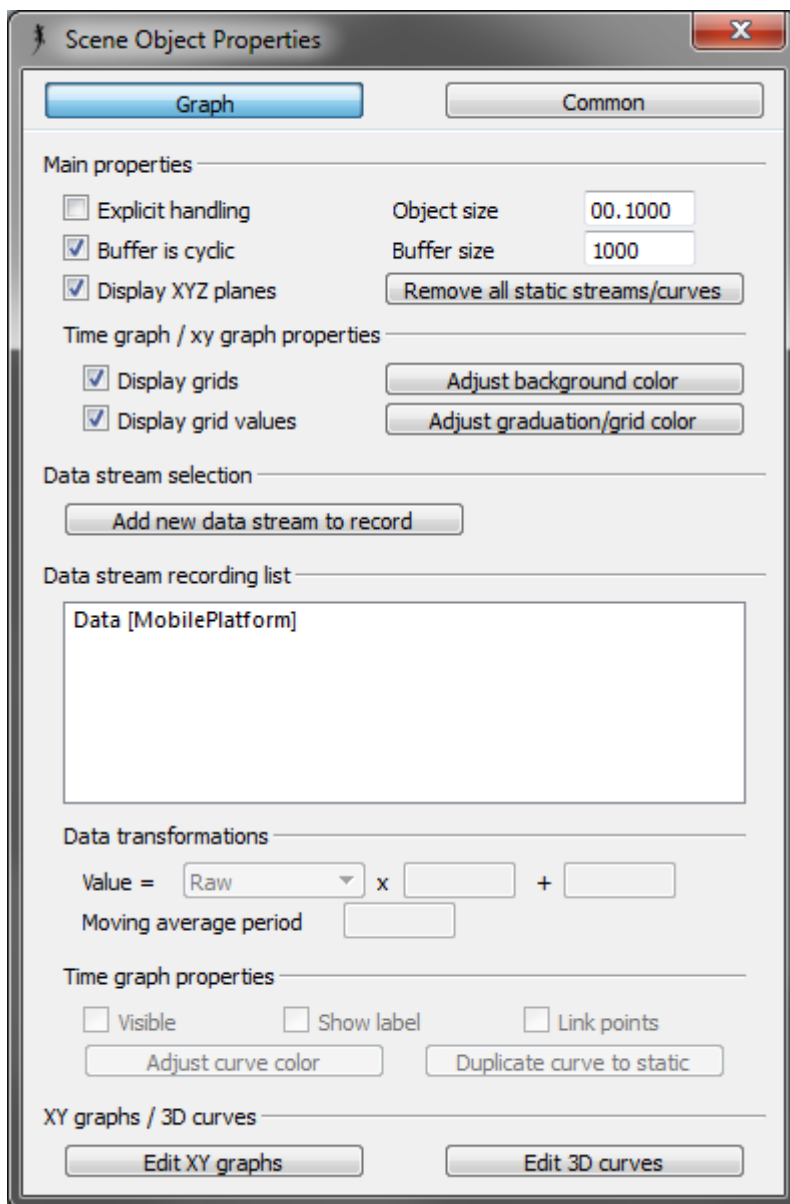


Рисунок 11 – Диалоговое окно выбора нового потока данных

25. Создаем управляющий скрипт для мобильной платформы. Пункт главного меню «**Tools – Scripts**». В





## Виртуальное моделирование роботов в пакете V-REP

открывшемся диалоговом окне (рисунок 12) необходимо нажать кнопку «**Insert new script**». Появится окно создания нового скрипта. В выпадающем меню необходимо выбрать «**Child script (non-threaded)**». Для завершения создания скрипта необходимо нажать кнопку «**OK**». Созданный скрипт появится в списке. Далее его необходимо привязать к объекту мобильной платформы. Для этого в выпадающем списке «**Associated object**» необходимо выбрать «**MobilePlatform**».

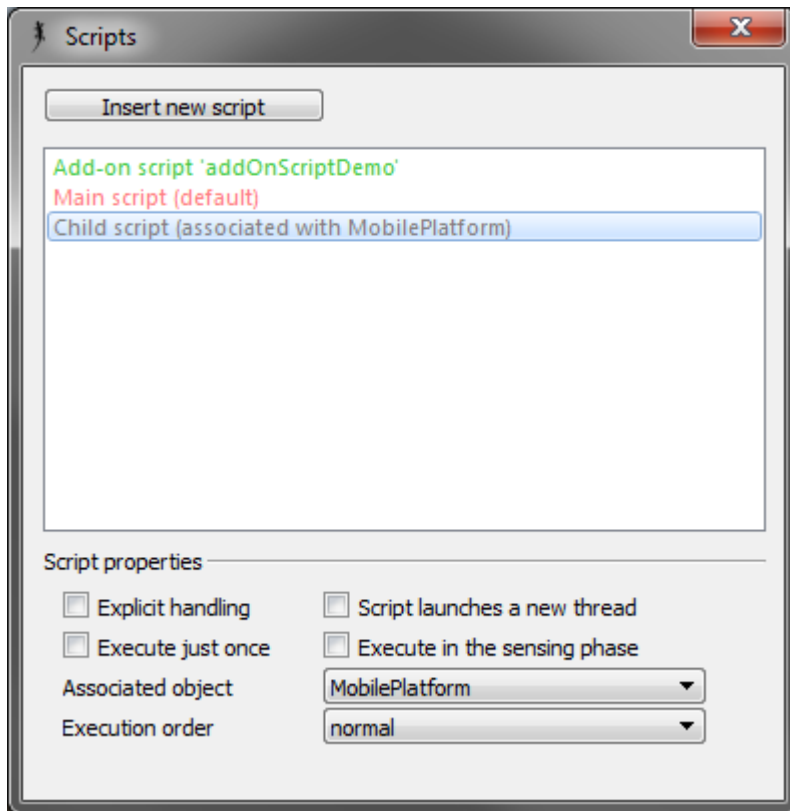


Рисунок 12 – Диалоговое окно скриптов сцены

26. Изменение текста скрипта. Для открытия редактора скрипта необходимо сделать двойной клик на названии скрипта в диалоговом окне «**Scripts**» или на соответствующем значке справа от имени объекта «**MobilePlatform**» в иерархии сцены. Созданный скрипт представляет собой стандартную заготовку (рисунок 13).



## Виртуальное моделирование роботов в пакете V-REP

```

1 if (simGetScriptExecutionCount()==0) then
2
3   -- Put some initialization code here
4
5   -- Make sure you read the section on "Accessing gener
6   -- For instance, if you wish to retrieve the handle o
7   --
8   -- handle=simGetObjectHandle('sceneObjectName')
9   --
10  -- Above instruction retrieves the handle of 'sceneOb
11  --
12  -- If this script's name contains a '#' (e.g. 'someNa
13  -- This mechanism of handle retrieval is very conveni
14  -- So if the script's name (or rather the name of the
15  --
16  -- 'someName', then the handle of 'sceneObjectName' i
17  -- 'someName#0', then the handle of 'sceneObjectName#
18  -- 'someName#1', then the handle of 'sceneObjectName#
19  -- ...
20  --
21  -- If you always want to retrieve the same object's h
22  --
23  -- handle=simGetObjectHandle('sceneObjectName#') alwa
24  -- handle=simGetObjectHandle('sceneObjectName#0') alw
25  -- handle=simGetObjectHandle('sceneObjectName#1') alw
26  -- ...
27  --
28  -- Refer also to simGetCollisionhandle, simGetDistanc
29  --
30  -- Following 2 instructions might also be useful: sim
31
32 end
33
34 simHandleChildScript(sim_handle_all_except_explicit)
35

```

Рисунок 13 – Редактор скрипта

Текст скрипта необходимо заменить на текст, приведенный ниже.

```

if (simGetScriptExecutionCount()==0) then
leftMotor = simGetObjectHandle("LeftMotor")
rightMotor = simGetObjectHandle("RightMotor")
simSetJointTargetVelocity(leftMotor, 2)
simSetJointTargetVelocity(rightMotor, 2)
platformHandle =
simGetObjectHandle("MobilePlatform")
fileName = os.date("%d.%m.%Y_%H-%M-%S.txt")

f = io.open(fileName, "w")

```



## Виртуальное моделирование роботов в пакете V-REP

```

end

simHandleChildScript(sim_handle_all_except_expl
icit)

v = simGetObjectVelocity(platformHandle)
abs_v = math.sqrt(v[1]*v[1] + v[2]*v[2] +
v[3]*v[3])
f:write(simGetScriptExecutionCount(), "\t",
abs_v, "\n")

if
(simGetSimulationState()==sim_simulation_advancing_
lastbeforestop) then
f:close()
end

```

Данный скрипт сохраняет абсолютную скорость мобильной платформы в текстовый файл, имя которого формируется из даты и времени запуска симуляции. Файлы сохраняются в папке «C:\Program Files (x86)\V-REP3\V-REP\_PRO\_EDU». Данные в файле сформированы из двух столбцов. Значение в первом столбце – номер цикла симуляции, значение во втором столбце – абсолютная скорость мобильной платформы.

27. Сохранить созданную сцену через пункт главного меню «**File – Save scene as**» с именем «**MobilePlatform\_scene\_dynamic**».

28. Далее, по заданию преподавателя, необходимо произвести ряд запусков симуляции, изменяя определенный параметр с заданным шагом:

- масса платформы;
- масса колес;
- коэффициент трения материала колес.

После съема данных, необходимо загрузить полученные файлы в Matlab (Import data), произвести их анализ на



## Виртуальное моделирование роботов в пакете V-REP

графиках (Plot) и сделать соответствующие выводы.

Контрольные вопросы:

Какие параметры доступны в диалоговом окне свойств фигуры?

Какие параметры доступны в диалоговом окне динамических свойств фигуры?

Какие режимы редактирования фигур существуют V-REP? Опишите каждый из них.

Что происходит с простой фигурой после редактирования? Почему ее необходимо преобразовать в выпуклую фигуру?

Как отобразить на сцене график?

Для чего используется плавающее окно отображения (Floating view)?

Как создать управляющий скрипт в V-REP?

Какие 3 типа скриптов возможно создать в V-REP? В чем их отличие?

Для чего используется функция `simGetObjectHandle`? Какие у нее входные и выходные параметры?

Для чего используется функция `simGetObjectVelocity`? Какие у нее входные и выходные параметры?



## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:**

1. Сайт симулятора роботов V-REP  
<http://www.coppeliarobotics.com>.
2. Сайт программного пакета Matlab –  
<http://www.mathworks.com>.
3. Справочное руководство V-REP.