

МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ ОЛИМПИАДЫ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКЕ – 2009

ISBN 978-985-468-707-0. Механика. Научные исследования
и учебно-методические разработки. Вып. 4. Гомель, 2010

УДК 378.141.2/.5:531

А. О. ШИМАНОВСКИЙ, О. И. ЯКУБОВИЧ

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель

ИТОГИ МЕЖДУНАРОДНОЙ ОЛИМПИАДЫ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКЕ 2009 года

Приведена информация о Международной олимпиаде по теоретической механике 2009 года, состоявшейся 20–23 апреля в Белорусском государственном университете транспорта: список участников, условия и решения задач, результаты олимпиады. Сделан анализ решений задач теоретического и командного конкурсов олимпиады.

Международная олимпиада по теоретической механике состоялась в БелГУТе уже пятый раз [1–4]. В 2009 году впервые приехали к нам представители Казахстана и Польши. Таким образом, за прошедшие годы в проводимом нами соревновании приняли участие 460 студентов из 5 государств. В таблице 1 приведена краткая информация, характеризующая динамику участия различных вузов в наших олимпиадах.

Таблица 1 – Динамика проведения международных олимпиад в БелГУТе

Год	Число вузов-участников	Число стран-участниц	Число студентов	Команд в конкурсе «Брейн-ринг»	Средний балл первых 10 участников
2005	15	2	64	20	28,5
2006	14	3	66	21	23,5
2007	24	3	106	33	31,9
2008	25	3	109	34	31,3
2009	30	5	115	39	36,6

Олимпиада 2009 года по-прежнему включала два конкурса: теоретический (лично-командный) и «Брейн-ринг» (командный). На теоретическом конкурсе участникам олимпиады предлагались восемь задач (две по статике, две по кинематике и четыре по динамике), на решение которых отводилось 4 часа. Проверка работ осуществлялась жюри, в состав которого были включены преподаватели вузов – участников олимпиады. Победитель в командном зачете определялся по сумме трех лучших результатов представителей вуза. В конкурсе «Брейн-ринг» командам, состоящим из трех студентов, на 60 минут предлагались для решения тридцать минизадач – по десять соответственно по статике, кинематике и динамике. Команда-победитель определялась по сумме правильных ответов (решения не проверялись), причем при равном количестве правильных ответов изначально предполагалось предпочтение отдавать студентам, которые раньше сдали свою работу. Однако из-за большого количества участников конкурса их не удалось разместить в одной аудитории. Поэтому жюри приняло решение о присуждении одинакового места командам, давшим одинаковое число правильных ответов. Студентам, не согласным с оценкой их решений задач теоретического конкурса, была предоставлена возможность апелляции.

Анализ решений задач олимпиады показал, что наибольшее число участников взяли за задачи по статике и кинематике, в то же время каждую задачу по динамике решали в среднем около половины студентов (рисунок 1). Эффективность решения задач различалась весьма существенно, что видно из той же диаграммы по количеству человек, попавших в определённый диапазон по числу набранных баллов.

Лучше всего была решена задача С-1, по которой полный балл набрали 10 участников. В то же время задачу Д-4 полностью не решил никто. Почти никто из конкурсантов не заметил того, что первое вертикальное положение стержня может быть как верхним, так и нижним.

Как и на всех предыдущих олимпиадах лидеры значительно оторвались по числу набранных ими баллов от остальных участников. Отметим, что впервые победителю олимпиады П. Мостовых (БГТУ Воентех) удалось решить все задачи (некоторые – лишь с небольшими недочетами).

В конкурсе «Брейн-ринг» значительную часть представленных задач составляют типовые. В 2009 году в отличие от предыдущих каждую задачу решили по крайней мере несколько команд.

В рамках олимпиады состоялся научно-методический семинар преподавателей вузов, на котором преподаватели обменялись опытом организации учебно-методической и научной работы на кафедрах теоретической механики вузов разных государств.

Организаторы олимпиады надеются, что накопившийся опыт проведения соревнований студентов по теоретической механике будет положен в основу организации очередных международных олимпиад по теоретической механике.

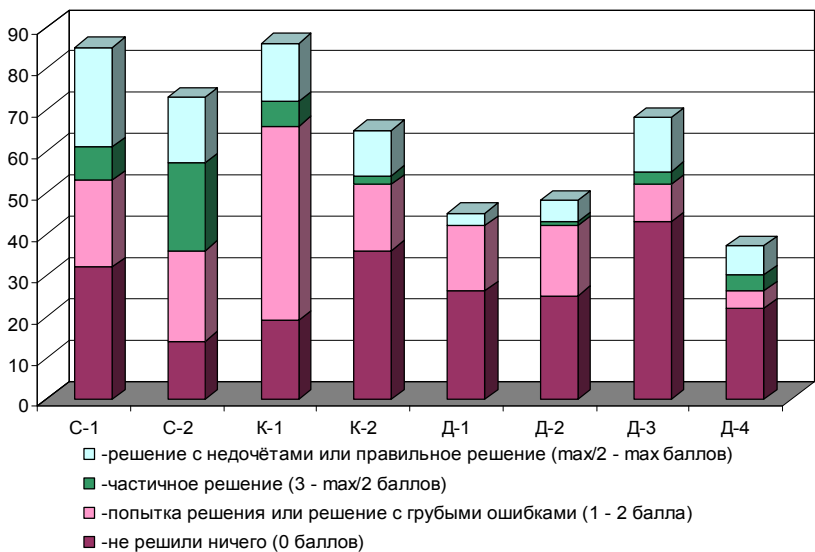


Рисунок 1 – Распределение числа набранных баллов по задачам

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Механика. Теория, задачи, учебно-методические разработки : сб. науч. тр.– Гомель : БелГУТ, 2006. – 144 с.

2 Механика. Научные исследования и учебно-методические разработки: междунар. сб. науч. тр. / М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. –Гомель : БелГУТ, 2007. – Вып. 1. – 107 с.

3 Механика. Научные исследования и учебно-методические разработки: междунар. сб. науч. тр. / М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. –Гомель : БелГУТ, 2008. – Вып. 2. – 148 с.

4 Механика. Научные исследования и учебно-методические разработки: междунар. сб. науч. тр. / М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. –Гомель : БелГУТ, 2009. – Вып. 3. – 242 с.

A. O. SHIMANOVSKY, O. I. YAKUBOVICH INTERNATIONAL ENGINEERING MECHANICS CONTEST 2009 RESULTS

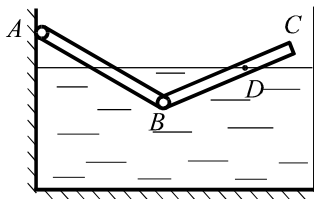
There is the information about International Engineering Mechanics Contest 2009, 20-23 April, Belarusian State University of Transport: list of participants, problem situations and solutions, Contest results, the Theory and Team Contests task/problem solutions analyses.

Получено 21.09.2009

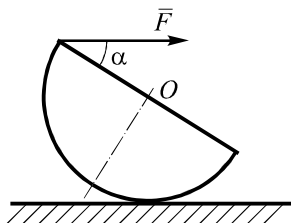
1 УСЛОВИЯ ЗАДАЧ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО КОНКУРСА

Задача С1–2009 (7 баллов)

Два соединенных между собой с помощью шарнира одинаковых однородных стержня длины l , шарнирно прикрепил к точке A стенки сосуда, заполненного жидкостью. При этом в положении равновесия стержень AB оказался погруженным в жидкость ровно до середины. Определить длину участка CD стержня CB , находящуюся над поверхностью жидкости при равновесии системы.



Задача С2–2009 (10 баллов)

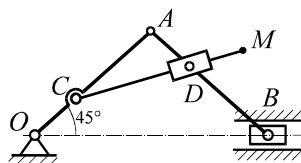


Изображенный на схеме полуцилиндр опирается на шероховатую поверхность и нагружен некоторой горизонтальной силой F . Коэффициент трения между полуцилиндром и плоскостью равен f . Плотность цилиндра изменяется по линейному закону в зависимости от расстояния от рассматриваемой точки полуцилиндра до центра O . Причем, плотность материала у криволинейной

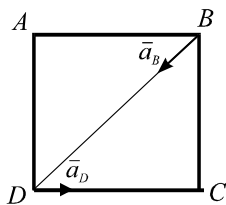
поверхности в 2 раза больше плотности в точке O . Определить максимальное значение угла α при равновесии системы.

Задача К1–2008 (8 баллов)

В изображенном на рисунке механизме $OC = AD = l$, $OA = AB = CM = 3l$. Кривошип OA вращается с постоянной угловой скоростью ω . Для указанного на рисунке положения определить скорость точки M .



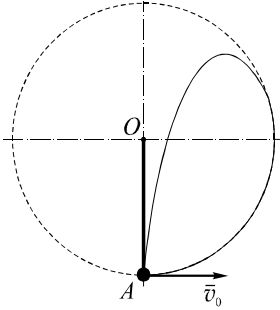
Задача К2–2009 (6 баллов)



Квадратная пластина перемещается в своей плоскости, причем в данный момент времени скорости точек A , B и D одинаковы по величине. Ускорения точек B и D также одинаковы, и их векторы направлены так, как это показано на рисунке.

Найти, во сколько раз отличаются скорости точек A и C , а также отношение их ускорений.

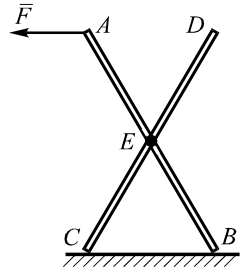
Задача Д1–2009 (6 баллов)



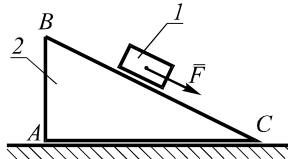
Груз подвешен на невесомой нити длины l , другой конец которой прикреплен к неподвижной точке O . В начальный момент времени нить находилась в нижнем вертикальном положении OA , и грузу была сообщена некоторая начальная скорость v_0 . При последующем движении в некоторый момент нить ослабилась, и груз начал свободное движение. Найти, при какой начальной скорости v_0 нить снова окажется натянутой именно в тот момент, когда груз вернется в исходную точку A .

Задача Д2–2009 (7 баллов)

X-образная конструкция массой m , состоящая из двух одинаковых жестко соединенных стержней, установлена на гладкий горизонтальный пол. $AE = BE = BC = CE = ED$. В некоторый момент времени к точке A приложили силу F . Найти значение этой силы, если известно, что в первый момент после начала ее действия ускорение точки A оказалось в 4 раза больше ускорения точки C .



Задача Д3–2009 (6 баллов)

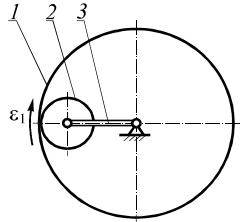


Груз 1 массы m скользит по боковой грани призмы 2 массы $2m$, перемещающейся по горизонтальной плоскости. К грузу приложена сила F , параллельная грани BC призмы 2. Трение между телами отсутствует. Призма может быть изготовлена с разными соотношениями между длинами ее ребер AB и AC . Определить максимально возможное при этом ускорение призмы 2.

Определить максимально возможное при этом ускорение призмы 2.

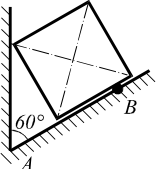
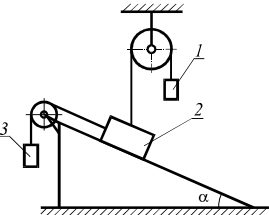
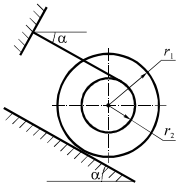
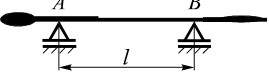
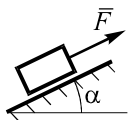
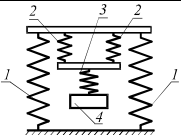
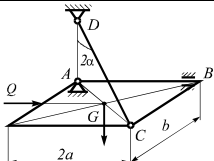
Задача Д4–2009 (8 баллов)

В планетарном механизме, расположенном в вертикальной плоскости, центральное колесо 1 радиусом R движется с постоянным угловым ускорением ε_1 . Колесо 2, которое представляет собой однородный диск радиусом r , перекачивается без скольжения по внутренней поверхности центрального колеса 1. В некоторый момент времени кривошип 3, шарнирно связанный с центром колеса 2, занимает горизонтальное положение. В этот момент скорости всех точек системы равны нулю. Пренебрегая массой кривошипа, определить его угловую скорость в тот момент, когда он первый раз займет вертикальное положение.

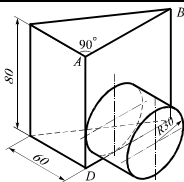


2 УСЛОВИЯ ЗАДАЧ КОНКУРСА «БРЕЙН-РИНГ»

СТАТИКА

	<p>1. Куб удерживается в равновесии при помощи гладких вертикальной и наклонной плоскостей. Определить расстояние AB от вершины угла до точки приложения реакции наклонной плоскости, если длина ребра куба 20 см.</p>
	<p>2. В изображенной на рисунке системе массы тел 2 и 3 m_2 и m_3 соответственно. Угол наклона плоскости к горизонту α. Пренебрегая трением, найти массу тела 1, при которой система будет находиться в равновесии.</p>
	<p>3. Определить минимальное значение коэффициента трения, при котором каток с радиусами r_1 и r_2 будет находиться в равновесии. Угол α известен.</p>
	<p>4. Неоднородный стержень лежит на двух гладких опорах A и B. Реакция опоры A в два раза больше реакции опоры B. Расстояние между опорами l. На какое максимальное расстояние можно сместить влево правую опору, чтобы стержень при этом остался в равновесии?</p>
	<p>5. На плоскости, составляющей угол $\alpha = 30^\circ$ с горизонталью, находится груз с весом 4 Н. К грузу приложена сила $F = 1,5$ Н, параллельная наклонной плоскости. Коэффициент трения $f = 0,5$. Найти значение силы трения груза о плоскость.</p>
	<p>6. Груз 4 подвешен к системе пружин, коэффициенты жесткости которых $c_1 = 1$ кН/м; $c_2 = 0,5$ кН/м; $c_3 = 1$ кН/м. Определить коэффициент жесткости эквивалентной пружины, которой можно заменить изображенную на рисунке систему.</p>
	<p>7. Однородная прямоугольная пластина с размерами $2a$, b и весом G удерживается в равновесии сферическим шарниром A, цилиндрическим шарниром B и стержнем CD, составляющим угол 2α с вертикалью. Найти реакцию цилиндрического шарнира B.</p>

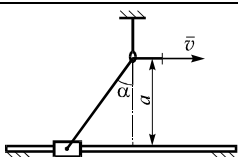
8. Из трех однородных стержней длиной l каждый составлен треугольник. Одну сторону удалили. Насколько при этом изменится положение центра тяжести фигуры?



9. Однородное тело, размеры которого указаны на рисунке, подвешивают за ребро AB так, что оно занимает горизонтальное положение. Какой должна быть высота цилиндра h , чтобы плоскость $ABCD$ была при этом вертикальной? $AB = 90$ мм.

10. При равновесии над поверхностью жидкости находится $1/6$ длины стержня. Каково отношение $\rho_{ж}/\rho_{ст}$ плотности жидкости к плотности погруженного в нее стержня.

КИНЕМАТИКА

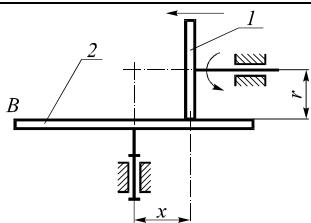


11. К ползуну, который может перемещаться по направляющей рейке, прикреплен шнур, продетый через кольцо. Шнур выбирают со скоростью v . Определить скорость ползуна в момент, когда шнур составляет с вертикалью угол α .

12. За какую секунду от начала движения путь, пройденный точкой в равноускоренном движении, вдвое больше пути, пройденного в предыдущую секунду, если движение происходит без начальной скорости?

13. При угловой скорости, равной 4π рад/с, началось равнопеременное торможение диска. Сделав десять оборотов, диск остановился. Определить его угловое ускорение.

14. Диск радиусом 5 см вращается так, что его угловая скорость изменяется по закону $\omega = \pi(6t - t^2)$ рад/с. Найти наибольшую линейную скорость точки обода диска при этом движении.



15. В фрикционном механизме вал 1 радиусом r вращается с постоянным угловым ускорением ϵ_1 и одновременно перемещается в направлении, указанном стрелкой. При каком законе изменения расстояния x диск 2 будет вращаться с постоянной угловой скоростью ω_2 , если в начальный момент времени $x_0 = a$?

16. Автомобильное колесо катится по плоскости без проскальзывания. По его поверхности перемещается точка M . Изобразите на рисунке, как должен быть направлен вектор относительной скорости точки M , чтобы отсутствовало ускорение Кориолиса.

	<p>17. Для изображенного на рисунке положения механизма найти, во сколько раз скорость точки C больше скорости точки A?</p>
	<p>18. Стержень OA вращается вокруг оси z по закону $\varphi = \varphi_0 e^{-\alpha t}$ (φ_0 и α – постоянные). Вдоль стержня, наклоненного к вертикали под углом β, движется колечко M. Определить закон изменения относительной скорости колечка, если его ускорение Кориолиса постоянно по величине и равно a_k.</p>
	<p>19. В изображенном на рисунке положении механизма $\omega_1 = 5 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$; $R = 5$ см; $OC = 3$ см. Определить v_2.</p>
	<p>20. Диск радиусом R обкатывает неподвижный диск радиусом $2R$. При этом центр малого диска совершает один полный оборот вокруг центра большого диска. Сколько раз обернется малый диск вокруг своей оси?</p>

ДИНАМИКА

<p>21. На трамвай массой $m = 20000$ кг, находящийся в покое на горизонтальном пути, начинает действовать сила тяги, изменяющаяся по закону $F = 4000t$ Н. Движению трамвая препятствуют силы сопротивления, причем приведенный коэффициент трения $f = 0,02$. Определить скорость трамвая в момент времени $t = 2$ с.</p>	
	<p>22. Ползун M массой 20 кг перемещается вверх с ускорением $a = 2 \text{ м/с}^2$ вдоль вертикального стержня AB под действием силы Q, направленной под углом $\alpha = 45^\circ$ к стержню. Определить значение силы Q, если коэффициент трения $f = 0,2$.</p>

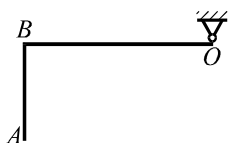
23. Человек сидит на краю круглой горизонтальной платформы радиусом $R = 4$ м. Сколько оборотов в минуту должна делать платформа вокруг вертикальной оси, чтобы человек не смог удержаться на ней при коэффициенте трения $f = 0,27$?

24. С каким ускорением движется центр масс сплошного однородного цилиндра, катящегося без скольжения по наклонной плоскости, составляющей угол α с горизонтом. Сопротивлением качению пренебречь.

25. Во сколько раз необходимо увеличить мощность двигателя теплохода для того, чтобы его скорость возросла в 2 раза, если сила сопротивления воды движению теплохода растет пропорционально квадрату скорости?

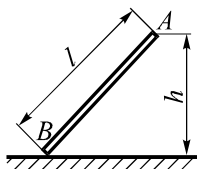
26. Груз, рассматриваемый как материальная точка, прикреплен к свободному концу невесомой нерастяжимой нити, второй конец которой неподвижен. Груз выводят из положения устойчивого равновесия, так что нить занимает горизонтальное положение, и отпускают без начальной скорости.

Определить, какому углу отклонения нити от вертикали в процессе движения соответствует наибольшая проекция скорости на вертикальную ось.

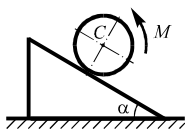


27. Однородный Г-образный стержень постоянного поперечного сечения с длинами элементов l и $2l$ расположен в вертикальной плоскости так, что его большая сторона горизонтальна.

Определить угловое ускорение стержня в этом положении.



28. Находящийся на гладком горизонтальном полу однородный стержень длиной l отпускают без начальной скорости из положения, в котором точка A находится на высоте h над плоскостью. Определить горизонтальное перемещение точки B к моменту соприкосновения точки A с полом.



29. Колесо катится со скольжением по плоскости, наклоненной под углом α к горизонту под действием приложенного к нему вращающего момента M . Найти ускорение центра масс C колеса, если коэффициент трения скольжения равен f .

30. Шарик массой m_1 , двигающийся со скоростью v_1 , совершает неупругий центральный удар по покоящемуся шару массой m_2 . Определить сумму работ всех сил, совершенную за время удара.

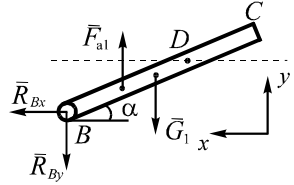
3 РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО КОНКУРСА

Задача С-1-2009

Рассмотрим равновесие правого стержня:

$$\begin{aligned} \sum F_{ix} = 0; \quad R_{Bx} = 0; \\ \sum F_{iy} = 0; \quad F_{a1} - R_{By} - G = 0; \end{aligned} \quad (1)$$

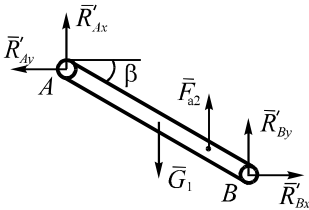
$$\sum M_{iB} = 0; \quad -G_1 \frac{l}{2} \cos \alpha + F_{a1} \frac{x}{2} \cos \alpha = 0, \quad (2)$$



где $l = BC$; $x = BD$; $F_{a1} = \rho_{ж} A x g$; $\rho_{ж}$ – плотность жидкости; A – площадь поперечного сечения.

Для левого стержня с учетом $R'_{Bx} = 0$ имеем:

$$\sum M_{iA} = 0; \quad -G_2 \frac{l}{2} \cos \beta + F_{a2} \frac{3l}{4} \cos \beta + R'_{By} l \cos \beta = 0. \quad (3)$$



Поскольку $F_{a2} = \frac{1}{2} \rho_{ж} A l g$; $G_2 = G_1 = G$, то

$$\text{из (2) имеем } G l = \rho_{ж} A x^2 g; \quad G = \frac{\rho_{ж} A x^2 g}{l}.$$

$$\text{Из (1) } R_{By} = F_{a1} - G_1 = \rho_{ж} A x g - \frac{\rho_{ж} A x^2 g}{l}.$$

$$\text{Из (3) } R_{By} = \frac{G_2}{2} - F_{a2} \cdot \frac{3}{4} = \frac{\rho_{ж} A x^2 g}{2l} - \frac{3}{8} \rho_{ж} A l g.$$

$$\text{Следовательно, } \rho_{ж} A x g - \frac{\rho_{ж} A x^2 g}{l} = \frac{\rho_{ж} A x^2 g}{2l} - \frac{3}{8} \rho_{ж} A l g;$$

$$8xl - 8x^2 = 4x^2 - 3l^2;$$

$$12x^2 - 8xl - 3l^2 = 0;$$

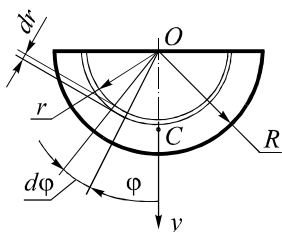
$$x = \frac{8l \pm \sqrt{64l^2 + 144l^2}}{24} = \frac{2l \pm \sqrt{13}l}{6}.$$

$$\text{Так как } x > 0, \text{ то } x = \frac{2 + \sqrt{13}}{6} l; \quad \boxed{CD = l - x = \frac{4 - \sqrt{13}}{6} l.}$$

Задача С2-2009

В соответствии с условием плотность цилиндра на расстоянии r от оси O описывается выражением

$$\rho = \rho_0 + kr.$$



Поскольку на криволинейной поверхности $\rho = 2\rho$, то

$$2\rho_0 = \rho_0 + kR; \quad k = \frac{\rho_0}{R}.$$

Следовательно, $\rho_0 = \rho_0 + \frac{\rho_0}{R} r$.

Выразим через ρ массу полуцилиндра

$$\begin{aligned} m &= \int \rho dA \cdot h = \iint_{(A)} \left(\rho_0 + \frac{\rho_0}{R} r \right) r d\varphi dr \cdot h = h \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} d\varphi \int_0^R \left(\rho_0 + \frac{\rho_0}{R} r \right) r dr = \\ &= h \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \left(\rho_0 \frac{R^2}{2} + \frac{\rho_0}{R} \frac{R^3}{3} \right) d\varphi = h \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \rho_0 R^2 \frac{5}{6} d\varphi = \frac{5}{6} \rho_0 R^2 h \cdot \pi. \end{aligned}$$

Расстояние от центра O до центра тяжести полуцилиндра

$$\begin{aligned} OC &= \frac{\int y dm}{m} = \frac{\int r \cos \varphi \cdot \rho dA h}{m} = \frac{h}{m} \iint_{(A)} r \cos \varphi \left(\rho_0 + \frac{\rho_0}{R} r \right) r d\varphi dr = \\ &= \frac{h}{m} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos \varphi d\varphi \int_0^R \left(\rho_0 r^2 + \frac{\rho_0}{R} r^3 \right) dr = \frac{h}{m} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos \varphi d\varphi \left(\rho_0 \frac{R^3}{3} + \frac{\rho_0}{R} \frac{R^4}{4} \right) = \\ &= \frac{h}{m} \rho_0 R^3 \cdot \frac{7}{12} \sin \varphi \Big|_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} = \frac{7}{6} \frac{h}{m} \rho_0 R^3 = \frac{7}{6} \frac{h \rho_0 R^3}{\rho_0 R^2 h \pi \frac{5}{6}} = \frac{7R}{5\pi}. \end{aligned}$$

Уравнения равновесия полуцилиндра

$$\sum F_{ix} = 0; \quad F - F_{\text{тр}} = 0; \quad (1)$$

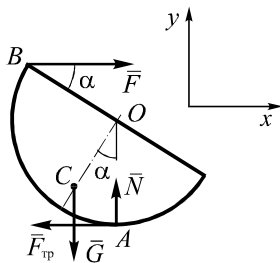
$$\sum F_{iy} = 0; \quad N - G = 0; \quad (2)$$

$$\sum M_{iA} = 0; \quad G \cdot OC \sin \alpha - F \cdot (OB \sin \alpha + OA) = 0. \quad (3)$$

Из (1) получаем: $F_{\text{тр}} = F$, из (2) — $N = G$.

$$\text{Из (3)} \quad F = \frac{G \cdot OC \sin \alpha}{OB \sin \alpha + OA} = \frac{G \cdot OC \sin \alpha}{R(1 + \sin \alpha)}.$$

При равновесии $F_{\text{тр}} \leq fN$, т. е. $F_{\text{тр}} \leq fG$. Отсюда,



$$\frac{G \cdot OC \sin \alpha}{R(1 + \sin \alpha)} \leq fG; \quad \frac{7R}{5\pi} \sin \alpha \leq fR(1 + \sin \alpha);$$

$$7 \sin \alpha - 5f\pi \sin \alpha \leq 5f\pi; \quad \sin \alpha \leq \frac{5f\pi}{7 - 5f\pi}.$$

$$\alpha_{\max} = \arcsin \frac{5f\pi}{7 - 5f\pi}.$$

Задача К1-2009

Запишем выражения координат точки М для произвольного угла φ :

$$x_M = OC \cos \varphi + CM \cos \alpha;$$

$$y_M = OC \sin \varphi + CM \sin \alpha.$$

Дифференцируя их по времени, имеем:

$$v_{xM} = -OC \sin \varphi \cdot \dot{\varphi} - CM \sin \alpha \cdot \dot{\alpha};$$

$$v_{yM} = OC \cos \varphi \cdot \dot{\varphi} - CM \cos \alpha \cdot \dot{\alpha}.$$

Из схемы механизма следует, что $CK \cdot \operatorname{tg} \alpha = DK$, но

$$CK = CA \cos \varphi + AD \cos \varphi = 3l \cos \varphi; \quad DK = AC \sin \varphi - AD \sin \varphi = l \sin \varphi,$$

поэтому

$$3l \cos \varphi \cdot \operatorname{tg} \alpha = l \sin \varphi; \quad 3 \operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \varphi.$$

Отсюда, дифференцируя по времени, получаем:

$$3 \frac{\dot{\alpha}}{\cos^2 \alpha} = \frac{\dot{\varphi}}{\cos^2 \varphi}.$$

В заданном положении $\varphi = 45^\circ$, соответственно

$$CK = 3l \cos \varphi = 3l \frac{\sqrt{2}}{2}; \quad KD = l \sin \varphi = l \frac{\sqrt{2}}{2}; \quad CD = \sqrt{CK^2 + KD^2} = l \frac{\sqrt{20}}{2};$$

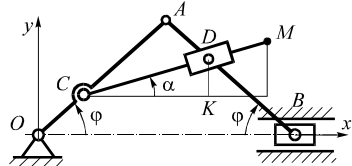
$$\cos \alpha = \frac{CK}{CD} = \frac{3l\sqrt{2} \cdot 2}{2l\sqrt{20}} = \frac{3}{\sqrt{10}}; \quad \sin \alpha = \frac{KD}{CD} = \frac{l\sqrt{2} \cdot 2}{2l\sqrt{20}} = \frac{1}{\sqrt{10}};$$

$$\dot{\alpha} = \frac{\dot{\varphi} \cos^2 \alpha}{3 \cos^2 \varphi} = \frac{\omega \cdot 3 \cdot 2}{3 \cdot 10} = \frac{\omega}{5}.$$

Подставляем полученные значения в выражения проекций скоростей:

$$v_{xM} = -l \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \omega - 3l \cdot \frac{1}{\sqrt{10}} \cdot \frac{\omega}{5} = -\omega l \left(\frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{9}{5\sqrt{10}} \right);$$

$$v_{yM} = l \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \omega + 3l \cdot \frac{3}{\sqrt{10}} \cdot \frac{\omega}{5} = \omega l \left(\frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{9}{5\sqrt{10}} \right).$$

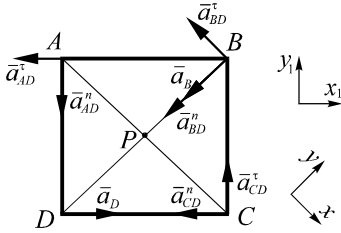


Отсюда окончательно получаем:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \omega \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{9}{250} + 2 \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{3}{5\sqrt{10}} + \frac{1}{2} + \frac{81}{250} + 2 \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{9}{5\sqrt{10}}};$$

$$v = \frac{\omega l \sqrt{34 + 12\sqrt{5}}}{5}.$$

Задача К2-2009



Поскольку равны скорости точек A , B и D , то расстояния от них до МЦС также одинаковы. Следовательно, мгновенный центр скоростей находится в точке P . Тогда

$$v_A = \omega \cdot AP; \quad v_C = \omega \cdot CP.$$

$$\frac{v_A}{v_C} = \frac{\omega \cdot AP}{\omega \cdot CP} = \frac{AP}{CP} = 1.$$

Спроецируем соотношение $\bar{a}_B = \bar{a}_D + \bar{a}_{BD}^\tau + \bar{a}_{BD}^n$, определяющее связь между ускорениями точек B и D , на оси x и y :

$$\begin{cases} \frac{\sqrt{2}}{2} a_D - a_{BD}^\tau = 0; & a_{BD}^\tau = \varepsilon \cdot BD = \varepsilon \cdot a\sqrt{2}; \\ \frac{\sqrt{2}}{2} a_D - a_{BD}^n = -a_B; & a_{BD}^n = \omega^2 \cdot BD = \omega^2 \cdot a\sqrt{2}. \end{cases}$$

Отсюда получаем:

$$\frac{\sqrt{2}}{2} a_D = \varepsilon a\sqrt{2}; \quad \varepsilon a = \frac{a_D}{2};$$

$$a_D \left(\frac{\sqrt{2}}{2} + 1 \right) = \omega^2 a\sqrt{2}; \quad \omega^2 a = a_D \left(\frac{1 + \sqrt{2}}{2} \right).$$

Тогда ускорение точки A можно найти следующим образом:

$$\bar{a}_A = \bar{a}_D = \bar{a}_{AD}^\tau + \bar{a}_{AD}^n; \quad a_{AD}^\tau = \varepsilon \cdot a; \quad a_{AD}^n = \omega^2 \cdot a;$$

$$a_{Ax1} = a_D - a_{AD}^\tau = a_D - \frac{a_D}{2} = \frac{a_D}{2};$$

$$a_{Ay1} = -a_{AD}^n = \omega^2 a = -a_D \frac{\sqrt{2} + 1}{2};$$

$$a_A = \sqrt{a_{Ax1}^2 + a_{Ay1}^2} = \sqrt{\left(\frac{a_D}{2} \right)^2 + \left(\frac{a_D(\sqrt{2} + 1)}{2} \right)^2} = a_D \sqrt{\frac{2 + \sqrt{2}}{2}}.$$

Аналогично определяем ускорение точки C :

$$\bar{a}_C = \bar{a}_D = \bar{a}_{CD}^{\tau} + \bar{a}_{CD}^n; \quad a_{CD}^{\tau} = \varepsilon \cdot a; \quad a_{CD}^n = \omega^2 \cdot a;$$

$$a_{Cx1} = a_D - a_{CD}^n = a_D - a_D \frac{1 - \sqrt{2}}{2};$$

$$a_{Cy1} = -a_{CD}^{\tau} = \varepsilon a = \frac{a_D}{2};$$

$$a_C = \sqrt{a_{Cx1}^2 + a_{Cy1}^2} = \sqrt{a_D^2 \frac{(1 - \sqrt{2})^2}{2^2} + \frac{a_D^2}{4}} = a_D \sqrt{\frac{2 - \sqrt{2}}{2}}.$$

Следовательно,

$$\frac{a_A}{a_C} = \frac{a_D \sqrt{\frac{2 + \sqrt{2}}{2}}}{a_D \sqrt{\frac{2 - \sqrt{2}}{2}}} = \sqrt{\frac{(2 + \sqrt{2})(2 + \sqrt{2})}{(2 - \sqrt{2})(2 - \sqrt{2})}} = \frac{2 + \sqrt{2}}{\sqrt{2}} = \sqrt{2} + 1.$$

Задача Д1-2009

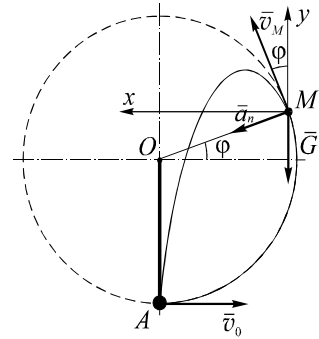
В момент ослабления нити ее сила натяжения $T = 0$, соответственно:

$$ma_n = G \sin \varphi \quad \text{или} \quad m \frac{v_M^2}{l} = mg \sin \varphi.$$

$$v_M^2 = gl \sin \varphi. \quad (1)$$

При свободном полете груза уравнения его движения по отношению к системе отсчета, связанной с точкой M :

$$\begin{cases} x = v_M \sin \varphi t; \\ y = v_M \cos \varphi t - \frac{gt^2}{2}. \end{cases}$$



В момент повторного натяжения нити $x_C = l \cos \varphi$; $y_C = -(l + l \sin \varphi)$.

Подставляя в уравнения движения, получаем:

$$l \cos \varphi = v_M \sin \varphi \cdot t_1; \quad t = \frac{l \cos \varphi}{v_1 \sin \varphi};$$

$$-(l + l \sin \varphi) = v_M \cos \varphi \cdot \frac{l \cos \varphi}{v_M \sin \varphi} - \frac{g}{2} \frac{l^2 \cos^2 \varphi}{v_M^2 \sin^2 \varphi}.$$

Отсюда с учетом (1) получим:

$$-1 - \sin \varphi = \frac{\cos^2 \varphi}{\sin \varphi} - \frac{gl \cos^2 \varphi}{2gl \sin^3 \varphi};$$

$$\begin{aligned}
 & -2\sin^3\varphi - 2\sin^4\varphi = 2\sin^2\varphi \cdot \cos^2\varphi - \cos^2\varphi; \\
 & -2\sin^3\varphi - 2\sin^4\varphi = 2\sin^2\varphi - 2\sin^4\varphi - 1 + \sin^2\varphi; \\
 & 2\sin^2\varphi + 2\sin^3\varphi = 1 - \sin^2\varphi; \quad 2\sin^2\varphi(1 + \sin\varphi) = (1 + \sin\varphi)(1 - \sin\varphi); \\
 & 2\sin^2\varphi = 1 - \sin\varphi; \quad 2\sin^2\varphi + \sin\varphi - 1 = 0.
 \end{aligned}$$

Решая квадратное уравнение, находим $\sin\varphi = \frac{-1 \pm \sqrt{1+8}}{4}$.

Поскольку $\sin\varphi > 0$, то получаем $\sin\varphi = 0,5$; $\varphi = 30^\circ$.

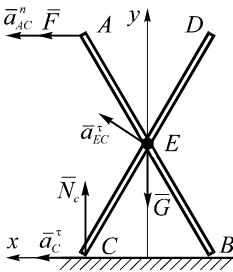
По теореме об изменении кинетической энергии материальной точки с учетом найденного значения угла φ , при котором нить ослабляется, имеем:

$$\frac{mv_M^2}{2} - \frac{mv_A^2}{2} = mg(l + \sin\varphi); \quad v_M^2 = v_A^2 - 2g \cdot \left(l + \frac{l}{2}\right) = v_A^2 - 3gl.$$

Подставляя в (1), окончательно находим:

$$v_A^2 - 3gl = gl \cdot \frac{1}{2}; \quad \boxed{v_A = \sqrt{\frac{7gl}{2}}}.$$

Задача Д2-2009



Ускорение точки A может быть большим ускорения точки C только в случае непоступательного движения конструкции, то есть при отрыве точки B от плоскости.

Поэтому динамические уравнения движения:

$$\begin{cases}
 ma_{Ex} = F; \\
 ma_{Ey} = N_c - G; \\
 J_E \varepsilon = Fl \cos 30^\circ - N_c l \sin 30^\circ \quad (l = AE).
 \end{cases}$$

Ускорения точек конструкции связаны соотношениями:

$$\vec{a}_E = \vec{a}_C + \vec{a}_{EC}^\tau + \vec{a}_{EC}^n, \quad (1)$$

$$\vec{a}_A = \vec{a}_C + \vec{a}_{AC}^\tau + \vec{a}_{AC}^n. \quad (2)$$

Поскольку в рассматриваемый момент $\omega = 0$, то

$$a_{EC}^n = a_{AC}^n = 0, \quad a_{AC}^\tau = \varepsilon \cdot AC = \varepsilon l \sqrt{3}.$$

Тогда из (2) получаем:

$$a_A = a_C + \varepsilon \cdot l \sqrt{3}; \quad 4a_C = a_C + \varepsilon \cdot l \sqrt{3}; \quad \varepsilon l = \sqrt{3}a_C.$$

Проецируя (1) на оси координат, находим:

$$a_{Ex} = a_c + a_{EC}^{\tau} \cdot \cos 30^\circ = \frac{\varepsilon l}{\sqrt{3}} + \varepsilon l \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{5}{2\sqrt{3}} \varepsilon l ;$$

$$a_{Ey} = a_{EC}^{\tau} \cdot \sin 30^\circ = \varepsilon l \frac{1}{2} .$$

Подставляем найденные значения в динамические уравнения движения:

$$\begin{cases} m \frac{5}{2\sqrt{3}} \varepsilon l = F; \\ m \varepsilon l \cdot \frac{1}{2} = N_c - mg; \\ \frac{ml^2}{3} \varepsilon = Fl \frac{\sqrt{3}}{2} - N_c l \cdot \frac{1}{2}. \end{cases}$$

Отсюда в результате преобразований получаем.

$$N_c = mg + \frac{m\varepsilon l}{2}; \quad \varepsilon l = \frac{2\sqrt{3}F}{5m}; \quad \frac{ml^2}{3} \varepsilon = Fl \frac{\sqrt{3}}{2} - \left(mg + \frac{m\varepsilon l}{2} \right) \frac{l}{2};$$

$$\frac{F\sqrt{3}}{2} - \frac{mg}{2} = \frac{7}{12} m\varepsilon l; \quad F\sqrt{3} - mg = \frac{7}{6} m \cdot \frac{2\sqrt{3}F}{5m}; \quad F\sqrt{3} \cdot \frac{8}{15} = mg$$

$$\boxed{F = \frac{15mg}{8\sqrt{3}}}.$$

Задача ДЗ-2009

Принимая в качестве обобщенных координат x и s , получаем выражение кинетической энергии системы

$$\begin{aligned} T &= \frac{m_1}{2} (\dot{x}^2 + \dot{s}^2 + 2\dot{x}\dot{s} \cdot \cos \alpha) + \frac{m_2 \dot{x}^2}{2} = \\ &= \frac{3m}{2} \dot{x}^2 + \frac{m}{2} \dot{s}^2 + m\dot{x}\dot{s} \cos \alpha. \end{aligned}$$

Выражения производных от нее имеют вид

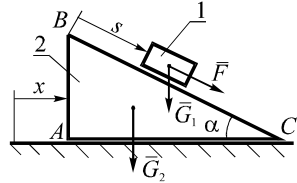
$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial T}{\partial \dot{x}} = 3m\dot{x} + m\dot{s} \cos \alpha; \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}} \right) = 3m\ddot{x} + m\ddot{s} \cos \alpha ;$$

$$\frac{\partial T}{\partial s} = 0; \quad \frac{\partial T}{\partial \dot{s}} = m\dot{s} + m\dot{x} \cos \alpha; \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{s}} \right) = m\ddot{s} + m\ddot{x} \cos \alpha .$$

Обобщенные силы $Q_x = F \cos \alpha$; $Q_s = F + G_1 \sin \alpha$.

Подставляем найденные значения в уравнения Лагранжа II рода:

$$\begin{cases} 3m\ddot{x} + m\ddot{s} \cos \alpha = F \cos \alpha; \\ m\ddot{s} + m\ddot{x} \cos \alpha = F + mg \sin \alpha. \end{cases}$$



Решая полученную систему, находим

$$m\ddot{s} = F - mg \sin \alpha - m\ddot{x} \cos \alpha; \quad 3m\ddot{x} + (F - mg \sin \alpha - m\ddot{x} \cos \alpha) \cos \alpha = F \cos \alpha;$$

$$\ddot{x} = \frac{mg \sin \alpha \cos \alpha}{3m - m \cos^2 \alpha} = \frac{g \sin \alpha \cos \alpha}{3 - \cos^2 \alpha} = \frac{g \sin 2\alpha}{2 \left(3 - \frac{1 + \cos^2 \alpha}{2} \right)}.$$

Ускорение призмы максимально при выполнении условия

$$\frac{\partial \ddot{x}}{\partial \alpha} = g \frac{2 \cos 2\alpha (5 - \cos 2\alpha) - \sin 2\alpha \cdot \sin 2\alpha \cdot 2}{5 - \cos 2\alpha} = 0.$$

Решая получившееся уравнение $5 \cos 2\alpha - \cos^2 2\alpha - \sin^2 2\alpha = 0$, находим:

$$\cos 2\alpha = \frac{1}{5}; \quad \sin 2\alpha = \sqrt{1 - \cos^2 2\alpha} = \frac{\sqrt{24}}{5}; \quad \boxed{\ddot{x} = \frac{g \cdot \sqrt{6}}{12}}.$$

Задача Д4-2009

Составим динамические уравнения движения колеса 2:

$$\begin{cases} ma_{Cx} = G \cos \varphi - F_{\text{тр}}; \\ J_C \varepsilon_2 = F_{\text{тр}} r. \end{cases} \quad (1)$$

Поскольку $\omega_2 = \frac{v_C + v_K}{r}$, то

$$\varepsilon_2 = \frac{a_C^\tau}{r} + \frac{\varepsilon_1 R}{r}.$$

Тогда, подставляя в (1), находим

$$\frac{mr^2}{2} \left(\frac{a_C^\tau}{r} + \frac{\varepsilon_1 R}{r} \right) = F_{\text{тр}} r \quad \text{или} \quad \frac{m}{2} (a_C^\tau + \varepsilon_1 R) = F_{\text{тр}};$$

$$m a_C^\tau = mg \cos \varphi - \frac{m}{2} a_C^\tau - \frac{m}{2} \varepsilon_1 R; \quad a_C^\tau = \frac{3}{2} g \cos \varphi - \frac{\varepsilon_1 R}{3}.$$

С другой стороны,

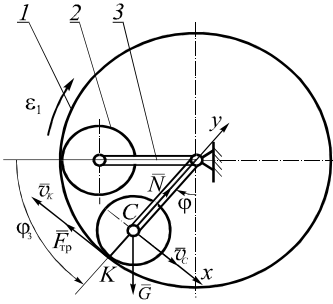
$$a_C^\tau = (R - r) \varepsilon_3 = (R - r) \frac{d\omega_3}{dt} = (R - r) \frac{\omega_3 d\omega_3}{d\varphi},$$

и приходим к дифференциальному уравнению с разделяющимися переменными

$$(R - r) \frac{\omega_3 d\omega_3}{d\varphi} = \frac{2}{3} g \cos \varphi - \frac{\varepsilon_1 R}{3},$$

решая которое, получаем:

$$\int_0^{\omega_3} (R - r) \omega_3 d\omega_3 = \int_0^{\varphi_K} \left(\frac{2}{3} g \cos \varphi - \frac{\varepsilon_1 R}{3} \right) d\varphi;$$



$$(R-r)\frac{\omega_3^2}{2} = \frac{2}{3}g \sin \varphi_K - \frac{\varepsilon_1 R \varphi_K}{3};$$

$$\omega_3 = \sqrt{\frac{2}{3(R-r)}(2g \sin \varphi_K - \varepsilon_1 R \varphi_K)};$$

Подкоренное выражение не может быть отрицательным, поэтому возможны 2 варианта:

$$1 \quad 2g \sin \frac{\pi}{2} - \varepsilon_1 R \frac{\pi}{2} = 2g - \frac{\pi \varepsilon_1 R}{2} \geq 0; \quad 2g \geq \frac{\pi \varepsilon_1 R}{2}; \quad \varepsilon_1 \leq \frac{4g}{\pi R}.$$

В этом случае диск в нижнем положении стержня будет иметь угловую скорость

$$\omega_3 = \sqrt{\frac{2}{3(R-r)}\left(2g - \varepsilon_1 R \frac{\pi}{2}\right)}.$$

2 Иначе кривошип займет первый раз верхнее вертикальное положение, при котором $\varphi_K = -\frac{\pi}{2}$, и в нем

$$\omega_3 = \sqrt{\frac{2}{3(R-r)}\left(\varepsilon_1 R \frac{\pi}{2} - 2g\right)}.$$

4 ОТВЕТЫ К ЗАДАЧАМ КОНКУРСА «БРЕЙН-РИНГ»

1. 23,4 см. 2. $m_2 - \frac{m_3}{\sin \alpha}$. 3. $\frac{r_2 \operatorname{tg} \alpha^\circ}{r_1 + r_2}$. 4. $\frac{2}{3}l$. 5. 0,5 Н. 6. 0,4 кН/м. 7. $\frac{Qb}{4a}$.
8. $\frac{l\sqrt{3}}{12}$. 9. 39,1 мм. 10. $\frac{6}{5}$. 11. $\frac{v}{\sin \alpha}$. 12. Вторую. 13. $0,4\pi$ рад/с². 14. 45π см/с.
15. $x(t) = \frac{r\varepsilon}{\omega_2}t + a$. 16. Вектор $v_{\text{отн}}$ параллелен оси вращения колеса. 17. В $\sqrt{3}$ раз.
18. $\frac{-a_\kappa e^{\alpha t}}{2\varphi_0 \alpha \sin \beta}$. 19. 15 см/с. 20. 3. 21. 0,1 м/с. 22. 432 Н. 23. 7,845 об/мин.
24. $\frac{2}{3}g \sin \alpha$. 25. в 8 раз. 26. $35,3^\circ$. 27. $12g / 17 l$. 28. $\frac{l - \sqrt{l^2 - h^2}}{2}$.
29. $f \cos \alpha - g \sin \alpha$. 30. $\frac{m_1 m_2}{2(m_1 + m_2)} v_1^2$.

5 РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО КОНКУРСА (ЛИЧНЫЙ ЗАЧЕТ)

Фамилия, имя, отчество	Вуз	Баллы по задачам								Всего баллов	Место
		С-1	С-2	К-1	К-2	Д-1	Д-2	Д-3	Д-4		
Мостовых Павел Сергеевич	ВоенМех	7	10	7	6	6	6	5,5	7	55	1
Шаяхметов Айрат Ильфатович	УГНТУ	7	9	8	0	6	4	5,5	6	46	2
Валеев Анвар Рашитович	УГНТУ	7	8	8	6	4	1	5,5	4	44	3
Бекчурин Владислав Витальевич	УГТУ-УПИ	7	5	6	5	0,5	6	6	5	41	4
Динвай Евгений Михайлович	СПбГУ	7	9	8	6	0	2	5,5	0	38	5
Драган Федор Владимирович	УГНТУ	7	8	6	2	1,5	4,5	0,5	5	35	6
Пономарев Антон Александрович	СПбГУ	7	9	0	0	2,5	0,5	5,5	4	29	7
Терещенко Константин Алексеевич	КГТУ	6	9	2,5	1	3	1,5	4,5	0	28	8
Величко Виктор Евгеньевич	ВоенМех	6	7	1	6	0,5	1	5,5	0	27	9
Суслова Анна Андреевна	ЮУрГУ	0	8	0,5	2	0,5	4	3	5	23	10
Врубель Дмитрий Андреевич	СПбГУ	2	10	1,5	2,5	0	0	6	0	22	11
Медведев Тимофей Анатольевич	БрГТУ	6	3	1	2,5	2	0,5	2,5	4	22	11
Мухаметзянов Марат Рафисович	УГТУ-УПИ	3,5	5	1	5,5	1	0	4	0	20	12
Дейнека Андрей Витальевич	СумскийГУ	2,5	9	1	4	0,5	1,5	0	0,5	19	13
Калита Роман Олегович	БрГТУ	7	7	1	0	0	0	3,5	0	19	13
Кудрявцев Олег Александрович	ЮУрГУ	2,5	3	5,5	0,5	0,5	2	4	0	18	14
Хабибуллин Артур Амурович	ЮУрГУ	7	0	6	0	0	4	0,5	0	18	14
Головчик Артур Геннадьевич	БГУ	7	2	6	2	0	0	0	0	17	15
Насибуллин Ильназ Ирекович	КГТУ	1	9,5	0,5	4	0	1	0,5	0	17	15
Маняк Иван Сергеевич	ВоенМЕХ	1	8	6	0	0	0	0,5	0	16	16
Шейко Александр Николаевич	БГУ	4	6	2	2,5	0	0	0,5	0	15	17
Бычков Александр Евгеньевич	УГТУ-УПИ	2,5	0	3	0	1	3	0	5	15	17
Коржук Дмитрий Андреевич	ЮУрГУ	1	7	1,5	0,5	3	0	1,5	0	15	17
Горошко Виталий Сергеевич	СГАУ	6	1	4,5	0	0	0	2,5	0	14	18
Ибрагимов Анвар Рамитович	КГТУ	6	0	1	3	0,5	0	0,5	2	13	19
Постоялко Анатолий Петрович	БелГУТ	3	3	0,5	0	0	0,5	5	0,5	13	19
Соловьев Дмитрий Андреевич	ГрГУ	3	7	1,5	0	0	0	0,5	0	12	20

Арцименя Виктория Викторовна	БарГУ	3	0	0,5	6	0	2	0	0	12	20
Кобзарь Николай Юрьевич	ГГТУ	6,5	2	1	0	2	0	0	0	12	20
Мингинович Александр Валерьевич	БелГУТ	0,5	2	7	0	1	0	0,5	0,5	12	20
Делков Александр Викторович	СГАУ	1	1	2,5	4,5	0	1	1	0,5	12	20
Потехин Антон Сергеевич	УГТУ-УПИ	6	2	2	0	1	0	0,5	0	12	20
Рэуцу Александр Викторович	ВГУ	2	0	1,5	2	0,5	0	3	2	11	21
Сухонос Александр Владимирович	БелГУТ	4	3	2	0	0,5	0	0,5	0	10	22
Валяхметов Фанис Фанусович	КГТУ	0	3	3	3	0,5	0	0,5	0	10	22
Марушкевич Виталий Николаевич	БелГУТ	2,5	2	4	0	0,5	0	0,5	0	10	22
Старцев Виталий Викторович	ЮУрГУ	0	1	4	0,5	1	2	0,5	0,5	10	22
Чубаков Алексей Григорьевич	БГСХА	3	3	0,5	1,5	0	0	1	0	9	23
Рычков Сергей Николаевич	СГАУ	1	2	5	0	0,5	0,5	0	0	9	23
Посысаев Игорь Анатольевич	Тамбов	1	3	2	1,5	1,5	0	0	0	9	23
Довгилович Евгений Евгеньевич	БарГУ	0	0	5	1	0	0	3	0	9	23
Быданов Роман Олегович	БелГУТ	0,5	5	2	0	0	1	0	0	9	23
Кравченко Михаил Анатольевич	БРУ	0	5	1	2	0	0	0	0,5	9	23
Рябинин Владимир Сергеевич	Тамбов	3	1	1	1,5	1	0,5	0,5	0	9	23
Толстых Максим Сергеевич	Тамбов	5	0	2	0	0	0,5	0	1	9	23
Макаренко Дмитрий Евгеньевич	ДНТУ	5,5	0	1,5	0,5	0	1	0	0	9	23
Захарчук Юлия Викторовна	БелГУТ	4	0	4	0	0	0	0,5	0	9	23
Клюшников Георгий Николаевич	СПбГУ	0	2	5,5	0	0	0	0,5	0	8	24
Покутний Максим Валерьевич	СумскийГУ	2,5	3	0,5	1,5	0	0	0,5	0	8	24
Коротеев Артур Олегович	БРУ	0,5	4	2	0	0,5	0	0,5	0,5	8	24
Насань Олег Александрович	БГУ	1	0	0	0	1,5	0	0	5	8	24
Кучейко Сергей Михайлович	КИИ МЧС	2	0	1	2,5	0	0,5	1,5	0	8	24
Репин Павел Викторович	УГТУ-УПИ	2	2	1,5	0	0,5	0	0,5	0,5	7	25
Мармыш Денис Евгеньевич	БГУ	1,5	0	0	0	0	1	0,5	4	7	25
Аубакиров Куат Рустемович	Семей	0	0	1,5	4	0	0,5	0,5	0,5	7	25
Старков Никита Викторович	ГГТУ	0,5	1	1,5	2	0	1	0,5	0,5	7	25
Романенко Иван Валентинович	СГАУ	0	0	5	0	0	0,5	1	0,5	7	25

Окончание таблицы

Фамилия, имя, отчество	Вуз	Баллы по задачам								Всего баллов	Место
		С-1	С-2	К-1	К-2	Д-1	Д-2	Д-3	Д-4		
Астапович Кирилл Викторович	БНТУ	4	1	1,5	0	0	0	0	0	7	25
Дидур Владимир Арсеньевич	ХНТУСХ	0,5	0	3	2	0	0,5	0	0	6	26
Цупрев Павел Викторович	БГСХА	4	1	1	0	0	0	0	0	6	26
Штык Виталий Васильевич	ВАРБ	0	0	0,5	5	0	0	0	0,5	6	26
Богданович Александра Сергеевна	БНТУ	0	3	2	0	0,5	0	0	0	6	26
Валуйских Артем Германович	КИИ МЧС	3	0	1,5	0	0	0	0,5	0,5	6	26
Воробьев Сергей Петрович	НТУУ КПИ	1,5	2	1,5	0	0	0	0,5	0	6	26
Шуринов Никита Юрьевич	МГУП	0	1	1	2,5	0,5	0	0,5	0	6	26
Ахмедов Руслан Таги-Оглы	БрГТУ	1	0	1	0	1	1	1	0,5	6	26
Лосев Максим Олегович	БРУ	0	3	1	0	0	1	0	0	5	27
Лежава Андрей Андреевич	БРУ	0	3	1	0	0	0	0	1	5	27
Ковалевский Владимир Федорович	БГСХА	0	3	1,5	0	0	0	0	0,5	5	27
Махнач Виктория Викторовна	БНТУ	0	0	1	0	0	0,5	2,5	0,5	5	27
Колтунчик Олег Николаевич	БрГТУ	0,5	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,5	4	28
Ботян Сергей Сергеевич	КИИ МЧС	3	0	0	0	0	0	0,5	0,5	4	28
Плюснин Александр Геннадьевич	МГПУ	3	0	1	0	0	0	0	0	4	28
Коновальчик Виктория Валерьевна	КИИ МЧС	0	0	0,5	2	0	0	1	0	4	28
Белеста Михаил Анатольевич	БГСХА	0	3	0	0	0	0	0,5	0	4	28
Григорчук Сергей Владимирович	БрГТУ	1	0	0	2	0	0	0,5	0	4	28
Грачулин Александр Владимирович	КИИ МЧС	1,5	0	0,5	0	0	0	1,5	0	4	28
Казыкалевич Василий Викторович	МГПУ	1	1	0	0	0,5	1	0	0	4	28
Рабенок Виталий Викторович	ГрГУ	0	0	0	3,5	0	0	0	0	4	28
Зыков Дмитрий Юрьевич	ВГУ	0	3	0	0	0	0	0,5	0	4	28
Козлов Юрий Юрьевич	Тула	0	3	0	0,5	0	0	0	0	4	28
Рудько Егор Григорьевич	МГПУ	2,5	0	0,5	0	0,5	0	0	0	4	28
Ерошко Александр Сергеевич	БарГУ	0,5	0	1	1,5	0	0	0	0	3	29
Кучин Алексей Сергеевич	ГТТУ	0	0,5	2	0	0	0,5	0	0	3	29

6 РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО КОНКУРСА (КОМАНДНЫЙ ЗАЧЕТ)

Команда	Сумма баллов	Место
УГНТУ	124	1
ВОЕНМЕХ	97	2
СПбГУ	88	3
УГТУ-УПИ	75	4
ЮУрГУ	59	5
КГТУ	57	6
БрГТУ	46	7
БГУ	40	8
СГАУ	35	9
БелГУТ	34	10
СумскийГУ+ХНТУСХ	33	11
Тамбов	26	12
БарГУ	24	13
БРУ+МГУП	22	14
ГГТУ	22	14
БГСХА	20	15
ГрГУ	19	16
КИИ МЧС	17	17
ВГУ	17	17
БНТУ	17	17
ДНТУ+НТУУ КПИ	17	17
Семей	12	18
МГПУ	11	19
ВАРБ	9	20
Тула	6	21
Иваново	2	22

7 РУКОВОДИТЕЛИ КОМАНД-УЧАСТНИЦ ОЛИМПИАДЫ

Бобер Ольга Александровна – Белорусская государственная сельскохозяйственная академия (БГСХА), г. Горки.

Веремейчик Андрей Иванович – Брестский государственный технический университет (БрГТУ).

Гавриленя Андрей Константинович – Барановичский государственный университет (БарГУ).

Гей Снежана Лаврентьевна – Гродненский государственный университет имени Янки Купалы (ГрГУ).

Илихменев Андрей Львович – Балтийский государственный технический университет им. Д. Ф. Устинова (ВОЕНМЕХ), г. Санкт-Петербург.

Кроль Дмитрий Григорьевич – Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого (ГГТУ).

Круглов Аркадий Владимирович – Ивановский государственный энергетический университет (ИГЭУ).

Леванович Николай Андреевич – Белорусско-Российский университет (БРУ), г. Могилев.

Навныко Валерий Николаевич – Мозырский государственный педагогический университет им. И.П. Шамякина (МГПУ).

Назарова Лариса Петровна – Сибирский государственный аэрокосмический университет им. академика М. Ф. Решетнева (СибГАУ), г. Красноярск.

Попов Андрей Иванович – Тамбовский государственный технический университет (ТГТУ).

Рощева Татьяна Анатольевна – Уральский государственный технический университет–УПИ (УГТУ-УПИ), г. Екатеринбург.

Сазонов Дмитрий Юрьевич – Тульский государственный университет (ТГУ).

Скляр Ольга Николаевна – Белорусский национальный технический университет (БНТУ), г. Минск.

Смиловенко Ольга Олеговна – Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь (КИИ МЧС), г. Минск.

Стома Александр Сергеевич – Военная академия Республики Беларусь (ВАРБ), г. Минск.

Тарасов Виктор Куприянович – Тульский государственный университет (ТГУ).

Тимофеев Борис Львович – Вятский государственный университет (ВГУ), г. Киров.

Тихонов Александр Юрьевич – Уфимский государственный нефтяной технический университет (УГНТУ).

Турусбеков Серикбол Какарманович – Семипалатинский государственный университет им. Шакарима, г. Семей (СГУ).

Халецкий Марек – Варшавский университет естественных наук (SGGW).

Чкалов Алексей Валериевич – Национальный технический университет Украины «КПИ» (НТУУ-КПИ), г. Киев.

Шимановский Александр Олегович – Белорусский государственный университет транспорта (БелГУТ), г. Гомель.

Щевелёва Мария Петровна – Южно-Уральский государственный университет (ЮУрГУ), г. Челябинск.

Щербаков Сергей Сергеевич – Белорусский государственный университет (БГУ), г. Минск.

В олимпиаде также самостоятельно принимали участие студенты вузов:

Донецкий национальный технический университет (ДНТУ),

Казанский государственный технологический университет (КГТУ-КХТИ),

Могилевский государственный университет продовольствия (МГУП),

Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ),

Сумский государственный университет (СГУ),

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко (ХНТУСХ).

8 РЕЗУЛЬТАТЫ КОНКУРСА «БРЕЙН-РИНГ»

Команда	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	Баллы	Место	
УННТУ (Уфа)		1	1		1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1	1	1	22	1	
БГТУ (СПб)		1	1			1		1	1	1	1	1	1	1		1	1		1	1	1		1	1	1			1	1	1	21	2	
СпбГУ		1	1	1	1	1		1	1		1		1	1	1	1	1	1			1	1		1	1			1	1	1	21	2	
БелГУТ	1	1	1					1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1		1	1	21	2
КГТУ (Казань)		1	1	1		1	1		1			1	1			1	1	1	1					1	1			1	1	1	17	3	
ЮУрГУ		1	1	1	1		1	1	1	1	1		1	1			1					1			1	1			1	1	17	3	
УГТУ-УПИ			1	1	1			1			1	1	1	1	1	1	1		1	1	1				1			1	1	1	17	3	
БарГУ-2				1		1	1	1	1	1				1		1	1	1	1	1								1			12	4	
БГТУ-2 (Брест)			1				1		1		1	1	1	1		1						1		1	1			1		1	12	4	
КИИ-2		1			1			1	1	1	1		1	1			1		1	1					1						12	4	
КИИ-1	1				1		1			1		1	1	1		1	1		1	1											11	5	
ТГТУ		1		1		1			1					1		1	1						1			1			1		1	11	5
БГУ		1	1	1	1			1		1		1	1			1	1						1								11	5	
Сумский ГУ		1	1		1	1	1	1	1	1		1	1																		10	6	
Сборная вузов-1		1							1	1			1		1				1					1	1			1		1	10	6	
ВАРБ-1	1					1	1	1		1			1		1	1	1	1	1												10	6	
БРУ			1	1						1				1		1			1			1		1			1			1	10	6	
ИГЭУ				1				1			1	1			1	1		1						1			1		1	1	10	6	
ВГУ	1	1			1		1								1		1						1							1	8	7	

Сборная вузов-2	1		1	1	1	1					1	1												8	7						
Сборная вузов-3		1		1					1			1	1				1		1	1					8	7					
ГГУ-2					1				1	1	1	1		1								1			8	7					
БелГУТ-2		1					1	1	1	1	1			1											8	7					
Сборная вузов-4		1				1			1	1	1	1										1	1		8	7					
БарГУ		1						1	1	1	1													1	1	7	8				
БГУ-2	1	1							1	1	1	1													1		7	8			
ГГТУ-1								1	1			1	1			1	1								1		7	8			
ВАРБ-2									1	1	1														1	1		1	6	9	
МГПУ						1			1	1				1												1		6	9		
БНТУ		1				1																				1		5	10		
СибГАУ						1				1	1															1		5	10		
БГСХА			1	1										1													1		5	10	
БГТУ (Брест)								1	1																	1		5	10		
БГСХА-2		1					1	1		1																1		5	10		
Сборная вузов-5					1					1																1	1		4	11	
ГГУ						1						1	1	1														4	11		
ГГУ	1										1																1		3	12	
СГУ (Казахстан)	1						1																					2	13		
ГГТУ-2 (Гомель)																												1		2	13

9 СОСТАВЫ КОМАНД КОНКУРСА «БРЕЙН-РИНГ» (ПО ПОРЯДКУ ЗАНЯТЫХ МЕСТ)

- 1 УГНТУ – Валеев А. Р., Шаяхметов А. И., Драган Ф. В.
- 2 БГТУ (СПб) – Мостовых П. С., Величко В. Е., Маняк И. С.
- 3 СПбГУ – Пономарёв А. А., Динвай Е. М., Врубель Д. А.
- 4 БелГУТ – Марушкевич В. Н., Мингинович А. В., Захарчук Ю. В.
- 5 КГТУ (Казань) – Валияхметов Ф. Ф., Терещенко К. А., Насибулин И. И.
- 6 ЮУрГУ – Суслowa А. А., Коржук Д. А., Кудрявцев О. А.
- 7 УГТУ-УПИ – Бекчурин В. В., Мухаметзянов М. Р., Бычков А. Е.
- 8 БарГУ-2 – Довгилович Е. Е., Арцименя В. В., Ерошко А. С.
- 9 БГТУ-2 (Брест) – Медведев Т. А., Калита Р. О., Ахмедов Р. Т.
- 10 КИИ-2 – Майсак Е. Л., Ботян С. С., Коновальчик В. В.
- 11 КИИ-1 – Кучейко С. М., Валуйских А. Г., Грачулин А. В.
- 12 ТГТУ – Толстых М. С., Рябинин В. С., Посысаев И. А.
- 13 БГУ – Шейко А. Н., Насань О. А., Головчик А. Г.
- 14 Сумский ГУ – Дейнека А. В., Покутний М. В.
- 15 Сборная вузов-1 – Хабибулин А. А., Старцев В. В., Ибрагимов А. Р.
- 16 ВАРБ-1 – Гурин А. В., Штык В. В., Пастушонок А. В.
- 17 БРУ – Коротеев А. О., Кравченко М. А., Лосев М. О.
- 18 ИГЭУ – Сопунова Е. В., Шейкина В. А., Белухина С. А.
- 19 ВГУ – Рэуцу А. В., Зыков Д. Ю., Волгожанин М. В.
- 20 Сборная вузов-2 – Воробьев С. П., Полищук Д. Н., Макаренко Д. Е.
- 21 Сборная вузов-3 – Лежава А. А., Плескач А. В., Земник А. В.
- 22 ГГУ-2 – Соловьев Д. А., Стельмашук Е. С., Викторovich А. И.
- 23 БелГУТ-2 – Быданов Р. О., Постоялко А. П., Сухonos А. В.
- 24 Сборная вузов -4 – Шуринов Н. Ю., Козлов Ю. Ю., Дидур В. А.
- 25 Сборная ВУЗов – Потехин А. С., Туркин С. С., Репин П. В.
- 26 БГУ-2 – Мармыш Д. Е., Кисляк Ю. А.
- 27 ГГТУ-1 – Оборov М. В., Старков Н. В., Кабзарь Н. Ю.
- 28 ВАРБ-2 – Серов Н. А., Ярмонтович П. В., Рагозик Ю. Ю.
- 29 МГПУ – Казыкалевич В. В., Рудько Е. Г., Плюснин А. Г.
- 30 БНТУ – Богданович А. С., Астапович К. В., Махнач В. В.
- 31 СибГАУ – Горошко В. С., Рычков С. Н., Делков А. В.
- 32 БГСХА – Радовский А. С., Ковалевский В. Ф., Белеста М. А.
- 33 БГТУ – Колтунчик О. Н., Вишневский М. Л., Григорчук С. В.
- 34 БГСХА-2 – Демидович А. Н., Цупрев П. В., Чубанов А. Г.
- 35 Сборная вузов-5 – Анкичева Н. С., Романенко И. В., Ключников Г. Н.
- 36 ТГУ – Попова А. П., Патрикеева А. А., Макарова Е. В.
- 37 ГГУ – Седун Е. В., Рабенoк В. В., Багко Е. А.
- 38 СГУ – Аубакиров К. Р., Мусабаява Б. Р., Карибжанова Ш. Б.
- 39 ГГТУ-2 – Астапович А. А., Кучин А. С., Назаренко П. А.