

## МОДЕЛЬ «ОРРЕРИ» ПЛАНЕТАРИЙ: ЗЕМЛЯ, ЛУНА И СОЛНЦЕ

Панфёрова Д.С.

*г.Пятигорск, МБОУ средней общеобразовательной школы с углубленным изучением отдельных предметов №1 им. М.Ю.Лермонтова, 5 «В» класс*

*Руководитель: Верминская И.В., г.Пятигорск, МБОУ средней общеобразовательной школы с углубленным изучением отдельных предметов №1 им. М.Ю.Лермонтова, учитель информатики*

*Фролова А.А., МБУ ДО СЮН, заместитель директора по УВР*

### История вопроса

Тысячелетиями люди всматривались в небеса и старались уловить закономерности и повторы в движениях небесных тел. При этом это началось еще во времена охотников и собирателей, когда первые звезды получили свои имена.

Древние ученые использовали астролябии и прочие механизмы, которые прогнозировали расположение небесных объектов. Со временем изобрели Оррери – механическую модель нашей системы, характеризующую движение планет. Первый прототип Оррери появился раньше гелиоцентрической модели.

Первая современная модель предстала лишь в 1704 году. Ее создателями выступили Томас Топион и Джордж Грэм. Название дал Чарльз Бойль (4-й граф Оррери), который в 1713 году приказал Джону Роули построить аппарат по чертежам изобретателей.

Сегодня серьезные научные исследования проводят в астрономических лабораториях на специальном оборудовании, но повторить некоторые приборы можно и в домашних, и в школьных условиях. Этому и посвящена моя работа.

**Цель работы:** Сконструировать динамическую модель Оррери на основе конструктора Лего.

**Задачи работы:**

1. Разработать модель достаточно точную с точки зрения вращения и орбитального периода объектов, без масштаба относительно размера и расстояния.
2. Оптимизировать модель с точки зрения доступности и количества используемых материалов.
3. Собрать модель и удостовериться в ее динамических свойствах.
4. Изучить точность модели относительно орбитального периода объектов.
5. Систематизировать полученные данные.

### Новизна

Ни в одном источнике я не нашла русскоязычной инструкции модели для сборки

Оррери или готового набора для сборки динамической модели Оррери с использованием конструктора Лего.

### Актуальность и доступность

Для проектной модели я остановилась на конструкторе «Лего». Это один из самых популярных детских конструкторов, который есть в каждой семье.

Важно, что модель, представленная мною в работе доступно каждому для сборки, ведь в моем проекте используются только материалы, которые всегда под рукой у учащегося средней школы.

Особенно актуальна работа с точки зрения использования этой модели для различных школьных проектов, демонстрации опытов, командной работы, для изучения школьного материала по отдельным предметам.

### Практическая значимость

Помимо навыков конструкторской работы модель помогает детям усвоить материалы учебной программы, например по географии и астрономии, за счет удобной и точной демонстрации следующих понятий:

- ночь и день
- видимое перемещение Солнца по небу
- времена года
- изменение продолжительности светового дня
- фазы Луны
- затмения Луны и Солнца.

### Обзор моделей Оррери и выбор прототипа

Для того, чтобы понять, сколько моделей Оррери сегодня доступно для покупки и сборки, я исследовала рынок следующими способами.

*Поиск на крупнейших торговых интернет площадках: Сайт Алиэкспресс, сайт Ewaу, сайт Авито*

На всех трех платформах представлены были одинаковые модели, причем по практически одинаковым ценам [6]:

планетарий с бесплатной доставкой на AliExpress.com



Студент планетарий набор из трех глобус Защита от солнца

**2 605,32 руб.** / шт.  
Бесплатная доставка

Заказы (6)



Кэндис Го пластиковые игрушки детские изучение ребенок great

**1 089,33 руб.** / шт.  
Бесплатная доставка

★★★★★ (2) | Заказы (2)



1 комплект solar Системы девять планет планетарий модель

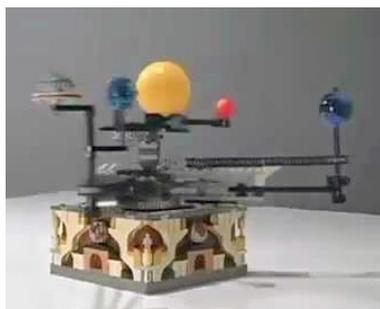
**387,77 руб.** / шт.  
Бесплатная доставка

Заказы (7)

*Поиск по крупнейшим интернет поисковикам в разделе Картинки: Поисковики Гугл и Яндекс*

Модели к продаже были те же, что и на торговых площадках, однако удалось отыскать несколько моделей, собранных энтузиастами. Однако никаких инструкций для сборки или схем моделей найти не удалось [6].

Все найденные модели представлены ниже:



*Поиск в литературе, специализированных каталогах и журналах предоставил следующие изображения:*



*Поиск на канале Ютуб дал следующие изображения из опубликованных видео:*



*Из коммерческих моделей для сборки в виде периодической серии удалось найти, только следующую:*



Анализ моделей предоставил подтверждение, что для сборки, в настоящий момент,

не представлено ни одной модели Лего. Вместе с тем, опираясь на полученные изображения, я могу сконструировать собственную модель Оррери.

### Выбор прототипа

За основу своей модели я взяла две работы: периодическую серию для сборки и решение Джейсона Аллемана.

Первый прототип моей модели мы собрали с папой из ежемесячной подписки журнала. Это было интересно, но долго и дорого, доступно не всем, не только из-за экономической составляющей, но и потому, что эта модель оказалась достаточно сложна в сборке.

Второй прототип благодаря фотографиям своей конструкции подсказал мне, как можно использовать зубчатую передачу для моей модели и укрепить корпусную конструкцию.

Я использовала образовательное решение LEGO MINDSTORMS Education EV3. Модель построена в приложении LDCAD.

### Гипотеза

В ходе изучения готовых моделей, я увидела, что основным элементом движущейся конструкции является механическая передача.

Я предполагаю, что в своей работе мне удастся сконструировать модель, включающую только зубчатую передачу, без использования ременной и цепной передачи.

### Исучаемые факторы

Изучение точности модели относительно орбитального периода объектов я проводила по отношению к 1 полному обороту кривошипа.

Я изучала следующие факторы:

- Вращение Земли вокруг своей оси;
- Вращение Луны вокруг Земли;
- Вращение Солнца вокруг своей оси;
- Вращение Земли вокруг Солнца.

### Методика работы

1. Наметить структуру работы.
2. Изучить литературу и доступные модели. Выбрать прототип.
3. С помощью Калькулятора передаточного отношения рассчитать количество шестеренок, необходимых для орбитального вращения элементов.
4. Опытным путем подобрать балки для надежного крепления шестеренок и собрать динамическую конструкцию.
5. Провести испытание конструкции.
6. Собрать опорные элементы конструкции.
7. Собрать выставочную подставку.

8. Изготовить и закрепить небесные тела.

9. Провести изучение выбранных факторов.

10. Оформить работу и подготовить презентацию.

### Обзор литературы

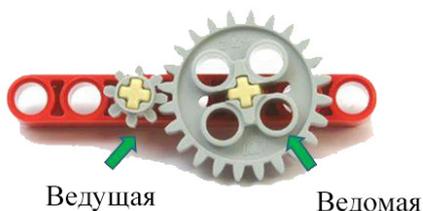
Важнейшей частью почти каждого робота является механическая передача. В разных конструкторах предлагается несколько ее видов: зубчатая, ременная, цепная и др. [1]. Передача бывает необходима, для того чтобы передать крутящий момент с вала двигателя на колеса или другие движущиеся части робота [3]. Довольно часто требуется передать вращение на некоторое расстояние или изменить его направление, например на 180 или 90 градусов.

### Передаточное отношение

При всякой передаче существенную роль играет особая величина – передаточное отношение (а также передаточное число), которое надо научиться рассчитывать. Для этого необходимо знать число зубчиков на шестеренках при зубчатой или цепной передаче и диаметр шкивов при ременной передаче [2]. На крупных шестеренках число зубцов написано: например, «Z40» на самой большой. На мелких шестеренках нетрудно сосчитать самим.

Посмотрим, что происходит при зубчатой передаче. Во-первых, направление вращения ведомой оси противоположно направлению вращения ведущей оси. Во-вторых, можно заметить, что разница в размере шестеренок влияет на угловую скорость вращения ведомой оси. Каким образом?

Ведущая меньше ведомой – скорость уменьшается. Ведущая больше ведомой – скорость увеличивается (рис.1,2).



Ведущая

Ведомая

Рис.1. Понижающая шестерня

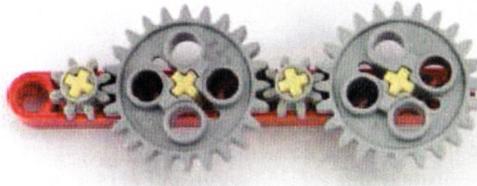


Ведущая

Ведомая

Рис.2. Повышающая передача

Если в передаче участвует несколько подряд установленных зубчатых колес, то при расчете передаточного отношения учитывается только первое и последнее из них, а остальные называются «паразитными» (рис. 3).



Две промежуточные шестерни – паразитные [3].

Рис.3. Две промежуточные шестерни – паразитные

Паразитные шестерни исполняют полезную функцию только при необходимости передачи вращения на некоторое расстояние. В остальных случаях они лишь увеличивают потери на трение. Однако зубчатую передачу можно построить таким образом, чтобы каждая шестерня выполняла полезную функцию и служила либо для увеличения, либо для уменьшения передаточного отношения [5].

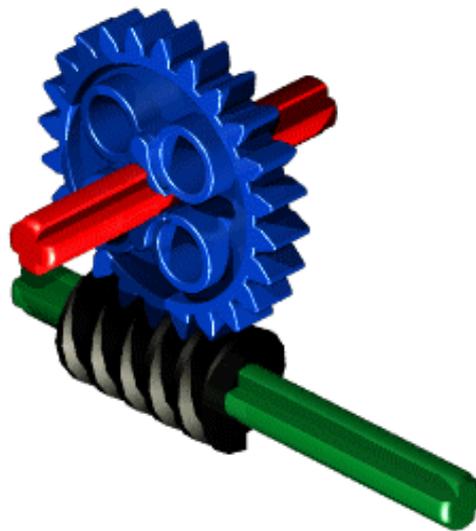


Рис.4. Червячная передача

Червячная передача – это частный случай зубчатой (рис. 4), обладающий определенными свойствами. Во-первых, один оборот червяка соответствует одному зубцу любой шестерни. Значит, при расчете передаточного отношения количество зубцов червяка можно считать равным единице:  $z=1$ .

Во-вторых, червячная передача работает только в одном направлении от червяка к шестерне и блокирует движение в обратном направлении.

Нам также надо определить понятие «передаточное число».

Отношение числа зубьев ведомой шестерни к числу зубьев шестерни ведущей называется передаточным числом зубчатой передачи. Также необходимо знать, что в профессиональных кругах зубчатое колесо передачи с меньшим числом зубьев называется шестерней, а с большим - колесом.

$$\text{передаточное число } N = \frac{\text{количество зубьев ведомого колеса}}{\text{количество зубьев ведущего колеса}}$$

Передаточное число важно учитывать, когда необходимо заставить двигаться механизм с определенной скоростью: чем больше передаточное число, тем медленнее вращается ведомая шестерня и наоборот [1, 3, 5].

### Результаты работы

В ходе выполнения работы мною была получена модель со следующими характеристиками:

- Каждый поворот кривошипа представляет собой 1 земной день при 1 полном обороте.
- Земля также вращается вокруг своей оси за 1 день/1 сутки.
- Луна в модели вращается вокруг Земли за 28 дней, в природе происходит оборот за 27,33 дня.
- В реальном мире Солнце не является твердым объектом, поэтому его наблюдаемая скорость вращения варьируется в зависимости от широты, на которой происходит наблюдение. Но на экваторе Солнце вращается один раз в 24,47 дней. В модели Солнце вращается 1 раз вокруг своей оси за 25 дней.
- Земля и Луна вращаются вокруг Солнца в модели за 375 дней, что на 97% соответствует среднегодовому природному вращению за 365,26 дней.

Я изучила и проанализировала полученные данные с точки зрения изучаемых факторов по отношению к 1 полному обороту кривошипа и представила результаты в Таблице 1 (Приложение 1).

Также в ходе работы мне удалось систематизировать этапы построения динамической части модели. Самый удобный способ сборки модели следующий:

Первый этап построения модели – это создание модели движения Земли вокруг Солнца.

Второй этап построения модели – это создание макета Луны.

Мы добавляем шестерни, управляющие Луной. Шестерни добавляются в конец главной редукторной системы с помощью малого поворотного стола. Этот стол имеет центральное отверстие, позволяющее Земле вращаться с другой скоростью, чем Луна.

Третий этап – построение движения Солнца вокруг оси. Для этого выводится из общего оборота главной редукторной системы Солнце через свои шестеренки и большой поворотный стол.

Ключевые фрагменты динамической части модели Оррери представлены на Схеме 1 (Приложение 2).

Я исследовала количество деталей, используемых мною для построения модели разобрав и собрав снова свою модель.

Получились следующие данные: использовано в работе 179 деталей для динамического механизма, 42 детали для основания, 124 для выставочной башни, 3 для автоматизации. Всего 348 деталей.

Для того, чтобы эту модель можно было воспроизвести снова, я собрала полную элементную схему используемых деталей для построения динамического механизма модели Оррери Схеме 1 (Приложение 3).

Хотя элементы для основания и для выставочной башни можно набирать произвольно в зависимости от вкуса и задач, я рассчитала общее количество деталей именно моей модели.

Сводная таблица используемых деталей для построения модели Оррери представлена в Таблице 2 (Приложение 4).

### Выводы

В ходе работы сконструирована и выполнена динамическая модель Оррери на основе конструктора Лего (Приложение 5).

В своей работе мне удалось сконструировать модель, включающую только зубчатую передачу, без использования ременной и цепной передачи. Что полностью подтвердило мою гипотезу.

Изучение модели относительно орбитального периода объектов показало высокие результаты точности. Так точность модели не опускалась ниже 97%, а в некоторых случаях достигала и 100% точности.

Я делаю вывод, что полученная модель обладает высокой точностью, а значит, ее конструкцию можно рекомендовать для сборки другим ребятам.

## Приложение 1

Таблица 1

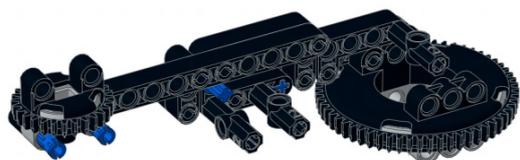
Результаты изучения точности модели относительно орбитального периода объектов по отношению к 1 полному обороту кривошипа

Изучаемые факторы	В природе, суток (а)	В модели, оборотов (в)	Точность, % $100 * 2 - (в * 100 / а)$
Вращение Земли вокруг своей оси	1 сутки	1 полный оборот кривошипа	100,00%
Вращение Луны вокруг Солнца	27,33 суток	28 полных оборотов кривошипа	97,55%
Вращение Солнца вокруг своей оси	24,47 суток	25 полных оборотов кривошипа	97,84%
Вращение Земли вокруг Солнца	365,25 суток	375 полных оборотов кривошипа	97,33%

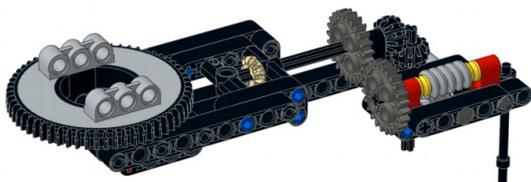
## Приложение 2

Схема 1

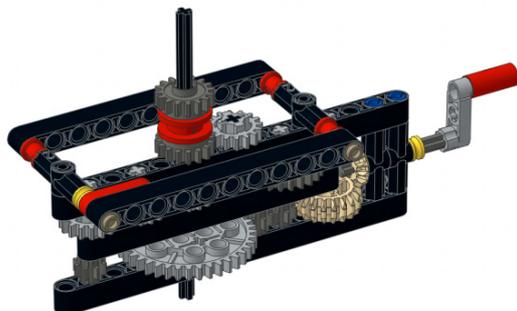
Ключевые фрагменты динамической части модели Оррери



Этап 1. Движение Земли вокруг Солнца и своей оси



Этап 2. Движение Луны вокруг Земли

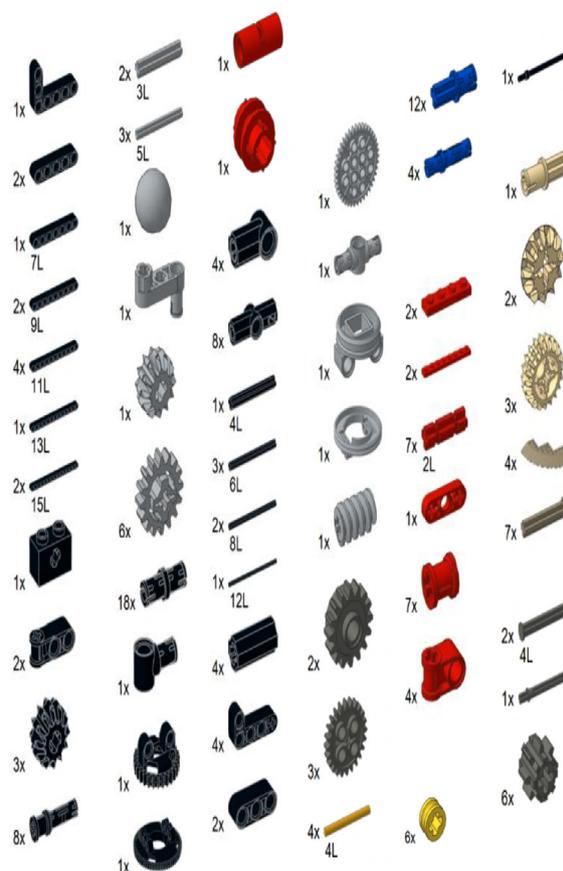


Этап 3. Движение Солнца вокруг оси

## Приложение 3

Схема 2

Поэлементная схема используемых деталей для построения динамического механизма модели Оррери



Общее количество используемых деталей – 179 штук.

**Приложение 4**

**Таблица 2**

Сводная таблица используемых деталей для построения модели Оррери

Элементы модели	Наименование детали	Кол-во, шт.
Основной механизм	Шестерня	27
	Поворотный стол	2
	Муфта включения передач	1
	Червячная шестерня	2
	Коннектор	58
	Балка	53
	Ось	36
	Кривошип	1
	<b>ВСЕГО:</b>	<b>179</b>
Подставка под механизм	Брики (кубики)	42
Выставочная башня	Брики (кубики)	124
Механизация	Сервомотор	1
	Коннектор	1
	Управляющий блок	1
	<b>ИТОГО деталей:</b>	<b>348</b>



**Улучшения**

Модель может быть моторизирована с помощью замены кривошипа на двигатель и управляющий блок LEGO MINDSTORMS Education EV3.

**Заключение**

Мне удалось прийти к поставленной цели и сконструировать динамическую модель Оррери на основе конструктора Лего, решив все поставленные задачи.

Модель получилась достаточно простой, включающей в себя основные и доступные элементы Лего Техник. И даже планеты, изготовленные из папье-маше не потребовали больших затрат по времени и элементам, ведь в их основе лежит всего одна шестеренка.

Таким образом, я получила практически полезную и доступную модель, обладающую высокой точностью.

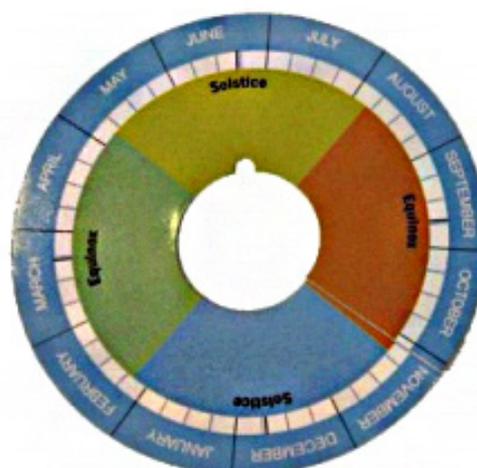
Однако на этом не стоит останавливаться.

**Дальнейшие планы**

В моих дальнейших планах, отразить смену времен года и фазы Луны на полученной модели.

**Приложение 5**

Фотодокументирование работы





2

1 – Диск с временами года, 2 – Диск с фазами Луны

### Список литературы

1. Липковиц Д. LEGO Play Book. – «ЛитРес», 2014г. -200с.
2. Йошихито И. Книга идей LEGO MINDSTORMS EV3. 181 удивительный механизм и устройство. – «Эксмо», 2017г. -232с.
3. Йошихито И. Большая книга идей LEGO Technic. Машины и механизмы. – «Эксмо», 2017г. -544с.
4. Штадлер А. Моя книга о LEGO EV3. – М., «Классик Стиль», 2017г. -288с.
5. Дис С. Awesome Lego Creations With Bricks You Already Have. Удивительные идеи Лего для всех. – М., 2016 -184с.
6. Интернет ресурсы:
7. [http://kievplanetarium.blogspot.ru/2014/10/blog-post\\_23.html](http://kievplanetarium.blogspot.ru/2014/10/blog-post_23.html)
8. <https://www.ebay.com/>
9. <https://ru.aliexpress.com/>
10. <https://yandex.ru/>
11. <https://www.homebricks.ru/tools/gears>
12. <https://lego.com>