Краткое описание практических занятий в Multibody

Практическое занятие 1. Моделирование поступательного движения

Задача: построить модель и выполнить моделирования механического узла, представленного на рис.1.1. Узел состоит из кубического тела, скользящего вдоль поверхности земли с коэффициентом вязкого трения kтp, соединенного с пружинной с коэффициентом упругости ky. На тело действует сила поджатой пружины. Параметры для моделирования представлены в табл.1.1.



Рисунок 1.1 - Кинематическая схема механического узла

Параметр	Значение
Размеры тела	200х200х200 мм
Плотность тела	1000 кг/м3
ктр	10 Н/м/с
ky	1000 Н/м
Естественная длина	300 мм
пружины	
Сила поджатия	50 H
пружины	

Таблица 1.1 – Параметры задачи

На рис. 1.2 представлена модель в рабочем окне *Matlab/Simulink*, созданная с помощью элементов библиотеки *Multibody*. Подвижное тело моделируется с помощью элемента **Brick Solid**, в котором задаются размеры и плотность объекта (рис.1.3). Пружина моделируется элементом **Spring and Damper Force**, в котором задаются параметры пружины (длина и жесткость), а также коэффициент рассеяния энергии, с помощью которого в этой задачи моделируется вязкое трение (рис.1.4). Стенка и земля являются вспомогательными элементами для улучшения визуального восприятия модели в окне 3D визуализации. Элементы **Rigid Transform** используются для размещения объектов моделирования относительно друг друга в пространстве.



Рисунок 1.2 - Модель Matlab



Рисунок 1.3 - Модель подвижного тела



Для возможности движения подвижного элемента используется элемент **Prismatic Joint**, задающий одну степени свободы для движения подвижного элемента относительно земли (неподвижного основания). Таким образом, при моделирования подвижный кубик может перемещаться только вдоль одной (горизонтальной) оси.

На рис.1.5 представлена 3D визуализация готовой модели. Анимация модели представлены отдельным видео файлом Transl_brick.avi



Рисунок 5 - 3D визуализация

Практическое занятие 2. Моделирование поступательного движения под действием силы тяжести

<u>Задача 2.1:</u> построить модель и выполнить моделирования механического узла, представленного на рис.2.1. Узел состоит из цилиндрического тела, скользящего вдоль полого цилиндра с коэффициентом вязкого трения kтр, соединенного с пружинной с коэффициентом упругости ky. На тело действует сила тяжести, направленная вниз. Параметры для моделирования представлены в табл.2.1.



Параметр	Значение
Размеры тела	R=50 мм, L=200 мм
Плотность тела	5000 кг/м3
ктр	10 Н/м/с
ky	2000 Н/м
Естественная длина	150 мм
пружины	
Сила поджатия	200 Н (наверх)
пружины	

Рисунок 2.1 - Кинематическая схема механического узла

На рис. 2.2 представлена модель в рабочем окне *Matlab/Simulink*, созданная с помощью элементов библиотеки *Multibody*. Подвижное тело моделируется с помощью элемента **Cylindrical Solid**, в котором задаются размеры и плотность объекта (рис.2.3). Пружина и коэффициент трения моделируется элементом **Spring and Damper Force**, как в предыдущей задаче. Земля и полый цилиндр (revolved solid) являются вспомогательными элементами для улучшения визуального восприятия модели в окне 3D визуализации. Элементы **Rigid Transform** используются для размещения объектов моделирования относительно друг друга в пространстве.



Рисунок 2.2 - Модель Matlab



Рисунок 2.3 - Модель подвижного элемента

Перемещение подвижного элемента ограничивается с помощью **Prismatic Joint**, задающий одну степени свободы для относительно земли (неподвижного основания) – вдоль вертикальной оси. Направление mg определяется направление вектора ускорения свободного падения, которое задается в элементе **Mechanism Configuration**.

На рис.2.4 представлена 3D визуализация готовой модели. Для анализа также добавлен блок для измерения силы пружины, перемещения и скорости подвижного элемента. В результате получены осциллограммы соответствующих параметров, представленные на рис.2.5. Анимация модели представлены отдельным видео файлом trans_vert.avi



Рисунок 2.4 - 3D визуализация



Рисунок 2.5 – Осциллограммы

<u>Задача 2.2:</u> построить модель и выполнить моделирования механического узла, представленного на рис.2.6. Узел состоит из 2х цилиндрических тел, скользящего вдоль полого цилиндра с коэффициентом вязкого трения kтр, соединенного с пружинной с коэффициентом упругости ky. На тела действует сила тяжести, направленная вниз. Перемещаясь, цилиндры сталкиваются друг с другом. Параметры для моделирования представлены в табл.2.2.



Рисунок 2.6 - Кинематическая схема механического узла

Параметр	Значение
Размеры тела 1	R=50 мм, L=200 мм
Плотность тела 1	5000 кг/м3
ktp1	10 Н/м/с
ky1	2000 Н/м
Естественная длина	150 мм
пружины 1	
Сила поджатия	200 H
пружины 1	
Размеры тела 2	R=50 мм, L=100 мм
Плотность тела 2	5000 кг/м3
ктр 2	10 Н/м/с
ky 2	3000 Н/м
Естественная длина	100 мм
пружины 2	
Сила поджатия	100 H
пружины 2	

Таблица 2.2 – Параметры задачи

На рис. 2.2 представлена модель в рабочем окне *Matlab/Simulink*, созданная с помощью элементов библиотеки *Multibody*.



Рисунок 2.7 - Модель Matlab

Отличие модели от модели, представленной на рис.2.2, состоит в добавлении второго подвижного цилиндра (рис.2.8). Движение второго цилиндра также ограничено с помощью Prismatic Joint одной степенью свободы вдоль вертикальной оси. Пружина 2 подключается между неподвижным основанием (снизу модели) и вторым цилиндром. Для моделирования зазора между первым и вторым цилиндром используется еще одни Prismatic Joint, который дополнительно ограничивает пределы (Limits) перемещения двух тел относительно друг друга. В рассматриваемой модели существует нижняя граница, равная нулю, которая соответствует касанию цилиндров (рис.2.9).



Description				
Represents a prismatic joint translational degree of freed primitive. The joint constrain the base z-axis, while the ba	between two lom represe is the follow se and follow	o frames. T nted by or er origin to wer axes re	his joint h e prismati translate main alig	ias one ic along ned.
In the expandable nodes une actuation method, sensing c the primitives of this joint. A displays the corresponding p	der Propertie apabilities, a fter you app physical sign	es, specify and interna ly these se al ports.	the state, I mechani ttings, the	cs of block
Ports B and F are frame port frames, respectively. The join	s that repres at direction i	ent the ba s defined l	se and fol by motion	lower of the
follower frame relative to th	e base fram	e.		
follower frame relative to th Properties	e base fram	e.		_
follower frame relative to th Properties Z Prismatic Primitive (Pz) P State Targets	e base fram	e.	_	
follower frame relative to th Properties Z Prismatic Primitive (Pz) B State Targets Internal Mechanics	e base fram	e.		
follower frame relative to th Properties Z Prismatic Primitive (Pz) State Targets Internal Mechanics Limits	e base fram	2.		
follower frame relative to th Properties	e base fram	ê.		
follower frame relative to the Properties	e base framo	e. 	mm	~
follower frame relative to the Properties = 2 Prismatic Primitive (P2) © State Targets = Limits © Specify Lower Limit Bound Spring Stiffness	e base fram 0 1e6	e. 	mmN/m	
follower frame relative to th roperties = = Z Prismatic Primitive (Pz) = State Targets = Internal Mechanics = Limits = Specify Lower Limit Bound Spring Stiffness Damping Coefficient	e base fram 	e. 	mm N/m N/(m/s)	> > > >
follower frame relative to th Properties = = = = = = = = = = = = = = = = = = =	 ∠ 0 1e6 1e3 1e-4 	e.	mm N/m N/(m/s) m	
follower frame relative to th Properties	e base fram 0 1e6 1e3 1 1e-4 □	8.	mm N/m N/(m/s) m	
follower frame relative to th Properties ? Insmaller formitive (P2) I State Targets I Internal Mechanics I Internal Mechanics I Internal Mechanics I Internal Mechanics Bound Specify Lower Limit Bound Damping Coefficient Transition Region Width Specify Upper Limit Actuation	 base frame 0 1e6 1e3 1e-4 1e-4 	e.	mm N/m N/(m/s) m	

Рисунок 2.8 - Модель второго цилиндра

Рисунок 2.9 - Модель зазора

На рис.2.10 представлена 3D визуализация готовой модели. Анимация модели представлены отдельным видео файлом Transl_2bricks.avi



Рисунок 2.10 - 3D визуализация

Практическое занятие 3. Моделирование вращательного движения маятника

<u>Задача:</u> построить модель и выполнить моделирования механического узла, представленного на рис.3.1. Узел состоит из цилиндрического стрежня, вращающегося в шарнире с коэффициентом трения ktp. На тело действует момент силы тяжести, направленной вниз. Начальное положение – 90 градусов. Параметры для моделирования представлены в табл.3.1.



Габлица 3.1	– Параметры	задачи
-------------	-------------	--------

Параметр	Значение
Размеры стержня	R=2 мм, L=100 мм
Масса стержня	0,5 кг
ктр	0.0001 Н*м/град/с

Рисунок 3.1 - Кинематическая схема механического узла

На рис. 3.2 представлена модель в рабочем окне *Matlab/Simulink*, созданная с помощью элементов библиотеки *Multibody*. Стержень моделируется с помощью элемента **Cylindrical Solid**, в котором задаются размеры и масса (рис.3.3). Элемент **Rigid Transform** используется для размещения точки крепления стержня на одном из его концов. Перемещение стержня ограничивается с помощью **Revolute Joint**, задающего одну степени свободы – вращение вокруг оси Z. Направление mg определяется направление вектора ускорения свободного падения, которое задается в элементе **Mechanism Configuration**.



Рисунок 3.2 - Модель Matlab

Description				Ħ		a• t [□] t •	+ Q	. 🗔 '	6ª 6	i 🖷 i	a a	66	al t	
Represents a sol a graphics comp single unit. A sol bodies. The Solid and density, from tensor that you s	id combining a ge conent, and rigidly lid is the common d block obtains the n the geometry an specify.	ometry, an inertia attached frames ir building block of r e inertia from the <u>c</u> d mass, or from ar	and mass, nto a igid geometry i inertia				1	·						
In the expandabi geometry, inertia and their parame Port R is a frame	le nodes under Pro a, graphic features eterizations. e port that represer	operties, select the , and frames that y nts a reference frar	types of ou want ne											
associated with generates anoth	the geometry. Eacl er frame port.	h additional create	d frame	~										
Properties														
Geometry			^											
Radius	2	mm	~											
Length	100	mm	~											
Export														
Inertia														
Type	Calculate fro	om Geometry	~											
Based on	Mass		~											
Mass	0.5	kg	~											
Derived Value	es	Update			Ž									
			~		Ľ									

Рисунок 3.3 - Модель стержня

В Revolute Joint также задается трение (потери при вращении стержня) и ограничение движение 30 градусов влево, относительно вертикального положение, принятого за нулевую тоску отчета (рис.3.4). Для задания начального условия – угла поворота 90 градусов, в Revolute Joint устанавливается начальное положение в State Target (рис.3.5).

Jescription					-
Represents a revolute joint act one rotational degree of freec primitive. The joint constrains coincident and the z-axes of the coincident, while the follower z-axis.	ting between dom represent the origins of he base and fo x-axis and y-a	two fram ted by on the two i ollower fi axis can n	es. This join e revolute irames to b ames to be otate aroun	t has e d the	
In the expandable nodes unde method, sensing capabilities, a of this joint. After you apply th corresponding physical signal Ports B and F are frame ports I frames, respectively. The joint	er Properties, s and internal m nese settings, 1 ports. that represent direction is de	pecify th techanics the block the base efined by	e state, actu of the prim displays th and follow motion of	uation nitives e ver the	
follower frame relative to the	pase frame.				
follower frame relative to the	base traffie.				_
follower frame relative to the Properties Z Revolute Primitive (Rz)	base traffie.		_		^
follower frame relative to the Properties = Z Revolute Primitive (Rz) # State Targets	base trame.				^
Follower frame relative to the Properties Z Revolute Primitive (Rz) State Targets Internal Mechanics	base traffie.				^
tollower trame relative to the Properties = Z Revolute Primitive (Rz) # State Targets = Internal Mechanics Equilibrium Position	0		deg	~	^
tollower frame relative to the Properties — = Z Revolute Primitive (Rz) + State Targets = Internal Mechanics Equilibrium Position Spring Stiffness	0 0		deg N*m/deg	> >	^
tollower frame relative to the Properties = 2 2 Revolute Primitive (R2) # State Targets = Internal Mechanics Equilibrium Position Spring Stiffness Damping Coefficient	0 0 0.0001		deg N*m/deg N*m/(deg/	~ ~ 's) ~	^
tollower frame relative to the Properties	0 0 0.0001		deg N*m/deg N*m/(deg/	~ ~ 's) ~	^
tollower frame relative to the Properties = 2 Revolute Primitive (R2) # State Targets = Internal Mechanics Equilibrium Position Spring Stiffness Damping Coefficient = Limits = Specify Lower Limit	0 0 0.0001		deg N*m/deg N*m/(deg/	~ ~ 's) ~	^
tollower frame relative to the Properties — = 2. Revolute Primitive (R2) = 3. State Targets = Internal Mechanics Equilibrium Position Spring Stiffness Damping Coefficient = Limits = Specify Lower Limit Bound	0 0 0.0001		deg N*m/deg N*m/(deg/ deg	~ ~ s) ~	^
tollower frame relative to the Properties	0 0 0.0001		deg N*m/deg N*m/(deg/ deg N*m/deg	> > s) > >	^
tollower trame relative to the Properties 2 Revolute Primitive (R2) 11 State Targets Equilibrium Position Spring Stiffness Damping Coefficient 2 Junits Bound Spring Stiffness Damping Coefficient Spring Stiffness Damping Coefficient	0 0 0.0001		deg N*m/deg N*m/(deg/ deg N*m/deg N*m/(deg/	s) ~ s) ~ s) ~	^
tollower trame relative to the Noperties = ? Recolute himitive (R2) # State Targets = Internal Mechanics Equilibrium Position Spring Stiffness Damping Coefficient = Unints = Specify Lower Limit Bound Spring Stiffness Damping Coefficient Transition Region Width	0 0 0.0001 -20 1e10 200 0.1		deg N*m/deg N*m/(deg/ N*m/(deg N*m/(deg deg	> > > > > > > >	^
tollower trame relative to the Noperties 2 Revolute Primitive (R2) 4 State Target Enultibrium Position Spring Suffness Danping Coefficient 4 Spring Stiffness Damping Coefficient Spring Stiffness Damping Coefficient Transition Region Width	0 0 0.0001 -20 1e10 200 0.1		deg N*m/deg N*m/(deg/ N*m/deg N*m/(deg/ deg	> > > > > > > > > > >	^



Рисунок 3.4 Настройки Revolute Joint

Рисунок 3.5 - Начальное положение стержня

На рис.3.6 представлена 3D визуализация готовой модели. Анимация модели представлены отдельным видео файлом **Pendulum.avi**



Рисунок 3.6 - 3D визуализация

Практическое занятие 4. Построение модели контактной системы реле

<u>Задача:</u> построить модель и выполнить моделирования контактной системы, представленной на рис.4.1. Система состоит подвижного и неподвижного контакта, в виде контактных пластин, жестко закрепленных с одного конца. На подвижный контакт действует внешняя сила. Параметры для моделирования представлены в табл.4.1.



Таблица 4.1 –	Параметры	задачи
---------------	-----------	--------

Параметр	Значение
11	0.05 м
12	12=0.048
13	13=0.02
14	14=0.024
Материал контактов	бронза
ктр	0.0001 Н*м/град/с

Рисунок 4.1 - Кинематическая схема

На рис. 4.2 представлена модель в рабочем окне *Matlab/Simulink*, созданная с помощью элементов библиотеки *Multibody*. Контактные пластины моделируется с помощью деформируемых тел Flexible beam, позволяющих моделировать изгиб тела. В них задается геометрия и параметры материала, необходимы для расчета жесткости и изгиба (рис.4.3). Жесткое закрепление ограничивается Weld Joint. На контактных пластинах также закрепляются контактные накладки, моделируемы в виде усеченных конусов с помощью Revolved Solid. Элементы Rigid Transform используется для объектов задачи относительно друг друга.



Рисунок 4.2 - Схема Matlab





Рисунок 4.4 - Модель контактной накладки

Зазор между контактными моделируется элементом 6-DOF Joint, оставляющем свободными все 6 степеней свободы. Это связано со сложным типом перемещения контактов относительно друг друга, включающем как поступательное, так и вращательное движение. Для задания зазора в 6-DOF Joint выбирается ось, соответствующая горизонтальному перемещению (ось Х), и задаются пределы (рис.4.5). В данной задаче моделируется зазор между контактными накладками, поэтому предел выбран равным нулю – момент касания контактных накладок подвижного и неподвижного контакта.

• ·					
Description	on two frames 7	bie ie ie	t has the		
translational and three rotational	en two trames. I	nis join edom r	enrecent	ee od hu	,
three prismatic primitives axes a	long a set of m	utually	orthogon	al of	
axes, plus a spherical primitive. 1	This joint allows	uncons	trained 3	-D	
translation and rotation. The foll	ower origin first	transla	ites relati	ive to	
the base frame. The follower fra	me then rotates	freely,	with the		
follower origin as the pivot.					
In the expandable nodes under l	Properties, speci	fy the s	tate, acti	atio	•
method, sensing capabilities, an	d internal mech	anics of	the prim	itive	s
of this joint. After you apply the	e settings, the b	lock di	splays th	e	
corresponding physical signal pe	orts.				
Ports B and F are frame ports the	at represent the	base ar	nd follow	er	
Ports B and F are frame ports the frames, respectively. The joint di	at represent the rection is define	base ar d by m	nd follow otion of	er the	
Ports B and F are frame ports the frames, respectively. The joint di follower frame relative to the ba	at represent the rection is define ise frame.	base ar d by m	nd follow otion of	er the	
Ports B and F are frame ports that frames, respectively. The joint di follower frame relative to the ba Properties	at represent the rection is define ise frame.	base ar d by m	nd follow otion of	er the	
Ports B and F are frame ports that frames, respectively. The joint di follower frame relative to the ba Properties X Prismatic Primitive (Px)	at represent the rection is define ise frame.	base ar d by m	nd follow otion of	er the	^
Ports B and F are frame ports the frames, respectively. The joint di follower frame relative to the ba Properties = X Prismatic Primitive (Px) = State Targets	at represent the rection is define ise frame.	base ar	nd follow otion of	the	^
Ports B and F are frame ports tha frames, respectively. The joint di follower frame relative to the ba properties = X Prismatic Primitive (Px) = X fatte Targets = Internal Mechanics	at represent the rection is define ise frame.	base ar	nd follow otion of	the	^
Ports B and F are frame ports the frames, respectively. The joint dif follower frame relative to the be Properties	at represent the rection is define ise frame.	base ar	nd follow otion of	the	^
Ports B and F are frame ports thi frames, respectively. The joint di follower frame relative to the be roperties - = X Prismatic Primitive (Pt) • State Targets = Internal Mechanics = Limits G Specify Lower Limit	at represent the rection is define use frame.	base ar	nd follow otion of	the	^
Ports B and F are frame ports th frames, respectively. The joint di follower frame relative to the ba roperties	at represent the rection is define use frame.	base ar d by m	nd follow otion of	er the	^
Ports B and F are frame ports thi frames, respectively. The joint di follower frame relative to the bo Properties = 2 Nrismatic Primitive (PA) State Targets Internal Mechanics Spring Stiffness Spring Stiffness	at represent the rection is define use frame.	base ar d by m	nd follow otion of nm i/m	er the	^
Ports B and F are frame ports the frames, respectively. The joint di follower frame relative to the be Properties — B A Instantic Primitive (Pk) B State Targets = Itimits = Umitis Bound Spring Stiffness Damping Coefficient Damping Coefficient	t represent the rection is define see frame.	base ar d by m	nd follow otion of nm i/m i/m	er the	^
Ports B and F are frame ports th frames, respectively. The joint di follower frame relative to the ba Properties = ¥ Prismatic Primitive (PA) II State Targets II Internal Mechanics II Internal Mechanics II Internal Mechanics II Internal Mechanics Damping Coefficient Transition Region Width	It represent the rection is define use frame. ✓ O 1e6 150 1e-4	base ar d by m r n n r	nd follow otion of nm J/m J/m n	er the × × ×	^
Ports B and F are frame ports the finance, respectively. The joint of follower frame relative to the bis Properties — 24 Priomatic Primitive (Px) — State Fargets — Umits — Umits — Bound — Specify Lower Limit Bound — Specify Lower Limit — Damping Coefficient — Transition Region Width — Specify Lower Limit	v entropy of the second secon	base ar d by m	nd follow otion of nm i/m i/(m/s) n	er the	~
Ports B and F are frame ports the finance, respectively. The joint of follower frame relative to the ba Properties— # Shematuc Primitive (Pa) # Shem	v represent the rection is define isse frame.	base ar d by m	nm I/m I/m I/(m/s) n		^
Ports B and F are frame ports the finance, respectively. The joint of follower frame relative to the bit Properties I define the second second second second I define the second second second second Define the second second second second second Second Second Second Second Second Second Definition Region Width Specify Lopper Limit I chemistry Densing Second S	x represent the rection is define se frame. 0 1e6 150 1e-4 □	base ar d by m d by m r	nm I/m I/m I/(m/s) n		^

Рисунок 4.5 - Моделирование зазора

На рис.4.6 представлена 3D визуализация готовой модели. Анимация модели представлены отдельным видео файлом MultiBody contact.avi



Рисунок 4.6 – 3D визуализация

Практическое занятие 5. Построение модели контактора постоянного тока

<u>Задача:</u> построить модель и выполнить моделирования контактной системы контактора постоянного тока, представленной на рис.5.1. Система состоит подвижных и неподвижных контактов мостикового типа. Подвижные контакты закреплены в опоре контактов, которая в свою очередь прикреплена к подвижному якорю электромагнитного привода. В системе присутствуют две пружины – возвратная, возвращающая якорь в разомкнутое состояние после отключения тока, и контактные пружины для обеспечения контактного нажатия.



Рисунок 5.1 – Кинематическая схема

Полная модель контактной системы контактора постоянного тока в *Matlab/Simulink*, созданная с помощью элементов библиотеки *Multibody* На представлена на рис.5.2. Она состоит из следующих частей – опоры подвижных контактов, собранной их нескольких элементов; **якоря**, на котором закрепляется опора контактов; **сердечника** – неподвижного элемента, относительно которого передвигается якорь; подвижных контактов, состоящих из контактных пластин и накладок и прикрепленных к опоре контактов посредством контактных пружин; неподвижных контактов; возвратной пружины; контактных пружин. Внешнее усилие подается на якорь, которые притягивается к сердечнику, тем самым перемещая подвижные контакты и замыкая зазоры.



Рис. 5.2 – Модель в Matlab

Все элементы задаются по аналоги с рассмотренными выше. На рис.5.3 представлена 3D визуализация готовой модели. Анимация модели представлены отдельным видео файлом contactor.avi



Рисунок 5.3 – 3D визуализация