

Сергей Александрович Филиппов

ОСНОВЫ РОБОТОТЕХНИКИ НА БАЗЕ КОНСТРУКТОРА LEGO MINDSTORMS NXT

От редакции:

Эта статья является первой из серии статей, посвященных обучению робототехнике на базе конструктора Lego Mindstorms NXT. В статье обсуждаются механические передачи, используемые при конструировании роботов. Примерные темы следующих статей:

- шагающие роботы,*
- управление мобильным роботом,*
- танец в круге: играем в кегельринг,*
- движение по линии,*
- ориентация на местности.*

Роботы и другие кибернетические устройства из фантастических рассказов постепенно переходят в нашу реальную жизнь. Уже магазинные полки заполнены разнообразными робототехническими игрушками, которых на заводах собирают роботы промышленные, совсем не похожие на людей. Одна из таких игрушек – кибернетический конструктор Lego Mindstorms NXT – не так давно появилась в продаже, но уже завоевала популярность среди начинающих робототехников и преподавателей по всему миру. По сути, это не игрушка, а целый учебный комплекс, с помощью которого при правильном подходе можно изучить основы конструирования, программирования и автоматического управления.

В 2010 г. вышла одна из первых в России книг, способствующих изучению роботов с помощью кибернетического конструктора, – «Робототехника для детей и родителей» [1], главы которой легли в основу серии статей «Основы робототехники на базе конструктора Lego Mindstorms NXT».

Существует несколько наборов серии Mindstorms: 9797, 8527, 8547 и другие более древние. На начальных занятиях по конструированию подойдет практически любой из них, а также ряд наборов прочих серий Lego Education: 9632, 9648 и др. Основные детали, которые потребуются на первом уроке – это шестеренки, оси, штифты, балки и втулки.

ЗАНЯТИЕ 1. ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ: МЕХАНИЧЕСКАЯ ПЕРЕДАЧА

Важнейшей частью почти каждого робота является механическая передача. В разных конструкторах предлагается несколько ее видов: зубчатая, ременная, цепная и др. Передача бывает необходима, для того чтобы передать крутящий момент с вала двигателя на колеса или другие движущиеся части робота. 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. На крупных шестеренках число зубцов написано: например, «Z40» на самой большой. На мелких 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?

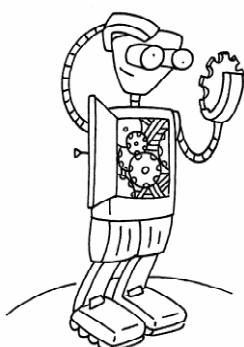
Ведущая меньше ведомой – скорость уменьшается. Ведущая больше ведомой – скорость увеличивается.

Однако надо понимать: выигрыш в скорости должен обернуться проигрышем в чем-то ином. И наоборот. Что же мы теряем при увеличении скорости? Очевидно, тяговую силу. А при понижении скорости выигрываем в силе (рис. 1). Это замечательное свойство зубчатой передачи используется во множестве механизмов, созданных человеком, – от будильника до автомобиля.

Как точно узнать, во сколько раз увеличилась тяговая сила? За это отвечает специальная величина, именуемая «передаточное отношение». Для нашего конструктора мы определим ее следующим образом:

$$i = \frac{z_2}{z_1},$$

где i – передаточное отношение, z_2 – количество зубцов на ведомой шестерне, z_1 – количество зубцов на ведущей шестерне.



*Для этого необходимо
знать число зубчиков
на шестеренках...*

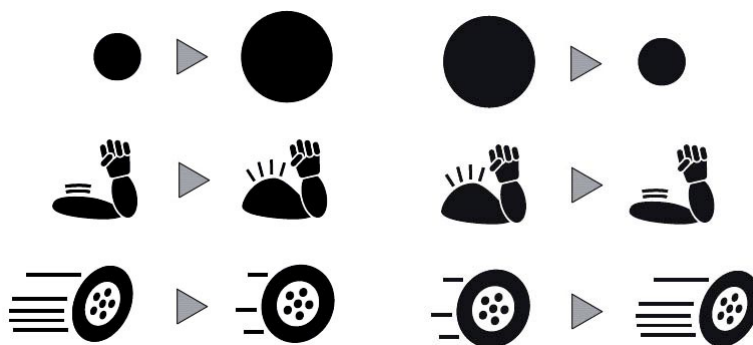


Рис. 1. При передаче с малого колеса на большое выигрываем в силе, но теряем в скорости. При передаче с большого на малое – все наоборот [3]



Рис. 2. Передача с понижением скорости: слева $i = 3:1$, справа $i = 5:3$ [3]



Рис. 3. Две промежуточные шестерни – паразитные [3]

Таким образом, при $i < 1$ тяговая сила уменьшается, а угловая скорость возрастает (рис. 2); при $i > 1$ сила увеличивается, а скорость падает. Очевидно, что при $i = 1$ и сила, и скорость остаются прежними. В этом случае мы можем ощутить изменения только за счет потерь при трении.

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). 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.

В этом случае каждая вторая пара соседних шестеренок должна находиться на одной оси. А общее передаточное отношение рассчитывается как произведение всех передаточных отношений соприкасающихся шестеренок.

$$i = i_{12} \cdot i_{34} \cdot i_{56} \dots, \quad \text{где} \quad i_{12} = \frac{z_2}{z_1}, \quad i_{34} = \frac{z_4}{z_3},$$

$$i_{56} = \frac{z_6}{z_5} \dots$$

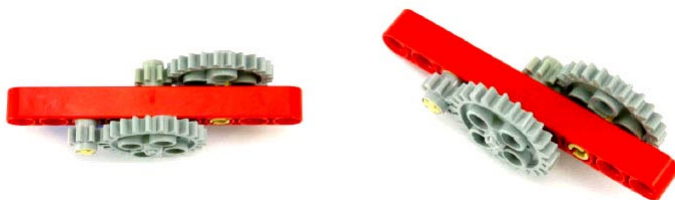
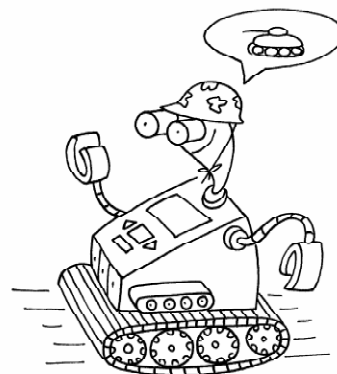


Рис. 4. Двухступенчатая передача [3]

Нетрудно догадаться, что шестеренки, находящиеся на одной оси, вращаются абсолютно одинаково и их передаточное отношение равно единице. Следовательно, эти значения в произведении могут не участвовать (рис. 4).

И наконец, определим понятие «передаточное число». Его используют, когда необходимо вычислить коэффициент изменения скорости или силы вне зависимости от направления возрастания. Таким образом, передаточное число можно определить как наибольшее из отношений $u = i/1$ или $u = 1/i$. Следовательно, передаточное число всегда не меньше единицы: $i = 1$. Для примера, при передаточном отношении $i = 1:15$, как и при $i = 15:1$, передаточное число $u = 15$ (рис. 5).

Червячная передача – это частный случай зубчатой (рис. 6). В нашем конструкторе она обладает определенными свойствами. Во-первых, один оборот червяка соответствует одному зубцу любой шестерни. Значит, при расчете передаточного отношения количество зубцов червяка можно считать равным единице: $z_q = 1$. Во-вторых, червячная передача работает



Если в передаче участвует несколько подряд установленных зубчатых колес

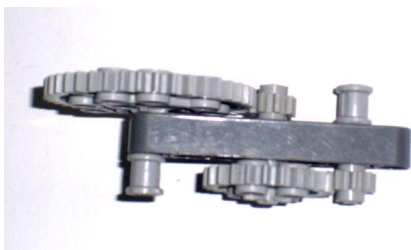


Рис. 5. Передаточное число 15

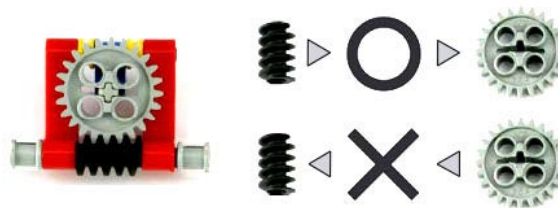


Рис. 6. Червячная передача работает только в одну сторону: от червяка к шестерне [3]

только в одном направлении от червяка к шестерне и блокирует движение в обратном направлении.

Задача. Постройте механическую передачу с максимальным передаточным отношением. По приблизительным подсчетам из всех шестеренок конструктора 8527 можно построить передачу, увеличивающую силу вращения (и понижающую скорость) примерно в 2 млн. раз. Это, конечно, теоретически. Но по сути это означает, что для одного полного оборота ведомой оси потребуется около 2 млн. оборотов ведущей.

Для начала попробуйте построить передачу с передаточным числом 9, 27, 45, 135 (рис. 7). А если не получится, то поможет следующий параграф. Только в нем мы будем не замедлять, а ускорять движение.

ВОЛЧОК

Каждый из нас с детства знаком с замечательной игрушкой – юлой. Несколько движений – и юла около минуты держит вертикальное положение. С волчком еще проще. Стержень, закрепленный на нем диск, быстрое круговое движение

пальцами, и с волчком происходит то же самое, что и с юлой, только без какого-либо механизма. Но так или иначе через некоторое время волчок падает, исчерпав заложенный в него ресурс. Хорошая тренировка для пальцев, однако скорость вращения запущенного рукой волчка невысока.

Можно ли создать механизм, который многократно увеличит начальную скорость вращения волчка? Наши знания о передаточном отношении должно быть достаточно для решения этой задачки. Вторая задача – максимально продлить время вращения волчка.

Требования к волчку и механизму:

- волчок должен иметь ось вращения и достаточно тяжелый диск-маховик, который сохранит инерцию вращения;
- центр тяжести волчка должен быть расположен достаточно низко, но и не слишком, чтобы края диска не цеплялись за поверхность стола (или пола);
- на оси вращения волчка необходимо установить шестерню для начального сцепления с механизмом;
- на механизме должны присутствовать две детали: для удержания одной рукой и придания вращения другой;

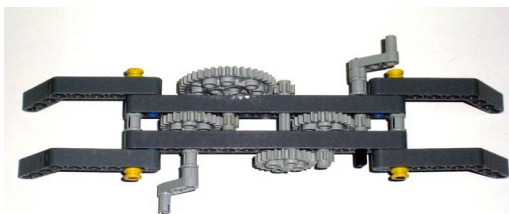
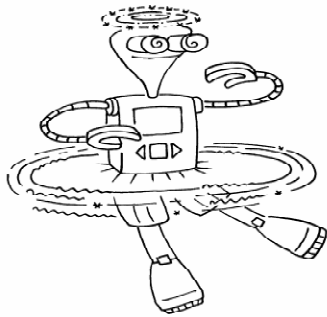


Рис. 7. Механическая передача с передаточным числом 135





Волчок

- в момент раскручивания волчок должен иметь плотное соприкосновение с механизмом;
- сразу после раскручивания волчок должен свободно отделяться от механизма.

Предлагаем нашу версию волчка и запускающего механизма (рис. 8). Начинающий изобретатель наверняка сможет ее усовершенствовать, подобрав наиболее подходящий маховик и оптимальное передаточное отношение.

Маховик волчка может быть любым колесом, не обязательно зубчатым. Отметим, что волчок с более тяжелым маховиком вращается дольше.

Далее построим механизм для запуска (рис. 9). Возьмем 8-модульную ось в качестве ведущей.

При запуске необходимо быстро прокрутить ведущую ось на механизме и сразу поднять его, чтобы волчок вращался свободно. Попробуйте самостоятельно построить механизм 1:5.



Рис. 8. Волчок

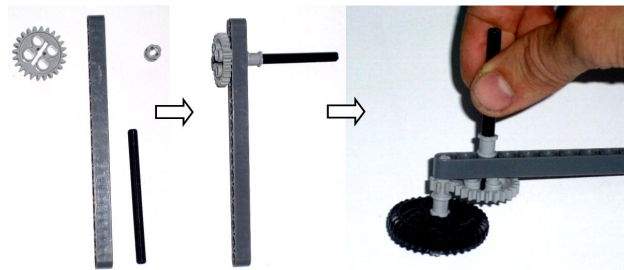


Рис. 9. Простейший запускающий механизм 1:3

Переходим к двухступенчатой передаче. Следует заменить первую ось на более короткую (например 4-модульную), а вместо втулки поставить малую 8-зубую шестеренку.

Теперь соберите самостоятельно передачу 1:15, которая изображена на рис. 11.

Третья ступень передачи может быть построена с помощью 40-зубой шестерни. Передаточное отношение в этом случае будет 1:45. Соответственно и усилие для раскручивания потребует в 45 раз большее. Поэтому на ведущую ось следует поставить рычаг или дополнительное колесико, которое облегчит задачу запускающему (рис. 12).

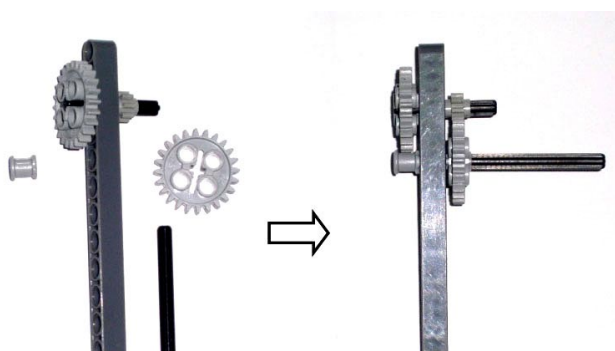


Рис. 10. Двухступенчатая передача 1:9

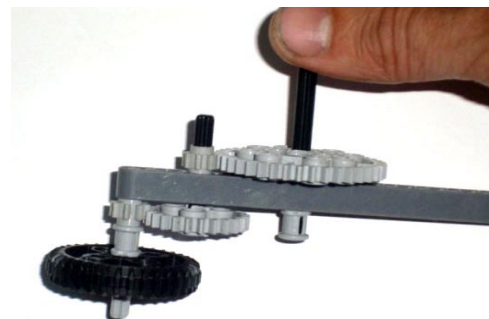


Рис. 11. Передача 1:15

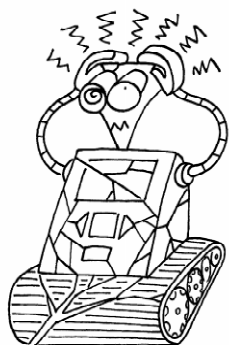
Когда при запуске слышен характерный треск зубчиков шестеренок, который возникает на холостом прокручивании, стоит беспокоиться. Если ваши роботы будут трещать, зубчатые колеса быстро выйдут из строя. Это происходит из-за непрочного крепления осей в балках: они с легкостью отклоняются на несколько миллиметров. От этого можно защититься, добавив дополнительные балки и удлинив тем самым отверстие, в котором расположена ось (рис. 13).

Наша защита действует, но при чрезмерных перегрузках сдает и она. Подумайте, как еще можно укрепить механизм дополнительными балками, например над шестеренками?

Даже из одного конструктора можно сделать с товарищами несколько волчков и запускающих механизмов и устроить состязания: чей волчок продержится дольше?

РЕДУКТОР

Этот механизм используется совместно с двигателями для преобразования и передачи крутящего момента. Чаще всего он служит для понижения частоты вращения и повышения крутящего момента вместе с тяговой силой. Существует множество их разновидностей. То, что мы делаем сегодня, – это, с одной стороны, полезный механизм, с другой – головоломка для товарищей.



Если ваши роботы будут трещать, зубчатые колеса быстро выйдут из строя.

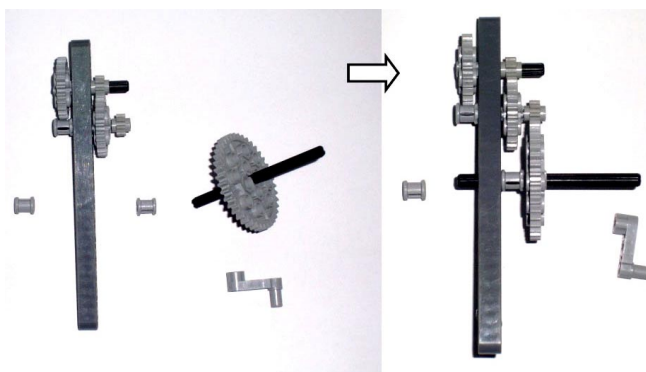


Рис. 12. При добавлении третьей ступени может потребоваться рычаг

Суть проста: внутри «черного» ящика (картера) строится зубчатая передача таким образом, чтобы ведомая ось находилась на одной прямой с ведущей (рис. 14). Поскольку вращаться они могут с разной скоростью и даже в разные стороны, построить такую же головоломку представляется простой, но довольно интересной задачей. Желательно, чтобы никакие другие (внутренние) оси не выступали из корпуса редуктора во избежание механических помех.

В этой модели передаточное отношение 9:1. Более короткая (ведомая) ось обладает в 9 раз большей силой тяги и меньшей угловой скоростью вращения. Отношение рассчитывается следующим образом:

$$i = \frac{24}{8} \cdot \frac{24}{8} = \frac{9}{1}.$$

Более сложный вариант редуктора имеет передаточное отношение 15:1 и

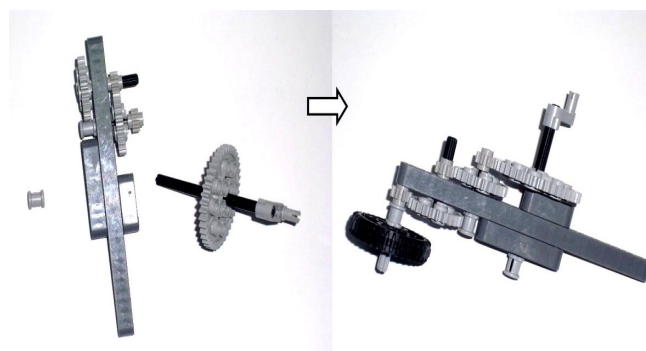


Рис. 13. Защита от холостого прокручивания шестеренок

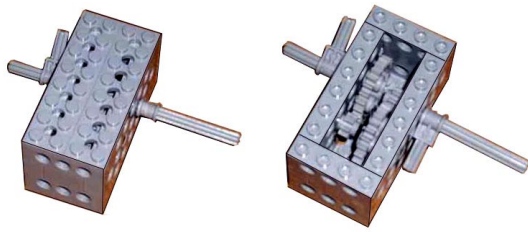


Рис. 14. Осевой редуктор с передаточным числом 9

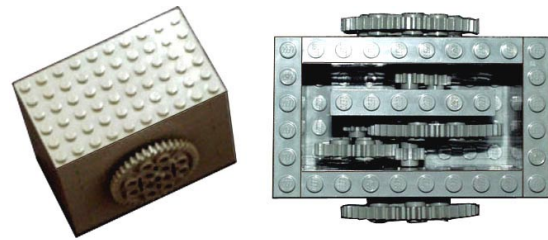


Рис. 15. Осевой редуктор с передаточным числом 15 и обратным направлением вращения

противоположное направление вращения (рис. 15).

Интересной задачей является построение осевого редуктора с передаточным отношением 1:1 и обратным направлением вращения.

Используя червячную передачу или конические шестеренки, можно изменить направление ведомой оси на 90 градусов. Попробуйте построить черный ящик с несколькими выходящими из него ведомыми осями в разных направлениях.

LEGO DIGITAL DESIGNER

В качестве домашнего задания начинающим робототехникам предлагаем построить конструкции, представленные на рисунках, в специальной среде трехмерного моделирования Lego Digital Designer. Поскольку у большинства детей может не оказаться дома подходящих деталей, стоит обратиться к виртуальному моделированию. Эту свободно распространяемую среду можно скачать с сайта Lego [5].

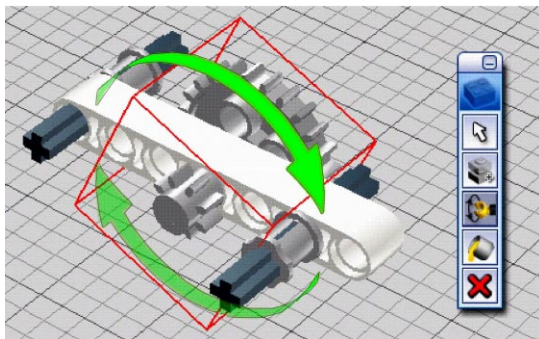


Рис. 16. Поворот 24-зубой шестерни для последующей стыковки

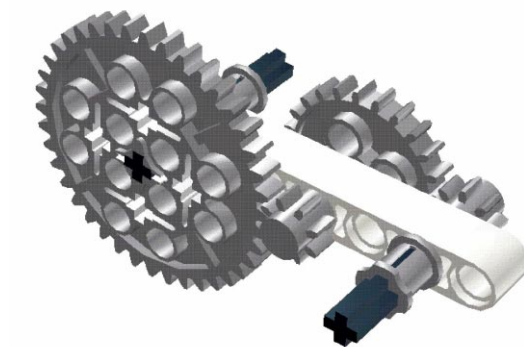


Рис. 17. Готовая передача с отношением 15:1

Литература

1. *Филиппов С.А.* Робототехника для детей и родителей. Под ред. *А.Л. Фрадкова*. СПб.: Наука, 2010.
2. *Ананьевский М.С., Болтунов Г.И., Зайцев Ю.Е., Матвеев А.С., Фрадков А.Л., Шиегин В.В.* Санкт-Петербургские олимпиады по кибернетике. Под ред. *А.Л. Фрадкова, М.С. Ананьевского*. СПб.: Наука, 2006.
3. LEGO Technic Tora no Maki, ISOGAWA Yoshihito, Version 1.00 Isogawa Studio, Inc., 2007 / <http://www.isogawastudio.co.jp/legostudio/toranomaki/en/>.
4. Сайт подразделения Lego Education: <http://www.lego.com/education/>.
5. Среда трехмерного моделирования Lego Digital Designer: <http://ldd.lego.com/>.



Наши авторы, 2010.
Our authors, 2010.

*Филиппов Сергей Александрович,
учитель информатики
физико-математический лицей
№ 239, методист.*