

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО

А.В. Костарев Т.А. Костарева

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

ЭЛЕКТРОННЫЕ ЗАДАЧИ В
СИСТЕМЕ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ЭКЗАМЕНА

Учебное пособие

Санкт-Петербург

2025

Никто не любит сдавать экзамены. Быть судимым неприятно, да и судить тоже нравится не всем. До такой степени, что некоторые экзаменаторы готовы сами отвечать на вопросы билета. Причина кроется в существующей системе контроля знаний, которая не стимулирует регулярную работу студента в семестре и не учитывает всех этапов этой работы в экзаменационной оценке.

Традиционно текущий контроль чаще всего заканчивается не оценкой, а зачетом. А он ничего не говорит о качестве выполнения работы, и, фактически, никак не влияет на экзаменационную оценку. В результате интенсивность работы студентов в течение семестра низка, и предмет усваивается плохо. Понятно, что за несколько дней перед экзаменом студенту трудно усвоить курс, прочитанный за семестр.

С другой стороны, и преподавателю трудно объективно оценить все знания студента за 20 минут устного экзамена. Можно оценить лишь ответ на вопросы случайно выбранного билета и уже сложившееся впечатление о студенте, если экзаменует групповой преподаватель. Или, что еще хуже, внешнее впечатление, если экзаменатор не вел занятий в группе студента.

Устный экзамен, имеющий известные преимущества перед письменным экзаменом, плох тем, что не оставляет документальных результатов, открывая широкое поле субъективизму, доброкачественному и злокачественному. Поэтому расхоже мнение студентов об экзамене как лотерее, а объективность экзаменационной оценки не вызывает доверия, особенно у будущих работодателей.

Актуально изменение существующей системы контроля знаний с целью повышения



Рис.1 Контрольная работа в классе

регулярности работы студента в семестре и объективности ее оценки. Изменения, после которых преподаватель, оставаясь педагогом на занятиях, превратился бы из «вершителя судеб» на финальном экзамене в учителя и формального регистратора знаний на промежуточном контроле.

В течении десяти лет в одном из потоков ММФ при чтении курса Теоретической механики применялась такая система «распределенного экзамена». Ее суть состоит в отмене понятия «зачет», в оценке всех работ студента, и в вычислении экзаменационной оценки по всем текущим оценкам.

1. Обеспечение непрерывности образовательного процесса.

Дискретность еженедельных аудиторных занятий тормозит образовательный процесс, ограничивает свободу коммуникаций студента и преподавателя.

Студент должен иметь возможность в любое удобное для него время ознакомиться с материалами курса, получить консультацию, послать на проверку индивидуальное расчетное задание. Преподаватель со своей стороны должен иметь возможность проконсультировать студента или послать ему свои замечания по его работе в любое время, удобное для преподавателя.

Свободу коммуникаций предоставляют электронная почта, Teams, Whatsapp и порталы дистанционных образовательных технологий, например <https://stepik.org/a/71088>

Воспользоваться ими теперь в состоянии практически любой студент, поскольку у подавляющего большинства есть ноутбук с выходом в интернет.

Это позволяет студенту получить консультацию или замечания по расчетному заданию в течение 24 часов. При этом не нарушается частная жизнь преподавателя, поскольку письма студентов лежат в почтовом ящике и Whatsapp до момента, когда преподаватель туда заглянет, а связь по Teams доступна только в моменты, когда преподаватель туда войдет (это может быть специально оговоренное время).

Интенсивный обмен информацией создает интерактивную среду, в которой студент может быстро закончить правильное выполнение индивидуального расчетного задания.

2. Стимуляция работы студента в семестре

Система «распределенного экзамена» состоит в замене «зачетов» оценками по всем работам студента, включая его активность в аудитории и в домашней работе, в снятии ограничений на число переписываний контрольных работ и тестов с его учетом.

Планы работы, конспект лекций, примеры решения контрольных и заданий, таблица оценок Excel размещаются в Интернете.

Все оценки сводятся в одну таблицу Excel вида (фрагмент):

исправляемые		ведомость	расч. оценка	Расчет экзаменационной оценки							Расчет оц за самоот работу					данные						
формулы				онтрольные			Тесты				Самостоятельная работа	Инд задача 1	Инд задача 2	Дом -задач(30=5,4)	Понимание К+И	Активность	правильных ответов в Т3	прав ответов в мини тестах	дом задач	исправлений (к+и)	автографов	посещ. лекций
12.02.2014				K1 Пространство	K2 Плоское движ	K3 Составное движ	Тест1 Статика	Тест 2 Кинематика	Тест3 общий													
	гр.13325/1	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q							
1	АЛЫБАЕВА	2	2,9	5	5,0		2,7	2,0	2,0	4,4	5	5	2,0	4,8	3,6				1		11	
2	АНДРЮЩЕНКО	2	3,0	5	4,0		4,0	2,0	2,0	4,3	5	5	2,0	4,5	3,8				3		12	
3	АРТЕМЕНКО	2	3,3	5	5,0		2,0	5,0	2,0	4,4	5	5	2,0	5,0	3,5						10	
4	БАЛАБАНОВ	2	2,8	5	5,0		2,0	2,0	2,0	4,4	5	5	2,0	5,0	3,8						12	
5	БОРИСОВ	2	1,5	5			2,0		2,0	1,9	3		2,0	2,0	3,3				3		9	
Вес			3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1	20	7						

Таблица обновляется после каждого промежуточного контроля знаний.

Удачные ответы студента в аудитории учитываются в таблице оценок. Все работы письменные, их результаты хранятся до конца семестра. Все варианты работ имеют примерно равную сложность, их выполнение ограничено по времени, а случайные исходные данные препятствуют плагиату.

Большинство оценок студенты могут попытаться повысить до экзамена, но число попыток учитывается. Экзаменационная оценка вычисляется программой таблицы оценок по всем текущим оценкам с весами (множителями), назначенными преподавателем. Это позволяет преподавателю придавать акцент разным аспектам контроля знаний.

Анонимный опрос показал, что большинство студентов потока одобрили систему. Их активность и успеваемость заметно повысились, а напряжение на сессии уменьшилось. Поскольку экзаменационная оценка формируется из текущих оценок, то студент стремиться оперативно их исправлять. Имея перед собой все оценки и формулы, по которым они вычисляются, студент сам решает какие работы ему следует переписать.

Студент стремится раньше сдать расчетные задания, поскольку оценка ставится в зависимости от даты получения преподавателем правильно выполненного задания.

Наличие тренировочных задач способствует успешному написанию контрольных работ (до 90% успеха). К зачетной неделе многие студенты рассчитываются по большинству видов контроля.

Принцип оценивания работ, а не студента улучшает образовательную атмосферу и снижает вероятность апелляций. Кумулятивная экзаменационная оценка более объективно отражает работу студента в семестре.

В конце семестра студент решает согласиться ли с кумулятивной положительной оценкой без экзамена, или попытаться ее исправить выполнив задание по избранным разделам на экзамене во время сессии.

Анкетный анонимный опрос студентов показал, что 90% студентов одобряет систему распределенного экзамена.

3. Задания с самопроверкой снижают нагрузку преподавателя.

Отсутствие ограничений на число переписываний контрольных (это число, однако, отражено в оценке «понимание») приводит к существенному увеличению объема проверок работ преподавателем.

Выполнить такой объем работы за срок зачетной недели невозможно. Хотя система непрерывного образования распределяет эту работу по семестру более равномерно, однако проверить такое количество работ все равно трудно.

Выходом представляется переход на задания с самопроверкой, которая достигается двумя способами.

Получение решения двумя способами.

В заданиях, выполняемых в символьной форме на бумаге, предлагается, где возможно, получить ответ двумя способами. Так, задачи по статике в пространстве, плоскому движению твердого тела, кинематике составного движения точки решаются

векторным и матричным способами. Дифференциальные уравнения движения системы получают методами Ньютона и Лагранжа.

Сравнивая ответы, полученные двумя способами, студент судит об их правильности и сам ищет ошибки.

Электронные задачи с пошаговой проверкой и оценкой решения.

Время на проверку решений снижается радикально при переходе к электронным заданиям с самопроверкой. Конечно, создание одной такой задачи требует много времени домашней работы преподавателя. Однако это значительно меньше времени проверки сотен работ студентов.

Такие задачи можно разделить на задачи с *пошаговой* и *окончательной* оценкой решения.

Комплекты контрольных задач с пошаговой оценкой решения созданы в DOS по статике в пространстве и составному движению точки.

При решении задачи такого типа студент на каждом шаге знает о его правильности или ошибочности (звуковой сигнал и снижение оценки в правом верхнем углу).

Ссылки на комплекты контрольных задач и расчетных заданий по различным разделам Теоретической механики приведены в конце пособия.

1. Задачи по статике в пространстве в DOS

Задачи (Рис.2) предназначены как для самостоятельной работы, так и для контроля знаний.

При решении задачи такого типа студент на каждом шаге знает о его правильности или ошибочности (звуковой сигнал и снижение оценки в правом верхнем углу).

Решение начинается с построения связей с определенными реакцией.

Выберите
название
уравнения,
которое будете
составлять

$$M_y = +P \cdot 0,5AK \sin(a) - FKE \cos(a) + m \cos(a) - DzAK$$

Уравнение

проекции

моментов

относительно оси

на ось

относительно точки

Все уравнения составлены

x y z

A B D

$$M_y = +P \cdot 0,5AK \sin(a) - FKE \cos(a) + m \cos(a) - DzAK \sin(a) + N \cos(a)AB = 0$$

Рис.2

В точке А ставится сферический шарнир и задается вопрос: можно ли поставить еще один сферический шарнир, получив 6 неизвестных? Неправильный ответ снижает оценку в правом верхнем углу экрана.

Предлагается поставить цилиндрический шарнир в точке D. Задается вопрос: как нельзя направить ось шарнира? Затем аналогичный вопрос задается о направлении стержня в точке В.

После построения связей предлагается направить составляющие их реакций.

Затем начинается составление шести уравнений равновесия путем выбора знака, силы и множителей проекций и плеч. Процесс отображается в строке формул, и законченное уравнение переносится в архив (зеленой поле).

Закончив решение, студент во время подготовки и преподаватель при написании контрольной видят оценку, которая указывает на степень готовности студента к написанию контрольной.

Создано 12 подобных задач.

2. Задачи по статике в пространстве в EXCEL

На черновике изобразите рисунок. Реакции направьте **положительно** Разложите векторы, которые этого требуют Напишите уравнения

Заполните таблицу, используя обозначения

обозначения												оценка																	
Знаки			Sin α			Cos α			Sin β			Cos β			Длины			Если реакция существует, повторите ее имя в нижней ячейке											
+	-		Sa	Ca	Sb	Cb	AB	BC	CD								Xa	Ya	Za	Xc	Yc	Zc	Xd	Yd	Zd				
знак	сила	длина	знак	сила	длина	знак	сила	длина	знак	сила	длина	знак	сила	длина	знак	сила	длина	знак	сила	длина	знак	сила	длина	знак	сила	длина			
Vx	+	Xa				Za			Zc			+	Xd																
Vy		Xa				Za			Zc				Xd																
Vz		Xa				Za			Zc				Xd																
Mx		Xa				Za	BC		Zc				Xd																
My		Xa				Za	CD		Zc	CD			Xd	AB															
Mz	+	Xa	BC			Za			Zc				Xd																

Правильное решение:

Знаки												оценка																	
Знаки			Sin α			Cos α			Sin β			Cos β			Длины			Если реакция существует, повторите ее имя в нижней ячейке											
+	-		Sa	Ca	Sb	Cb	AB	BC	CD								Xa	Ya	Za	Xc	Yc	Zc	Xd	Yd	Zd				
знак	сила	длина	знак	сила	длина	знак	сила	длина	знак	сила	длина	знак	сила	длина	знак	сила	длина	знак	сила	длина	знак	сила	длина	знак	сила	длина			
Vx	+	Xa				Za			Zc			+	Xd																
Vy		Xa				Za			Zc				Xd																
Vz		Xa				Za			Zc				Xd																
Mx		Xa				Za	BC		Zc				Xd																
My		Xa				Za	CD		Zc	CD			Xd	AB															
Mz	+	Xa	BC			Za			Zc				Xd																

1

0,5

0,5

1

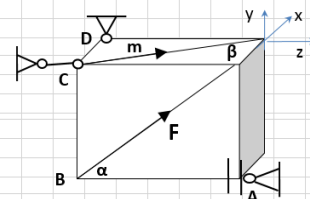


Рис.3

Задачи (Рис.3) предназначены как для самостоятельной работы, так и для контроля знаний.

В первом случае студент, закончив составление уравнений равновесия, студент выводит на экран оценку. При этом ошибочные ячейки окрашиваются в розовый цвет, и студент имеет возможность исправить ошибки, зная где их искать.

После решения контрольной задачи, преподаватель вводит секретный код в секретную ячейку. Поля с ошибками окрашиваются в розовый цвет. Преподаватель и студент обсуждают ошибки решения, что является элементом интерактивного индивидуального обучения, позволяющего студенту быстрее освоить материал.

Создано 16 подобных задач.

3. Индивидуальное задание по статике системы двух тел в EXCEL

Исходные данные задания (Рис.4) и наборы требуемых уравнений являются случайными из заданного диапазона.

Шесть уравнений равновесия переносятся студентом из пояснительной записки в поле 2. Далее студент заносит имена неизвестных в заданном порядке в первую строку

1. Скопируем точно в эти ячейки сюда данные примера

Группа	13322/5	P_1	β	M	q	a	P_2	γ
a		и	град	м	кН/м	град	н	град
м	4	3	45	3	1	45	2	45

Составить уравнения:
BC: V_x, V_y, M_b AC: V_x, M_a, M_c
Сделать проверку для ACB: V_x, M_b, M_c

Имена данных для символьных вычислений

a	P	KE	P_1	β	M	q	α	P_2	γ
a	P	KE	P_a	b	M	q	a1	P_b	g

Имена решений для символьных вычислений

Q_1	$\sin a$	$\cos a$	$\sin b$	$\cos b$	$\sin(a-b)$	$\cos(a-b)$	$\sin \gamma$	$\cos \gamma$
Q_1	Sa	Ca	Sb	Cb	Sab	Cab	Sg	Cg

Имена реакций для символьных вычислений

X_b	Y_b	M_b	X_c	Y_c	M_c	X_a	Y_a	M_a
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

2. Помещаем сюда скриншот уравнений равновесия стержней BC и AC из пояснительной записки

3. Переносим формулы коэффициентов из уравнений равновесия в ячейки таблицы

Располагаем 6 имен реакций связей в требуемом порядке: $X_b, Y_b, M_b, X_c, Y_c, M_c$. При правильном имени ячейка ее окраска исчезла.

Имена	N_b	X_c	Y_c	N_a	Y_a	M_a	P_a	Q	M	
V_x	-Sin a1	1	0	0	0	0	-Pa Cos b	0	0	0
V_y	Cos a1	0	1	0	0	0	-Pa Sin b	-Q	0	0
M_b	0	0	2a	0	0	0	Pa Sin b 2a	-Qa	0	0

BC

Имена	N_b	X_c	Y_c	N_a	Y_a	M_a	P_a	Q	M	
V_x	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0
M_a	0	-2a	2a	0	0	1	0	0	M	0
M_c	0	0	0	-2a	-2a	1	0	0	M	0

AC

4. Вычисляем значения необходимых величин, пользуясь именами данных 1). Полученным значениям присваиваем имена (в голубых ячейках)

Имена	Q_1	$\sin a$	$\cos a$	$\sin b$	$\cos b$	$\sin(a-b)$	$\cos(a-b)$
Q_1	0.85	0.53	0.85	0.53	0.53	0.53	0.53

5. По выражениям элементов матрицы 3 вычисляем их значения, пользуясь именами пунктов 1, 3 и 4

Имена	N_b	X_c	Y_c	N_a	Y_a	M_a	P_a	Q	M	правая часть
V_x	-0.8509	1	0	0	0	0	-1.6	0.0	0	1.6
V_y	0.52532	0	1	0	0	0	-2.6	-8	0	10.6
M_b	0.0	0	8	0	0	0	20.4	-32	0	11.6
V_x	0	-1	0	1	0	0	0.00	0	0	0
M_a	0	-8	8	0	0	1	0	0	3	-3
M_c	0	0	0	-8	-8	1	0	0	3	-3

6. Решение и определитель матрицы системы вычисляются автоматически. Перенесим решение

Имена	N_b	X_c	Y_c	N_a	Y_a	M_a
N_b	17.3					
X_c	16.3					
Y_c	1.4					
N_a	16.3					
Y_a	-1.4					
M_a	116.0					
Δ	-34					

Как вычислять элементы матрицы с помощью имен переменных
Пусть нам нужно вычислить формулу: $-P_1 \sin(a-b) \cdot 4a \cdot \cos a$ из В желтой ячейке пишем: $-Pa \cdot Sab \cdot 4 \cdot Ca$
Коэффициент при реакции Y_a : $4a - 7a \sin a$ из пункта 3 вычисляем
В желтой ячейке пишем: $-4 \cdot a - 7 \cdot a \cdot Sa$
Не следует проводить вычисления на калькуляторе и подставлять значения.

Рис.4

таблицы 3. Ячейка с неправильным именем окрашивается в розовый цвет, и студент исправляет ошибку. Программа определяет ошибку, сравнивая введенное значение с образцовым решением, расположенным в скрытой части листа.

По уравнениям таблицы 2 студент заполняет ячейки шести уравнений равновесия 3 выражениями коэффициентов уравнений.

В таблице 4 выполняются вспомогательные вычисления.

В таблицу 5 студент подставляет численные значения коэффициентов уравнений. При отклонении значений выше допустимого соответствующая ячейка таблицы 3 окрашивается в розовый цвет.

Программа решает алгебраическую систему. Студент подставляет найденные значения в составленные им уравнения равновесия всей системы. При их удовлетворении задача считается решенной.

Задание посылается преподавателю по электронной почте после того, как исчезли все розовые поля, или, когда студент не в силах сам найти ошибку.

Создано 28 вариантов заданий со случайными данными.

4. Задачи по кинематике плоского механизма в EXCEL

Задачи (Рис.5) предназначены как для самостоятельной работы, так и для контроля знаний.

В первом случае поле ошибочно введенного значения окрашивается в розовый цвет.

Программа определяет ошибку, сравнивая введенное значение с образцовым решением, расположенным в скрытой части листа.

Во втором случае, ошибки и оценка появляются после введения преподавателем

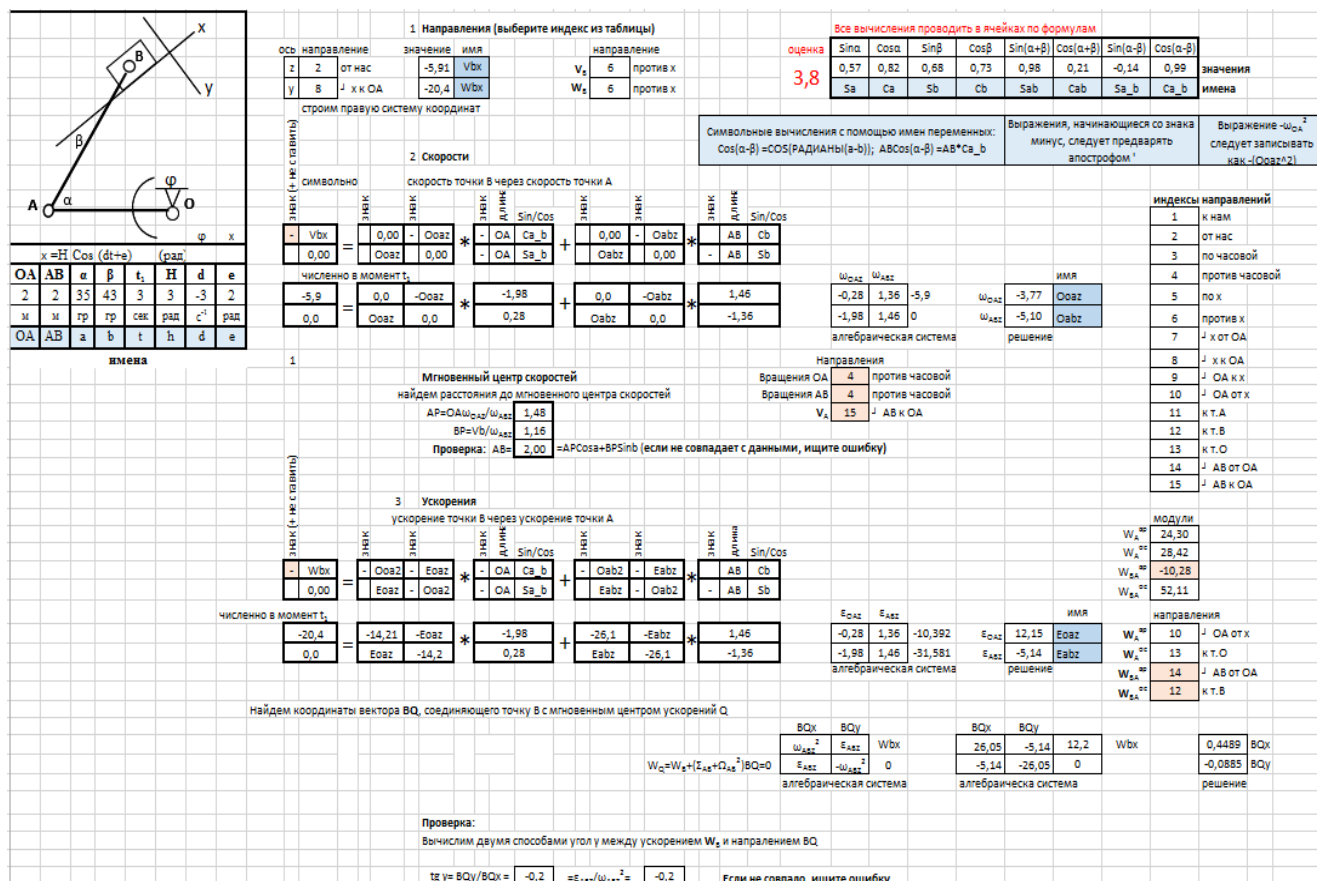


Рис.5

секретного кода.

Студент должен вычислить и правильно направить векторы угловых скоростей звеньев, скоростей и составляющих ускорений шарниров. Каждая ошибка имеет свой вес, который используется при вычислении оценки за работу.

Создано 12 подобных задач со случайными исходными данными.

5. Задачи по кинематике составного движения точки в DOS

Задачи (Рис.6) построены аналогично задачам DOS по статике в пространстве. Требуется по знаку производных выбрать направления угловой скорости тела, относительной и переносной скорости, относительного, переносного и кориолисова ускорения точки.

Внимательно
прочитайте
условия задачи
и нажмите
любую клавишу

текущая оценка 5

$\phi = t^3 - 8t$ $t = 1с$
 $OM = 2\pi R / 3 \cdot \sin(\pi t / 6)$

Точка М движется по дуге ОМ окружности канала в пластине, вращающейся вокруг оси z по закону $\phi(t)$.
Найти проекции абсолютной скорости и ускорения точки М на оси x, y, z в момент времени $t=1с$, следуя указаниям программы.

Нажмите любую клавишу ...

Рис.6

6. Задачи по кинематике составного движения точки в XCEL

направление осей		1 Направления (выберите индекс из таблицы)		направления векторов	
z	1	ω _z	Om	ω	2
x	11	ε _z	Ep	ε	1
		x	81,00	V _x	3
		V _{ox}	81,00	W _x	3
		W _{ox}	54	W _e ^{sp}	8
		W _{oxy}	961,66	W _e ^{oc}	9
		ω _z ²	Om ²	W _z	5

Формулы

V _x	=	0	-Om	0	*	x-b*Ca	+	V _r	
V _y	=	Om	0	0	*	b*Sa	+	0	
V _z	=	0	0	0	*	0	+	0	

Числа (нули вводить)

V _x	=	0	-5,936	0	*	79,00	+	81	=	60,437
V _y	=	5,936	0	0	*	3,46	+	0	=	468,96
V _z	=	0	0	0	*	0	+	0	=	0

Формулы

W _x	=	-Om ²	-Ep	0	*	x-b*Ca	+	W _r	+	2
W _y	=	Ep	-Om ²	0	*	b*Sa	+	0	+	2
W _z	=	0	0	0	*	0	+	0	+	2

Числа (нули вводить)

W _x	=	35,24	1,75	0	*	79,00	+	54	+	2
W _y	=	-1,75	35,24	0	*	3,46	+	0	+	2
W _z	=	0	0	0	*	0	+	0	+	2

Рис.7

Задачи (Рис.7) построены аналогично задачам на кинематику плоского движения.

Требуется вычислить и направить векторы угловой скорости и ускорения тела, относительной и переносной скорости, относительного, переносного и кориолисова ускорения точки.

7. Excel тесты по статике, кинематике и динамике.

Поскольку на каждый вопрос выпадает до 20 ответов по данному разделу, то вероятность правильного случайного ответа мала.

	КИНЕМАТИКА ТОЧКИ	Выберите ответ из выпадающего списка
1	При движении по кабине колеса обозрения кориолисово ускорение равно	
2	Главная нормаль направлена	во вне траектории
3	Если касательное ускорение точки равно нулю, то она движется	равномерно по прямой
4	Как направлена производная вектор - функции по скалярному аргументу?	равно нормальному ускорению
5	Где при движении по меридиану кориолисово ускорение обратится в ноль	несущее тело движется поступательно
6	Ускорение точки, движущейся по окружности не может обратиться в ноль потому что	по вектору
7	Теорема о сложении ускорений	противоположного знака, чем первая производная
8	Если годографом скорости точки является точка, то точка движется..	нормальное ускорение равно нулю
9	Точка движется равно-переменно, если	
10	Векторная формула Кориолисова ускорения	
11	Если годограф скорости точки лежит на сфере, то точка движется..	
12	Теорема о сложении скоростей	
13	По какой траектории движется точка, если её нормальное ускорение равно нулю?	
14	Если скорость точки направлена противоположно ее касательному ускорению, то точка движется	

8. Заключение

Электронные задачи с пошаговой проверкой и оценкой решения позволяют:

- создавать неограниченное количество вариантов со случайными исходными данными, что препятствует плагиату,
- хранить результаты контроля сколь угодно долго,
- оживить процесс обучения,
- сократить время и повысить точность проверки работы преподавателем,
- сделать оценку работы более объективной и
- повысить успеваемость.

9. Ссылки на авторские комплекты контрольных задач и расчетных заданий по различным разделам Теоретической механики

- Комплекты контрольных Excel задач по статике в пространстве
<https://disk.yandex.ru/d/1BEvxfJJMTK-IA>

- Инструкция по установке и комплект DOS задач по статике в пространстве и кинематике составного движения точки
<https://disk.yandex.ru/d/FWEBFJPcD3NvyA>
- Комплект расчетных Excel заданий на плоскую систему двух тел
<https://disk.yandex.ru/d/SSqHkhDWVsfqHg>
- Комплект расчетных Excel заданий на кинематику плоского механизма
<https://disk.yandex.ru/d/-VD2F0MKgSd31A>
- Комплект расчетных Excel заданий на кинематику составного движения точки https://disk.yandex.ru/d/KUS3FkBiatmT_A
- Excel тесты по статике, кинематике и динамике
<https://disk.yandex.ru/i/weHla0YfOzY4Hg>