

УДК 621.8

ДВИГАТЕЛЬ С ПРУЖИННЫМ МЕХАНИЗМОМ**Варанкин Александр Евгеньевич**

студент второго курса кафедры технологии машиностроения
Новосибирский государственный технический университет
Россия, Новосибирск
e-mail: varan3500@mail.ru

Чулков Семен Олегович

студент второго курса кафедры технологии машиностроения
Новосибирский государственный технический университет
Россия, Новосибирск

Штерншис Вадим Сергеевич

студент второго курса кафедры технологии машиностроения
Новосибирский государственный технический университет
Россия, Новосибирск

Чусовитин Николай Анатольевич

Доцент кафедры проектирования технологических машин
Новосибирский государственный технический университет
Россия, 630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса 20

Аннотация

В представленной статье рассматривается механизм работы двигателя с пружинным механизмом, который был разработан для того, чтобы проверить, может ли пружина, напечатанная на 3D принтере приводить в действие зубчатую передачу. Разработка деталей механизма производилась в программе «КОМПАС - 3D».

Ключевые слова: механизм, пружинный двигатель, заводная пружина, зубчатая передача, вращательное движение.

MOTOR WITH SPRING MECHANISM**Alexander E. Varankin**

second-year student of the Department of Mechanical Engineering Technology
Novosibirsk State Technical University
Russia, Novosibirsk
e-mail: varan3500@mail.ru

Semyon O. Chulkov

second-year student of the Department of Mechanical Engineering Technology Novosibirsk State Technical University
Russia, Novosibirsk

Vadim S. Sternshis

second-year student of the Department of Mechanical Engineering Technology
Novosibirsk State Technical University
Russia, Novosibirsk

Nikolai A. Chusovitin

Associate Professor of the Department of Design of Technological Machines
Novosibirsk State Technical University
Russia, 630073, Novosibirsk, K. Marksa Ave. 20

ABSTRACT

The presented article discusses the mechanism of operation of an engine with a spring mechanism, which was developed in order to check whether a spring printed on a 3D printer can drive a gear train. The details of the mechanism were developed in the COMPASS - 3D program.

Keywords: mechanism, spring motor, winding spring, gear transmission, rotational motion.

Вступление

Двигатель, основанный на пружинном механизме, или заводной механизм получил достаточно обширное применение в детских игрушках, приборах времени.

В механических часах применяют два типа двигателей, а именно гиревой и пружинный. В первом случае используется энергия поднятого груза. А в пружинном двигателе используется энергия, сообщаемая ленточной пружине при ее заводе, которая постепенно передается механизму при ее роспуске. Такой же принцип работы используется и в подвижных игрушках.

Преимуществами данного механизма является простота конструкции, что положительно сказывается на стоимости изделия, небольшие габариты и возможность изменения направления вращения.

К недостаткам данного типа механизмов можно отнести, обрыв пружины и непостоянство момента, который передает пружина. Так как наибольший момент пружина будет иметь полностью в скрученном состоянии, и по ходу ее раскручивания он будет уменьшаться, что негативно сказывается на точности хода часов.

Впервые упоминание применения заводного механизма в часах относится к XVI в. Нюрнбергский мастер Петр Генлейн в 1501 г. изобрел карманные часы с применением пружины [1].

Механизм часов состоял из корпуса 1, спиральной пружины 2, втулки 3, к которой закреплялся конец пружины, и вала ручки, с помощью которого производилось взведение пружины

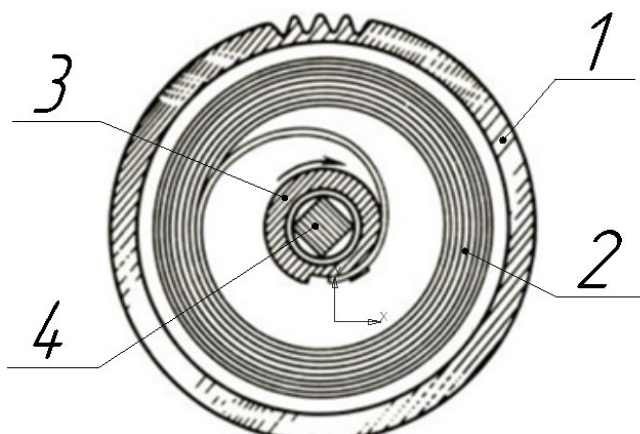


Рисунок 1 – Пружинный двигатель карманных часов (пружина спущена)[2]



Рисунок 2 – Робот с заводным механизмом[3]

Игрушки с заводным механизмом или технические игрушки в СССР были одни из главных игрушек для ребенка. Благодаря разнообразию механизмов и объяснению их принципа работы дети не только весело проводили свой досуг, но и развивали свой интерес к инженерному делу – одной из главных отраслей в СССР. На рисунке 2 представлена игрушка «Робот», предназначенная для детей в возрасте от 3-х до 10 лет.

Механизм таких игрушек был сделан достаточно хорошо, но над эстетической стороной требовались доработки.

На рисунке 3 представлено устройство пружинного механизма, наиболее распространённого в заводных игрушках.

Устройство имеет пружину 1, свернутую в спираль, один конец которой закреплен на корпусе, а второй на вал 3, которой называют заводным. Заведение механизма производится с помощью ключа 2.

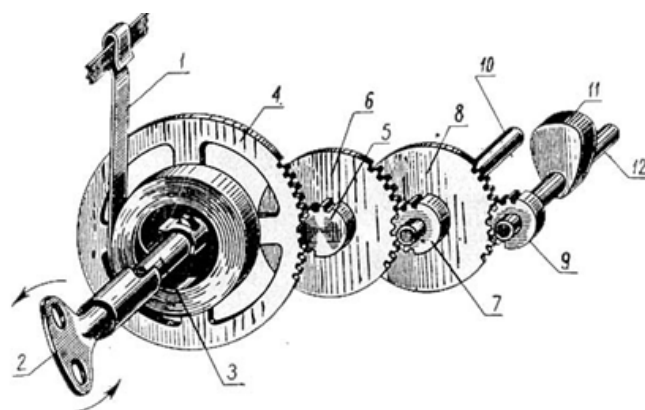


Рисунок 3 – Механизм пружинного двигателя в заводных игрушках [4]

Благодаря силе упругости свернутая пружина стремится развернуться, но из-за закрепленного конца пружина начинает вращать ось, тем самым приводя во вращение зубчатое колесо 4. Через ряд зубчатых колес 5, 6, 7 вращение передается на выходной вал 10.

Для обеспечения плавной и равномерной работы механизма применяется регулятор скорости. Наиболее распространённым является регулятор эксцентричного типа с неуравновешенным грузом 11, получающий вращение с помощью дополнительных

шестеренок 8, 9. Принцип его работы заключается в том, что с увеличением числа оборотов оси 12, начинает увеличиваться и центробежная сила, вследствие чего возникает дополнительное трение оси о подшипник, вызывающее тормозящий момент. В отсутствие регулятора пружина быстро разворачивается, а продолжительность работы существенно уменьшается [4].

Актуальность

Представленный ниже механизм заводного двигателя был разработан как инструмент проверки того, может ли напечатанная на 3D принтере пружина из PLA пластика обладать хорошей прочностью, пластичностью, упругостью и выносливостью, для того чтобы приводить в действие зубчатую передачу и, например, перемещать транспортное средство.

Пружинный двигатель имеет ручку 1 при вращении которой происходит взведение пружины 3, закрепленной одним концом на оси корпуса 2, а другим на валу ручки. Благодаря заводному механизму 4, размещенном в зубчатом колесе 5 обеспечивается вращение пружины только в одном направлении что, позволяет производить заведение пружинного механизма. При отпуске ручки пружина начинает раскручиваться, тем самым обеспечивая вращение зубчатой передачи 5, 6, 7. С боковой стороны имеется крышка 8, в которую вставляются вал ручки и ось корпуса (рис.4).

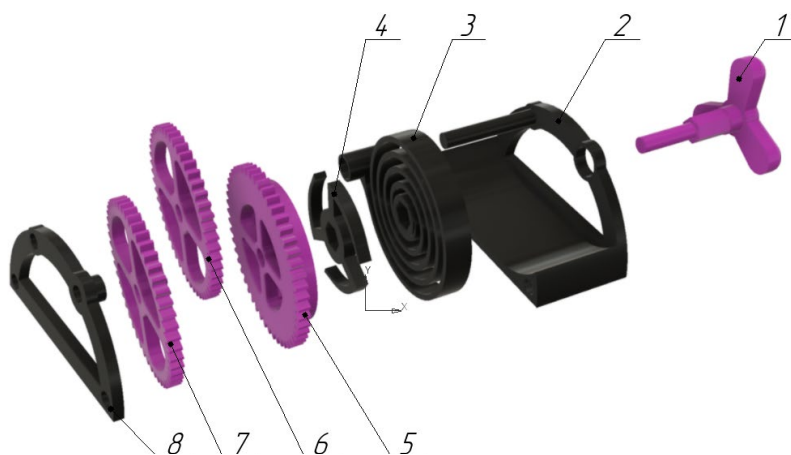


Рисунок 4 – Детализованная схема двигателя с пружинным механизмом

Разработка 3D моделей производилась в программе трехмерного проектирования «КОМПАС -3D». После чего была произведена 3D сборка компонентов, для проверки работоспособности механизма.

Во время проектирования модели корпуса было выбрано межосевое расстояние $a = 37,5$ мм, передаточное отношение ступени $u = 0,2$ и стандартный модуль $m = 1,25$ [5].

Согласно исходным данным

был произведен расчет числа зубьев на колесе и шестерне [5].

$$a = 0,5m \cdot z_{\Sigma},$$

где, z_{Σ} – суммарное число зубьев колеса и шестерни.

$$z_{\Sigma} = \frac{a}{0,5 \cdot m} = \frac{37,5}{0,5 \cdot 1,25} = 60$$

Тогда число зубьев колеса [5]:

$$z_1 = \frac{z_{\Sigma}}{1 + u} = \frac{60}{1 + 0,2} = 50$$

Число зубьев шестерни [5]:

$$z_2 = z_{\Sigma} - z_1 = 10$$

Так как число зубьев шестерни $z_2 < 17$, то необходимо произвести корректировку, а именно преднамеренно изменить стандартные пропорции зубьев, заданных исходных контуром, для устранения подрезания зубьев, возникающего при изготовлении колес с малым числом зубьев.

Коэффициент смещения шестерни [6]:

$$x_1 = \frac{(z_{min} - z_2) \cdot h_a^*}{z_{min}}$$

где, $z_{min} = 17$; $h_a^* = 1$.

$$x_1 = \frac{(17 - 10) \cdot 1}{17} = 0,42$$

Тогда величина радиального смещения делительной линии исходного контура [6]:

$$\delta = x_1 \cdot m = 0,42 \cdot 1,25 = 0,525 \text{ мм}$$

Общее передаточное отношение механизма [6]:

$$U = u \cdot u = \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{5} = \frac{1}{25}$$

Согласно смоделированным элементам конструкции была произведена распечатка деталей механизма на 3D принтере (рис.5).

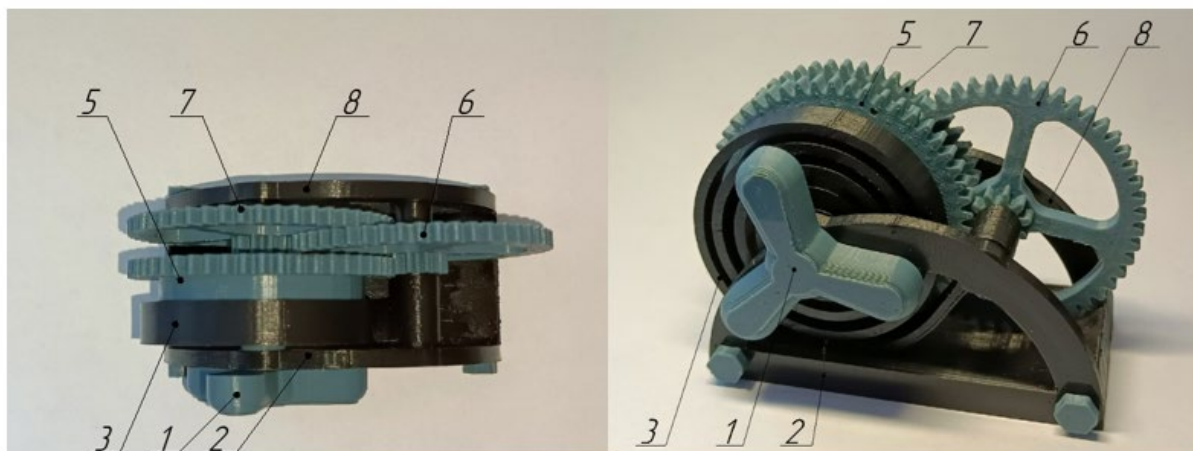


Рисунок 5 – Пружинный двигатель

Экспериментально установлено, что движущего момента, создаваемого пружиной физической модели недостаточно для ее функционирования. С целью устранения явления проведена дополнительная чистовая механическая обработка поверхностей

На следующем этапе синтеза действующей модели, определена величина движущего момента. Для этого в колесе 5 было просверлено отверстие диаметром 1 мм на расстоянии 26 мм от центра колеса, через которое была продета нить. На конце нити находился закрепленный груз. Далее вращением ручки 1 пружина приводилась в свернутое состояние. После отпускания ручки нить наматывалась на ступицу зубчатого колеса 5 и груз поднимался вверх.

Так после проведения серии опытов была найдена максимальная масса груза, поднятого с помощью пружинного механизма, она составила 0,5 кг.

Вычислим момент [7]:

$$M = F \cdot L,$$

где, F – сила, в нашем случае сила тяжести, действующая на груз;

L – плечо силы, равное расстоянию от отверстия до центра колеса 5.

$$M = F \cdot L = 0,5 \cdot 9,8 \cdot 0,026 = 0,127 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

При исследовании момента, создаваемого пружиной было обнаружено, что при изменении массы груза, изменялось и пройденное им расстояние. Поэтому решено было исследовать зависимость скорости груза от изменения его массы.

Для определения скорости производилось измерение расстояния, пройденного грузом, с помощью миллиметровой бумаги, а также засекалось затраченное на это время, с помощью электронного секундомера «Интеграл С-01». После расчета скоростей, для

улучшения результатов и проверки работоспособности универсальной проникающей смазки «WD-40», было произведено повторное измерение, но уже со смазанными трущимися элементами механизма.

Результаты эксперимента приведены на рисунке 7.

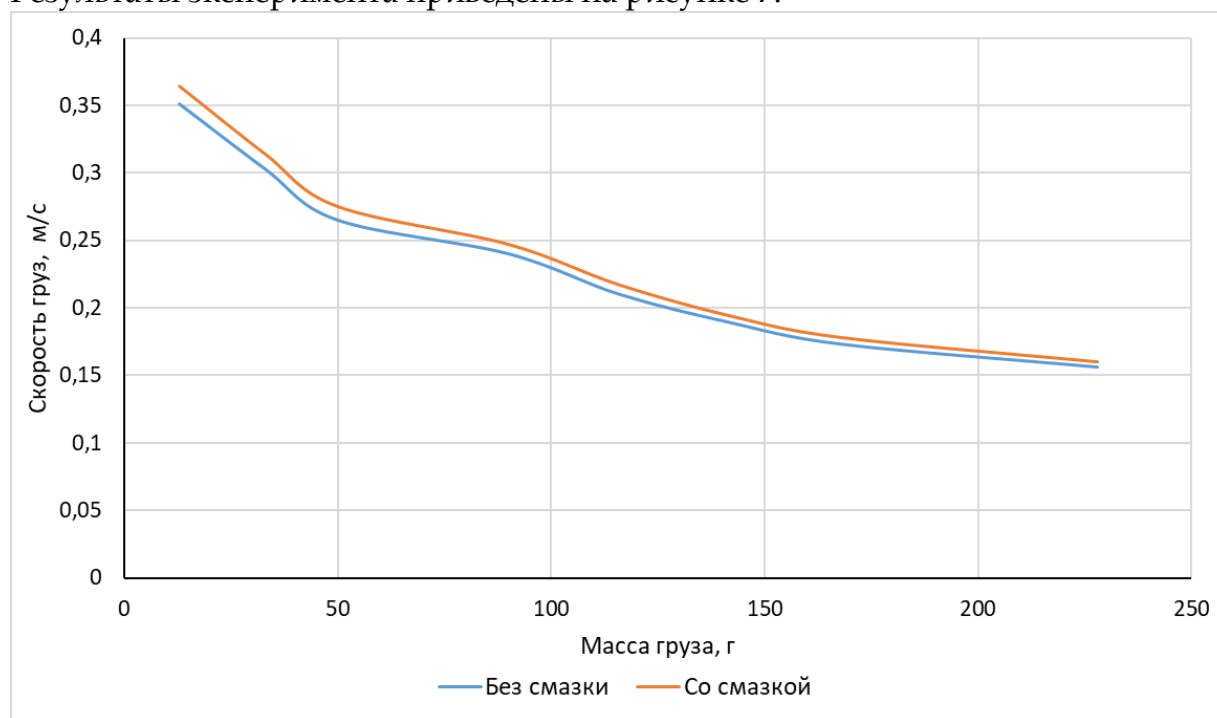


Рисунок 4 – График зависимости скорости груза от его массы

Проникающая смазка смогла увеличить скорость движения груза в среднем на 3 %.

Для измерения частоты вращения зубчатого колеса 5 была использована видеокамера «Sony ZV-1» с возможностью замедленной съемки в 960 кадров в секунду и электронный секундомер «Интеграл С-01». Для этого на колесе была сделана отметка белым маркером на одном из зубьев. После чего пружина взводилась, включалась замедленная съемка на видеокамере и одновременно с отпусканием ручки механизма запускался секундомер. После проведения нескольких опытов просматривались записанные видео и фиксировалось время, пройденное отметкой за один оборот зубчатого колеса.

В среднем время совершения одного оборота составило 0,4 секунды. Тогда частота вращения равна 2,5 оборота в секунду или 150 оборотов в минуту. Так-так частота вращения колеса 7 в 25 раз больше, то она равна 3750 оборотов в минуту.

Вывод: в ходе проделанной работы была сконструирована модель двигателя с заводным механизмом, рассчитаны основные геометрические параметры зубчатой передачи, проведены исследования зависимости скорости поднятого груза от его массы.

В рамках эксперимента был определен момент, создаваемый спиральной пружиной во взведенном состоянии, который составил 0,127 Нм. Установлена зависимость скорости груза, поднимаемого механизмом, от его массы. Определена эффективность проникающей смазки, использование которой позволило увеличить скорость поднимаемого груза на 3 %. А также найдена с помощью видеокамеры с возможностью замедленной съемки и секундомера частота вращения зубчатого колеса 7, составившая 3750 оборотов в минуту.

Список литературы:

1. Пружинный двигатель [Электронный ресурс]. – Режим доступа. – URL: [https://watch-wiki.org/index.php?title= Пружинный_двигатель](https://watch-wiki.org/index.php?title=Пружинный_двигатель) (Дата обращения: 01.11.2022)
2. Изобретение механических часов [Электронный ресурс]. – Режим доступа. – https://kronostime.ru/blog/izobretenie_mekhanicheskikh_chasov/ (Дата обращения: 16.11.2022)
3. Заводной робот СССР [Электронный ресурс]. – Режим доступа. – URL: <https://999.md/ru/72045836/> (Дата обращения: 05.10.2022)
4. Что такое игрушки двигатели [Электронный ресурс]. – Режим доступа. – URL: <https://avtika.ru/chto-takoe-igrushki-dvigateli/> (Дата обращения: 25.10.2022)
5. Гилета В.П. Детали машин. Расчет и проектирование механических передач: учеб. пособие / В.П. Гилета, Ю.В. Ваняг Н.А. Чусовитин. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – 116 с.
6. Теория механизмов и машин : лабораторный практикум : учебно-методическое пособие. Ч. 1 / [В. П. Гилета и др.] ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - 2-е изд., испр. и доп.. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2009. – 88с.
7. Техническая механика [Электронный ресурс]. – Режим доступа. – URL: <https://isopromat.ru/teormeh/obzornyj-kurs/moment-sily/> (Дата обращения: 25.10.2022)

References:

1. Spring motor [Electronic resource]. – Access mode. – URL: [https://watch-wiki.org/index.php?title= Spring motor](https://watch-wiki.org/index.php?title=Spring%20motor) (Accessed: 01.11.2022)
2. The invention of mechanical watches - history [Electronic resource]. - Access mode. – https://kronostime.ru/blog/izobretenie_mekhanicheskikh_chasov/ (Date of access: 11/16/2022)
3. Clockwork robot of the USSR [Electronic resource]. – Access mode. – URL: [https://999.md/ru/72045836 /](https://999.md/ru/72045836/) (Accessed: 05.10.2022)
4. What are toy engines [Electronic resource]. – Access mode. – URL: [https://avtika.ru/chto-takoe-igrushki-dvigateli /](https://avtika.ru/chto-takoe-igrushki-dvigateli/) (Accessed: 10/25/2022)
5. Gileta V.P. Machine parts. Calculation and design of mechanical gears: textbook. manual / V.P. Gileta, Yu.V. Vanag N.A. Chusovitin. – No-voibirsk: Publishing House of NSTU, 2017. – 116 p
6. Theory of mechanisms and machines: laboratory workshop : teaching manual. Part 1 / [V. P. Gileta et al.] ; Novosibirsk State Technical University. un-T. - 2nd ed., ispr. and add.. - Novosibirsk : Publishing House of NSTU, 2009. – 88s.
7. Technical mechanics [Electronic resource]. – Access mode. – URL: [https://isopromat.ru/teormeh/obzornyj-kurs/moment-sily /](https://isopromat.ru/teormeh/obzornyj-kurs/moment-sily/) (Accessed: 10/25/2022)